



TUGAS AKHIR - RF184838

**PENENTUAN VOLUME ENDAPAN NIKEL LATERIT
BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK *SOUNDING* STUDI KASUS
LAPANGAN “D.I.B” BLOK SELATAN DAERAH POMALAA,
SULAWESI TENGGARA**

EKA HARRIS SURYAWAN
0341154000005

DOSEN PEMBIMBING
ANIK HILYAH, S.Si., M.T.
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR, S.T., M.Eng.

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RF184838

**PENENTUAN VOLUME ENDAPAN NIKEL LATERIT
BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK *SOUNDING* STUDI KASUS
LAPANGAN “D.I.B” BLOK SELATAN DAERAH POMALAA,
SULAWESI TENGGARA**

**EKA HARRIS SURYAWAN
0341154000005**

**DOSEN PEMBIMBING
ANIK HILYAH, S.Si., M.T.
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR, S.T., M.Eng.**

**Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



FINAL PROJECT - RF184838

**DETERMINATION OF LATERITE NICKEL VOLUME BASED
ON GEOELECTRICAL SOUNDING DATA A CASE STUDY OF
“D.I.B” FIELD SOUTH BLOCK, POMALAA, SOUTHEAST
SULAWESI**

**EKA HARRIS SURYAWAN
0341154000005**

**ADVISORS
ANIK HILYAH, S.Si., M.T.
M. HARIS MIFTAKHUL FAJAR, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Eka Harris Suryawan
NRP : 0341154000005
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit
Berdasarkan Data Geolistrik *Sounding*
Studi Kasus Lapangan "D.I.B" Blok
Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi
Tenggara

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2019

-
1. Anik Hilyah, S.Si, M.T. (Pembimbing 1)
NIP. 197908132008122002
-
2. M. Haris Miftakul Fajar, S.T., M.Eng. (Pembimbing 2)
NIP. 198902082018031001
-
3. Dr. Dwa Desa Warnana (Penguji 1)
NIP. 197601232000031001
-
4. Muryanto, S.Si, M.T. (Penguji 2)
NIP. 1991201711044

Mengetahui,



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik *Sounding* Studi Kasus Lapangan “D.I.B” Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui 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 berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2019

Eka Harris Suryawan
NRP. 0341154000005

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PENENTUAN VOLUME ENDAPAN NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK *SOUNDING* STUDI KASUS LAPANGAN “D.I.B” BLOK SELATAN DAERAH POMALAA, SULAWESI TENGGARA

Nama Mahasiswa : Eka Harris Suryawan
NRP : 0341154000005
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing I : Anik Hilyah, S.Si., M.T.
Pembimbing II : M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Nikel di Indonesia dijumpai dalam bentuk nikel laterit hasil pelapukan batuan ultramafik. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, jumlah rata-rata ekspor nikel dari tahun 2002 hingga 2014 mencapai angka 17.103.785 ton/tahun. Hal itu menunjukkan eksplorasi nikel yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri terkait. Salah satu tahapan dalam kegiatan eksplorasi nikel adalah penentuan volume endapan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan terhadap data eksplorasi metode geolistrik *sounding* yang bertujuan untuk menentukan volume endapan nikel laterit di lapangan D.I.B daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Penentuan volume tersebut didasarkan pada model endapan yang dibuat dari hasil pengolahan metode geolistrik *sounding*. Metode geolistrik *sounding* mampu membedakan kontras resistivitas antara batuan dasar dan endapan nikel laterit. Pada penelitian kali ini digunakan data sekunder resistivitas metode *sounding* sebanyak 13 lintasan yang berarah barat-timur dan data pemboran sebanyak 17 titik. Hasil penelitian ini menunjukkan endapan nikel laterit Pomalaa dapat dibagi menjadi 3 zona berdasarkan nilai resistivitasnya, zona *lateritic soil* dengan nilai resistivitas 5–55 Ohm.m, zona *peridotite boulder* dengan nilai resistivitas 56–170 Ohm.m, dan zona *bedrock* yang merupakan zona terbawah dengan nilai resistivitas 171–3000 Ohm.m. Ketebalan endapan nikel laterit rata-rata berdasarkan data resistivitas didapati sebesar 9 meter dengan tingkat kecocokan antara hasil inversi 2D dan data pemboran mencapai 89%. Berdasarkan data resistivitas tersebut maka dibuat 4 buah model 3D dengan volume total endapan sebesar 4.011.248 m³. Diharapkan volume endapan berdasarkan hasil eksplorasi geofisika metode *sounding* tersebut mampu memberikan gambaran awal yang akurat mengenai endapan nikel laterit dan menjadi rujukan dalam kegiatan pertambangan selanjutnya.

Kata Kunci: Nikel Laterit, Pomalaa, Tahanan Jenis, Volume

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DETERMINATION OF LATERITE NICKEL VOLUME BASED ON GEOELECTRICAL SOUNDING DATA A CASE STUDY OF “D.I.B” FIELD SOUTH BLOCK, POMALAA, SOUTHEAST SULAWESI

Name : Eka Harris Suryawan
Student ID : 0341154000005
Department : Geophysical Engineering
Advisor I : Anik Hilyah, S.Si., M.T.
Advisor II : M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In Indonesia, Nickel is evidently found in the form of nickel-laterite, resulted from weathering processes of ultramafic rocks. According to data of Statistic Central Agency, the average total of export from nickel from 2002 up to 2014 was 17.103.785 ton/year. It shows, then, that sustained exploration of nickel is highly required to satisfy necessity of related industry. One of phases in this exploration is determining of sedimentation volume. This research is aimed to make determining of nickel-laterite sedimentation's volume in the field of D.I.B, Pomalaa, South-East Sulawesi based on sedimentation model obtained from resistivity method. By this method, it can differentiate resistivity contrast between bedrock and nickel-laterite sedimentation. Hence, the research used secondary data of resistivity sounding method at 13 lines, directed on west-east and drilling data of 17 spots. As result, this research found that nickel-laterite in Pomalaa could be divided into 3 zones based on their resistivity, comprising of lateritic soil's zone having resistivity value of 5-55 ohm.m, peridotite boulder's zone having resistivity value of 56-170 ohm.m, and bedrock's zone becoming the most bottom zone by its resistivity value of 171-3000 ohm.m. The thickness of nickel-laterite sedimentation averagely based on resistivity data was 9 meters with the suitability level between the result of 2D inversion and drilling data of 89%. According to such resistivity data, 4 models of 3D were, then, made with total of sedimentation volume of 4.011.248 m³. It is hoped that sedimentation volume based on exploration of geo-electricity of sounding method could be able to provide early accurate portrayal concerning on nickel-laterite sedimentation and become reference in further mining activity.

Key Words: *nickel-laterite, pomalaa, resistivity, volume*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih-Nya laporan tugas akhir dengan judul “Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Sounding Studi Kasus Lapangan “D.I.B” Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara” ini dapat terselesaikan.

Pengerjaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bimbingan berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan materil maupun moril selama pelaksanaan perkuliahan hingga tugas akhir.
2. Anik Hilyah, S.Si., M.T. selaku pembimbing I tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng. selaku pembimbing II tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukan hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
4. Bapak M. Akbar Kartadiredja, S.Si., Bapak Agus Pajrin, S.T., Bapak Yusuf Darnanto, Bapak Wicak, dan kawan-kawan di PT. ANTAM Tbk selaku pembimbing di perusahaan yang senantiasa memberikan pengetahuan, pengalaman dan masukan bagi penulis selama melaksanakan tugas akhir di perusahaan.
5. Kawan-kawan TG04 “Solid dan Loyal” yang senantiasa menemani penulis selama kegiatan perkuliahan, memberikan semangat dan memberi dukungan.
6. Dinda Indiana Bounigeta (D.I.B) sebagai *partner* berjuang dalam susah maupun senang yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
7. Firman Aditya Satria sebagai teman seperjuangan melaksanakan tugas akhir di perusahaan selama 2,5 bulan.

Penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Penulis mengharapkan adanya kritik, saran maupun diskusi yang bersifat membangun, sehingga penelitian ini semakin membawa manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juli 2019

Penulis

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Target Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional Sulawesi Tenggara.....	5
2.1.1 Sejarah Geologi	6
2.1.2 Fisiografi Regional	6
2.1.3 Stratigrafi Regional	7
2.2 Geologi Lokal Pomalaa	9
2.2.1 Geomorfologi.....	9
2.2.2 Struktur Geologi.....	9
2.3 Nikel Laterit	9
2.3.1 Genesa Nikel Laterit	10
2.3.2 Lateritisasi Nikel Pomalaa	13
2.4 Metode Geolistrik Resistivitas.....	15
2.4.1 Sifat Kelistrikan Batuan.....	15
2.4.2 Prinsip Kerja Metode Geolistrik Resistivitas	16

2.4.3 Metode <i>Vertical Electrical Sounding</i> (VES)	19
2.4.4 Konfigurasi <i>Wenner</i>	20
2.5 Sifat Kelistrikan Nikel Laterit	21
2.6 Metode Interpolasi <i>Radial Basis Function</i> (RBF)	22
2.7 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Data dan Lokasi Penelitian	27
3.2 Pengolahan Data	28
3.2.1 Pengolahan Data Pemboran	28
3.2.2 Pengolahan Data Resistivitas Metode <i>Vertical Electrical Sounding</i> (VES)	29
3.2.3 Pengolahan Model 3D	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Pengolahan Data Pemboran	37
4.2 Hasil Pengolahan Data Resistivitas	39
4.2.1 Hasil Inversi 2D	39
4.2.2 Hasil Inversi 1D	46
4.3 Interpretasi dan Pembahasan	49
4.3.1 Peta Ketebalan Endapan Nikel Laterit	64
4.4 Model 3D Endapan Nikel Laterit	65
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Simpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	77
BIOGRAFI PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Geologi regional lengan tenggara Sulawesi yang menunjukkan daerah penelitian terletak pada tubuh batuan ultramafik yang tidak beraturan dan terisolir (Simandjuntak dkk., 1993, dengan modifikasi)	5
Gambar 2.2 Peta fisiografi Regional Pulau Sulawesi, yang mana daerah penelitian (kotak merah) termasuk kedalam Lajur Ofolit (Kadariusman dkk., 2004).....	7
Gambar 2.3 Skema pembentukan endapan nikel laterit (Djadjulit, 1992 dalam Sutisna dkk., 2006).....	12
Gambar 2.3 Profil endapan nikel laterit Pomalaa yang terbagi menjadi beberapa zona dengan kadar nikel tertinggi berada di zona saprolit (Kamaruddin dkk., 2018).....	14
Gambar 2.4 Profil nikel laterit Blok Selatan Pomalaa (Kamaruddin dkk., 2018)	15
Gambar 2.4 Potensial listrik oleh sumber arus tunggal (Telford dkk., 1990)..	17
Gambar 2.5 Susunan elektroda dalam metode resistivitas, terdiri dari sepasang elektroda arus (A,B) dan sepasang elektroda potensial (C,D) (Lowrie, 2007) .	18
Gambar 2.6 Empat buah tipe kurva <i>apparent resistivity</i> hasil pengukuran VES yang umum didapatkan dalam pengukuran struktur perlapisan batuan yang terdiri dari tiga lapisan (Lowrie, 2007)	19
Gambar 2.7 Skema susunan elektroda konfigurasi Wenner (Lowrie, 2007)...	20
Gambar 2.8 Model penampang sensitivitas bawah permukaan konfigurasi Wenner (Loke, 2015).....	21
Gambar 2.11 Penampang kurva hasil pengukuran VES yang menunjukkan adanya perbedaan nilai resistivitas untuk masing-masing lapisan laterit (Peric, 1981).....	23
Gambar 2.12 Penampang korelasi data resistivitas dengan data bor yang menunjukkan zona limonit atas dibatasi garis merah, zona limonit bawah dibatasi garis orange dan zona saprolit dibatasi garis hijau (Budhi Kumarawarman dan Wann, 2015)	24
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian “Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Sounding Studi Kasus Lapangan “D.I.B” Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara”	25
Gambar 3.2 Peta titik pengukuran metode VES dan titik pemboran	27
Gambar 3.3 Diagram alir pengolahan data pemboran	28

Gambar 3.4 Contoh data masukan yang digunakan dalam pengolahan data pemboran untuk menghasilkan penampang 1D endapan nikel laterit	29
Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data metode <i>vertical electrical sounding</i>	30
Gambar 3.6 Penampang proses <i>forward modelling</i> , yang mana kotak merah menunjukkan parameter <i>error</i> dan hasil <i>forward</i> berupa nilai resistivitas dan kedalaman lapisan	32
Gambar 3.7 Penampang proses inversi 1D yang mana kotak merah menunjukkan nilai <i>RMS error</i> , <i>true resistivity</i> dan kedalaman lapisan sedangkan kotak biru merupakan <i>resistivity log</i>	33
Gambar 3.8 Tabel jenis <i>interval</i> sebagai masukan dalam proses pengolahan model 3D.....	34
Gambar 3.8 Diagram alir pengolahan model 3D	35
Gambar 4.1 Profil endapan nikel laterit blok selatan, Pomalaa yang dibuat berdasarkan data pemboran	38
Gambar 4.2 Hasil inversi 2D lintasan 1	40
Gambar 4.3 Hasil inversi 2D lintasan 2	40
Gambar 4.4 Hasil inversi 2D lintasan 3	41
Gambar 4.5 Hasil inversi 2D lintasan 4	41
Gambar 4.6 Hasil inversi 2D lintasan 9	42
Gambar 4.7 Hasil inversi 2D lintasan 9 Bor	42
Gambar 4.8 Hasil inversi 2D lintasan 10	43
Gambar 4.9 Hasil inversi 2D lintasan 10 Bor	43
Gambar 4.10 Hasil inversi 2D lintasan 13	44
Gambar 4.11 Hasil inversi 2D lintasan 14	44
Gambar 4.12 Hasil inversi 2D lintasan 16	45
Gambar 4.13 Hasil inversi 2D lintasan 19	45
Gambar 4.14 Hasil inversi 2D lintasan 20	46
Gambar 4.15 Contoh hasil inversi 1D	47
Gambar 4.16 Kurva tipe AA adalah kurva yang paling sering dijumpai dalam proses inversi 1D	48
Gambar 4.18 Contoh interpretasi penampang hasil inversi 1D	50

Gambar 4.19 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran	51
Gambar 4.20 Penampang resistivitas lintasan 2 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran	52
Gambar 4.21 Penampang resistivitas lintasan 3 terintegrasi dengan hasil inversi 1D.....	53
Gambar 4.22 Penampang resistivitas lintasan 4 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran	54
Gambar 4.23 Penampang resistivitas lintasan 9 terintegrasi dengan hasil inversi 1D.....	55
Gambar 4.24 Penampang resistivitas lintasan 9 bor terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran.....	56
Gambar 4.25 Penampang resistivitas lintasan 10 terintegrasi dengan hasil inversi 1D	57
Gambar 4.26 Penampang resistivitas lintasan 2 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran	58
Gambar 4.27 Penampang resistivitas lintasan 13 terintegrasi dengan hasil inversi 1D	59
Gambar 4.28 Penampang resistivitas lintasan 14 terintegrasi dengan hasil inversi 1D	60
Gambar 4.29 Penampang resistivitas lintasan 16 terintegrasi dengan hasil inversi 1D	61
Gambar 4.30 Penampang resistivitas lintasan 19 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran.....	62
Gambar 4.31 Penampang resistivitas lintasan 20 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran.....	63
Gambar 4.32 Peta ketebalan endapan nikel laterit daerah penelitian	65
Gambar 4.33 Grafik hubungan ketebalan endapan laterit antara hasil inversi 2D dan data pemboran	66
Gambar 4.33 Grafik hubungan ketebalan endapan laterit antara hasil inversi 2D dan hasil inversi 1D	67
Gambar 4.33 Model 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 1 – 4.....	68
Gambar 4.34 Penampang 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 9 – 10.....	69

Gambar 4.35 Model 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 13 – 16.....	70
Gambar 4.36 Penampang 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 19 – 20	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses utama dari pelapukan batuan ultramafik yang membentuk endapan nikel laterit (Butt dan Zeegers, 1992)	11
Tabel 2.2 Nilai resistivitas batuan yang berhubungan dengan endapan nikel laterit (Palacky, 1987; Reynolds, 1997; Telford dkk., 1990)	16
Tabel 2.3 Nilai resistivitas <i>lateritic soil</i> Pomalaa (Santoso, 2018)	22

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan bahan galian ekonomis yang dibutuhkan industri. Nikel banyak dimanfaatkan untuk industri berat, komponen kendaraan bermotor, peralatan laboratorium, hingga sebagai bahan campuran pembuatan baja tahan karat. Sumber bahan galian nikel dapat dijumpai dalam dua bentuk yaitu nikel primer dan nikel sekunder. Di Indonesia, nikel hanya ditemukan dalam bentuk nikel sekunder atau biasa disebut nikel laterit (Isjudarto, 2013). Pembentukan nikel laterit terjadi akibat proses oksidasi dan pelapukan batuan ultramafik yang meninggalkan konsentrat residual (Sukandarrumidi, 2016). Batuan ultramafik pembentuk nikel laterit khususnya di daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara didominasi oleh batuan peridotit yang telah mengalami serpentinisasi. Batuan peridotit tersebut didominasi oleh mineral olivin, klinopiroksen dan orthopiroksen (Kamaruddin dkk., 2018). Faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit antara lain: topografi yang landai ($<20^\circ$), struktur rekahan, curah hujan yang tinggi dan adanya sumber nikel dari batuan induk itu sendiri (Elias, 2002). Kebutuhan industri akan nikel dapat dilihat dari jumlah ekspor nikel Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2018), jumlah rata-rata ekspor nikel dari tahun 2002 hingga 2014 mencapai angka 17.103.785 ton/tahun. Hal itu menunjukkan eksplorasi nikel yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri terkait.

Salah satu tahapan dalam kegiatan eksplorasi nikel adalah penentuan volume cadangan. Semua keputusan teknis yang berhubungan dengan kegiatan penambangan tergantung pada jumlah volume cadangan endapan. Jumlah volume cadangan dapat ditentukan berdasarkan sebuah model cadangan yang diperoleh dari hasil eksplorasi, salah satunya adalah hasil eksplorasi metode geofisika (Notosiswoyo dkk., 2005). Metode geofisika yang terbukti berhasil untuk kegiatan eksplorasi nikel laterit yaitu metode geolistrik *sounding* (Peric, 1981). Metode ini merupakan metode satu dimensi yang bertujuan untuk mendapatkan variasi resistivitas berdasarkan perbedaan kedalaman. Metode ini paling tepat digunakan untuk mendeteksi kedalaman dan nilai resistivitas lapisan batuan dengan bentuk perlapisan mendatar (Lowrie, 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Peric (1981), ketebalan dan resistivitas endapan nikel laterit dapat diketahui berdasarkan interpretasi hasil pengolahan data geolistrik *sounding*. Interpretasi dan penentuan ketebalan endapan nikel laterit juga menggunakan data hasil pemboran dan data profil yang diperoleh melalui observasi geologi juga digunakan. Penggunaan data tambahan tersebut dimaksudkan agar data ketebalan yang diperoleh memiliki tingkat kepercayaan tinggi. Data ketebalan yang diperoleh kemudian digunakan untuk membuat model endapan nikel laterit sehingga volume endapan dapat ditentukan (Jarwinda dkk., 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana profil endapan nikel laterit di daerah penelitian berdasarkan data bor?
2. Bagaimana model 2D endapan nikel laterit daerah penelitian berdasarkan data resistivitas dikorelasikan dengan data bor dan model 1D data resistivitas?
3. Bagaimana model 3D endapan nikel laterit berdasarkan data resistivitas?
4. Berapa volume endapan nikel laterit di daerah penelitian?

1.3 Batasan Masalah

Batasan pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data resistivitas dan data bor yang digunakan merupakan data sekunder hasil akuisisi Unit Geomin PT. Antam.
2. Inversi yang digunakan dalam pemodelan 1D merupakan inversi *Non-linear Optimization Method*.
3. Inversi yang digunakan dalam pemodelan 2D merupakan inversi *Smoothness Constraint Least Square*.
4. Pemodelan 3D dan perhitungan volume endapan nikel laterit dibuat berdasarkan model 2D resistivitas.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Memperoleh profil endapan nikel laterit di daerah penelitian berdasarkan data bor.
2. Memperoleh model 2D endapan nikel laterit daerah penelitian berdasarkan data resistivitas dikorelasikan dengan data bor dan model 1D data resistivitas.
3. Memperoleh model 3D endapan nikel laterit berdasarkan data resistivitas.
4. Memperoleh volume endapan nikel laterit di daerah penelitian.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi akademisi, hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan rujukan penelitian lebih lanjut mengenai eksplorasi mineral nikel.
2. Bagi mahasiswa, memperkuat kemampuan berpikir dan memecahkan masalah dalam bidang eksplorasi mineral nikel dengan metode geofisika.
3. Bagi PT. ANTAM, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan kegiatan eksplorasi lanjutan nikel laterit.

1.6 Target Luaran

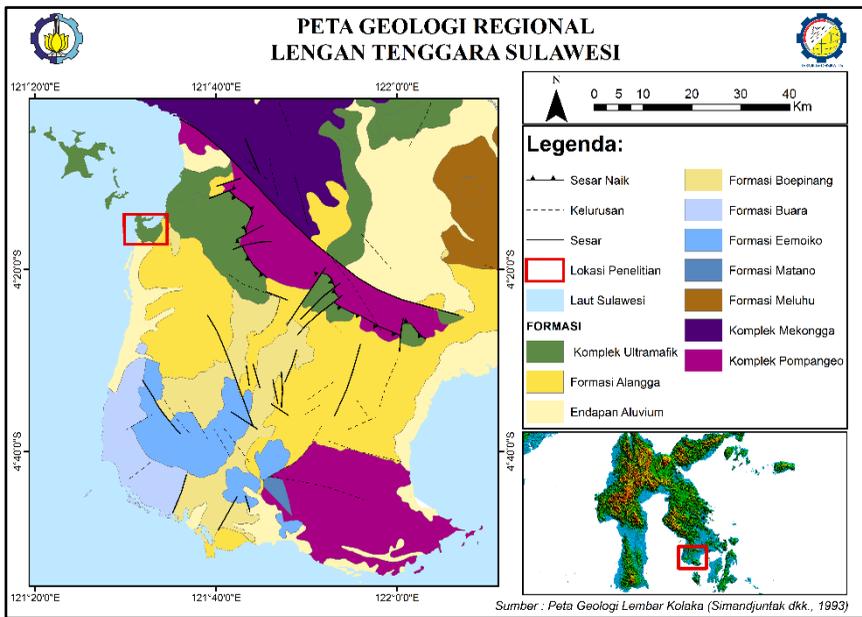
Target luaran yang dihasilkan dari penelitian ini ialah publikasi berupa jurnal atau prosiding terindeks berskala nasional.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Sulawesi Tenggara

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau besar yang terletak di tengah kepulauan Indonesia dengan luas wilayah 174.600 km². Pulau ini dihasilkan dari proses tumbukan empat lempeng yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina. Tumbukan keempat lempeng tersebut menghasilkan tatanan geologi kompleks yang mana stratigafinya sangat rumit akibat tercampurnya berbagai jenis batuan. Akibat proses tumbukan itu pula, Pulau Sulawesi memiliki banyak struktur sesar aktif seperti Sesar Palu-Koro, Sesar Poso, Sesar Matano, Sesar Lawanopo, Sesar Walanae, Sesar Gorontalo, Sesar Batui, Sesar Tolo, dan Sesar Makassar (Sompotan, 2012).



Gambar 2.1 Geologi regional lengan tenggara Sulawesi yang menunjukkan daerah penelitian terletak pada tubuh batuan ultramafik yang tidak beraturan dan terisolir (Simandjuntak dkk., 1993, dengan modifikasi)

Daerah Sulawesi Tenggara yang ditunjukkan pada gambar 2.1 secara geologi biasa disebut dengan *the southeast Sulawesi continental terrain* (SSCT).

SSCT memiliki batuan dasar metamorf tingkat rendah dengan sedikit campuran *aplitic, clastic carbonate* dan *limestone*. Batuan metamorf tingkat rendah tersebut membentuk komponen utama lengan tenggara Sulawesi. Batuan tingkat rendah tersebut disebabkan oleh patahan skala besar ketika *continental terrain* Sulawesi Tenggara bertabrakan dengan sabuk ofiolit. Batuan metamorf ini diterobos oleh *aplite* dan ditindih oleh lava kuarsa-laterit terutama di sepanjang pantai barat Teluk Bone. SSCT di arah timur laut dibatasi oleh Sesar Lawanopo dan Sesar Kolaka di arah barat daya. SSCT dipisahkan dari dataran Buton oleh sesar mendatar (Sompotan, 2012).

2.1.1 Sejarah Geologi

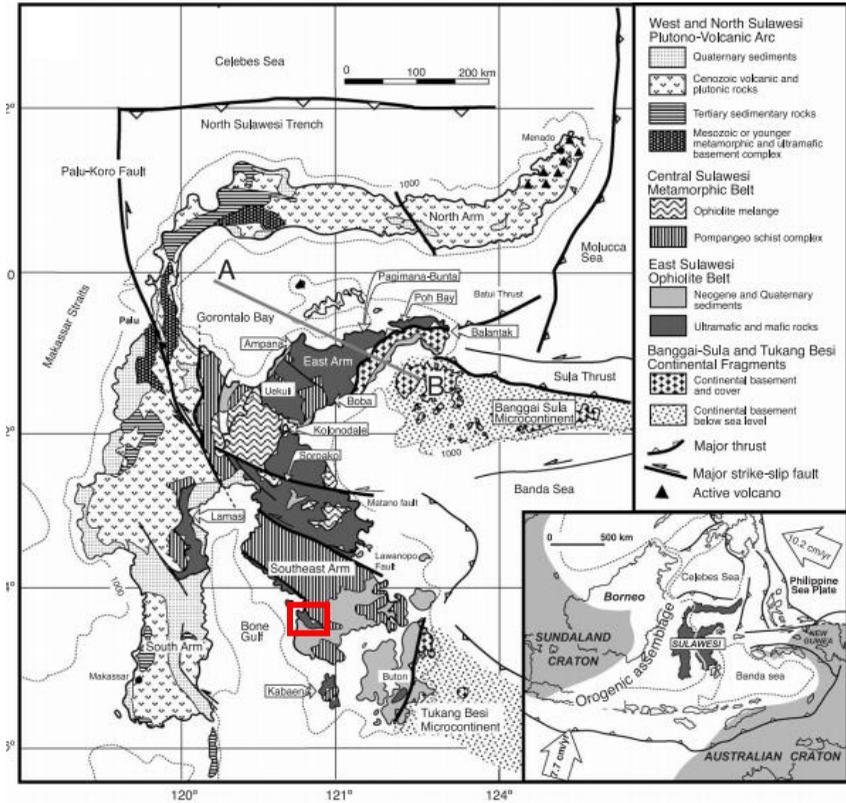
Evolusi tektonik Pulau Sulawesi secara umum dipengaruhi oleh dua peristiwa penting yang terjadi di Sulawesi bagian barat pada masa Kenozoikum. Pertama, terjadinya *rifting* lantai samudra di Selat Makassar pada Paleogen. Kedua, peristiwa kompresi yang dipengaruhi tumbukan kontinen di arah barat dan ofiolit serta fragmen busur kepulauan di arah timur (Sompotan, 2012). Terdapat tiga periode tektonik yang terjadi di lengan tenggara Sulawesi yang dijabarkan sebagai berikut (Surono, 2013):

1. Periode pra tumbukan, periode ini dijumpai dalam runtutan stratigrafi dan sedimentologi Trias – Oligosen Awal. Terdapat 4 tahapan tektonik utama yaitu; tahapan pra pemisahan Perem – Trias, tahapan pemisahan Jura, rentangan apungan Jura Akhir – Oligosen dan subduksi Kapur Akhir.
2. Periode tumbukan, pada periode ini terjadi tumbukan antara kepingan benua dan ofiolit yang menyebabkan terbentuknya sesar naik, struktur imbrikasi dan lipatan.
3. Periode pasca tumbukan, periode ini menghasilkan struktur utama berupa sesar geser mengiris yaitu Sesar Metarombeo, Sesar Lawanopo, Sesar Konawehea yang mengiris batuan sepanjang Sungai Konawehea dan memanjang sepanjang 50 km. Sesar Kolaka memanjang sekitar 250 km dari pantai barat Teluk Bone sampai Ujung Selatan lengan tenggara Sulawesi.

2.1.2 Fisiografi Regional

Pembagian fisiografi wilayah Sulawesi yang dilakukan oleh Sukanto (1978), Metcalfe (1988), Davidson (1991), Surono (1996) dan Darman dan Sidi (2000) dalam Surono (2013) membagi Pulau Sulawesi dibagi menjadi 4 lajur geologi yaitu Lajur Vulkanik Sulawesi Barat, Lajur Malihan Sulawesi Tengah, Lajur Ofiolit Sulawesi Timur dan Kepingan Benua. Daerah Pomalaa menurut pembagian diatas termasuk ke dalam Kompleks Ofiolit yang ada di lengan tenggara Sulawesi dan merupakan bagian dari Ofiolit Sulawesi Timur. Lajur ini memiliki penyebaran yang luas dari ujung lengan timur hingga ujung bawah

lengan tenggara. Batuan yang dominan di lajur ini merupakan batuan ultramafik berupa peridotit (serpentin), subordinat gabro, diabas atau norit (Kamaruddin dkk., 2018). Menurut Kadarusman dkk (2004) lajur Ofolit ini berasal dari lempeng samudra yang kemudian terkena proses magmatisme *mid-ocenic ridge* sekitar 80-120 juta tahun lalu.



Gambar 2.2 Peta fisiografi Regional Pulau Sulawesi, yang mana daerah penelitian (kotak merah) termasuk kedalam Lajur Ofolit (Kadarusman dkk., 2004)

2.1.3 Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional lengan Sulawesi Tenggara tidak bisa dilepaskan dari sejarah pembentukan lengan itu sendiri, yang mana kepingan benua *the southeast Sulawesi continental terrain* bertabakan dengan Mintakat Matarombeo kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi. Proses geologi tersebut

menghasilkan 3 bagian besar stratigrafi regional Sulawesi Tenggara yaitu Kepingan Benua, Kompleks Ofiolit dan Molasa Sulawesi.

2.1.3.1 Kepingan Benua

Kepingan benua Sulawesi Tenggara disusun oleh dua kepingan, yakni Mintakat Benua Sulawesi Tenggara dan Mitakat Benua Matarombeo. Batuan dasar dari kepingan benua Mintakat Sulawesi Tenggara merupakan kompleks batuan malihan yang diterobos batuan granitan di beberapa tempat. Kompleks batuan malihan tersebut terdiri atas sekis kuarsa, sabak, marmer dan diterobos oleh aplit dan diabas. Kedua satuan batuan itu menjadi batuan alas sedimen Mesozoikum berupa sedimen klastik dan batuan karbonat yang terendapkan kemudian. Batuan sedimen Mesozoikum diwakili oleh Formasi Meluhu berumur Trias Akhir yang dapat dibagi menjadi (dari bawah ke atas):

1. Anggota Tonoripa, didominasi batupasir dengan sisipan batupasir konglomeratan, batulumpur dan serpih;
2. Anggota Watataluboto didominasi oleh batu lumpur dan batulanau;
3. Anggota Tuetue terdiri atas batu lumpur, batulanau, napal serta batugamping di bagian atas.

Formasi Meluhu kemudian ditindih tak selaras oleh satuan karbonat Formasi Tampakura berumur Eosen – Oligosen. Satuan batuan yang menjadi dasar Mintakat Benua Matarombeo berupa batuan klastik Mesozoikum Formasi Tinala dan Formasi Masiku yang kemudian ditindih batuan karbonat Formasi Tetambahu.

2.1.3.2 Kompleks Ofiolit

Batuan pada bagian ini didominasi batuan ultramafik, mafik dan sedimen pelagik. Batuan ultramafiknya terdiri atas harzburgit, dunit, werlit, lerzokit, websterit, serpentinit, dan proksinit. Sedangkan batuan mafik terdiri atas gabro, basalt, amfibolit, dan mikrogabro. Sedimen pelagiknya tersusun oleh batugamping laut dalam dan rijang radiolaria.

2.1.3.3 Molasa Sulawesi

Molasa Sulawesi terdiri atas batuan sedimen klastik dan karbonat. Sedimen klastik terdiri atas konglomerat, batupasir, dan batulanau dalam Formasi Langkowala, batulempung napal pasiran dalam Formasi Boepinang, dan batupasir setempat yang berasosiasi dengan terumbu koral dalam Formasi Eemoiko. Terdapat pula batuan Kuartar yang terhimpun dalam Formasi Buara dan Formasi Alangga, menindih tak selaras Molasa Sulawesi. Formasi Buara terdiri atas batugamping terumbu koral, sementara Formasi Alangga didominasi oleh konglomerat dan batupasir berumur Neogen (Suroño, 2013).

2.2 Geologi Lokal Pomalaa

Daerah Pomalaa secara geologi terletak di atas batuan ultramafik Ofiolit Sulawesi Timur dengan dominasi batuan peridotit (serpentin) (Kamaruddin dkk., 2018). Ofiolit Sulawesi Timur sendiri merupakan hasil peristiwa geologi kompleks dan khas berumur 120-5 juta tahun lalu. Kompleks Ofiolit Sulawesi Timur diduga berasal dari pecahan lempeng samudra pasifik yang terpecah akibat adanya *mid-oceanic ridge* (MOR). Kompleks Ofiolit tersebut kemudian terdorong kearah barat mendekati ke batas Sundaland akibat adanya dorongan dari lempeng Indo-Australia. Fase selanjutnya ialah terjadinya subduksi antara Kompleks Ofiolit dengan kepingan benua Banggai-Sula pada 10 juta tahun lalu. Sejak saat itu Kompleks Ofiolit berada di posisi tersebut hingga saat ini dan mengalami sedikit perubahan akibat terbentuknya Selat Makassar (Kadarusman dkk., 2004).

2.2.1 Geomorfologi

Surono (2013) membagi morfologi lengan tenggara Sulawesi dalam lima satuan morfologi yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi *karst*. Wilayah Pomalaa termasuk dalam fisiografi satuan pegunungan Mendoke. Ciri-ciri satuan morfologi ini yaitu topografi kasar dengan kemiringan lereng tinggi serta berpola hampir sejajar barat laut – tenggara. Batuan pembentuk morfologi ini yaitu batuan malihan dan batuan ofiolit.

Secara lebih spesifik, lokasi penelitian mayoritas memiliki morfologi perbukitan bergelombang tinggi dengan kelerengan mencapai 70°, pada morfologi ini lateritisasi tidak dapat berkembang dengan baik dan dapat dijumpai singkapan batuan dasar di permukaan (Kamaruddin dkk., 2018).

2.2.2 Struktur Geologi

Secara umum, struktur geologi di daerah penelitian sangat sulit ditemukan. Proses lateritisasi yang terjadi menyebabkan bagian permukaan tertutupi oleh tanah (*soil*) dan vegetasi sehingga singkapan batuan dasar di permukaan sulit ditemukan. Struktur geologi yang dominan dijumpai adalah struktur kekar dan breksiasi. Kekar-kekar yang dijumpai dominan merupakan kekar yang saling berpasangan dan telah terisi mineral seperti kuarsa, krisopras maupun garnierit dan ada pula yang tidak (Nukdin, 2012).

2.3 Nikel Laterit

Nikel termasuk kedalam bahan galian golongan A yang merupakan bawan galian strategis. Bahan galian strategis sendiri berarti merupakan bahan galian yang penting untuk pertahanan, keamanan dan perekonomian negara (Pemerintah Republik Indonesia, 1980). Penggolongan tersebut salah satunya didasarkan pada kegunaan nikel bagi industri. Nikel banyak digunakan untuk

membuat campuran logam yang biasa dimanfaatkan untuk peralatan elektronika, pelapis logam, bahan baja tahan karat dan campuran keramik (Sukandarrumidi, 2016). Di alam terdapat dua jenis nikel yaitu nikel primer dan nikel sekunder. Di Indonesia hanya dijumpai bentuk nikel sekunder atau nikel laterit, yang dimaksud nikel laterit adalah residu hasil pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses lateritisasi berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi sampai menghasilkan berupa residu nikel yang dipengaruhi oleh faktor laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan vegetasi serta waktu (Sukaesih, 2015).

Berdasarkan mineraloginya, endapan nikel laterit dapat dibagi menjadi 3 jenis yang dijabarkan sebagai berikut (Ridley, 2013):

1. *Hydrous Mg silicate ores:*

Tipe endapan ini memiliki ciri-ciri unsur nikelnya terdapat dalam *serpentine* dan *garnierite*. Unsur nikel terbanyak berada di bagian bawah regolith lebih tepatnya di lapisan saprolit bagian bawah.

2. *Clay silicate ores:*

Unsur nikel pada tipe endapan ini terdapat pada mineral lempung berupa *smectite* dan *nontronite*. Unsur nikel terbanyak terdapat pada lapisan saprolit bagian atas. Tipe endapan ini berasal dari batuan ultramafik klinopiroksen yang mana memiliki konsentrasi unsur Ca, Na, dan Al.

3. *Oxide ores:*

Unsur Ni ditemukan bersamaan dengan mineral besi hidroksida (*goethite*). Ciri-ciri tipe endapan ini diantaranya terdapat pula mineral mangan oksida serta konsentrasi unsur Ni-Co yang tinggi. Keterdapatannya unsur Ni berada pada posisi yang dangkal dari permukaan.

Endapan nikel laterit Pomalaa dapat diklasifikasikan menjadi tipe endapan *hydrous Mg silicate* karena adanya mineral garnierit hasil serpentinisasi batuan harzburgit (Kamaruddin dkk., 2018).

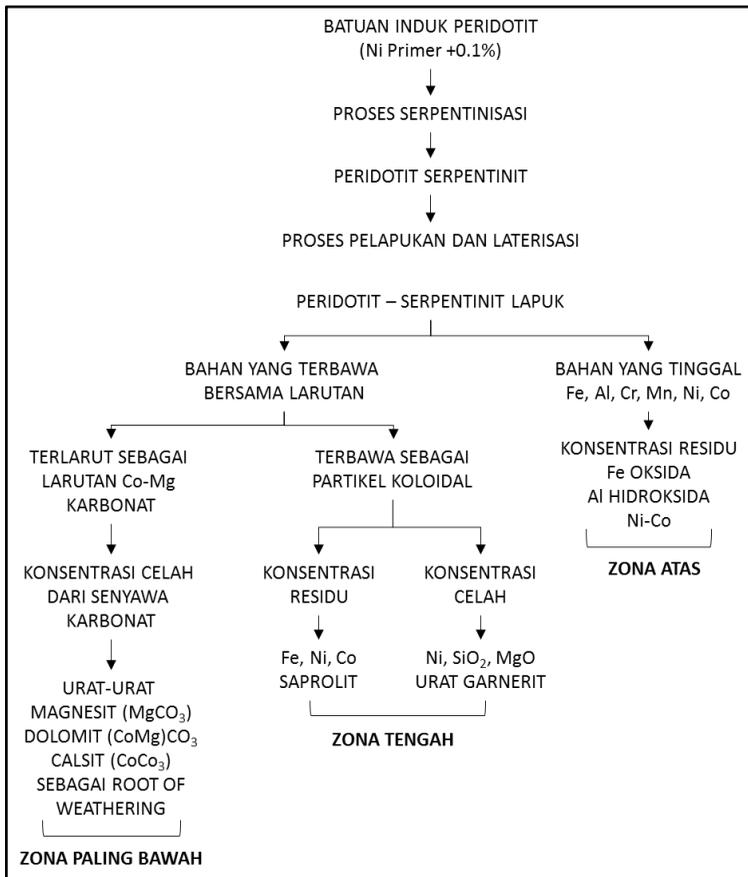
2.3.1 Genesa Nikel Laterit

Nikel laterit adalah material dari regolit (lapisan hasil pelapukan batuan yang menyelimuti batuan dasar). Material Regolit berasal dari batuan ultrabasa, didalamnya terkandung unsur Ni dan Co. Nikel laterit terbentuk pada daerah yang terletak di zona perubahan muka air tanah. Endapan laterit daerah Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan ultramafik peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur Ni, Co, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara, meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksin. Air tanah meresap secara perlahan dari atas ke bawah sampai batas antara zona limonit dan zona saprolit kemudian mengalir secara lateral dan selanjutnya didominasi oleh transportasi larutan secara horizontal (Santoso, 2018).

Unsur-unsur yang terbawa bersama larutan seperti magnesium dan silika akan mengalami pengendapan yang memungkinkan terbentuknya mineral baru. Larutan yang mengandung nikel hasil dari pengendapan unsur-unsur yang mudah larut akan masuk ke zona saprolit. Pada zona ini batuan ultramafik akan berakumulasi dengan unsur-unsur yang mengandung nikel dan akan mengendap kembali pada rekahan melalui transportasi air tanah yang memasuki rekahan-rekahan tersebut sehingga zona saprolit ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel. Unsur-unsur yang tertinggal di zona limonit seperti Fe, Mg, Co dan Ni akan mengalami pelapukan lebih lambat yang disebabkan oleh kurangnya konsentrasi air tanah pada zona ini sehingga kandungan nikel pada zona limonit akan lebih sedikit dibandingkan kandungan nikel pada zona saprolit (Santoso, 2018). Secara lebih sederhana, proses pembentukan nikel laterit disajikan dalam tabel 2.1 dan gambar 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Proses utama dari pelapukan batuan ultramafik yang membentuk endapan nikel laterit (Butt dan Zeegers, 1992)

Proses	Efek Pada Batuan Ultramafik
a. Pelindian pada senyawa yang mudah bergerak seperti alkali dan alkali tanah	Penguraian mineral olivine, piroksen, serpentin dan pelindian unsur Mg, Ni, Mn, dan Co
b. Terbentuk unsur sekunder yang bersifat stabil seperti Fe, oksida aluminium dan lempung	Pembentukan <i>goethite</i> , <i>smectite</i> dan adsorpsi unsur Ni dari larutan
c. Pelindian sebagian pada mineral yang tidak mudah bergerak seperti silika, alumina dan Ti	Pelindian pada senyawa silika pada iklim hutan hujan dan savana
d. Mobilisasi dan <i>partial reprecipitation</i> pada unsur Fe dan Mn	Presipitasi unsur oksida Mn dan adsorpsi unsur Ni dan Co dari larutan
e. Terbentuknya konsentrat residual dari mineral yang tersisa yaitu zircon, krom, dan kuarsa	Tersisa konsentrasi residual krom



Gambar 2.3 Skema pembentukan endapan nikel laterit (Djadjulit, 1992 dalam Sutisna dkk., 2006)

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan nikel laterit menurut Elias (2002) yaitu:

a. Iklim:

Curah hujan menentukan jumlah air yang meresap kedalam tanah, yang mana mempengaruhi intensitas pelindian endapan. Selain curah hujan, temperatur rata-rata tanah mampu meningkatkan proses pelapukan.

b. Topografi:

Geometri dan topografi berpengaruh kepada jumlah air yang meresap kedalam tanah serta tinggi muka air tanah. Topografi berperan

pada proses mekanik dan kimiawi pelapukan nikel laterit. Pada topografi dengan kemiringan lereng terjadi didominasi proses mekanik sedangkan pada lereng landai didominasi proses kimiawi yang menghasilkan pertukaran unsur. Topografi yang ideal sebagai zona pengayaan nikel laterit adalah daerah bergelombang dengan kemiringan lereng 15° sampai 30° (Sutisna dkk., 2006).

c. Drainase:

Drainase mempengaruhi jumlah keseluruhan air untuk melakukan proses pelindian.

d. Tektonik:

Kejadian tektonik meningkatkan erosi, menyebabkan kenaikan topografi dan penurunan muka air tanah. Semakin stabil tektoniknya maka memungkinkan melambatnya pergerakan air tanah.

e. Batuan induk:

Mineral yang terkandung dalam batuan induk menentukan proses pelapukan dan mineral baru yang terbentuk.

f. Struktur:

Patahan dan rekahan dalam batuan meningkatkan permeabilitas dan potensi alterasi.

2.3.2 Lateritisasi Nikel Pomalaa

Menurut Kamaruddin dkk. (2018) dan Francke (2000) lapisan nikel laterit di daerah Pomalaa terbagi menjadi beberapa zona sebagai berikut:

a. Tanah Penutup (*Top Soil*)

Lapisan tanah yang paling atas dengan ketebalan 1 m sampai 2 m. Lapisan ini disusun oleh material lepas berwarna coklat dengan ukuran pasir-lempung dengan kandungan organik yang tinggi. Kandungan oksida besi juga dijumpai pada lapisan ini.

b. Zona Limonit

Zona ini merupakan zona yang disusun oleh oksida besi terhidrasi dengan ciri-ciri bersifat lunak, dan porositasnya tinggi. Zona ini memiliki kadar nikel pada kisaran 0.6% - 1.5% dengan ketebalan 3 m sampai 7 m, kadar Co kisaran 0.06-0.18%, kadar Fe kisaran 10-25% dan MgO kisaran 10-35%. Kadar air pada lapisan ini relatif sedang.

c. Zona Transisi

Zona ini memiliki batas atas yaitu zona limonit dan batas bawah yaitu zona saprolit. Didominasi oleh limonit yang mengandung mineral smektit, hematit, dan silika. Zona ini memiliki ketebalan 1 m sampai 2 m dengan kandungan nikel sebesar 1,5% - 2%.

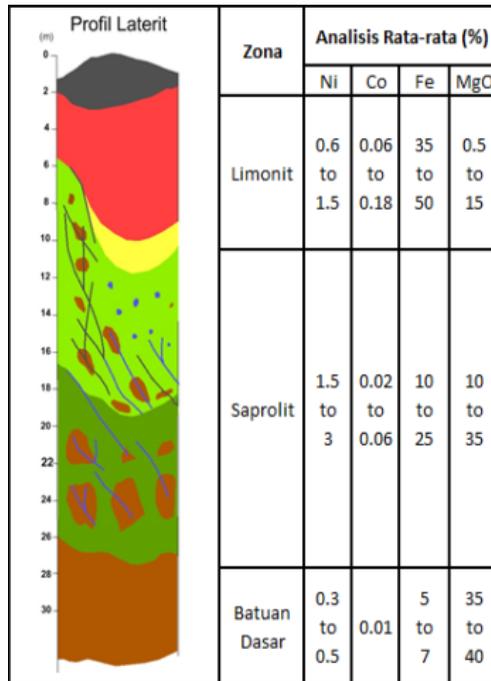
d. Zona Saprolit

Merupakan zona kaya saprolit akibat pengaruh air tanah. Didominasi oleh mineral serpentin, kuarsa sekunder dan garnierit. Pada zona ini mineral magnesium akan digantikan oleh nikel sehingga kadar nikel dalam batuan

serpentin akan bertambah. Ciri lain zona ini ialah kandungan air tanah pada zona ini relatif tinggi dengan porositas yang rendah. Kadar nikel di zona ini kisaran 1.5-3%, Co kisaran 0.02-0.06%, Fe kisaran 10-25% dan MgO kisaran 10-35%.

e. *Zona Bedrock*

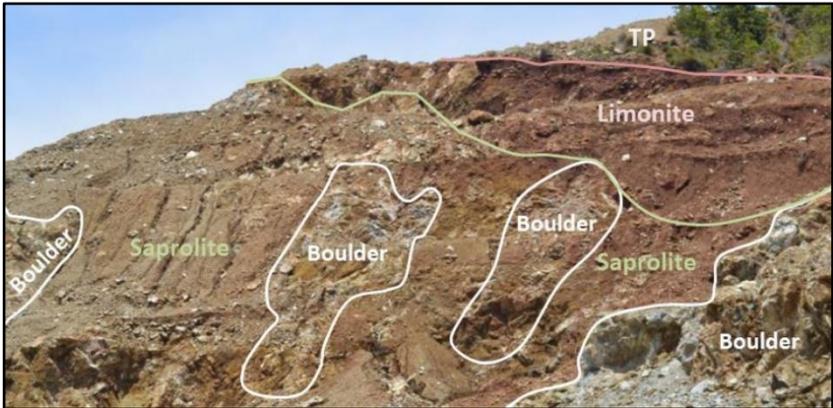
Zona ini dicirikan dengan tekstur yang kasar, berwarna abu-abu, dan disusun oleh olivin piroksen dan serpentin. Bagian atas terdapat *boulder* peridotit yang telah mengalami pelapukan pada bagian tepi. Rekahan-rekahan berbentuk tidak teratur dan sebagian terisi berupa urat oleh silika dan garnierit. Dari inti bor diketahui kedalaman batuan dasar dari permukaan berkisar 30 m. Kandungan air pada zona ini relatif lebih rendah dari pada zona saprolit. Kadar nikel di zona ini kisaran 0.3-0.5%, Co kisaran 0.01%, Fe kisaran 5-7% dan MgO kisaran 35-40%.



Gambar 2.3 Profil endapan nikel laterit Pomalaa yang terbagi menjadi beberapa zona dengan kadar nikel tertinggi berada di zona saprolit (Kamaruddin *dkk.*, 2018)

2.3.2.1 Profil Laterit Blok Selatan Pomalaa

Profil laterit yang terdapat pada blok selatan terdiri dari zona tanah penutup, zona limonit, zona saprolit dan zona batuan dasar. Penciri utama blok selatan yaitu terdapat kelompahan *boulder* batuan ultramafik serpentinit dan harzburgit dengan ukuran lebih dari 2 meter pada zona saprolit (Kamaruddin dkk., 2018)



Gambar 2.4 Profil nikel laterit Blok Selatan Pomalaa (Kamaruddin dkk., 2018)

2.4 Metode Geolistrik Resistivitas

Salah satu Metode Geofisika yang dapat mendeteksi endapan nikel laterit, yaitu metode geolistrik tahanan jenis. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis. Prinsip yang digunakan ialah dengan menginjeksikan arus dengan elektroda yang ditancapkan di permukaan bumi, kemudian beda potensial yang muncul dilakukan analisis (Telford dkk., 1990).

2.4.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Setiap batuan memiliki sifat fisis yang berbeda-beda salah satunya ialah resistivitas. Nilai resistivitas menunjukkan kemampuan batuan dalam menghambat arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas batuan atau material maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik begitu pula sebaliknya. Secara umum kemampuan batuan dan mineral untuk menghambat arus listrik dibagi menjadi 3 yaitu *good conductor*, *intermediate conductor*, dan *poor conductor*. *Good conductor* ialah mineral dan batuan yang memiliki nilai resistivitas $10^{-8} - 1$ ohm.m, *intermediate conductor* memiliki nilai resistivitas $1 - 10^7$ ohm.m dan *poor conductor* ialah batuan dan mineral dengan nilai resistivitas $>10^7$ ohm.m (Lowrie, 2007). Berikut ini disajikan beberapa nilai

resistivitas batuan yang berhubungan dengan pembentukan endapan nikel laterit dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai resistivitas batuan yang berhubungan dengan endapan nikel laterit (Palacky, 1987; Reynolds, 1997; Telford dkk., 1990)

<i>Rock Type</i>	<i>Resistivity (ohm.m)</i>
<i>Peridotite</i>	$3 \times 10^3 - 6.5 \times 10^3$
<i>Serpentinite</i>	$2 \times 10^2 - 3 \times 10^3$
<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Basalt</i>	$10 - 1.3 \times 10^7$
<i>Saprolite</i>	1 - 500
<i>Lateritic Soil</i>	120 - 750

Dapat diperhatikan pada tabel 2.2 batuan-batuan tersebut merupakan *intermediate conductor* bila dilihat dari nilai resistivitasnya serta adanya tumpang tindih satu nilai resistivitas batuan dengan yang lainnya, maka pada dasarnya penentuan jenis suatu batuan atau mineral tidak mungkin hanya menggunakan data resistivitas semata melainkan harus dikombinasikan dengan metode lainnya (Kearey dkk., 2002).

2.4.2 Prinsip Kerja Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas pada dasarnya mengukur beda potensial antara dua elektroda potensial, yang mana respon beda potensial tersebut merepresentasikan kondisi bawah permukaan bumi. Teori dasar yang digunakan pada metode resistivitas adalah Hukum Ohm yang menyatakan, arus yang mengalir (I) pada suatu medium adalah sebanding dengan beda potensial (V) yang terukur dan berbanding terbalik dengan resistansi (R) medium dan dapat dirumuskan:

$$V = I R \tag{2.1}$$

Pengembangan kembali dilakukan pada persamaan (2.1) sehingga didapatkan bentuk lainnya:

$$E = \rho J \tag{2.2}$$

Yang mana E adalah medan listrik, ρ adalah resistivitas dan J adalah rapat arus. Persamaan (2.2) adalah persamaan yang akan menjadi dasar dalam metode resistivitas.

2.4.2.1 Potensial Listrik oleh Sumber Arus Tunggal di Permukaan

Arus I diinjeksikan kedalam permukaan bumi oleh sebuah elektroda arus tunggal, maka rapat arusnya (J) sebanding dengan arus (I) dibagi dengan luas permukaan, yang mana bumi dianggap sebagai lapisan homogen isotropis dengan luas setengah bola ($2\pi r^2$). Medan listrik pada jarak r dari elektroda dapat dicari berdasarkan Hukum Ohm menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$E = \rho J = \rho \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.3)$$

Dengan

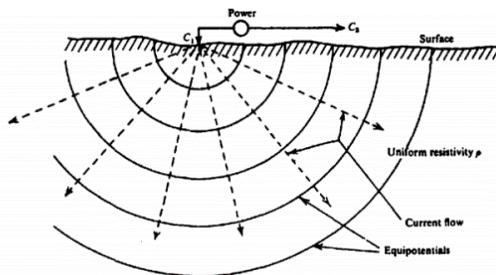
$$E = -\frac{dU}{dr} \quad (2.4)$$

Maka didapatkan potensial listrik (U) pada jarak r dari elektroda arus:

$$\frac{dU}{dr} = \rho \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2.5)$$

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (2.6)$$

Arah aliran arus listrik di bawah permukaan memiliki sifat tertentu yang dijadikan dasar untuk menentukan beda potensial dari dua elektroda ganda dengan jarak tertentu di permukaan. Sifat tersebut adalah pada elektroda sumber (*source electrode*), arus listrik memiliki arah keluar menjauhi elektroda namun pada elektroda penerima (*sink electrode*) arus listrik memiliki arah masuk mendekati elektroda. Selain arah alirannya, terdapat pula perbedaan lainnya yaitu; potensial (U) dan arus listrik (I) bernilai positif pada elektroda sumber, sedangkan potensial (U) dan arus listrik (I) bernilai negatif pada elektroda penerima.



Gambar 2.4 Potensial listrik oleh sumber arus tunggal (Telford dkk., 1990)

2.4.2.2 Potensial Listrik oleh Sumber Arus Ganda

Konsep potensial listrik oleh arus tunggal dapat digunakan untuk menganalisis arus listrik pada susunan elektroda yang lebih kompleks. Apabila disusun empat buah elektroda yang terdiri dari sepasang elektroda arus dan sepasang elektroda potensial seperti gambar 2.5 maka potensial pada elektroda C dan D dinyatakan dengan (Lowrie, 2007):

$$U_c = \frac{\rho I}{2\pi r} \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) \quad (2.7)$$

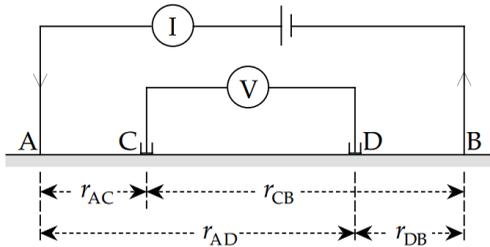
$$U_D = \frac{\rho I}{2\pi r} \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) \quad (2.8)$$

Maka beda potensial yang terukur adalah:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\} \quad (2.9)$$

Parameter resistivitas bawah permukaan berdasarkan persamaan 2.7 dapat dinyatakan dengan:

$$\rho = 2\pi \frac{V}{I} \left\{ \left(\frac{1}{r_{AC}} - \frac{1}{r_{CB}} \right) - \left(\frac{1}{r_{AD}} - \frac{1}{r_{DB}} \right) \right\} \quad (2.10)$$



Gambar 2.5 Susunan elektroda dalam metode resistivitas, terdiri dari sepasang elektroda arus (A,B) dan sepasang elektroda potensial (C,D) (Lowrie, 2007)

2.4.2.3 Resistivitas Semu

Nilai resistivitas yang didapatkan saat pengukuran adalah resistivitas semu. Hal itu dikarenakan bumi bukanlah lapisan homogen melainkan terdiri atas lapisan-lapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda sehingga potensial yang

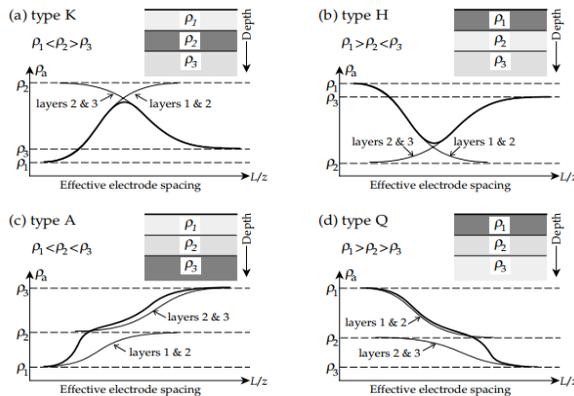
terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Nilai resistivitas semu didapatkan melalui persamaan:

$$\rho_a = k \frac{\nabla V}{I} \quad (2.11)$$

Dengan ρ_a adalah resistivitas semu yang bergantung pada spasi elektroda ∇V (beda potensial) dan I (arus). Nilai resistivitas semu yang terbaca di permukaan tergantung pada faktor geometri elektroda (K) (Reynold, 1997; Telford, 1990).

2.4.3 Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Metode ini merupakan metode *sounding* (1 dimensi) yang bertujuan untuk mendapatkan variasi resistivitas berdasarkan perbedaan kedalaman. Metode ini paling tepat digunakan untuk mendeteksi kedalaman dan nilai resistivitas lapisan batuan dengan bentuk perlapisan mendatar (Lowrie, 2007). Pada survey VES elektroda potensial memiliki posisi tetap sedangkan elektroda arus digerakkan simetris (*expanded*) menjauhi titik tengah pengukuran sehingga menghasilkan datum pengukuran yang bergeser secara vertikal kebawah. Semakin besar nilai L (panjang bentangan) maka nilai arus yang diinjeksikan (I) juga harus semakin besar agar potensial dapat tetap terbaca (Kearey dkk., 2002).



Gambar 2.6 Empat buah tipe kurva *apparent resistivity* hasil pengukuran VES yang umum didapatkan dalam pengukuran struktur perlapisan batuan yang terdiri dari tiga lapisan (Lowrie, 2007)

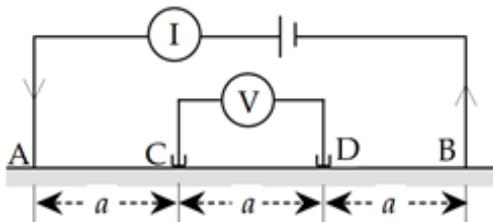
Sama halnya dengan metode geolistrik lainnya, parameter yang didapatkan yaitu nilai *apparent resistivity*. Langkah pertama yang dilakukan untuk menganalisis penampang bawah permukaan ialah mengklasifikasikan bentuk profil kurva VES berdasarkan nilai *apparent resistivity*. Contoh yang paling

sederhana ialah kurva profil bawah permukaan yang terdiri dari tiga buah lapisan. Terdapat empat buah kemungkinan bentuk kurva, yaitu kurva tipe K (a), tipe H (b), tipe A (c), dan tipe Q (d) yang ditunjukkan dalam gambar 2.6 diatas (Lowrie, 2007).

Grafik tipe K memiliki kecenderungan bentuk memuncak lalu menurun kembali, hal itu menunjukkan lapisan tengah memiliki nilai resistivitas lebih tinggi daripada lapisan paling atas dan paling bawah. Grafik tipe H memiliki bentuk seperti cekungan atau lembah, hal itu menunjukkan lapisan tengah memiliki nilai resistivitas paling rendah dibandingkan lapisan paling bawah dan paling atas. Grafik tipe A menunjukkan kenaikan nilai resistivitas secara gradasi seiring dengan pertambahan spasi elektroda, hal ini menunjukkan nilai resistivitas dari lapisan pertama ke lapisan terakhir semakin meningkat. Grafik tipe Q merupakan kebalikan dari grafik tipe A yang menunjukkan nilai resistivitas lapisan pertama ke lapisan terakhir semakin menurun. Langkah berikutnya ialah melakukan karakterisasi ketebalan dan nilai resistivitas tiap lapisan pada tiap-tiap kurva VES hingga diperoleh kurva VES teoritis. Langkah terakhir ialah melaukan inversi *curve matching* untuk mencocokkan kurva hasil observasi (*observed curve*) dengan kurva teoritis (*theoretical curve*) (Lowrie, 2007).

2.4.4 Konfigurasi Wenner

Konfigurasi Wenner memiliki ciri khas yaitu elektroda potensial (CD) dan elektroda arus (AB) memiliki titik tengah yang sama serta jarak antar elektroda yang bersebelahan adalah sama, maka $r_{AC}=r_{DB}=a$ dan $r_{CB}=r_{AD}=2a$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema susunan elektroda konfigurasi Wenner (Lowrie, 2007)

Konstanta geometri (K) dan *apparent resistivity* (ρ_a) konfigurasi Wenner dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

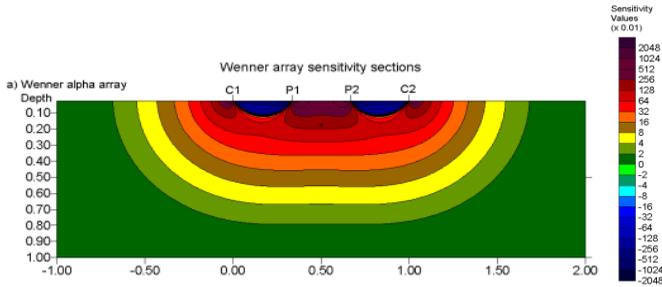
$$K = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB} \right]^{-1} \quad (2.12)$$

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right]^{-1} \quad (2.13)$$

$$K = 2\pi a \quad (2.14)$$

$$\rho a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.15)$$

Dengan a adalah spasi elektroda, I merupakan arus listrik yang diinjeksikan, dan ΔV adalah selisih beda potensial primer dan beda potensial sekunder.



Gambar 2.8 Model penampang sensitivitas bawah permukaan konfigurasi Wenner (Loke, 2015)

Berdasarkan kenampakan penampang sensitivitas yang disajikan dalam gambar 2.8, didapati konfigurasi Wenner memiliki kontur sensitivitas yang horizontal. Sensitivitas sendiri merupakan sebuah fungsi yang menyatakan besar perubahan resistivitas di kedalaman tertentu akan mempengaruhi pembacaan beda potensial di permukaan. Kontur horizontal yang terbentuk pada model sensitivitas konfigurasi Wenner menandakan konfigurasi ini memiliki sensitivitas yang baik untuk mendeteksi perubahan resistivitas secara vertikal, dengan kata lain konfigurasi Wenner sangat baik untuk memetakan lapisan berlapis vertikal. (Loke, 2015; Reynolds, 1997)

2.5 Sifat Kelistrikan Nikel Laterit

Batuan utama sumber nikel laterit di daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara adalah batuan peridotit. Peridotit menurut (Telford dkk., 1990) memiliki nilai resistivitas 3000 ohm.m hingga 6500 ohm.m, sedangkan *lateritic soil* memiliki nilai resistivitas 120 ohm.m hingga 750 ohm.m (Reynolds, 1997). Secara khusus, resistivitas *lateritic soil* daerah Pomalaa memiliki rentang nilai ≤ 35 ohm.m hingga 3300 ohm.m yang disajikan dalam tabel 2.3 sebagai berikut (Santoso, 2018):

Tabel 2.3 Nilai resistivitas *lateritic soil* Pomalaa (Santoso, 2018)

No	Litologi	Nilai Resistivitas (ohm.m)
1	<i>Limonit overburden / water saturated zone</i>	≤ 35
2	Zona limonit	40 – 200
3	Zona saprolit	201 – 444
4	<i>Saprock</i>	246 – 645
5	<i>Boulder/bedrock</i>	645 – 3300

Berdasarkan tabel 2.3, dua zona utama penghasil nikel laterit yaitu zona limonit dan saprolit dapat dikategorikan sebagai *intermediate conductor* (Lowrie, 2007). Nilai resistivitas kedua zona tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan senyawa penyusunnya seperti; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O₃ Ni, dan LOI. Zona limonit memiliki komposisi SiO₂ 5,2%, Al₂O₃ 14,96%, Fe₂O₃ 61,31%, Ni 0,72%, Cr₂O₃ 1,66% dan LOI 14,42%, sedangkan zona saprolit tersusun atas SiO₂ 36,2%, Al₂O₃ 4,1%, Fe₂O₃ 22,37%, Ni 2,53%, Cr₂O₃ 0,97% dan LOI 10,74% (Sujiono dan Diantoro, 2014). Bila ditinjau dari komposisi tersebut, zona saprolit memiliki kandungan senyawa Al₂O₃ dan Fe₂O₃ tinggi yang bersifat konduktif sehingga nilai resistivitasnya rendah. Sedangkan zona saprolit didominasi oleh senyawa SiO₂ yang bersifat resistif sehingga nilai resistivitas lebih tinggi. Pada zona saprolit juga dimungkinkan terdapat *boulder* yang meningkatkan nilai resistivitasnya (Budhi Kumarawarman dan Wann, 2015).

2.6 Metode Interpolasi *Radial Basis Function* (RBF)

Salah satu metode interpolasi yang digunakan untuk melakukan pemodelan geologi secara 3D ialah metode *radial basis function* (RBF). Pertama kali diperkenalkan pada tahun 1971, metode RBF merupakan metode interpolasi global yang mana menggunakan seluruh data poin untuk menentukan koefisiennya (Cowan dkk., 2002; Spry, 2003). Hasil interpolasi yang didapat dari metode ini memiliki kualitas dan akurasi yang baik meskipun data yang digunakan adalah data yang tersebar tidak merata (*scatter*). Namun metode ini juga memiliki kekurangan yang mana membutuhkan proses komputasi yang rumit (Roussos dan Baxter, 2005).

Misalkan kita diberikan data dalam bentuk (x_i, f_i) untuk $i = 1, 2, \dots, n$. maka persamaan untuk mendapatkan fungsi interpolasi $(s(x_i) = f_i)$ dari metode ini disajikan sebagai berikut (Toit, 2008):

$$s(x_i) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(\|x_j - x_i\|) = f_j, j = 1, 2, \dots, n.$$

Dengan ϕ adalah *radial basis function*, λ_i adalah koefisien *real* serta x_i ialah poin data. Secara perhitungan matrix, persamaan (2.16) dapat dituliskan

$$\begin{bmatrix} \phi(\|x_1 - x_1\|) & \phi(\|x_2 - x_1\|) & \cdots & \phi(\|x_n - x_1\|) \\ \phi(\|x_1 - x_2\|) & \phi(\|x_2 - x_2\|) & \cdots & \phi(\|x_n - x_2\|) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(\|x_1 - x_n\|) & \phi(\|x_2 - x_n\|) & \cdots & \phi(\|x_n - x_n\|) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \\ f_2 \\ \vdots \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

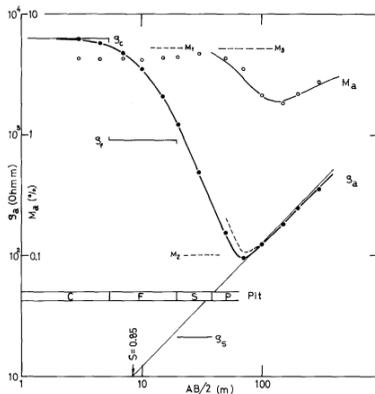
Disederhanakan kembali menjadi

$$\Phi \lambda = f \quad (2.18)$$

Metode RBF dirasa sangat cocok untuk melakukan pemodelan batas-batas geologi yang mana secara matematis sulit dilakukan. Hasil yang didapat dari interpolasi RBF ialah interpolasi yang halus antar poin data yang mana hal tersebut sesuai dengan hasil interpolasi yang didigitasi secara manual (Spry, 2003).

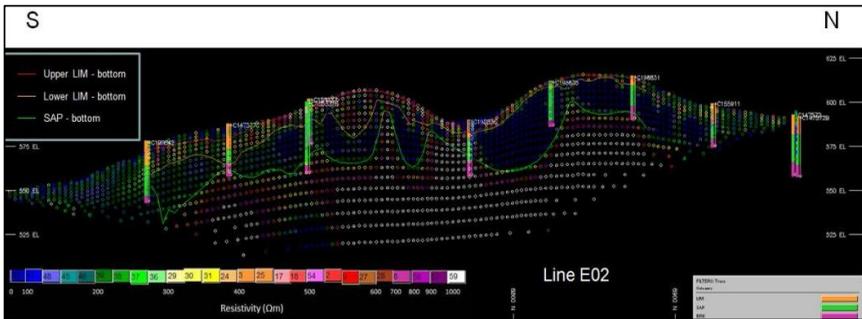
2.7 Penelitian Terdahulu

Telah dilakukan penelitian untuk memodelkan endapan nikel laterit di daerah Burundi. Metode yang digunakan adalah metode resistivitas *well-logging* dan resistivitas *sounding* dengan konfigurasi *schlumberger*. Panjang bentangan maksimum mencapai 1.000 m. Didapatkan hasil profil endapan nikel laterit di daerah penelitian berupa tiga buah lapisan yaitu lapisan *canga* yang memiliki resistivitas tinggi (4000-1000 ohm.m) karena adanya mineral *magnetite*, lapisan *ferralite* dengan nilai resistivitas tinggi (600-1200 ohm.m) dan lapisan *saprolite* (5-25 ohm.m) dengan resistivitas rendah dikarenakan tingginya konsentrasi mineral lempung. Penampang hasil pengukuran metode *sounding* disajikan pada gambar 2.11 (Peric, 1981).



Gambar 2.11 Penampang kurva hasil pengukuran VES yang menunjukkan adanya perbedaan nilai resistivitas untuk masing-masing lapisan laterit (Peric, 1981).

Korelasi data resistivitas dan data bor untuk endapan nikel laterit di daerah Sorowako, Sulawesi Selatan telah dilakukan oleh Budhi Kumarawarman dan Wannu (2015). Korelasi tersebut dilakukan untuk mempermudah interpretasi dan klasifikasi endapan nikel laterit berdasarkan parameter fisis dan kimianya. Bila interpretasi hanya menggunakan data bor saja maka terdapat kekurangan yaitu terdapat kekosongan data antara lubang bor sehingga terkadang model endapan nikel laterit yang diperoleh kurang tepat, dilakukan korelasi dengan metode resistivitas untuk mengisi kekosongan data antar lubang bor tersebut. Didapatkan endapan nikel laterit berasal dari batuan induk *unserpentinised ultramafic*, yang mana profil endapan dapat dibagi menjadi beberapa zona.

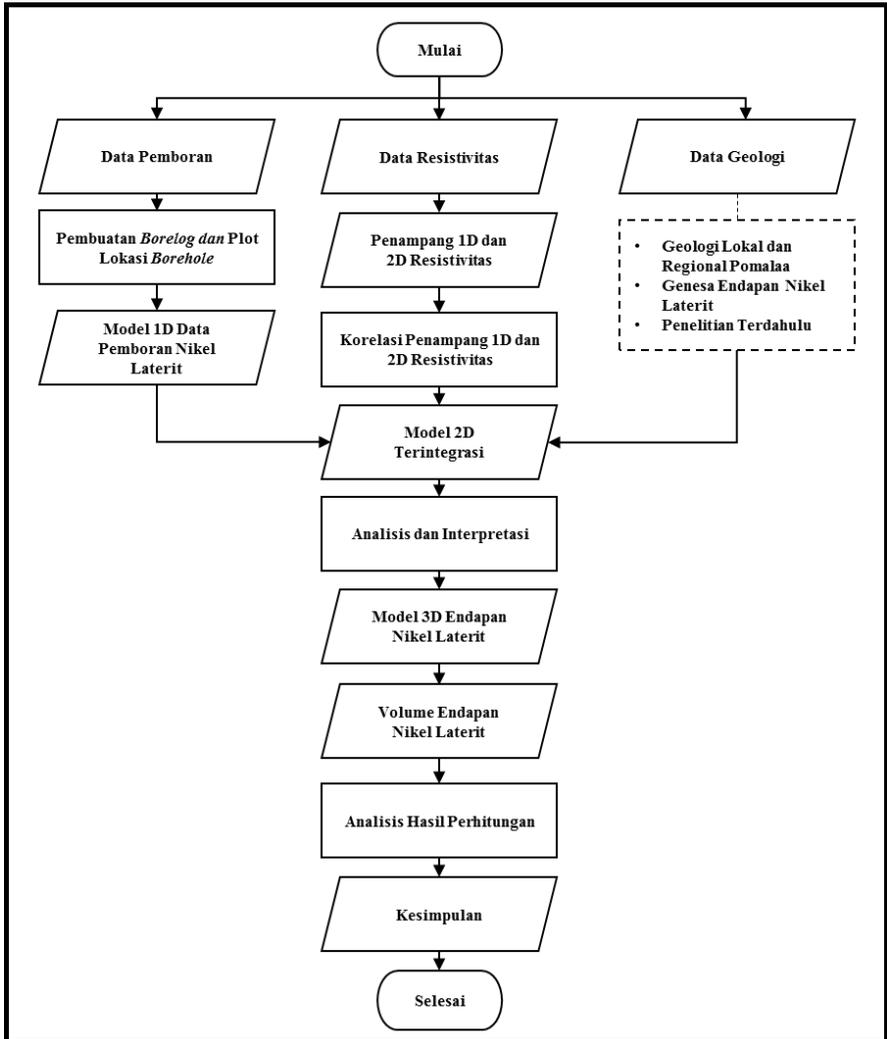


Gambar 2.12 Penampang korelasi data resistivitas dengan data bor yang menunjukkan zona limonit atas dibatasi garis merah, zona limonit bawah dibatasi garis orange dan zona saprolit dibatasi garis hijau (Budhi Kumarawarman dan Wannu, 2015)

Penentuan volume lapisan saprolit berdasarkan hasil pengolahan metode resistivitas pernah dilakukan Jarwinda (2015). Penentuan volume dilakukan dengan melakukan pengolahan terhadap data ERT sehingga diperoleh ketebalan rata-rata lapisan saprolit pada setiap lintasan. Model 3D diperoleh dengan menggabungkan ketebalan semua lintasan sehingga dapat ditentukan volume lapisan saprolit daerah penelitian yaitu sebesar $3.969.367 \text{ m}^3$.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Sistematika penelitian ini, secara garis besar disajikan dalam gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian “Penentuan Volume Endapan Nikel Laterit Berdasarkan Data Geolistrik Sounding Studi Kasus Lapangan “D.I.B” Blok Selatan Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara”

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur untuk menentukan lokasi, target, dan metode penelitian. Literatur yang ada berupa peta geologi regional, jurnal ilmiah maupun beberapa laporan penelitian terdahulu mengenai endapan nikel laterit. Parameter fisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu resistivitas atau sifat kelistrikan batuan. Parameter tersebut dipilih karena mampu mengidentifikasi target penelitian yaitu endapan nikel laterit dan jika dilakukan pengolahan lebih lanjut maka dapat diperoleh juga volume endapannya. Data yang digunakan berupa data sekunder metode *vertical electrical sounding* dan data pemboran hasil akuisisi Unit Geomin PT. ANTAM Tbk.

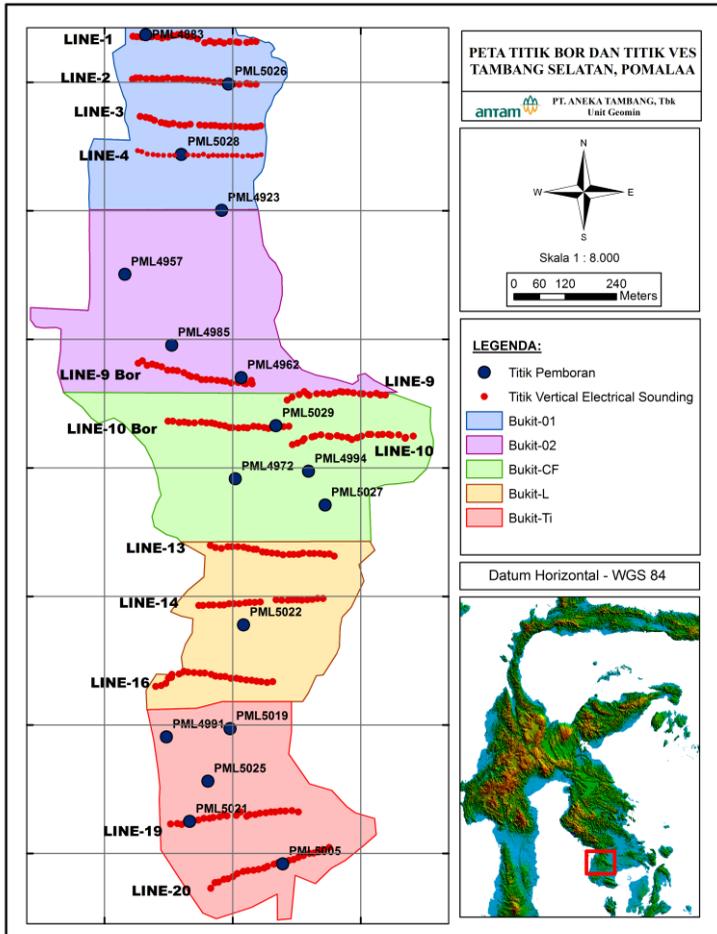
Tahapan kedua yaitu melakukan pengolahan data pemboran. Data pemboran yang didapatkan mengandung informasi klasifikasi zona endapan, litologi batuan, tingkat serpentinisasi dan pelapukan, hingga kandungan mineral per kedalaman tiap sampel lubang pemboran. Pengolahan data pemboran dilakukan hingga menghasilkan model 1D dan *borehole profile* lengkap dengan informasi yang mendukung tujuan penelitian ini. Model 1D dan *borehole profile* tersebut digunakan sebagai acuan utama dalam melakukan interpretasi dan analisis penampang resistivitas endapan nikel laterit.

Tahapan berikutnya adalah melakukan pengolahan data resistivitas. Data resistivitas yang mengandung informasi spasi elektroda dan *apparent resistivity* masing-masing titik pengukuran diolah secara 1D dan 2D. Pengolahan secara 1D maupun 2D sama-sama bertujuan untuk mendapatkan nilai *true resistivity*. Pengolahan secara 2D dilakukan dengan melakukan proses inversi menggunakan perangkat lunak kemudian dilakukan pula pengaturan skala warna untuk setiap lintasan pengukuran resistivitas. Pengolahan secara 1D dilakukan sebagai kontrol dari hasil pengolahan secara 2D. Pengolahan bertujuan mendapatkan penampang resistivitas 1D yang kemudian akan dikorelasikan dengan penampang resistivitas 2D, dengan harapan ditemukan kecocokan yang tinggi antara kedua penampang. Hasil model 1D data pemboran kemudian digabungkan dengan penampang 1D dan 2D agar dihasilkan sebuah penampang 2D terintegrasi dari endapan nikel laterit daerah penelitian. Interpretasi dilakukan berdasarkan penampang 2D terintegrasi pada setiap lintasan pengukuran resistivitas untuk mengidentifikasi endapan nikel laterit, kemudian dilakukan pembuatan data ketebalan endapan di tiap lintasan.

Tahapan keempat dilakukan setelah didapatkan data ketebalan endapan nikel laterit di tiap lintasan. Data tersebut digunakan untuk membuat model 3D dari endapan nikel secara keseluruhan. Dari model 3D didapatkan pula luasan model serta volume endapan nikel yang kemudian dapat dilakukan analisis dan interpretasi secara keseluruhan terhadap endapan nikel laterit di daerah penelitian.

3.1 Data dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Lapangan “D.I.B” Tambang Blok Selatan milik PT.ANTAM Tbk, daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Tambang Blok Selatan sendiri dibagi menjadi 5 buah bagian yaitu Bukit-01, Bukit-02, Bukit-CF, Bukit-L, dan Bukit-TI. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data resistivitas metode *vertical electrical sounding* (VES) dan data pemboran hasil akuisisi oleh Unit Geomin PT. ANTAM Tbk.



Gambar 3.2 Peta titik pengukuran metode VES dan titik pemboran

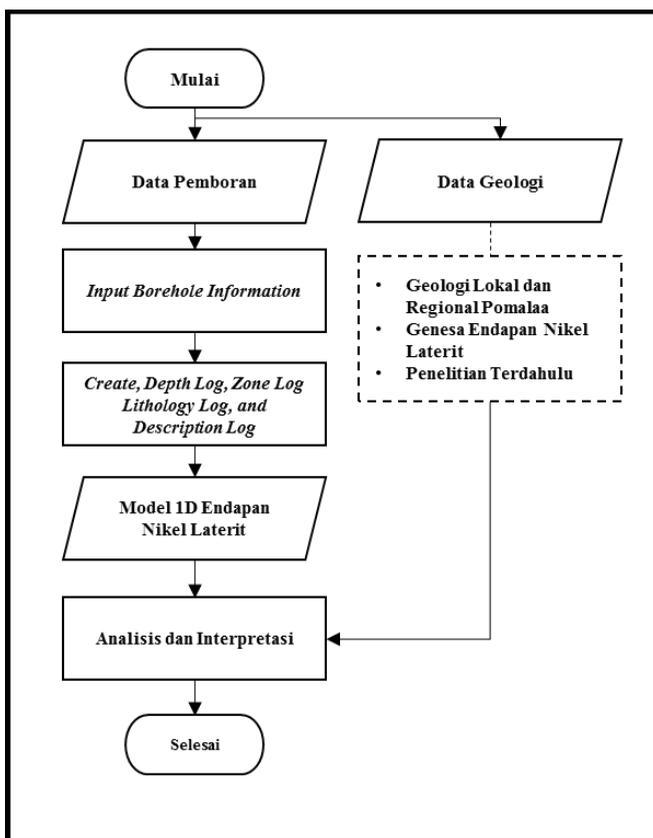
Peta titik pengukuran metode VES dan titik pemboran disajikan dalam gambar 3.2. Titik pemboran (titik warna biru) berjumlah 17 titik bor yang

tersebar di utara-selatan Blok Selatan. Kedalaman titik pemboran bervariasi, terdangkal mencapai 8 meter hingga terdalam mencapai 30 meter. Lintasan pengukuran metode *vertical electrical sounding* (VES) (titik warna merah) membentang dari arah barat-timur sepanjang 300 meter sejumlah 13 lintasan dengan jarak masing-masing lintasan rata-rata sejauh 100 meter. Konfigurasi yang digunakan ialah konfigurasi *wenner* dengan jarak antar titik pengukuran VES sejauh 12,5 meter dan spasi elektroda terjauh mencapai 60 meter.

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Pengolahan Data Pemboran

Tahapan pengolahan data pemboran dalam penelitian ini disajikan dalam gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Diagram alir pengolahan data pemboran

Data pemboran yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 17 titik pemboran dengan kedalaman bervariasi mulai 8 meter hingga 30 meter. Data pemboran yang didapatkan mengandung informasi mengenai litologi batuan, mineral batuan, tingkat serpentinisasi dan pelapukan per kedalaman tiap sampel lubang bor. Data pemboran yang digunakan dalam pengolahan antara lain nama lubang bor (*hole id*), kedalaman tiap-tiap lapisan (*from-to depth*), klasifikasi zona, litologi, dan deskripsi tiap sampel per kedalaman. Contoh data masukan yang digunakan dalam pengolahan data pemboran disajikan dalam gambar 3.4.

	A	B	C	D	E	F	Zone
	Hele ID	From	To	Lithology Keyword	Lithology Description		
1	POMALAA	0	2.5	Top Soil	Red-brown, clay-sand grain size, hematite n	Top Soil	
2	POMALAA	2.5	4.3	Red Limonite	Red-brown, clay-sand / gravel-cobble grain	Limonite	
3	POMALAA	4.3	7.3	Yellow Limonite	Red-brown, clay-sand grain size, hematite / tal	Limonite	
4	POMALAA	7.3	11	Earthy Saprolite	Brown-green / yellow-green, clay-sand grain siz	Saprolite	
5	POMALAA	11	15.2	Saprolite	Brown-green / grey green, boulder / gravel-cobt	Saprolite	
6	POMALAA	15.2	19.3	Rocky Saprolite	Brown / brown-green, gravel-cobble / clay-sand	Saprolite	
7	POMALAA	19.3	26.5	Peridotite Boulder	Grey-black / grey-green, boulder / gravel-cobbl	Boulder	
8	POMALAA	26.5	30	Peridotite Bedrock	Grey-black / grey-green, boulder grain size, lov	Bedrock	

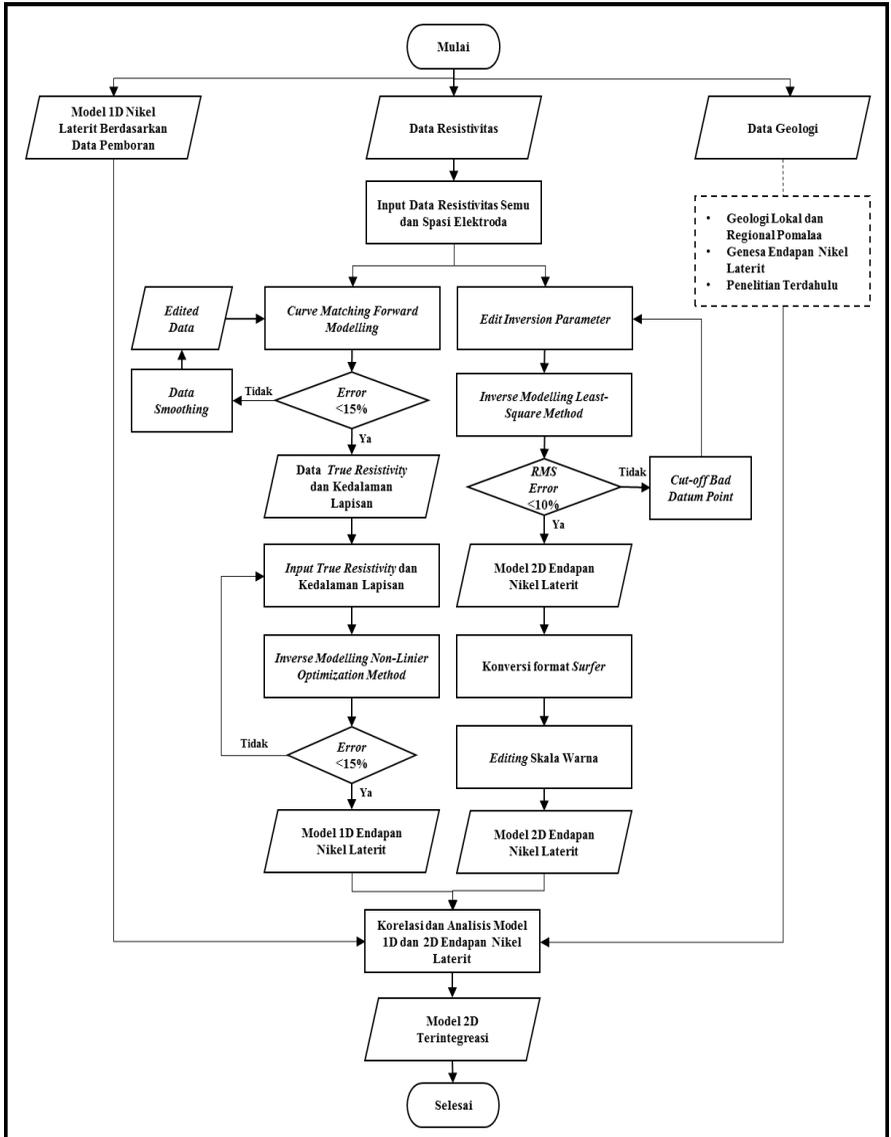
Gambar 3.4 Contoh data masukan yang digunakan dalam pengolahan data pemboran untuk menghasilkan penampang 1D endapan nikel laterit

Hasil dari pengolahan ini adalah model 1D endapan nikel laterit berdasarkan informasi geologi bawah permukaan hasil kegiatan pemboran. Model 1D tersebut terdiri dari beberapa komponen *log* antara lain: *depth log*, *zone log*, *lithology log*, dan *description log*. *Depth log* merupakan log yang berisi tentang data kedalaman lubang pemboran, *zone log* berisi tentang pembagian zonasi endapan nikel laterit, *lithology log* berisi tentang litologi batuan per kedalaman sedangkan *description log* berisi informasi deskripsi litologi secara lebih detail. Model 1D tersebut akan digunakan sebagai bahan utama dalam melakukan interpretasi dan analisis penampang resistivitas dikarenakan model ini memiliki tingkat akurasi dan kepercayaan yang tinggi.

3.2.2 Pengolahan Data Resistivitas Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Pengolahan data resistivitas dilakukan untuk mengidentifikasi dan mendapatkan ketebalan endapan nikel laterit berdasarkan perbedaan nilai parameter fisis resistivitas antara endapan nikel laterit dengan batuan lainnya. Data resistivitas metode VES konfigurasi *wenner* yang diolah sebanyak 13 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan 300 meter. Dalam 1 buah lintasan terdapat 25 titik pengukuran VES dengan jarak antar titik mencapai 12.5 meter. Pengolahan data resistivitas pada penelitian ini dilakukan secara 1D dan 2D, penampang 1D akan digunakan sebagai pengontrol dari penampang 2D. Bila kedua penampang memiliki kecocokan yang tinggi maka dapat disimpulkan

pengolahan data resistivitas sudah tepat dan memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi. Tahapan pengolahan data resistivitas secara keseluruhan disajikan dalam gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram alir pengolahan data metode *vertical electrical sounding*

3.2.2.1 Pengolahan 2D

Parameter yang digunakan sebagai data dalam pengolahan 2D yaitu posisi elektroda (*datum point*), spasi elektroda potensial dan arus (a), nilai *apparent resistivity*, dan nilai elevasi. Data tersebut kemudian disusun sedemikian rupa sehingga sesuai dengan format masukan perangkat lunak dan disimpan dalam format *.dat*. Proses selanjutnya yaitu memasukkan data yang telah berformat *.dat* kedalam perangkat lunak dan melakukan perubahan terhadap parameter-parameter inversi sesuai dengan kebutuhan data dan hasil yang diinginkan. Pada penelitian kali ini parameter yang diubah antara lain:

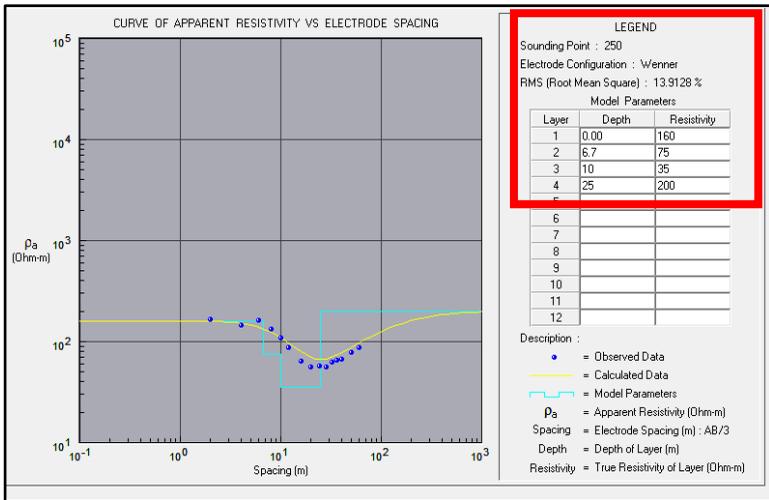
- a. *Damping factor*, dilakukan untuk meminimalkan *error* yang diakibatkan adanya *noise* pada data.
- b. *Horizontal/vertical flatness filter*, dilakukan untuk mempertajam arah anomali baik vertikal maupun horizontal.
- c. *Mesh grid*, dilakukan untuk meningkatkan akurasi dari perhitungan resistivitas hasil inversi.
- d. *Finite-element method*, dilakukan untuk meminimalkan *error* yang diakibatkan adanya topografi pada lintasan pengukuran, dipilih pula tipe *finite-element method*.
- e. *Mesh refinement*, dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan memperhalus penampang 2D hasil inversi.
- f. *Convergence limit*, dilakukan untuk memberikan batas proses inversi bila parameter *RMS error* sudah tidak jauh berubah.
- g. *Apply smoothness constrain*, digunakan untuk menghasilkan hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas yang halus.
- h. *Jacobian matrix calculation*, digunakan agar perhitungan matriks jacobian dilakukan untuk tiap iterasinya, diharapkan hasil yang didapatkan lebih akurat.

Setelah parameter-parameter diatas diatur maka dilakukan proses inversi menggunakan algoritma inversi *least-square*. Algoritma inversi *least-square* dicirikan dengan perubahan nilai model resistivitas yang halus (*smooth*) di tiap iterasinya sehingga dihasilkan suatu model dengan variasi nilai *true resistivity* yang halus (*smooth*). Algoritma ini digunakan karena sesuai dengan kondisi geologi endapan nikel laterit yang berlapis horizontal dan harus memiliki gradasi nilai resistivitas yang halus agar batas-batas litologinya dapat ditentukan. Proses inversi dalam pengolahan kali ini menggunakan iterasi maksimum sebanyak 5 kali, hal itu dikarenakan 5 kali iterasi saja sudah menghasilkan hasil *true resistivity* yang konvergen dan tidak banyak berubah. Hasil yang didapatkan berupa penampang resistivitas 2D yang memiliki nilai *RMS error* tertentu. Bila nilai *RMS error* yang didapatkan masih melebihi batas toleransi *RMS error* yang ditetapkan sebesar 10% maka dilakukan perubahan kembali terhadap parameter inversi. Selain itu dapat pula digunakan pilihan *extrimate bad datum point* yaitu

pilihan untuk menghapus data dengan % *error* yang tinggi. Langkah selanjutnya adalah melakukan konversi format penampang 2D hasil inversi menjadi format *surfer*, yang bertujuan untuk mempermudah penyajian dan penyamaan skala warna resistivitas antar lintasan.

3.2.2.2 Pengolahan 1D

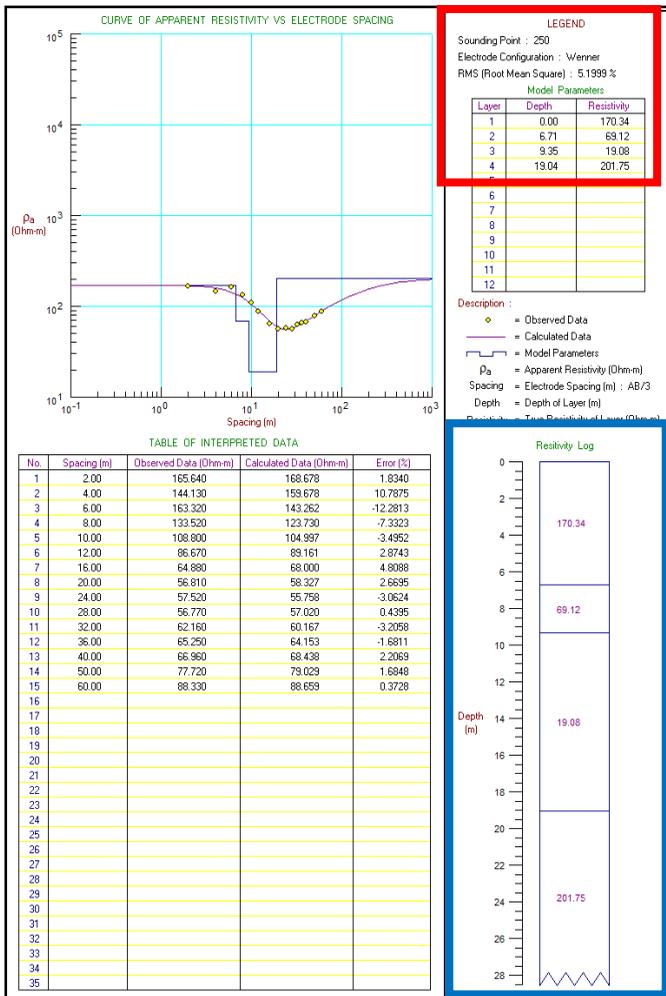
Pengolahan 1D dilakukan sebanyak 76 titik pengukuran VES yang tersebar di 13 lintasan dengan jarak antar titik ves rata-rata sejauh 50 meter. Hasil pengolahan 1D digunakan sebagai kontrol dari hasil penampang 2D. Proses pengolahan 1D diawali melakukan proses *forward modelling* dengan memasukkan parameter posisi elektroda dan nilai resistivitas semu. *Forward modelling* dilakukan dengan mencocokkan kurva resistivitas hasil kalkulasi dengan resistivitas semu hasil pengukuran sehingga didapatkan nilai resistivitas dan kedalaman hasil *forward modelling* dengan batas toleransi nilai *error* sebesar 15%.



Gambar 3.6 Penampang proses *forward modelling*, yang mana kotak merah menunjukkan parameter *error* dan hasil *forward* berupa nilai resistivitas dan kedalaman lapisan

Data nilai resistivitas dan kedalaman tiap lapisan hasil *forward modelling* kemudian dilakukan inversi menggunakan algoritma *non-linear optimization* sehingga didapatkan nilai *true resistivity* dan kedalaman yang lebih *smooth* dengan batas toleransi nilai *error* yang juga sebesar 15%. Penampang proses inversi disajikan dalam gambar 3.7. Hasil akhir dari pengolahan 1D ini adalah

log resistivitas yang membedakan lapisan-lapisan endapan nikel laterit berdasarkan nilai resistivitasnya.



Gambar 3.7 Penampang proses inversi 1D yang mana kotak merah menunjukkan nilai *RMS error*, *true resistivity* dan kedalaman lapisan sedangkan kotak biru merupakan *resistivity log*.

3.2.3 Pengolahan Model 3D

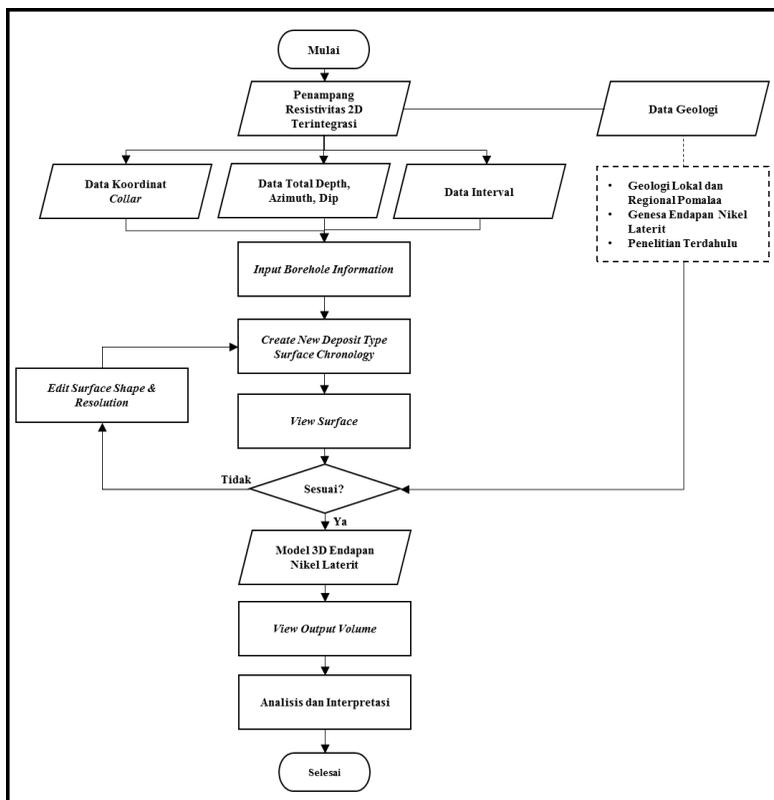
Pemodelan 3D dilakukan setelah didapatkan penampang 2D resistivitas yang memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi. Dari penampang 2D kemudian diinterpretasi untuk mengidentifikasi endapan nikel laterit dan diubah seolah-olah sebagai titik pemboran dengan jarak tiap titik sebesar 12.5 meter sesuai dengan jarak antar titik akuisisi data VES. Pengolahan model 3D membutuhkan 3 buah tabel data yang terdiri atas tabel koordinat (*collar*), tabel *survey*, dan tabel *interval* untuk tiap titik. Tabel koordinat terdiri atas: data *hole-id* atau nama lubang bor, koordinat x, koordinat y, koordinat z (elevasi) dan *max depth* atau kedalaman maksimum lubang bor. Tabel *survey* terdiri atas: data *hole-id*, data *max depth*, data dip serta azimuth, sedangkan tabel data interval terdiri atas: data *hole-id*, data *from-to depth*, dan data jenis litologi masing-masing kedalaman. Contoh tabel jenis *interval* dapat dilihat pada gambar 3.8.

Langkah berikutnya adalah melakukan pemodelan 3D dengan membuat *deposit type surface chronology*. *Surface chronology* ialah tahapan pembuatan penampang interpolasi yang digunakan untuk menentukan volume dari endapan nikel laterit. Algoritma yang digunakan dalam pembuatan interpolasi *surface chronology* ialah algoritma *radial basis function*. Algoritma ini digunakan karena dianggap mampu menghasilkan penampang hasil interpolasi yang sesuai dengan kondisi geologi tertentu. Penelitian kali ini menggunakan *surface chronology* bertipe *deposit* dikarenakan tipe geologi endapan nikel laterit merupakan tipe endapan. Parameter yang juga diatur dalam pembuatan model adalah *surface resolution* yang mana parameter ini menyatakan resolusi dari model yang akan dibuat. Semakin kecil nilai *surface resolution* maka semakin halus pula model penampang yang dihasilkan.

Ignored	id	▲	holeid	from	to	Lithology
<input type="checkbox"/>	1		LN09-0	0.0	4.5	Lateritic Soil
<input type="checkbox"/>	2		LN09-0	4.5	11.5	Fresh Peridotite / Boulder
<input type="checkbox"/>	3		LN09-0	11.5	31.0	Bedrock
<input type="checkbox"/>	4		LN09-12.5	0.0	10.1	Lateritic Soil
<input type="checkbox"/>	5		LN09-12.5	10.1	20.1	Fresh Peridotite / Boulder
<input type="checkbox"/>	6		LN09-12.5	20.1	32.9	Bedrock
<input type="checkbox"/>	7		LN09-25	0.0	13.0	Lateritic Soil
<input type="checkbox"/>	8		LN09-25	13.0	24.7	Fresh Peridotite / Boulder
<input type="checkbox"/>	9		LN09-25	24.7	31.0	Bedrock
<input type="checkbox"/>	10		LN09-37.5	0.0	7.8	Lateritic Soil

Gambar 3.8 Tabel jenis *interval* sebagai masukan dalam proses pengolahan model 3D

Langkah pengolahan data secara keseluruhan hingga menghasilkan model 3D disajikan dalam gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Diagram alir pengolahan model 3D

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data Pemboran

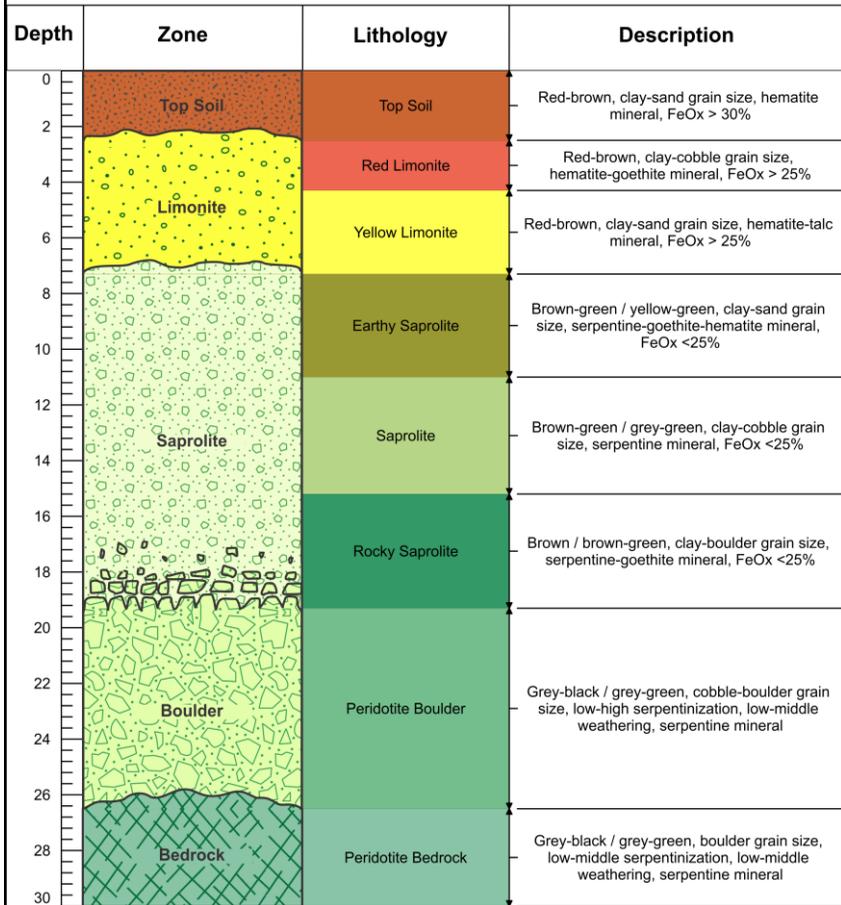
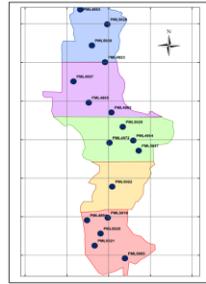
Data pemboran terdiri dari 17 buah lubang bor yang tersebar dari bagian utara hingga selatan lapangan “D.I.B” blok selatan Pomalaa, dengan 7 buah lubang bor berada pada lintasan pengukuran metode VES. Kedalaman masing-masing lubang bor berkisar antara 8 meter hingga 30 meter. Data 17 lubang bor tersebut kemudian dilakukan pengolahan hingga menghasilkan sebuah penampang profil endapan nikel laterit blok selatan Pomalaa secara keseluruhan. Dalam penelitian ini endapan nikel laterit blok selatan dibagi menjadi 5 buah zona yaitu zona *top soil*, zona *limonite*, zona *saprolite*, zona *boulder*, dan zona *bedrock*. Zona-zona tersebut akan dibagi kembali menjadi beberapa litologi yang lebih spesifik. Tiap litologi memiliki perbedaan parameter warna, ukuran butir (*grain size*), kandungan mineral dan juga persentase kandungan oksida besinya. Profil endapan nikel tersebut disajikan dalam gambar 4.1.

Zona pertama adalah zona *top soil*/tanah penutup, dicirikan dengan materialnya berwarna merah sampai coklat, memiliki ukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *sand* (0.0625-2 mm), serta memiliki kandungan mineral *hematite*. Kadar oksida besi dalam zona ini sebesar >30%. Ketebalan dari zona tanah penutup ini berkisar 1 meter sampai 2,5 meter. Zona kedua ialah zona *limonite*, zona ini disusun memiliki kadar oksida besi yang cukup tinggi yaitu >25% dan memiliki tebal rata-rata 5 meter. Terdapat 2 litologi dalam zona ini yaitu *red limonite* dan *yellow limonite*. Perbedaan antara 2 litologi tersebut antara lain; pada lapisan *red limonite* materialnya memiliki ukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *cobble* (65-250 mm), sedangkan pada lapisan *yellow limonite* materialnya berukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *sand* (0.0625-2 mm). Kandungan mineral pada 2 litologi ini juga memiliki perbedaan, pada *red limonite* didapati mineral berupa *hematite* dan *goethite*, sedangkan pada *yellow limonite* didapati mineral berupa *hematite* dan *talc*. Pada blok selatan berdasarkan data bor, *red limonite* memiliki ketebalan yang lebih tipis dari pada *yellow limonite*. Kelimpahan unsur oksida besi pada kedua zona ini dikarenakan adanya pengayaan unsur Fe residual hasil proses pelindian.

Setelah zona *limonite* didapati adanya zona *saprolite* dengan ketebalan rata-rata 12 meter. Zona ini memiliki material berwarna coklat kehijauan hingga kuning kehijauan. Kadar oksida besi pada zona ini lebih rendah dari pada zona tanah penutup dan zona *limonite* yaitu sebesar <25%. Zona ini kemudian dibagi menjadi 3 litologi yaitu; *earthy saprolite*, *saprolite*, dan *rocky saprolite*. Lapisan *earthy saprolite* memiliki ukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *sand* (0.0625-2 mm) dengan mineral penyusun berupa *serpentine*, *goethite*, atau *hematite*.




NICKEL LATERITE PROFILE SOUTH BLOCK, POMALAA



Gambar 4.1 Profil endapan nikel laterit blok selatan, Pomalaa yang dibuat berdasarkan data pemboran

Lapisan *saprolite* memiliki ukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *cobble* (65-250 mm) dengan kandungan mineral berupa *serpentine*, sedangkan lapisan *rocky saprolite* memiliki ukuran butir *clay* (<0.004 mm) – *boulder* (>250 mm) dengan kandungan mineral berupa *serpentine* dan *geothite*. Zona keempat adalah zona *boulder* dengan litologi berupa batuan peridotit berukuran *boulder* (>250 mm). Material penyusun zona ini berwarna abu-abu kehitaman hingga abu-abu kehijauan dengan kandungan mineral berupa *serpentine*. Batuan peridotit pada zona ini memiliki ciri lain yaitu adanya serpentinisasi dan pelapukan. Tingkat serpentinisasi pada zona ini terjadi pada tingkat rendah hingga tinggi, sedangkan pelapukannya terjadi pada tingkat yang rendah hingga sedang. Adanya zona *boulder* batuan peridotit ini menjadi penciri utama endapan nikel laterit blok selatan (Kamaruddin dkk., 2018).

Zona terakhir adalah zona batuan dasar (*bedrock*). Secara umum zona ini berada pada kedalaman 26 meter hingga 30 meter dari permukaan tanah. Penciri zona ini adalah litologinya berupa batuan peridotit berwarna abu-abu kehitaman hingga abu-abu kehijauan, tingkat serpentinisasi dan pelapukannya rendah hingga sedang, mineral yang terkandung dalam batuan zona ini adalah mineral *serpentine*. Tingkat pelapukan pada zona *boulder* dan zona *bedrock* menunjukkan seberapa lapuk batuan pada zona tersebut, semakin rendah tingkat pelapukan maka batuan masih memiliki atau menyisakan banyak komponen batuan asal yang keras (Santoso, 2018), sedangkan tingkat serpentinisasi akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit. Semakin rendah tingkat serpentinisasi maka akan menghasilkan zona saprolit dengan batuan sisa yang keras (Sutisna dkk., 2006). Hal tersebut sesuai dengan karakteristik endapan nikel blok selatan, yang mana pada zona *boulder* dan *bedrock* memiliki tingkat pelapukan dan tingkat serpentinisasi yang relatif rendah – sedang sehingga menghasilkan kelimpahan *boulder* batuan peridotit yang bersifat keras.

4.2 Hasil Pengolahan Data Resistivitas

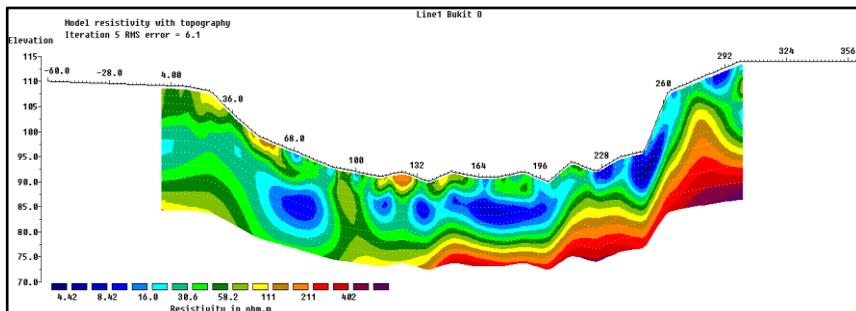
Hasil akhir pengolahan data resistivitas akan didapatkan dua jenis penampang, yaitu penampang resistivitas 1D dan 2D untuk masing-masing lintasan. Penampang 2D merupakan penampang utama yang digunakan dalam penentuan ketebalan nikel laterit sedangkan penampang 1D sebanyak 76 buah tersebar di seluruh lintasan digunakan sebagai pengontrol dari penampang 2D. Diharapkan kedua penampang memiliki kecocokan sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa penampang 2D memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi.

4.2.1 Hasil Inversi 2D

Proses inversi secara 2D menghasilkan penampang resistivitas dengan variasi nilai sebesar 2.87 Ohm.m hingga 3000 Ohm.m. Seluruh penampang menunjukkan adanya gradasi dan perubahan nilai resistivitas dominan secara

vertikal. Hal tersebut sesuai dengan tipe geologi endapan nikel laterit yang berupa lapisan endapan yang menerus horizontal. Batas toleransi nilai *RMS error* untuk hasil inversi 2D dalam penelitian ini yaitu sebesar 10%. Nilai *RMS error* tersebut menjadi salah satu parameter tingkat kepercayaan hasil inversi 2D. Berikut disajikan hasil inversi 2D untuk masing-masing lintasan dengan skala warna masih dibuat secara logaritmik (*logarithmic countur intervals*).

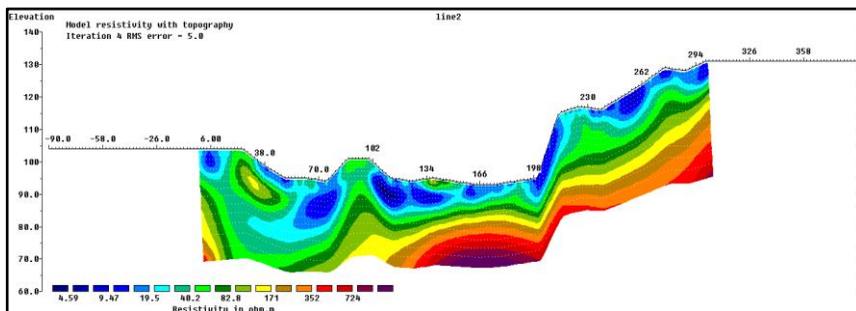
a. Lintasan 1



Gambar 4.2 Hasil inversi 2D lintasan 1

Pada lintasan 1 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 3.76 Ohm.m hingga 900.68 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 6.1%.

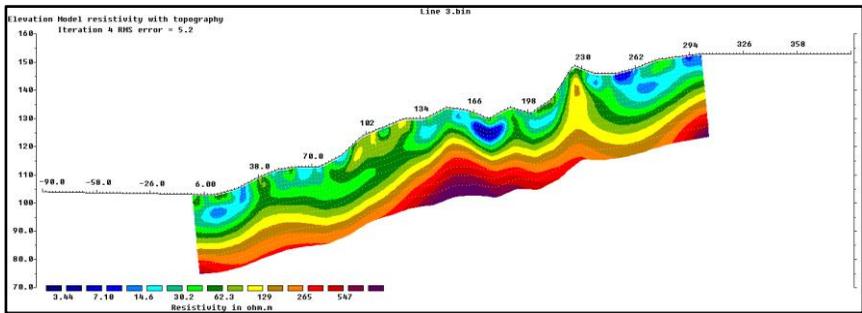
b. Lintasan 2



Gambar 4.3 Hasil inversi 2D lintasan 2

Pada lintasan 2 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 3.84 Ohm.m hingga 1788 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 4 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 5%.

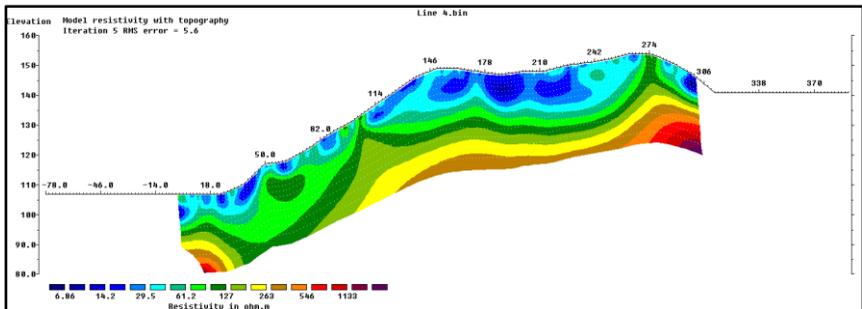
c. Lintasan 3



Gambar 4.4 Hasil inversi 2D lintasan 3

Pada lintasan 3 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 2.87 Ohm.m hingga 1352 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 4 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 5.2%.

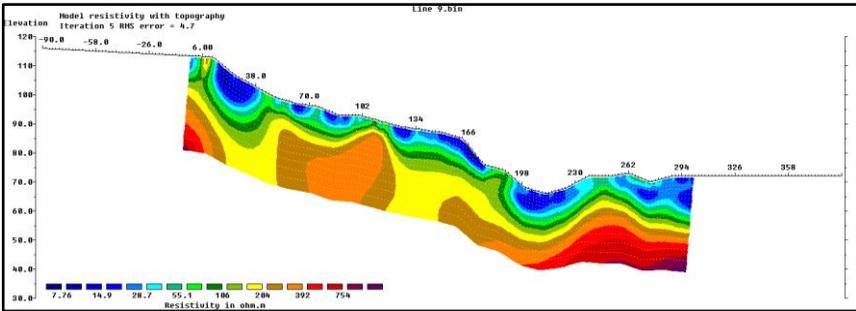
d. Lintasan 4



Gambar 4.5 Hasil inversi 2D lintasan 4

Pada lintasan 4 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 5.72 Ohm.m hingga 2819 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 5.6%.

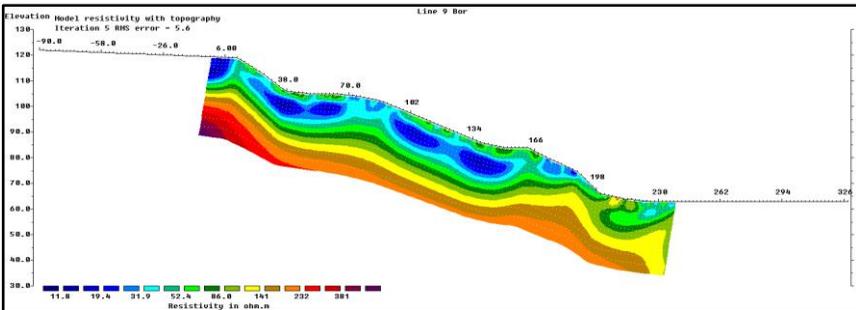
e. Lintasan 9



Gambar 4.6 Hasil inversi 2D lintasan 9

Pada lintasan 9 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 6.59 Ohm.m hingga 1707 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 4.7%.

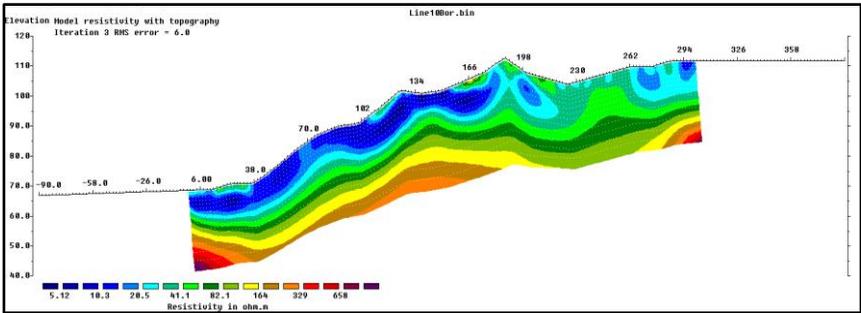
f. Lintasan 9 Bor



Gambar 4.7 Hasil inversi 2D lintasan 9 Bor

Pada lintasan 9 Bor didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 10 Ohm.m hingga 707 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 5.6%.

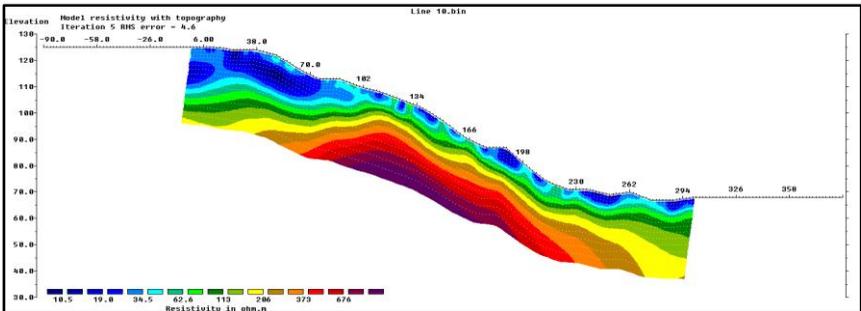
g. Lintasan 10



Gambar 4.8 Hasil inversi 2D lintasan 10

Pada lintasan 10 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 4.31 Ohm.m hingga 1565 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 3 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 6%.

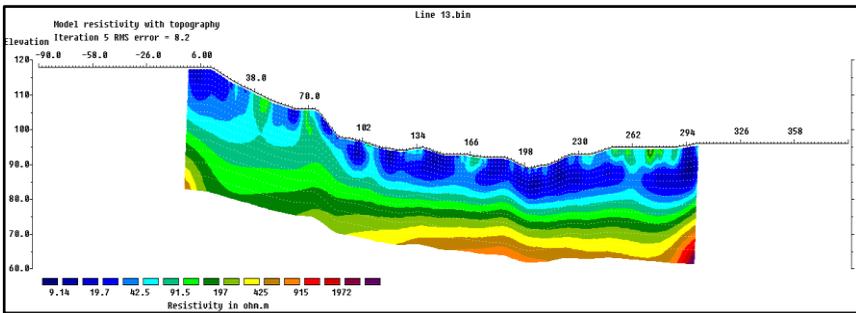
h. Lintasan 10 Bor



Gambar 4.9 Hasil inversi 2D lintasan 10 Bor

Pada lintasan 10 Bor didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 9 Ohm.m hingga 1421 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 3 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 4.6%.

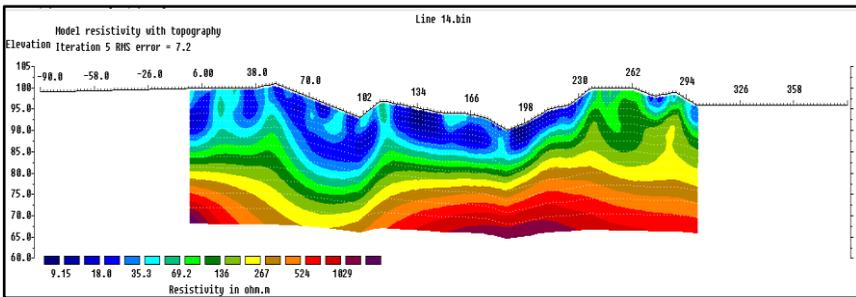
i. Lintasan 13



Gambar 4.10 Hasil inversi 2D lintasan 13

Pada lintasan 13 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 7.5 Ohm.m hingga 3000 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 8.2%.

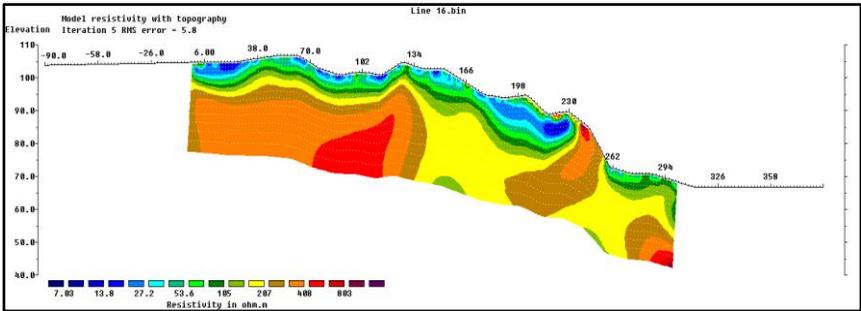
j. Lintasan 14



Gambar 4.11 Hasil inversi 2D lintasan 14

Pada lintasan 14 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 7.7 Ohm.m hingga 2391 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 7.2%.

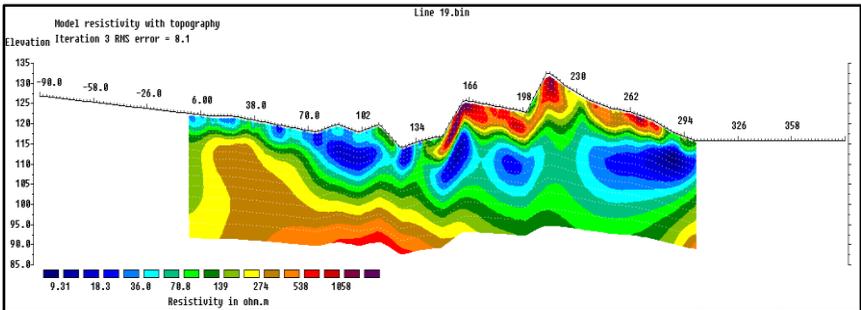
k. Lintasan 16



Gambar 4.12 Hasil inversi 2D lintasan 16

Pada lintasan 16 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 5.9 Ohm.m hingga 1870 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 5.8%.

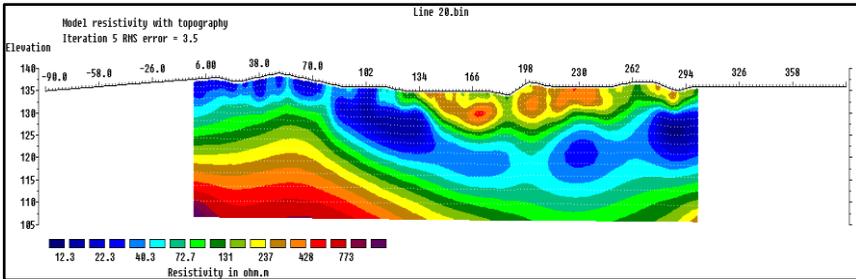
l. Lintasan 19



Gambar 4.13 Hasil inversi 2D lintasan 19

Pada lintasan 19 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 7.9 Ohm.m hingga 2464 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 3 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 8.1%.

m. Lintasan 20



Gambar 4.14 Hasil inversi 2D lintasan 20

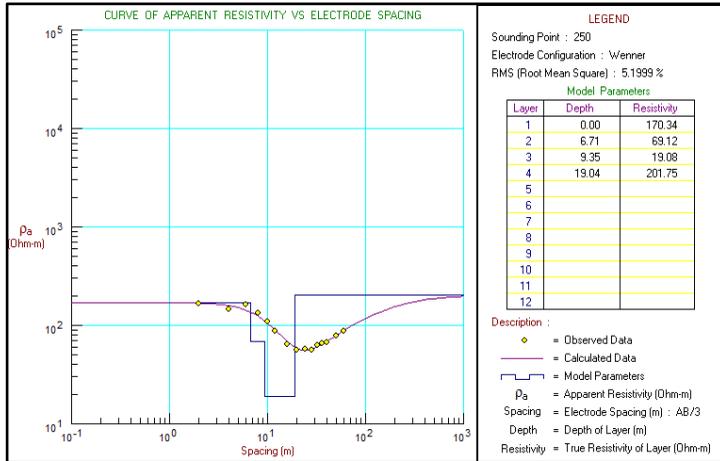
Pada lintasan 20 didapati penampang 2D hasil inversi dengan variasi nilai resistivitas sebesar 10.6 Ohm.m hingga 1618 Ohm.m. Iterasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan nilai *RMS error* sebesar 3.5%.

4.2.2 Hasil Inversi 1D

Parameter utama yang ingin didapat dari proses inversi 1D ini ialah kedalaman dari nilai resistivitas endapan nikel laterit. Nilai *true resistivity* dan kedalaman tersebut dihasilkan dari proses inversi *non-linier* dengan algoritma *non-linier optimization* data resistivitas semu hasil pengukuran di lapangan. Pada penelitian ini ditentukan batas toleransi *error* yaitu sebesar 15% baik pada proses *forward modelling* maupun *inversi*. Proses inversi dalam penelitian ini dilakukan dengan mem-fit-kan kurva sintetik hasil perhitungan *true resistivity* dan kedalaman lapisan dengan kurva resistivitas semu hasil pengukuran. Semakin fit kedua kurva tersebut maka nilai *RMS error* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Proses inversi 1D kali ini dilakukan dengan mempertimbangkan model awal yang diberikan dalam proses *forward modelling* sebelum proses inversi. Semakin kecil *error* pada proses *forward modelling* maka proses inversi akan semakin mudah dan hasil nilai resistivitas serta kedalaman lapisan tidak akan berbeda jauh dengan kurva *forward modelling*. Pada penelitian kali ini, penampang hasil inversi secara 2D digunakan sebagai acuan proses *forward modelling*. Hal itu didasarkan pada harapan adanya kecocokan yang tinggi antara hasil inversi secara 2D dan 1D serta penampang 1D yang nantinya akan digunakan sebagai pengontrol penampang 2D. Perlu diperhatikan bahwa dalam tahap pengolahan 1D ini solusi yang didapatkan merupakan solusi tidak unik (*non-unique*), hal tersebut dapat diartikan solusi yang dihasilkan dari 1 buah kurva resistivitas semu berjumlah lebih dari 1 solusi dan dapat memberikan beberapa pilihan. Ketidak-unikian tersebut dapat diatasi dengan melakukan korelasi satu titik VES dengan titik lainnya serta memperhatikan kondisi geologi daerah pengukuran. Hasil pengolahan secara 1D menghasilkan penampang 1D

sebanyak 76 buah yang tersebar di 13 lintasan dengan spasi antar titik ± 50 meter. Contoh hasil inversi 1D disajikan dalam gambar 4.15 sebagai berikut.



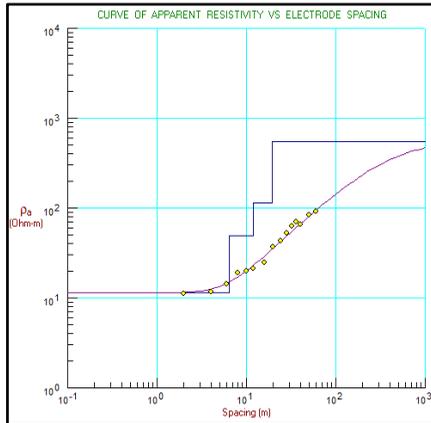
Gambar 4.15 Contoh hasil inversi 1D

Dapat dilihat pada gambar diatas, titik kuning merupakan *observed data* atau resistivitas semu hasil pengukuran, garis ungu merupakan *calculated data* atau nilai *true resistivity* sedangkan garis biru adalah parameter model yang merupakan kedalaman dari tiap lapisan resistivitas. Secara kualitatif dapat diperhatikan bahwa *trend* pada kurva memiliki kecenderungan sebagai lapisan batuan (Syifaurohman dkk., 2018). Secara keseluruhan dalam penelitian ini didapatkan 3 jenis kurva hasil inversi. Kurva tersebut memiliki *trend* nilai yang berbeda sehingga secara kualitatif dapat disimpulkan menunjukkan litologi per lapisan endapan nikel laterit yang berbeda pula. Ketiga kurva tersebut dibagi kedalam beberapa tipe berdasarkan klasifikasi menurut Patra dkk. (2016) dan dijelaskan sebagai berikut:

a. Kurva Tipe AA

Kurva jenis ini merupakan kurva yang paling banyak ditemukan pada semua lintasan. Secara kualitatif, kurva jenis ini dapat memberikan informasi bahwa pada umumnya endapan nikel laterit pada daerah penelitian memiliki nilai resistivitas yang berbanding lurus dengan kedalaman atau dapat diartikan semakin besar kedalaman maka semakin tinggi pula nilai resistivitasnya ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$). Dapat diperhatikan pula kenaikan nilai resistivitas semunya, pada bagian bawah kurva memiliki pola nilai yang landai sedangkan pada bagian atas kurva memiliki pola yang cenderung curam. Hal itu dapat diartikan pada kedalaman dekat permukaan terjadi kenaikan nilai resistivitas

yang *smooth*, sedangkan semakin jauh dari permukaan maka kenaikan nilai resistivitas akan semakin tajam dan drastis. Kenaikan nilai yang drastis tersebut dapat dimungkinkan adanya litologi dengan nilai resistivitas yang sangat kontras (tinggi) dengan batuan sekitarnya, dalam kasus endapan nikel laterit adalah adanya *bedrock*.



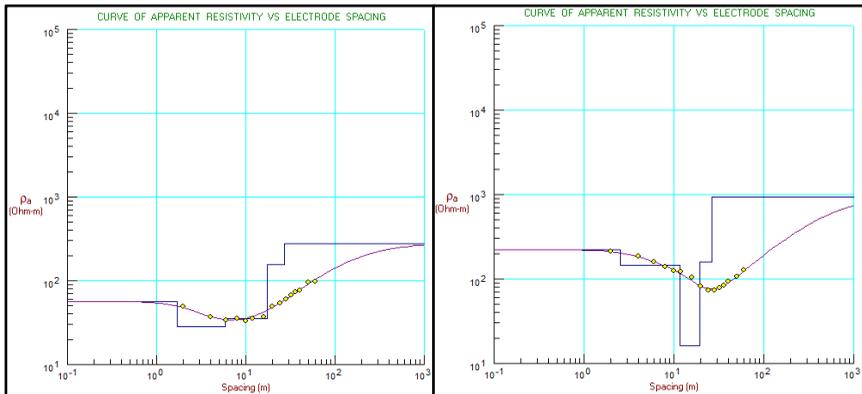
Gambar 4.16 Kurva tipe AA adalah kurva yang paling sering dijumpai dalam proses inversi 1D

b. Kurva Tipe HA

Kurva jenis kedua ditemukan di beberapa titik lintasan. Secara kualitatif, kurva jenis ini menggambarkan adanya nilai resistivitas sedang di permukaan diikuti dengan nilai resistivitas rendah kemudian didapati kenaikan nilai resistivitas hingga akhir kurva ($\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$). Kurva jenis ini pada kasus endapan nikel laterit dapat diinterpretasikan adanya lapisan yang lebih resistif diatas lapisan yang lebih konduktif kemudian diikuti oleh kenaikan nilai resistivitas seperti pada kurva tipe AA. Lapisan resistif tersebut dapat berupa *boulder* maupun bentukan alami dari endapan nikel laterit itu sendiri.

c. Kurva Tipe QH

Kurva jenis ketiga hanya ditemukan di beberapa titik pada lintasan 19 dan 20. Secara kualitatif, kurva jenis ini menggambarkan adanya nilai resistivitas tinggi di permukaan diikuti dengan penurunan nilai resistivitas hingga lapisan 3 kemudian terjadi kenaikan nilai resistivitas kembali pada lapisan 4 ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$). Kurva jenis ini pada kasus endapan nikel laterit dapat diinterpretasikan sebagai adanya lapisan timbunan (*overburden*) dengan resistivitas yang sangat tinggi di permukaan.



Gambar 4.17 Kurva tipe HA (kiri) dan kurva tipe QH (kanan)

Tahap Interpretasi dilakukan dengan mengkorelasikan penampang 1D dengan penampang 2D dan data bor. Korelasi dilakukan dengan cara merubah *resistivity log* hasil inversi 1D menjadi log sederhana dengan simbol warna tertentu kemudian dilakukan *plotting* pada penampang 2D.

4.3 Interpretasi dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data pemboran dan data resistivitas maka dapat dilakukan estimasi nilai resistivitas endapan nikel laterit daerah penelitian secara insitu. Referensi nilai resistivitas juga diperlukan untuk memperkuat hasil estimasi secara insitu. Nilai referensi tersebut menyatakan nilai resistivitas zona *lateritic soil* sebesar 5 – 1200 Ohm.m, sedangkan nilai batuan peridotit memiliki nilai resistivitas sebesar 200- 1200 Ohm.m (Peric, 1981). Estimasi dilakukan dengan mengkorelasikan data pemboran dan penampang resistivitas 1D serta 2D terlebih dahulu. Pada penelitian kali ini didapatkan hasil yang menunjukkan endapan nikel laterit di daerah penelitian dibagi menjadi 3 zona berdasarkan nilai resistivitasnya (*geoelectric layer*). Zona tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Zona laterit (*lateritic soil*)

Zona ini merupakan lapisan paling atas dengan nilai resistivitas 5 – 55 Ohm.m. Lapisan ini memiliki ketebalan rata-rata 9 m. Berdasarkan nilai resistivitasnya, lapisan ini diinterpretasikan sebagai lapisan endapan nikel laterit (*lateritic soil*) yang bila dikorelasikan dengan data pemboran terdiri dari *zona limonite* dan *zona saprolite*, namun pada penelitian kali ini *zona lateritic soil* tersebut didominasi oleh *zona saprolite*. Nilai resistivitas rendah pada zona ini disebabkan karena zona ini kaya dengan mineral lempung yang bersifat konduktif (Peric, 1981; Savin dkk., 2003). Pada penelitian kali ini metode resistivitas belum mampu

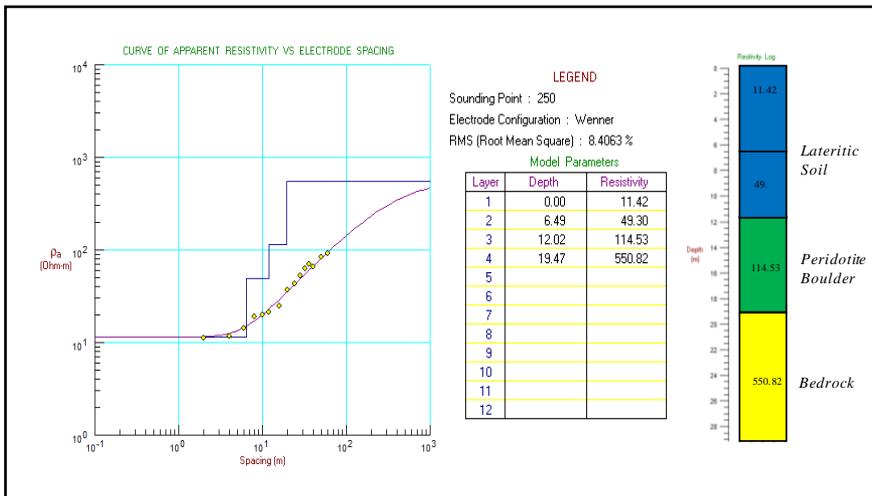
menentukan batas antara zona *limonite* dan *saprolite* dikarenakan hanya terdapat 2 buah data pemboran yang mengandung informasi zona *limonite*. Zona *limonite* yang terkandung dalam data pemboran tersebut juga memiliki ketebalan yang sangat tipis ± 1 meter sehingga sulit terdeteksi.

b. *Zona peridotite boulder*

Zona ini berada tepat di bawah zona *lateritic soil*, dengan nilai resistivitas 56 – 170 Ohm.m. Adanya bongkah batuan peridotit berukuran *boulder* diatas *bedrock* menjadi ciri khas endapan nikel laterit blok selatan (Kamaruddin dkk., 2018). Keberadaan zona ini divalidasi oleh semua data pemboran. *Boulder* batuan peridotit pada zona ini masih memiliki sifat fisis dari batuan asalnya sehingga memiliki nilai resistivitas yang lebih tinggi dari pada endapan laterit. Ketebalan dari zona ini berkisar 7 hingga 15 meter.

c. *Zona bedrock*

Zona ini didapati pada kedalaman 25 – 30 meter dari permukaan. Nilai resistivitas zona ini sangat tinggi berkisar antara 171 Ohm.m hingga 3000 Ohm.m. Berdasarkan data pemboran dan data geologi maka zona ini dapat diinterpretasikan sebagai *bedrock* dengan litologi berupa batuan peridotit masif dengan tingkat pelapukan yang rendah.

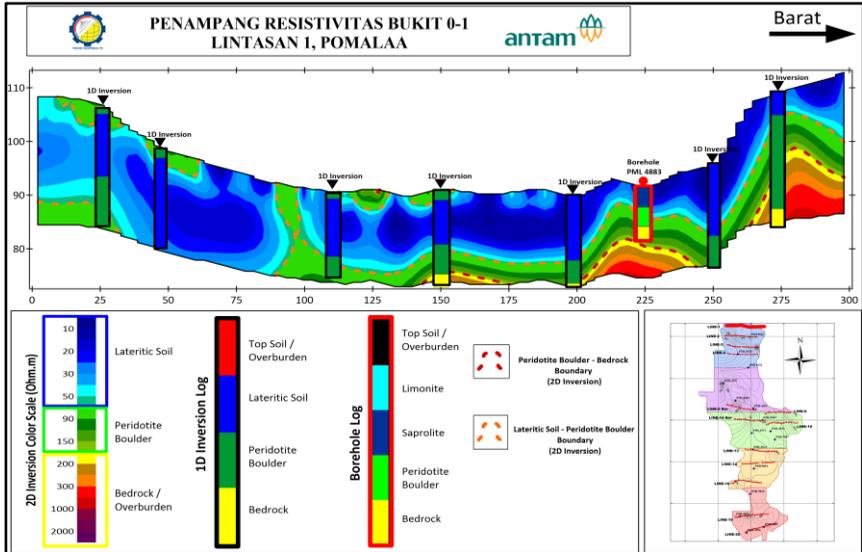


Gambar 4.18 Contoh interpretasi penampang hasil inversi 1D

Penampang 1D diinterpretasi sesuai dengan pembagian zona diatas. Interpretasi dilakukan dengan mengubah *resistivity* log menjadi log warna sederhana. Contoh interpretasi penampang 1D disajikan dalam gambar 4.18.

Setelah seluruh penampang 1D dan data pemboran diubah menjadi log warna sederhana kemudian dilakukan interpretasi pada masing-masing penampang 2D yang dijelaskan sebagai berikut.

a. Lintasan 1

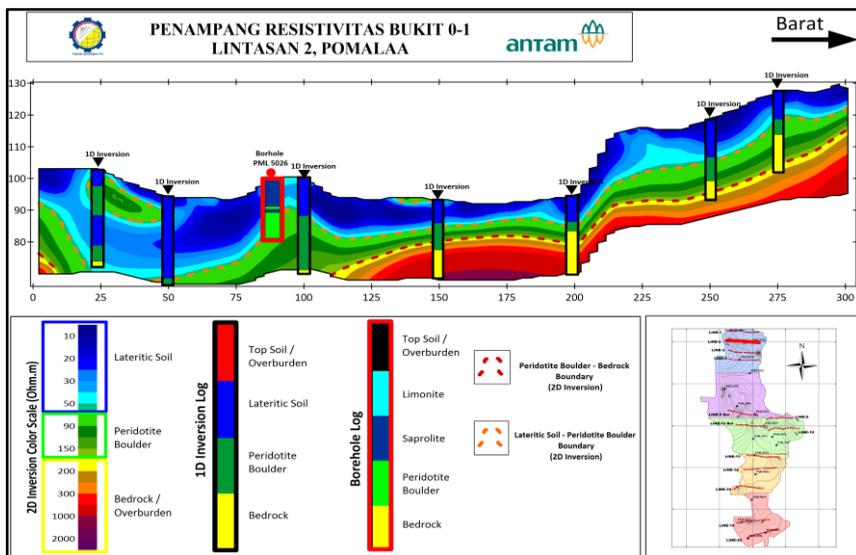


Gambar 4.19 Penampang resistivitas 2D lintasan 1 terintegrasi dengan hasil inversi ID dan data pemboran

Lintasan 1 yang disajikan dalam gambar 4.19 diatas, merupakan lintasan yang terletak paling utara dengan panjang lintasan mencapai 300 meter. Pada lintasan ini terdapat 1 buah titik pemboran dengan kedalaman 8 meter. Data pemboran menunjukkan adanya zona *saprolite* pada kedalaman 0 – 3 meter, zona *peridotite boulder* pada kedalaman 3 – 7 meter, dan *bedrock* dijumpai pada kedalaman 7 meter. Secara keseluruhan pada penampang resistivitas didapati lapisan dengan resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) disepanjang lintasan yang diduga sebagai endapan laterit (*lateritic soil*) yang kemudian diikuti oleh keberadaan resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) yang diduga sebagai lapisan bongkah batuan peridotit dengan ukuran boulder (*peridotite boulder*). Keberadaan *boulder* batuan peridotit juga dijumpai di dekat permukaan pada jarak 25 meter, 50 meter, 100 meter hingga 150 meter. Ketebalan endapan laterit pada lintasan ini rata-rata mencapai 12,9 meter, dengan ketebalan tertinggi berada di timur lintasan kemudian menipis ke arah barat lintasan. Penipisan endapan nikel laterit tersebut diikuti dengan kenaikan morfologi hingga

membentuk lereng dengan kemiringan 40° pada bagian barat lintasan (jarak 250 – 275 meter). Kemiringan lereng tersebut menyebabkan air hujan yang jatuh pada lokasi tersebut tidak mampu meresap melainkan langsung mengalir menuruni lereng sehingga ketebalan endapan lateritnya tipis (Santoso, 2018). Keberadaan *bedrock* dengan resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) baru didapati pada jarak lintasan 150 meter dan makin ke barat makin mendekati permukaan tanah. Pada lintasan ini dilakukan inversi 1D sebanyak 7 titik dengan hasil yang memiliki kecocokan tinggi bila dibandingkan dengan penampang 2D.

b. Lintasan 2

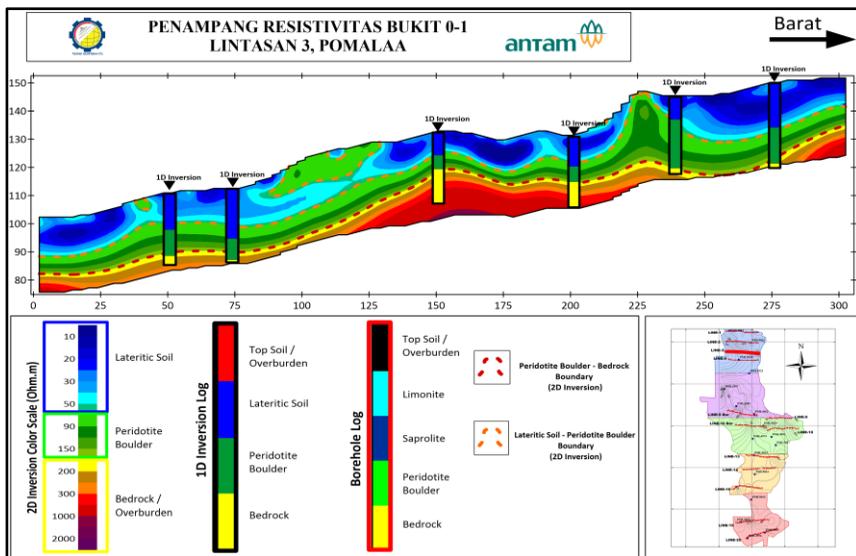


Gambar 4.20 Penampang resistivitas lintasan 2 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Penampang resistivitas lintasan 2 yang disajikan dalam gambar 4.20, menunjukkan hasil yang hampir serupa dengan lintasan 1, yang mana didapati lapisan dengan resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) disepanjang lintasan yang diduga sebagai endapan laterit (*lateritic soil*) yang kemudian diikuti oleh keberadaan resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) yang diduga sebagai lapisan bongkah batuan peridotit dengan ukuran boulder (*peridotite boulder*). Diduga pada lintasan ini terdapat bongkah batuan peridotit berukuran besar pada jarak 25 – 50 meter terlihat dari ukuran anomalnya. Pada lintasan ini keberadaan *bedrock* baru dijumpai pada jarak 125 meter dan terus menebal ke arah barat lintasan hingga jarak 300 meter. Titik pemboran pada lintasan ini berada pada

jarak 87,5 meter dengan kedalaman 18 meter. Data pemboran menunjukkan adanya zona *saprolite* hingga kedalaman 10 meter diikuti dengan adanya zona *peridotite boulder*. Ketebalan endapan laterit pada lintasan ini pun hampir sama dengan lintasan 1 yaitu sebesar 12 meter. Endapan laterit pada sebelah timur lintasan lebih tebal dari pada sebelah barat lintasan diakibatkan karena pada sebelah timur relatif landai sehingga proses lateritisasi dapat berlangsung dengan baik.

c. Lintasan 3

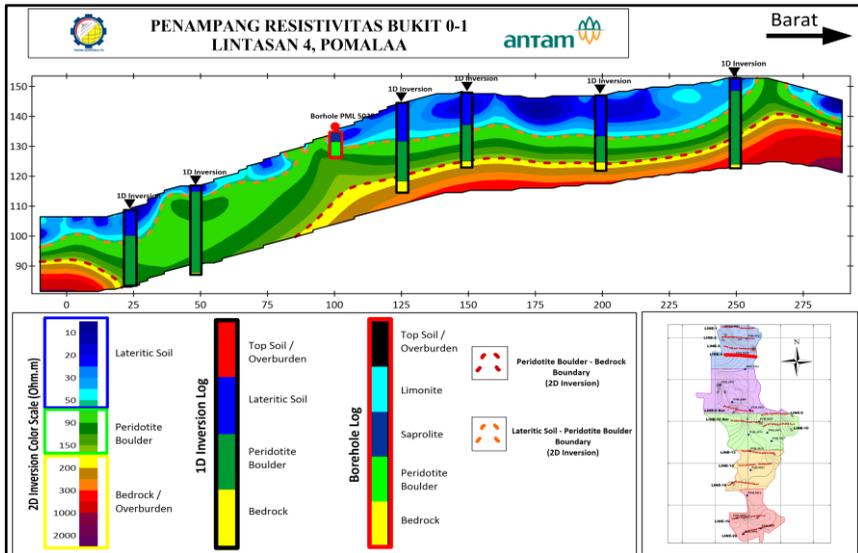


Gambar 4.21 Penampang resistivitas lintasan 3 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Pada lintasan 3 yang disajikan dalam gambar 4.21 proses lateritisasi terjadi dengan baik bentuk morfologi lereng dengan kemiringan $\pm 10^\circ$. Lateritisasi diduga terjadi merata sepanjang lintasan didasarkan pada keterdapat nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) disepanjang lintasan. Ketebalan endapan laterit berdasarkan data resistivitas kurang lebih 11 meter. Menurut Sutisna dkk. (2006) lereng dengan kemiringan $10 - 20^\circ$ dimungkinkan terdapat endapan laterit dengan ketebalan dan kadar yang tinggi. Pada lintasan ini tidak terdapat titik pemboran. Berbeda dengan lintasan 1 dan 2 yang mana *bedrock* hanya dijumpai pada setengah hingga akhir lintasan, pada lintasan ini indikasi *bedrock* terdapat dari awal hingga akhir lintasan pada kedalaman 20 meter dari permukaan. Pada lintasan ini terdapat pula bongkah batuan peridotit yang ada di permukaan pada

jarak 100 – 125 meter, bahkan pada pada jarak 225 meter bongkah batuan peridotit terlihat menerus memotong endapan nikel laterit. Pada lintasan ini dilakukan inversi 1D sebanyak 6 titik sebagai pengontrol.

d. Lintasan 4

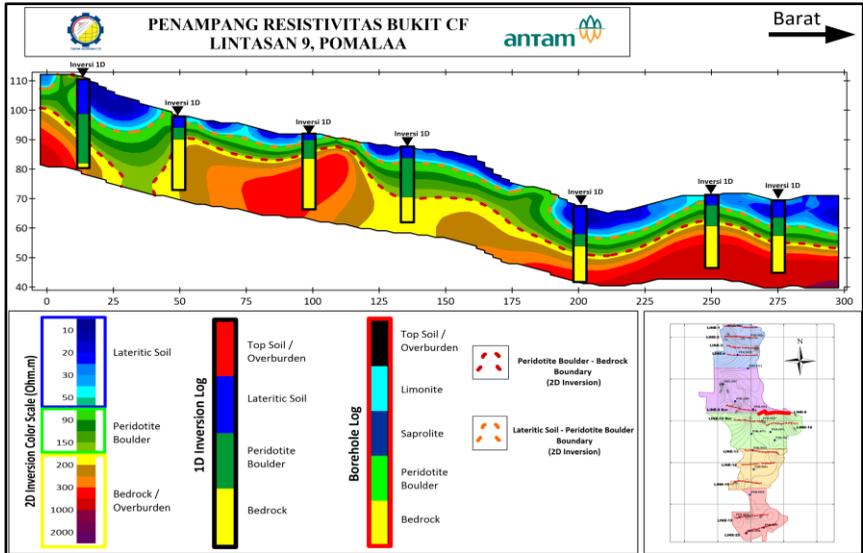


Gambar 4.22 Penampang resistivitas lintasan 4 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Pada penampang resistivitas lintasan 4 (gambar 4.22) didapati endapan laterit yang cukup tebal pada jarak 125 meter hingga 250 meter. Endapan laterit tersebut ditandai dengan nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m). Pada jarak 0 hingga 100 meter yang memiliki kemiringan lereng $\pm 25^\circ$ dijumpai endapan laterit namun sangat tipis, dengan ketebalan < 10 meter. Hal tersebut diduga diakibatkan air hujan yang jatuh pada lokasi tersebut tidak mampu meresap melapukkan batuan induk, melainkan langsung mengalir menuruni lereng sehingga ketebalan endapan lateritnya tipis (Santoso, 2018). Pada jarak tersebut didapati pula lapisan zona *peridotite boulder* yang sangat tebal pada jarak ini. Keberadaan zona *peridotite boulder* pada jarak 50 meter diperkuat dengan hasil inversi 1D yang menunjukkan kesamaan. Secara keseluruhan endapan laterit pada lintasan ini memiliki ketebalan rata-rata mencapai 9 meter, merupakan ketebalan yang paling tipis bila dibandingkan dengan lintasan 1 hingga 3. Pada lintasan ini terdapat 1 buah titik pemboran dengan kedalaman 8 meter. Data

pemboran tersebut menunjukkan adanya zona saprolit hingga kedalaman 3 meter dari permukaan kemudian diikuti zona *peridotite boulder* hingga akhir lubang bor. Dapat dilihat bahwa penampang resistivitas dan data bor memiliki kecocokan yang mana pada jarak 100 meter didapati endapan laterit yang tipis diikuti adanya zona *peridotite boulder*. Pada lintasan ini didapati *bedrock* dengan resistivitas tinggi hampir sepanjang lintasan kecuali pada jarak 25 meter hingga 100 meter.

e. Lintasan 9

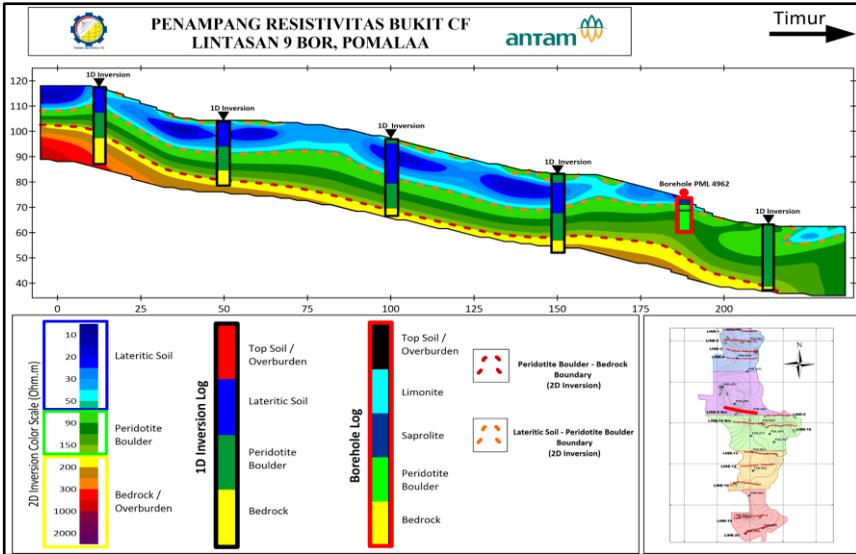


Gambar 4.23 Penampang resistivitas lintasan 9 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Endapan nikel laterit pada lintasan 9 (gambar 4.23) rata-rata setebal 6,5 meter. Endapan laterit pada lintasan ini memiliki *trend* menebal dari timur ke barat, hal tersebut diduga akibat morfologi lintasan 9 pada jarak 0 meter sampai 200 meter yang berupa lereng dengan kemiringan $\pm 25^\circ$ sehingga tidak memungkinkan endapan laterit untuk berkembang dengan baik (Sutisna dkk., 2006). Sedangkan pada jarak 225 meter hingga akhir lintasan relatif landai sehingga endapan laterit dapat berkembang. Fitur khas dari lintasan ini ialah keterdapatannya *bedrock* dengan nilai resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) yang relatif dangkal pada lintasan ini. Pada beberapa titik lintasan ini, *bedrock* sudah ditemukan pada kedalaman ± 10 meter dari permukaan, bahkan pada jarak 112,5 meter diduga terdapat singkapan *bedrock* di permukaan. Selain *bedrock* yang

tersingkap di permukaan, terdapat pula bongkah batuan peridotit yang tersingkap di permukaan pada jarak 0 meter dan 187,5 meter. Keterdapatan *bedrock* di dekat permukaan berbanding terbalik dengan ketebalan endapan laterit pada titik tersebut, artinya semakin dangkal *bedrock* kemungkinan besar tidak terjadi pelapukan sehingga endapan lateritnya akan tipis. Inversi 1D dilakukan sebanyak 7 titik dengan jarak ± 50 meter dan secara kualitatif sesuai dengan penampang 2D.

f. Lintasan 9 Bor

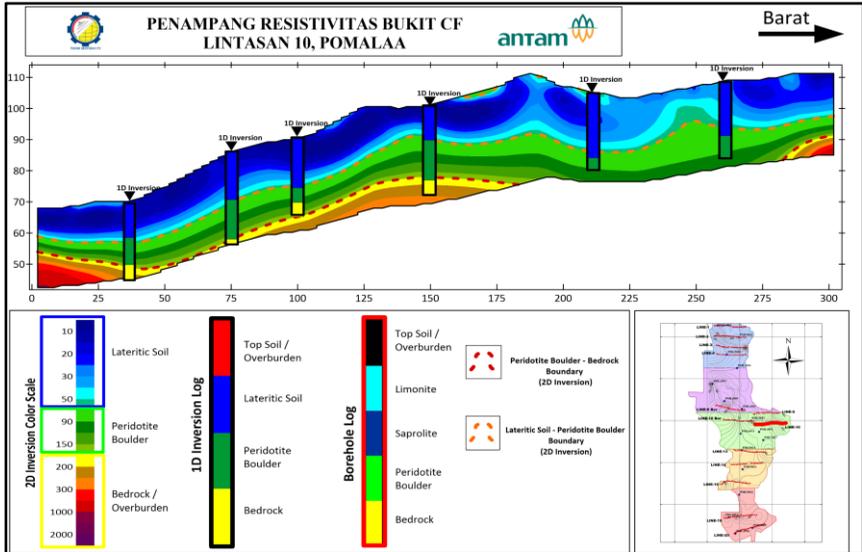


Gambar 4.24 Penampang resistivitas lintasan 9 bor terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Lintasan 9 Bor yang disajikan dalam gambar 4.24, dengan panjang lintasan 237 meter berada di sebelah barat lintasan 9. Terdapat sebuah titik pemboran dengan kedalaman 12 meter pada lintasan ini di jarak 187,5 meter. Data pemboran menunjukkan adanya zona *saprolite* yang berselingan dengan bongkah batuan peridotit hingga kedalaman 4,5 meter, yang diikuti dengan zona *boulder* hingga kedalaman 12 meter. Data resistivitas menunjukkan adanya endapan nikel laterit dengan ketebalan 10 – 20 meter pada bagian barat lintasan ini tepatnya pada jarak 0 meter hingga 187,5 meter. Endapan nikel laterit tersebut memiliki nilai resistivitas 5 – 55 Ohm.m. Pada jarak 200 meter hingga akhir lintasan tidak dijumpai kembali adanya endapan nikel laterit, namun dijumpai keberadaan zona *peridotite boulder* yang sangat tebal ± 30 meter. Keberadaan

bedrock pada lintasan ini dijumpai merata dari awal hingga akhir lintasan pada kedalaman 30 meter. Bila dibandingkan dengan lintasan 9, endapan *lateritic soil* di lintasan ini lebih tebal.

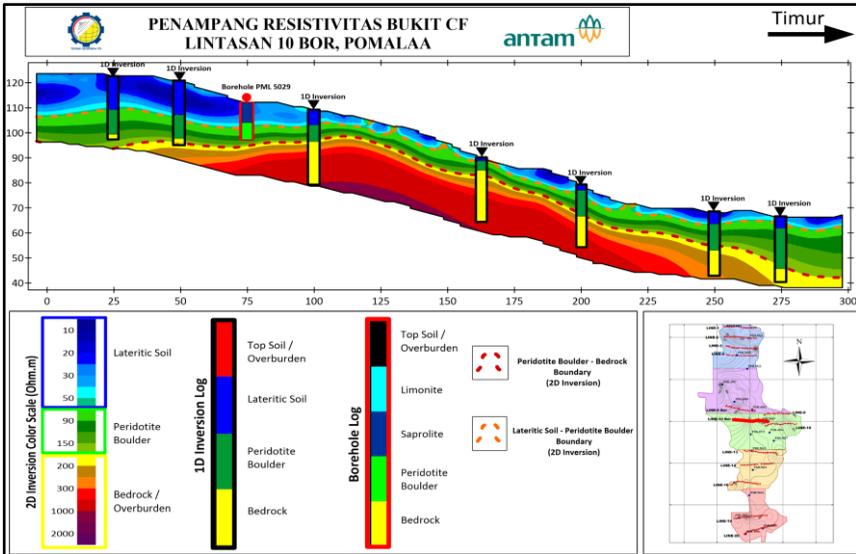
g. Lintasan 10



Gambar 4.25 Penampang resistivitas lintasan 10 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Lintasan 10 (gambar 4.25) menunjukkan adanya lateritisasi yang berkembang dengan baik. Hal itu ditunjukkan oleh nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) sepanjang lintasan dengan kedalaman merata hingga 20 meter yang diduga sebagai zona *lateritic soil*. Laterisasi nikel dapat berkembang dengan baik pada lintasan ini meskipun berupa lereng dengan kemiringan $\pm 23^\circ$. Pada kemiringan lereng ini proses mekanik relatif lebih dominan terjadi dibandingkan proses kimiawi dalam pembentukan endapan nikel laterit (Sutisna dkk., 2006). Di bawah lapisan tersebut diikuti oleh keberadaan resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) yang diduga sebagai lapisan bongkah batuan peridotit dengan ukuran boulder (*peridotite boulder*). Keberadaan *bedrock* di lintasan ini ditandai dengan nilai resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) pada kedalaman 25 – 30 meter dari permukaan. Keberadaan *bedrock* pada lintasan ini terdapat di jarak 0 meter hingga 175 meter kemudian menghilang dan muncul kembali pada jarak 275 meter. Proses inversi 1D dilakukan sebanyak 6 titik dan didapatkan kecocokan secara kualitatif dengan penampang hasil inversi 2D.

h. Lintasan 10 Bor

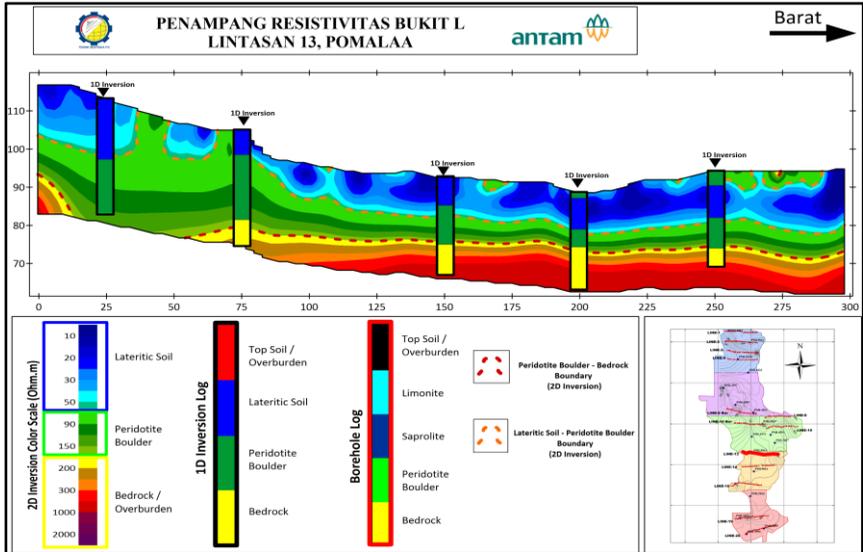


Gambar 4.26 Penampang resistivitas lintasan 2 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Lintasan 10 bor (gambar 4.26) termasuk salah satu lintasan dengan endapan laterit paling tipis diantara semua lintasan dengan ketebalan rata-rata hanya mencapai 7 meter. Endapan *lateritic soil* pada lintasan ini ditunjukkan dengan nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m). Endapan laterit pada lintasan ini memiliki *trend* menipis dari barat ke timur, semakin ke timur maka endapan lateritnya akan semakin tipis. Zona *peridotite boulder* dengan litologi bongkahan batuan peridotit dengan nilai resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) ditemui pada kedalaman 10 meter hingga tersingkap di permukaan. Singkapan batuan peridotit dijumpai pada beberapa titik yaitu di jarak 125 meter hingga 150 meter. Sama halnya dengan lintasan 9, pada lintasan ini didapati nilai resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) yang diduga sebagai *bedrock* berada sangat dekat dengan permukaan. Data pemboran pada lintasan ini berada pada jarak 75 meter dengan kedalaman mencapai 15 meter. Berdasarkan data pemboran didapati zona *saprolite* dengan ketebalan 8 meter diikuti dengan zona *boulder* hingga kedalaman 15 meter. Dapat diperhatikan pada penampang 2D, kedalaman dan batas lapisan berdasarkan data pemboran terdapat kecocokan dengan batas lapisan hasil inversi 2D. Tipisnya endapan laterit pada lintasan ini diduga diakibatkan morfologi lintasan yang merupakan lereng dengan kemiringan $\pm 35^\circ$ sehingga air hujan yang membantu proses lateritisasi secara kimiawi tidak dapat terserap

secara vertikal kedalam tanah namun langsung menurun lereng sedangkan proses mekanik akibat kemiringan lereng berlangsung dominan (Santoso, 2018; Sutisna dkk., 2006)

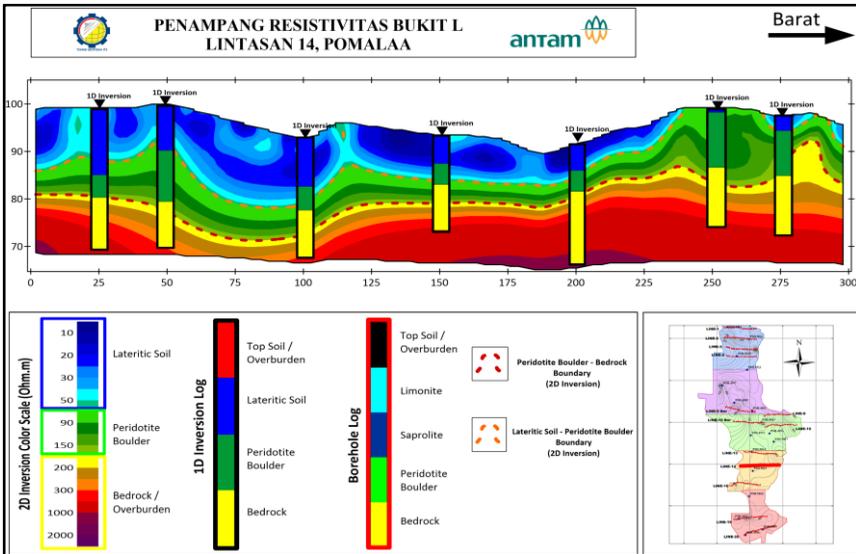
i. Lintasan 13



Gambar 4.27 Penampang resistivitas lintasan 13 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Penampang resistivitas 2D lintasan 13 yang disajikan dalam gambar 4.27, secara keseluruhan menunjukkan adanya 3 buah zona. Zona paling atas merupakan zona *lateritic soil* dengan nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) dengan tebal rata-rata mencapai 9,5 meter. Di bawah zona *lateritic soil* terdapat zona *peridotite boulder* dengan nilai resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m). Pada lintasan ini didapati pula adanya *boulder* batuan peridotit yang ada di permukaan pada jarak 50 meter, 75 meter, 175 meter, dan 250 hingga 275 meter. Zona paling bawah adalah zona resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) yang diduga merupakan *bedrock*. Lateritisasi pada lintasan ini dapat berlangsung dengan baik diduga dikarenakan morfologi lintasan yang relatif landai. Pada lintasan ini terdapat data pemboran pada jarak 50 meter dengan kedalaman hingga 30 meter. Pada lintasan 13 juga dilakukan inversi 1D sebanyak 5 titik dan secara kualitatif ditemukan kecocokan kedalaman batas-batas endapan laterit dengan penampang 2D.

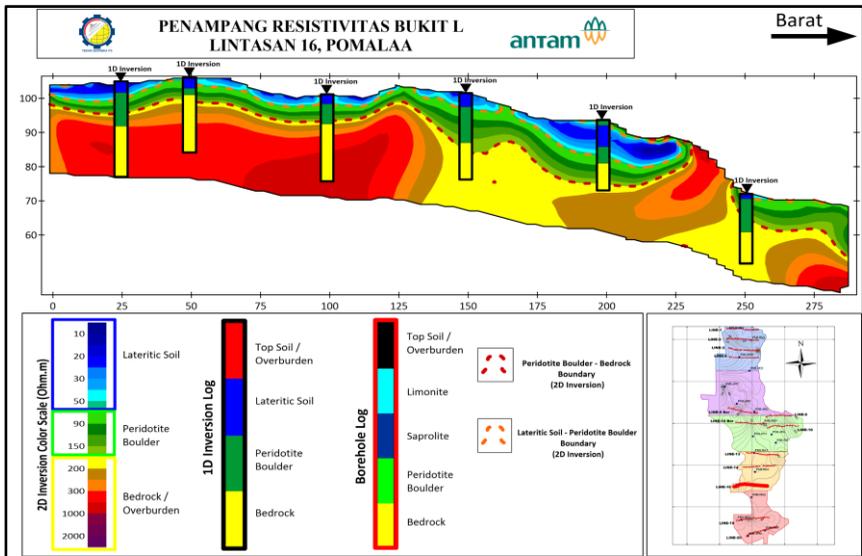
j. Lintasan 14



Gambar 4.28 Penampang resistivitas lintasan 14 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Pada penampang resistivitas 2D lintasan 14 (gambar 4.28) didapat adanya nilai resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) yang diduga sebagai endapan laterit (*lateritic soil*). Endapan laterit pada lintasan ini memiliki ketebalan 10 – 20 meter dan terdapat pada jarak 0 meter hingga 237,5 meter dengan *trend* yang makin menipis dari timur ke barat. Endapan laterit dapat berkembang dengan baik pada lintasan ini diduga karena topografinya yang relatif landai tanpa undulasi yang signifikan. Di bawahnya terdapat zona dengan nilai resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) yang diduga sebagai zona *peridotite boulder*. Zona ini memiliki ketebalan 5 – 20 meter. Pada jarak 225 meter hingga 300 meter didapati zona ini tersingkap di permukaan. Zona paling bawah memiliki resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) yang diduga sebagai *bedrock*. Zona ini memiliki *trend* yang berbanding terbalik dengan zona endapan laterit yaitu menebal dari timur ke barat lintasan. Inversi 1D dilakukan sebanyak 7 titik pada lintasan ini dan didapati kesesuaian antara batas zona endapan laterit hasil inversi 1D dengan hasil inversi 2D.

k. Lintasan 16

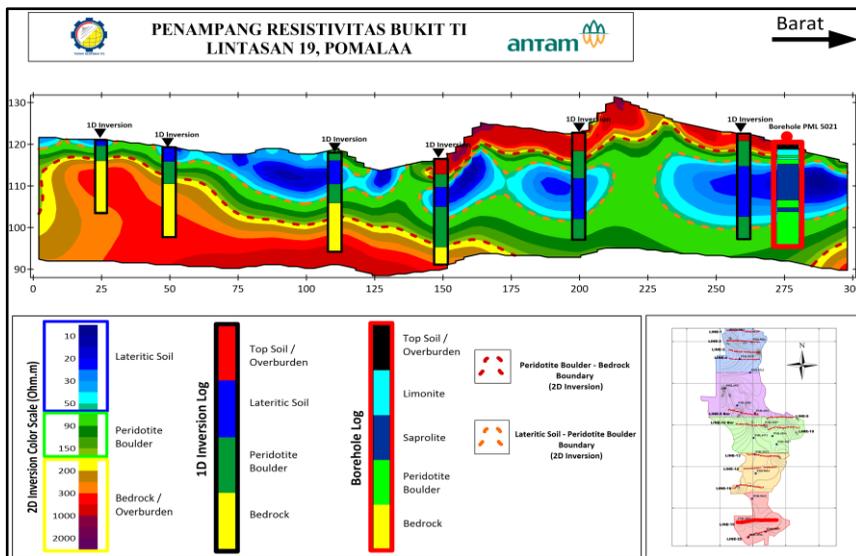


Gambar 4.29 Penampang resistivitas lintasan 16 terintegrasi dengan hasil inversi 1D

Pada lintasan 16 (gambar 4.29) didapati zona resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) yang sangat tipis di dekat permukaan yang diduga sebagai endapan nikel laterit. Lintasan ini merupakan lintasan dengan ketebalan endapan paling tipis diantara lintasan lainnya, dengan ketebalan endapan rata-rata hanya 5,2 meter. Zona resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) dijumpai pada lapisan ini namun dengan ketebalan yang hampir sama dengan zona *lateritic soil* di atasnya. Zona paling bawah pada lintasan ini merupakan zona yang diduga sebagai *bedrock* yang ditemukan pada kedalaman ± 10 meter dari permukaan tanah. Zona *bedrock* merupakan zona paling dominan dan paling tebal yang ditemui pada lintasan ini, bahkan pada jarak 225 meter hingga 250 meter ditemukan adanya singkapan *bedrock* di permukaan. Pada lintasan ini dilakukan inversi 1D sebanyak 6 buah yang digunakan sebagai pengontrol hasil inversi 2D. Hasil inversi yang didapatkan mayoritas didapati kecocokan yang tinggi namun ada pula yang kurang cocok, diantara pada jarak 200 meter dan 250 meter. Ketidaccocokan tersebut dapat diakibatkan adanya perbedaan perhitungan saat proses inversi. Inversi 1D yang dilakukan secara manual sangat mungkin terdapat perbedaan dengan proses inversi 2D yang dilakukan secara otomatis. Terdapat anomali ketebalan nikel pada lintasan ini bila dibandingkan dengan lintasan lainnya. Jika pada lintasan lainnya dijumpai endapan tipis pada morfologi lereng dengan

kemiringan $\geq 25^\circ$, pada lintasan ini dijumpai endapan nikel tipis dengan morfologi yang relatif landai. Tipisnya endapan laterit tersebut diikuti dengan keberadaan *bedrock* di dekat permukaan yang diduga tidak mengalami pelapukan yang signifikan. Tidak terjadinya pelapukan kemungkinan disebabkan tidak adanya aliran air hujan maupun air tanah yang meresap hingga ke dalam lapisan batuan dasar tersebut, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperkuat asumsi tersebut.

I. Lintasan 19

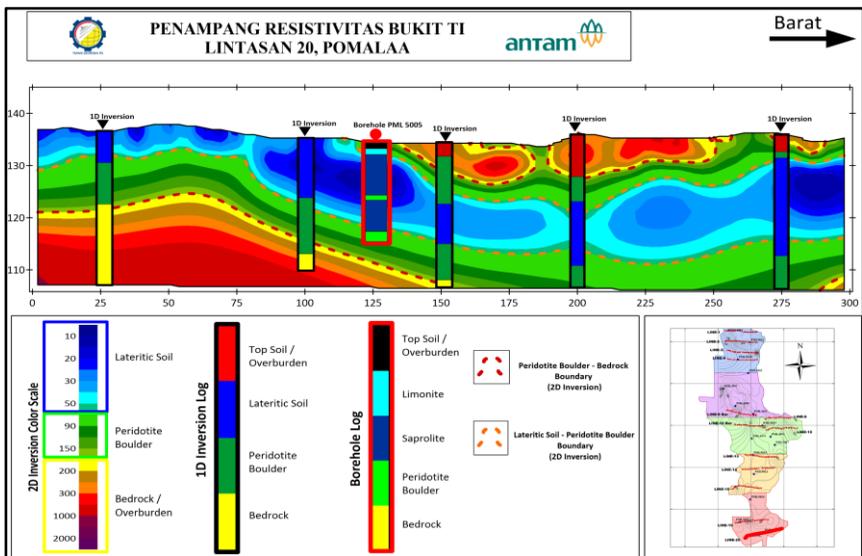


Gambar 4.30 Penampang resistivitas lintasan 19 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Pada penampang resistivitas lintasan 19 (gambar 4.30) didapati lapisan dengan resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) disepanjang lintasan yang diduga sebagai endapan laterit (*lateritic soil*) dengan ketebalan rata-rata mencapai 10 meter yang kemudian diikuti oleh keberadaan resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) diduga sebagai lapisan bongkah batuan peridotit dengan ukuran *boulder* (*peridotite boulder*). Keberadaan *bedrock* dengan resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) didapati hanya pada jarak lintasan 0 meter hingga 175 meter saja. Pada lintasan ini terdapat 1 buah titik pemboran dengan kedalaman 23 meter. Data pemboran menunjukkan adanya tanah penutup pada kedalaman 0 – 3 meter, zona *limonite* pada kedalaman 1 – 3.5 meter, didapati pula adanya sisipan *peridotite boulder* pada zona limonit tersebut dengan ketebalan 0,5 meter kemudian diikuti

adanya bongkah batuan peridotit berukuran *boulder* dengan ketebalan 1,1 meter. Pada kedalaman 4.6 meter hingga 16 meter didominasi zona *saprolite*, diikuti dengan zona *peridotite boulder* hingga akhir lubang bor. Pada lintasan 19 ini terdapat fitur khas yaitu adanya nilai resistivitas tinggi di permukaan pada jarak 150 meter hingga 275 meter dengan ketebalan 1- 5 meter. Nilai tersebut diinterpretasikan sebagai adanya tanah penutup dengan nilai resistivitas sangat tinggi (>300 Ohm.m). Hal itu sesuai dengan data lubang pemboran yang menyatakan ketersediaan tanah penutup pada jarak 275 meter. Keberadaan zona *limonite* berdasarkan data pemboran tidak dapat terbaca sebagai resistivitas rendah pada penampang hasil inversi 2D. Hal itu diduga disebabkan nilai resistivitas zona limonit tersebut dipengaruhi oleh adanya nilai resistivitas sangat tinggi yang disebabkan adanya tanah penutup di atasnya dan juga ketebalan dari lapisan *limonite* yang hanya $\pm 1,5$ meter sehingga tidak dapat terdeteksi. Pada lintasan ini endapan laterit dapat berkembang dengan baik dikarenakan morfologi lintasan yang relatif landai.

m. Lintasan 20



Gambar 4.31 Penampang resistivitas lintasan 20 terintegrasi dengan hasil inversi 1D dan data pemboran

Pada penampang resistivitas lintasan 20 yang ditampilkan dalam gambar 4.31, didapati *trend* endapan yang hampir sama dengan lintasan 19, lapisan pertama dengan resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m) ditemukan disepanjang

lintasan yang diduga sebagai endapan laterit (*lateritic soil*) dengan ketebalan rata-rata mencapai 9,7 meter yang kemudian diikuti oleh keberadaan resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m) diduga sebagai lapisan bongkah batuan peridotit dengan ukuran *boulder* (*peridotite boulder*). Keberadaan *bedrock* dengan resistivitas tinggi (>170 Ohm.m) didapati hanya pada jarak lintasan 0 meter hingga 150 meter saja. Pada lintasan ini terdapat 1 buah titik pemboran pada jarak 125 meter dengan kedalaman 19 meter. Pada lintasan ini terdapat data pemboran pada jarak 125 meter didapati pada kedalaman 0 – 1 meter berupa tanah penutup, zona *limonite* pada kedalaman 1 – 2 meter, diikuti dengan zona *saprolite* hingga kedalaman 17 meter dan zona *peridotite boulder* setebal 2 meter hingga akhir lubang bor. Pada lintasan 20 ini terdapat fitur seperti lintasan 19 yaitu adanya nilai resistivitas tinggi di permukaan pada jarak 125 meter hingga 300 meter dengan ketebalan 1- 5 meter. Nilai tersebut diinterpretasikan sebagai adanya tanah penutup yang memiliki nilai resistivitas sangat tinggi (>300 Ohm.m). Hal itu diperkuat dari data lubang pemboran yang menyatakan keterdapatannya tanah penutup pada jarak 125 meter.

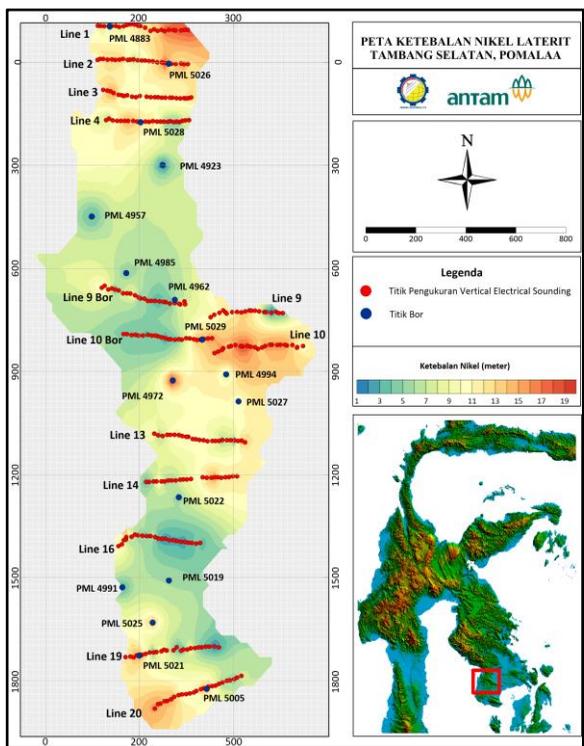
Sama halnya dengan lintasan 19, keberadaan zona *limonite* berdasarkan data pemboran hanya terbaca sebagai gradasi nilai resistivitas pada penampang hasil inversi 2D dan tidak didapati batas yang jelas. Ketidakmampuan metode resistivitas untuk menentukan batas zona *limonite* tersebut diduga disebabkan ketebalan dari zona *limonite* yang hanya 1 meter. Pada lintasan ini endapan laterit dapat berkembang dengan baik dikarenakan morfologi lintasan yang relatif landai. Hasil inversi 1D pada lintasan ini secara kualitatif sesuai dengan hasil inversi secara 2D.

4.3.1 Peta Ketebalan Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan data resistivitas dan data pemboran maka dapat dibuat sebuah peta yang menunjukkan ketebalan endapan nikel laterit daerah penelitian. Endapan nikel laterit yang dimaksud terdiri dari zona *limonite* dan zona *saprolite* berdasarkan data pemboran, serta zona *lateritic soil* berdasarkan penampang resistivitas 1D dan 2D. Diketahui ketebalan nikel pada daerah penelitian berkisar antara 1 – 19 meter. Lintasan 1, 2, 3, dan 4 yang berada di utara daerah penelitian secara umum memiliki ketebalan laterit yang tinggi yaitu rata-rata setebal 10 meter. Daerah di sekitar data pemboran PML 4923, PML 4957, dan PML 4885 juga memiliki tebal laterit yang tipis yaitu <7 meter. Pada lintasan 9, 10, 9 bor, dan 10 bor didapati endapan nikel laterit berkembang dengan baik pada lintasan 9 dan 10 yang berada di sebelah timur, sedangkan pada lintasan 9 bor dan 10 bor endapan nikel laterit hanya memiliki tebal <9 meter. *Trend* ketebalan laterit di bagian timur daerah penelitian diperkuat dengan data pemboran PML 4994 dan PML 5027 yang menunjukkan kemenerusan tebal endapan ke arah selatan.

Ketebalan endapan nikel pada lintasan 13, 14 dan 16 cenderung semakin menipis ke arah selatan. Ketebalan endapan yang paling tipis berada di sekitar

lintasan 16 dan data bor PML 5019 serta PML 4991. Pada lintasan 19 dan 20 yang berada paling selatan daerah penelitian, didapati ketebalan endapan di sebelah barat lintasan lebih tebal dari sebelah timur kedua lintasan tersebut. Pada bagian barat lintasan didapat endapan dengan ketebalan >9 meter namun terus menipis hingga ke ujung lintasan. Peta ketebalan endapan nikel laterit daerah penelitian disajikan dalam gambar 4.32 dibawah ini.



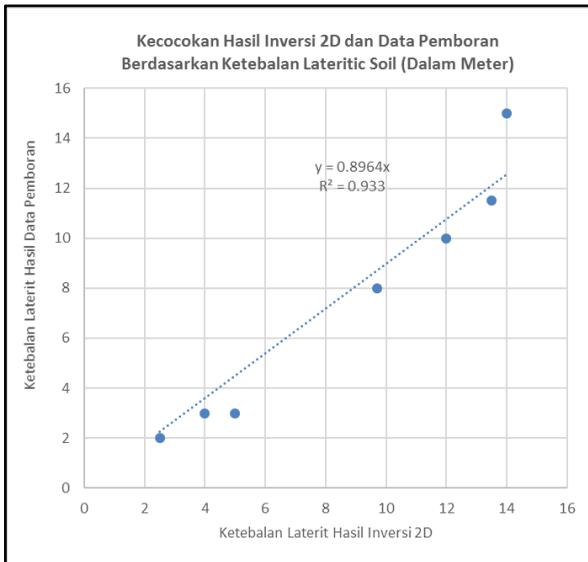
Gambar 4.32 Peta ketebalan endapan nikel laterit daerah penelitian

4.4 Model 3D Endapan Nikel Laterit

Pemodelan 3D endapan nikel laterit pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan volume endapan berdasarkan data resistivitas. Pemodelan dilakukan terhadap seluruh lintasan pengukuran resistivitas namun dibagi menjadi 4 buah model 3D. Model pertama dibuat berdasarkan lintasan 1 – 4, model kedua dibuat berdasarkan lintasan 9 – 10, model ketiga dibuat berdasarkan lintasan 13 – 16 dan model keempat dibuat berdasarkan lintasan 19 – 20. Pembagian keempat model tersebut didasarkan pada kondisi data resistivitas

yang memiliki spasi antar lintasan yang tidak konsisten, bila dibuat menjadi 1 model saja dikhawatirkan nilai volume yang didapatkan tidak representatif karena jarak antar lintasan yang terlalu jauh. Pemodelan 3D pada penelitian ini menggunakan algoritma *radial basis fuction* pada perangkat lunak.

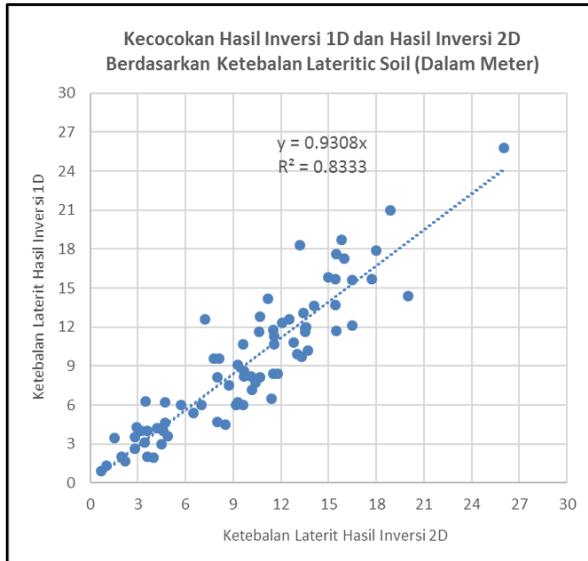
Sebelum melakukan pemodelan 3D, terlebih dahulu dilakukan perbandingan antara ketebalan nikel laterit yang didapat berdasarkan hasil pengolahan 2D dengan ketebalan nikel yang didapat berdasarkan data pemboran pada titik tertentu di suatu lintasan. Perbandingan juga dilakukan antara hasil pengolahan 2D dengan hasil pengolahan 1D. Kedua perbandingan ini dilakukan agar didapatkan nilai kecocokan secara kuantitatif antara kedua parameter serta penampang 2D yang memiliki tingkat kepercayaan tinggi karena penampang 2D tersebut akan digunakan sebagai dasar pemodelan 3D. Hasil perbandingan untuk mengetahui kecocokan antara ketebalan endapan berdasarkan data pemboran dan inversi 2D disajikan dalam gambar 4.33 sebagai berikut.



Gambar 4.33 Grafik hubungan ketebalan endapan laterit antara hasil inversi 2D dan data pemboran

Didapatkan perbandingan 7 buah data hasil inversi 2D dan data pemboran menghasilkan persamaan regresi yaitu $y = 0.89x$. Persamaan regresi tersebut dapat diartikan bahwa variabel y memiliki nilai 0.89 dari variabel x, yang mana dalam kasus ini nilai koefisien regresi tersebut menunjukkan kecocokan antara hasil inversi 2D dan data pemboran sebesar 0.89 atau 89%. Nilai 89% tersebut

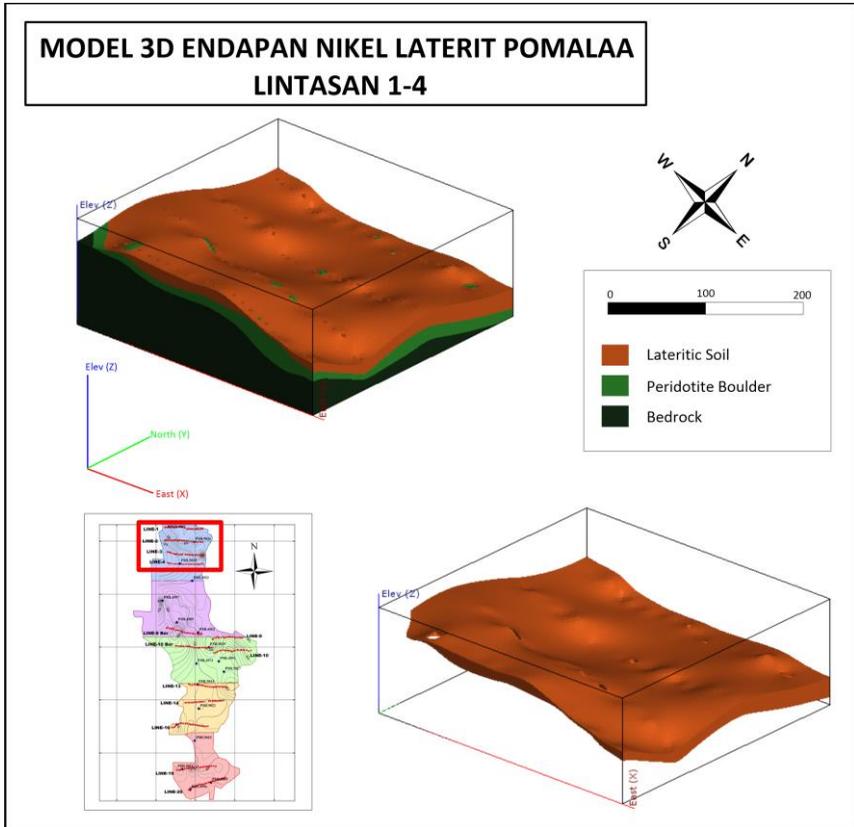
dapat diinterpretasikan sebagai tingkat kepercayaan dari hasil pengolahan 2D yang akan digunakan sebagai dasar pemodelan 3D. Diakukan juga perbandingan antara hasil inversi 2D dan hasil inversi 1D yang disajikan dalam gambar 4.34 dibawah ini. Hasil perbandingan antara hasil inversi 2D dan hasil inversi 1D didapatkan persamaan regresi yaitu $y = 0,9308x$ yang dapat diartikan kecocokan antara kedua variabel mencapai 93%. Didapati kedua hasil perbandingan memiliki kecocokan yang tinggi sehingga dapat disimpulkan hasil inversi 2D layak digunakan sebagai dasar pemodelan 3D.



Gambar 4.33 Grafik hubungan ketebalan endapan laterit antara hasil inversi 2D dan hasil inversi 1D

Hasil akhir dari pemodelan 3D ialah didapatkan model endapan nikel laterit daerah penelitian secara 3D, diketahui luas area sekaligus volume endapannya. Pemodelan 3D pada penelitian kali ini hanya menggunakan data geofisika saja dalam penyusunan model endapan. Diharapkan kedepannya pemodelan secara 3D dapat dikombinasikan dengan data kualitas seperti data kadar mineral agar didapatkan volume endapan yang lebih akurat. Keempat penampang 3D endapan nikel laterit menghasilkan total volume endapan nikel laterit sebesar 4.507.020 m³, kemudian total volume tersebut dikalikan tingkat kepercayaan hasil inversi secara 2D terhadap data pemboran yaitu sebesar 0,89 atau 89%. Didapatkan volume akhir endapan nikel laterit daerah penelitian yaitu sebesar 4.011.248 m³. Masing-masing model endapan dijabarkan sebagai berikut.

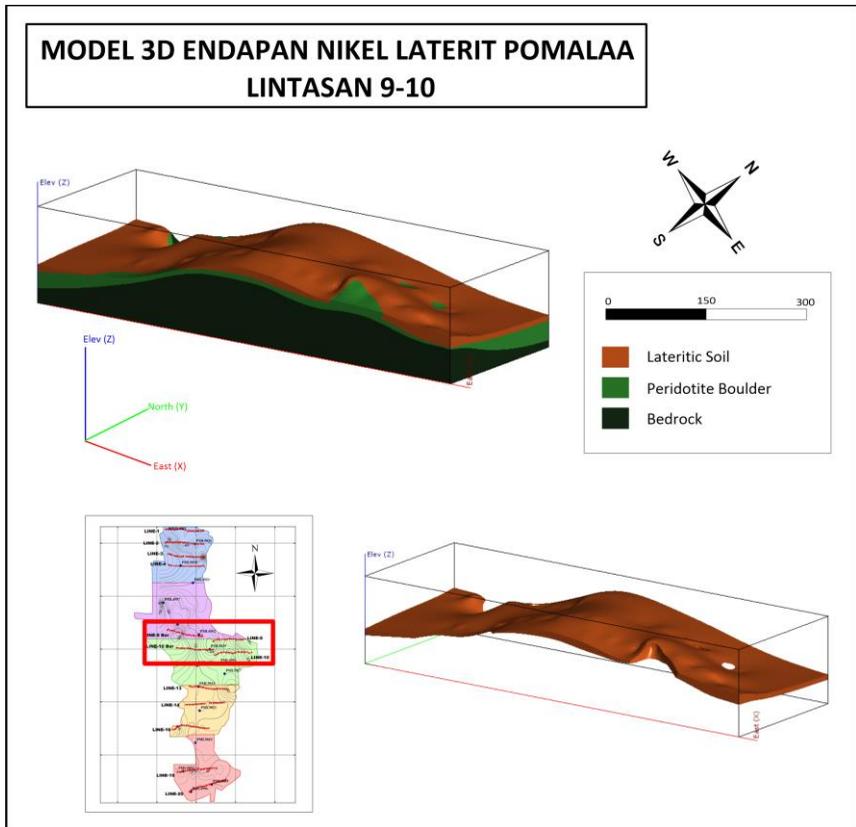
a. Model 1 (Lintasan 1 – 4)



Gambar 4.33 Model 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 1 – 4

Model 1 diatas menunjukkan model endapan nikel laterit yang dibuat berdasarkan lintasan geolistrik 1 – 4 berada pada daerah paling utara daerah penelitian. Model 3D pada lintasan ini menggambarkan 3 buah zona laterit sesuai dengan interpretasi penampang 2D yaitu zona *lateritic soil* yang merupakan zona endapan nikel laterit, zona *peridotite boulder* yang merupakan zona batuan peridotit berukuran boulder yang tepat berada diatas zona terkahir yaitu zona *bedrock* atau batuan induk. Luasan model 3D ini sebesar 219.210 m² dengan volume endapan diketahui sebesar 1.158.000 m³.

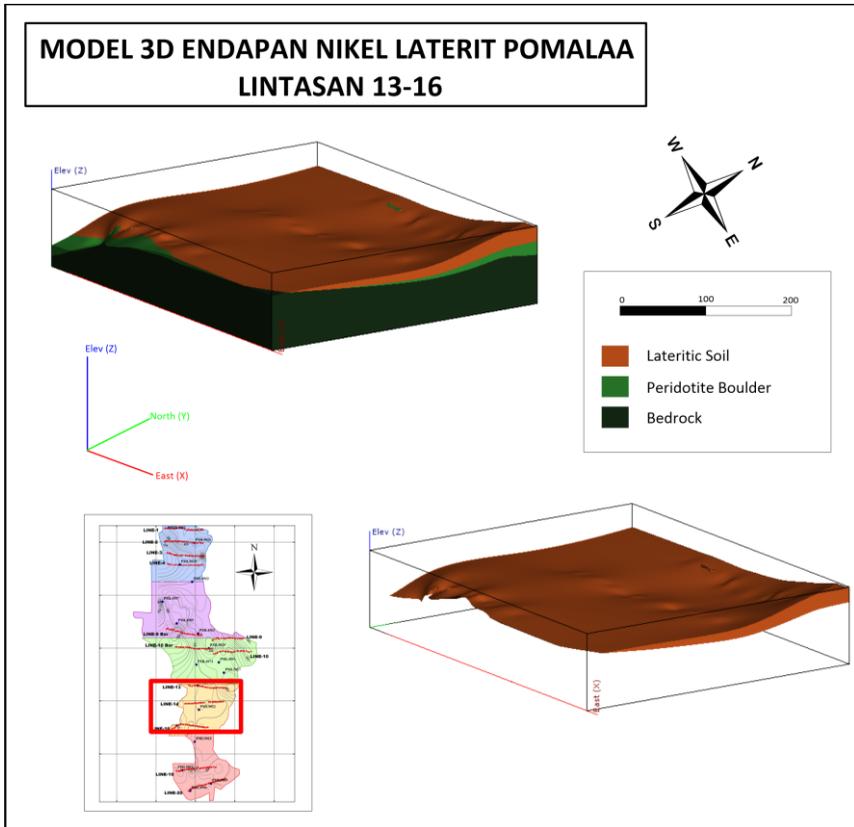
b. Model 2 (Lintasan 9 -10)



Gambar 4.34 Penampang 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 9 – 10

Model 3D yang menunjukkan model endapan nikel laterit yang dibuat berdasarkan lintasan 9 – 10 geolistrik disajikan dalam gambar 4.34. Endapan nikel laterit dibagi menjadi 3 buah zona sesuai dengan interpretasi penampang 2D yaitu zona *lateritic soil* yang merupakan zona endapan nikel laterit, zona *peridotite boulder* yang merupakan zona batuan peridotit berukuran boulder yang tepat berada diatas zona *bedrock* atau batuan induk. Dapat diperhatikan pada model ini terdapat singkapan *boulder* batuan peridotit di permukaan dan endapan nikel lateritnya menipis dari barat ke timur. Luasan model 3D ini sebesar 298.470 m² dengan volume endapan diketahui sebesar 1.365.300 m³.

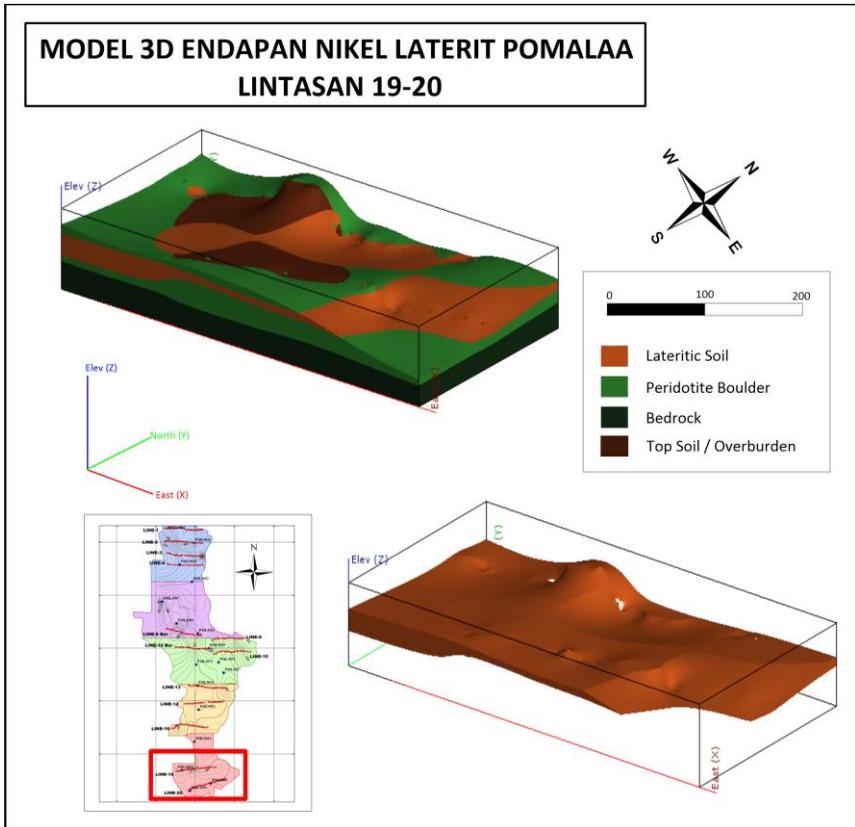
c. Model 3 (Lintasan 13 -16)



Gambar 4.35 Model 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 13 – 16

Model 3D yang menunjukkan model endapan nikel laterit yang dibuat berdasarkan lintasan geolistrik 9 – 10. Endapan nikel laterit dibagi menjadi 3 buah zona sesuai dengan interpretasi penampang 2D yaitu zona *lateritic soil* yang merupakan zona endapan nikel laterit, zona *peridotite boulder* yang merupakan zona batuan peridotit berukuran boulder yang tepat berada diatas zona *bedrock* atau batuan induk. Dapat dilihat *trend* endapan nikel laterit pada model 3D diatas menipis dari utara ke selatan, hal tersebut sesuai yang mana lintasan 16 yang mana memiliki endapan nikel laterit yang sangat tipis. Luasan model 3D ini sebesar 343.920 m² dengan volume endapan diketahui sebesar 1.329.600 m³.

d. Model 4 (Lintasan 19 -20)



Gambar 4.36 Penampang 3D yang merepresentasikan endapan nikel laterit lintasan 19 – 20

Model 3D endapan nikel laterit yang dibuat berdasarkan lintasan geolistrik 19 dan 20 disajikan dalam gambar 4.36. Didapatkan model endapan dengan 4 zona yaitu zona top soil (*overburden*) berada pada sebelah barat lintasan di atas lintasan 19 dan 20. Zona kedua adalah zona *peridotite boulder* yang banyak tersingkap dipermukaan pada lintasan ini, dibawahnya terdapat zona endapan laterit, dan zona paling bawah berupa *bedrock*. Volume endapan nikel laterit pada kedua lintasan ini hasil pemodelan 3D yaitu sebesar 654.120 m^3 dengan luas area model sebesar 162.530 m^2 .

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis pada penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Didapatkan profil endapan nikel laterit daerah penelitian berdasarkan 17 buah data pemboran dibagi menjadi 5 zona endapan sebagai berikut:
 - a. Zona *top soil*, merupakan zona paling atas dengan ketebalan rata-rata mencapai 2,5 meter.
 - b. Zona *limonite*, ketebalan rata-rata zona ini mencapai 4,8 meter. Zona ini dapat dibagi menjadi 2 litologi yaitu zona *red limonite* dan zona *yellow limonite*.
 - c. Zona *saprolite*, ketebalan rata-rata zona ini mencapai 12 meter. Zona ini dapat dibagi menjadi 3 litologi yaitu *earthy saprolite*, *saprolite*, dan *rocky saprolite*.
 - d. Zona *boulder*, zona ini umumnya dijumpai dibawah zona *saprolite* dengan ketebalan rata-rata mencapai 7,2 meter. Litologi pada zona ini berupa *peridotite boulder*.
 - e. Zona *bedrock*, merupakan zona paling bawah biasa dijumpai pada kedalaman 26,5 hingga 30 meter dari permukaan tanah. Litologi pada zona ini berupa batuan peridotit dengan tingkat pelapukan dan serpentinisasi yang rendah.
2. Diperoleh 13 penampang resistivitas 2D dan 76 buah penampang 1D hasil pengolahan. Berdasarkan nilai resistivitasnya maka endapan nikel laterit daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 *geoelectrical layer* sebagai berikut:
 - a. Zona resistivitas rendah (5 – 55 Ohm.m), zona ini dijumpai didekat permukaan dan dapat diinterpretasikan sebagai zona *lateritic soil* atau zona dimana terdapat endapan nikel laterit. Bila dikorelasikan dengan data pemboran, zona *lateritic soil* ini terdiri dari zona *limonite* dan *saprolite*. Dalam penelitian kali ini metode resistivitas belum mampu membedakan keberadaan zona *limonite* dan *saprolite*.
 - b. Zona resistivitas sedang (56 – 170 Ohm.m), zona ini dijumpai dibawah zona *lateritic soil* namun dijumpai pula dekat dengan permukaan. Berdasarkan korelasi dengan data pemboran, zona ini diduga sebagai *zona peridotite boulder*.
 - c. Zona resistivitas tinggi (171 – 3000 Ohm.m), zona ini pada umumnya berada di dasar penampang resistivitas. Zona ini diduga sebagai *bedrock* dengan litologi berupa batuan peridotit. Namun keberadaan resistivitas tinggi juga dijumpai berada di dekat

- permukaan sehingga nilai resistivitas tinggi ini juga dapat diinterpretasikan sebagai tanah penutup (*overburden*).
3. Hasil pemodelan secara 3D berdasarkan data resistivitas menghasilkan 4 buah model 3D. Keempat model tersebut memiliki rincian sebagai berikut:
 - a. Model 1, model ini terdiri dari lintasan 1 hingga lintasan 4 dengan luasan area sebesar 219.210 m².
 - b. Model 2, model ini terdiri dari lintasan 9, lintasan 9 bor, lintasan 10, dan lintasan 10 bor dengan luasan area sebesar 298.470 m².
 - c. Model 3, model ini terdiri dari lintasan 13 hingga 16, dengan luasan area sebesar 343.920 m².
 - d. Model 4, model ini terdiri dari lintasan 19 dan 20, dengan luasan area sebesar 181.550 m².
 4. Didapatkan volume endapan nikel laterit berdasarkan keempat model 3D yang dibuat berdasarkan data resistivitas sebagai berikut:
 - a. Model 1 memiliki volume endapan nikel laterit sebesar 1.158.000 m³.
 - b. Model 2 memiliki volume endapan nikel laterit sebesar 1.365.300 m³.
 - c. Model 3 memiliki volume endapan nikel laterit sebesar 1.329.600 m³.
 - d. Model 4 memiliki volume endapan nikel laterit sebesar 654.120 m³.Total volume endapan nikel laterit daerah penelitian berdasarkan keempat model 3D sebesar 4.507.020 m³. Volume tersebut kemudian dikalikan dengan tingkat kepercayaan data resistivitas berdasarkan hasil analisis regresi dengan data pemboran yaitu sebesar 0,89 sehingga menghasilkan volume akhir endapan nikel laterit yaitu sebesar 4.011.248 m³.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis pada penelitian ini, penulis memiliki saran sebagai berikut:

1. Perlu ditambahkan titik pemboran yang lebih banyak di setiap lintasan agar interpretasi yang dilakukan dapat lebih akurat dan mampu didapatkan kesesuaian profil endapan nikel laterit secara geologi dan geofisika.
2. Perlu ditambahkan data-data yang menunjukkan kualitas endapan dalam proses pemodelan 3D nikel laterit seperti data kadar untuk mendukung data geofisika agar didapatkan model endapan dengan akurasi dan tingkat kepercayaan yang tinggi.

3. Bila akan dilakukan perhitungan volume menggunakan metode geofisika perlu dilakukan penyesuaian kembali terhadap lintasan pengukuran. Sebaiknya dilakukan pengukuran dalam bentuk grid sehingga didapatkan data yang lebih rapat dan memiliki distribusi yang lebih ideal.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (2018), *Ekspor Bijih Nikel Menurut Negara Tujuan Utama, 2002-2015*. Diambil 1 November 2019, dari <https://www.bps.go.id/statistictable/2014/09/08/1033/ekspor-bijih-nikel-menurut-negara-tujuan-utama-2002-2015.html>.
- Budhi Kumarawarman dan Wannu (2015), "*Incorporation of Electrical Resistivity Tomography (Ert) Data in Geological Modelling as Method to Increase Model Accuracy In Unserpentinised Ultramafic Hosted Nickel Laterite Deposit*", *Seminar Nasional Kebumihan Ke-8*, hal. 11.
- Butt, C.R.M. dan Zeegers, H. (1992), "*Regolith Exploration geochemistry in tropical and Subtropical Terrains*", *Handbook of Exploration Geochemistry*, Vol.4.
- Cowan, E.J., Beatson, R.K., Fright, W.R., McLennan, T.J. dan Mitchell, T.J. (2002), *Rapid Geological Modelling*, hal. 10.
- Elias, M. (2002), "*Nickel Laterite Deposits – Geological Overview, Resources and Exploitation*", *CODES (Centre for Ore Deposit research) Special Publication, University of Tasmania*, Vol.4, hal. 205–220.
- Francke, J.C. (2000), *The Application of Geophysics to Nickel Laterite Resource Evaluation*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Isjudarto, A. (2013), "*Pengaruh Morfologi Lokal Terhadap Pembentukan Nikel Laterit*", *Seminar Nasional ke 8: Rekayasa Teknologi Industri dan Informatika*.
- Jarwinda (2015), *Penentuan Volume Lapisan Saprolit Daerah Penelitian Dengan Menggunakan Metode ERT (Electrical Resistivity Tomography)*.
- Kadariusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C.D. dan Ishikawa, A. (2004), "*Petrology, Geochemistry and Paleogeographic Reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia*", *Tectonophysics*, Vol.392, No.1–4, hal. 55–83. <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>.
- Kamaruddin, H., Mega F Rosana dan Sulaksana, N. (2018), "*Profil Endapan Laterit Nikel Di Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara*", *Buletin Sumber Daya Geologi*, Vol.13.
- Kearey, P., Brooks, M. dan Hill, I. (2002), *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Science, Oxford.
- Loke, D.M.H. (2015), *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*, hal. 136.
- Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Notosiswoyo, S., Lilah, S., Mt, S., Heriawan, M.N., Mt, S., Widayat, A.H. dan Mt, S. (2005), *Metode Perhitungan Cadangan*, Departemen Teknik

Pertambangan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung.

- Nukdin, E. (2012), *Geologi Dan Studi Pengaruh Batuan Dasar Terhadap Deposit Nikel Laterit Daerah taringgo Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara*, Vol.5, No.2.
- Palacky, G.J. (1987), *Resistivity Characteristics of Geologic Targets, in Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Theory: M.N. Nabighian*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma.
- Patra, H.P., Adhikari, S.K. dan Kunar, S. (2016), *Groundwater Prospecting and Management*, Springer Hydrogeology, Springer Singapore, Singapore. <http://doi.org/10.1007/978-981-10-1148-1>.
- Pemerintah Republik Indonesia (1980), *Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 1980* Diambil dari <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/66620>.
- Peric, M. (1981), "Exploration of Burundi Nickeliferous Laterites by Electrical Methods", *Geophysical Prospecting*, Vol.29, No.2, hal. 274–287. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1981.tb00405.x>.
- Reynolds, J.M. (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley, Chichester ; New York.
- Ridley, J. (2013), *Ore Deposit Geology*, Cambridge University Press, Cambridge : New York.
- Roussos, G. dan Baxter, B.J.C. (2005), "Rapid Evaluation of Radial Basis Functions", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol.180, No.1, hal. 51–70. <http://doi.org/10.1016/j.cam.2004.10.002>.
- Santoso, B. (2018), "Pemodelan Nikel Laterit Berdasarkan Data Resistivitas Di Daerah Kabaena Selatan Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, Vol.19, No.3.
- Savin, C., Robineau, B., Monteil, G., Beauvais, A., Parisot, J.C. dan Ritz, M. (2003), "Electrical Imaging of Peridotite Weathering Mantles as a Complementary Tool for Nickel Ore Exploration in New Caledonia", *ASEG Extended Abstracts*, Vol.2003, No.2, hal. 1–5. <http://doi.org/10.1071/ASEG2003ab148>.
- Simandjuntak, Surono dan Sukido (1993), *Peta Geologi Regional Lembar Kolaka, Sulawesi*.
- Sompotan, A.F. (2012), *Struktur Geologi Sulawesi*, Perpustakaan Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Spry, A. (2003), "Practical Implicit Geological Modelling", *th International Mining Geology Conference*, hal. 13.
- Sujiono, E.H. dan Diantoro, M. (2014), "Karakteristik Sifat Fisis Batuan Nikel Di Sorowako Sulawesi Selatan", *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, Vol.10, hal. 163–167.
- Sukaesih (2015), *Atlas Mineral dan Batuan Endapan Nikel ESDM*, Diambil dari <http://psdg.bgl.esdm.go.id/kolokium/2015/sartek/1.pdf>.

- Sukandarrumidi (2016), *Geologi Mineral Logam*, 3 Ed., Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Surono (2013), *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral, Bandung.
- Sutisna, D.T., Sunuhadi, D.N. dan Pujobroto, A. (2006), *Perencanaan Eksplorasi Cebakan Nikel Laterit Di Daerah Wayamli, Teluk Buli, Halmahera Timur Sebagai Model Perencanaan Eksplorasi Cebakan Nikel Laterit Di Indonesia*, Vol.1, hal. 8.
- Syifaurohman, Y., Utama, W., Lestari, W. dan Surya, T.M.A. (2018), "*Distribusi Sebaran Akuifer Air Tanah Menggunakan Data Resistivitas Metode Vertical Electrical Sounding (VES) Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus Kabupaten Palu Provinsi Sulawesi Tengah)*", *Jurnal Geosaintek*, Vol.4, No.3, hal. 113. <http://doi.org/10.12962/j25023659.v4i3.4102>.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge [England]; New York.
- Toit, W. du (2008), *Radial Basis Function Interpolation*, University of Stellenbosch, South Africa.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BIOGRAFI PENULIS



Eka Harris Suryawan dilahirkan di Surabaya 25 Juni 1997 dari pasangan Bapak Djoko Kawulan dan Ibu Dyah Pratiwi. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Santa Theresia II Surabaya (2001-2003), dilanjutkan di SDK Santa Theresia II Surabaya (2003-2009). Pendidikan menengah pertama penulis tempuh di SMPK Santa Agnes Surabaya pada tahun 2009 hingga 2012, sedangkan pendidikan menengah atas penulis tempuh di SMA Negeri 2 Surabaya pada tahun 2012 hingga 2015. Pada tahun 2015 juga, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan organisasi dalam kampus, diantaranya sebagai staff Departemen Dalam Negeri Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2015/2016, Staff Kementerian Dalam Negeri BEM ITS 2016/2017 divisi politik kampus, dan Ketua *Student Representative Council* Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2017/2018. Penulis juga mengikuti pelatihan di bidang manajerial maupun bidang keprofesian, di bidang manajerial penulis telah mengikuti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) dari tingkat pra-dasar hingga menengah. Di bidang keprofesian penulis telah mengikuti kuliah lapangan Karangsambung Kebumen (2017), *Company Visit* Schlumberger Jakarta (2017) dan *Semester Break Training* 2018 oleh HMGI wilayah IV. Penulis juga telah memiliki pengalaman kerja praktik di PT. ANTAM Tbk. Jakarta pada tahun 2018 dengan judul “Identifikasi Zona Mineralisasi Galena (PbS) Dengan Metode Induced Polarization di Daerah TG”. Jika ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir Penulis, dapat menghubungi penulis di alamat email: ekaharriss25@gmail.com dan nomor telepon: +6282231898125.