

*Skripsi Geofisika*

**ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SAPROLIT DALAM EKSPLORASI  
NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS DAN  
DATA BOR**

**RIYADI  
H061171018**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SAPROLIT DALAM EKSPLORASI  
NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS DAN  
DATA BOR**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**RIYADI**

**H061171018**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS KETEBALAN LAPISAN SAPROLIT DALAM EKSPLORASI  
NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA RESISTIVITAS DAN  
DATA BOR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RIYADI**

**H061171018**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**

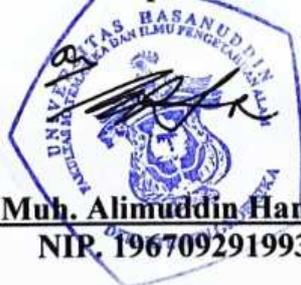
**Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM**

**NIP. 196406161989031006**

**Syamsuddin, S.Si, MT**

**NIP. 197401152002121001**

**Ketua Departemen Geofisika,**



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**

**NIP. 196709291993031003**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riyadi  
NIM : H061171018  
Program Studi : Geofisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Analisis Ketebalan Lapisan Saprolit Dalam Eksplorasi Nikel Laterit Berdasarkan Data Resistivitas Dan Data Bor adalah karya ilmiah saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 6 Juni 2024

Yang Menyatakan,



Riyadi



## ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan nikel dalam memenuhi pertumbuhan dan perkembangan baru dalam industri elektronik mengakibatkan eksplorasi nikel yang berkelanjutan sangat diperlukan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan ketebalan dari lapisan saprolit pada salah satu blok tambang di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data resistivitas hasil akuisisi metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) konfigurasi *gradient* sebanyak 15 lintasan berarah utara-selatan, 8 lintasan berarah timur-barat dan data pemboran sebanyak 118 titik. Data resistivitas semu hasil pengukuran di lapangan diinversi menggunakan software RES2DINV untuk mendapatkan nilai resistivitas bawah permukaan yang sebenarnya. Hasil analisis menunjukkan profil nikel laterit terdiri dari tiga lapisan yaitu limonit, saprolit dan *bedrock*. Lapisan limonit dengan nilai resistivitas  $79,82 \Omega\text{m} - 380,92 \Omega\text{m}$ . Lapisan saprolit dengan nilai resistivitas  $12,90 \Omega\text{m} - 101,04 \Omega\text{m}$ . Lapisan *bedrock* dengan nilai resistivitas  $25,94 \Omega\text{m} - 240,69 \Omega\text{m}$ . Ketebalan lapisan saprolit berdasarkan data bor sebesar 6,24 meter sedangkan berdasarkan data resistivitas didapatkan nilai sebesar 8,38 meter, sehingga diperoleh nilai persentase selisih sebesar 29%.

**Kata Kunci:** Nikel laterit, *Electrical Resistivity Tomography*, *Gradient*, Ketebalan.



## ABSTRACT

The growing demand for nickel to match new growth and advances in the electronics industry necessitates long-term nickel exploration. This research was carried out to assess the thickness of the saprolite layer in one of the mining blocks in Sorowako, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. The data used in this research is resistivity data resulting from the acquisition of the Electrical Resistivity Tomography (ERT) method with a gradient configuration of 15 lines in a north-south direction, 8 lines in an east-west direction, and drilling data from 118 points. The apparent resistivity data from measurements in the field is inverted using RES2DINV software to obtain the actual subsurface resistivity value. The analysis results show that the nickel laterite profile consists of three layers: limonite, saprolite, and bedrock. The limonite layer has a resistivity value of 79,82  $\Omega\text{m}$  – 380,92  $\Omega\text{m}$ . The saprolite layer has a resistivity value of 12,90  $\Omega\text{m}$  – 101,04  $\Omega\text{m}$ . The bedrock layer has a resistivity value of 25,94  $\Omega\text{m}$  – 240,69  $\Omega\text{m}$ . The thickness of the saprolite layer based on drill data is 6,24 meters, while based on resistivity data, the value obtained is 8,38 meters, resulting the percentage difference value is obtained 29%.

**Keywords:** Nickel laterite, Electrical Resistivity Tomography, Gradient, Thickness.



## KATA PENGANTAR

### بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirobbil ‘alamin, tiada kalimat yang pantas penulis ucapkan selain kalimat syukur kepada Allah Swt atas limpahan rahmat dan karunia-Nya serta pertolongan dan pengawasan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Analisis Ketebalan Lapisan Saprolit dalam Eksplorasi Nikel Laterit Berdasarkan Data Resistivitas dan Data Bor**”. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad saw, keluarga beliau, para sahabat dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Skripsi ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari keterbatasan penulis, tetapi berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada Ibunda tercinta **Jasminah** atas segala pengorbanan dan perjuangan yang telah diberikan, yang senantiasa mendoakan, mendukung dan memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang kepada penulis hingga menjadi seperti sekarang ini. Terima kasih yang tak terhingga atas dukungan, cinta



1 sayang selama masa hidupnya Ayahanda tercinta **Alm. Sukamo** yang  
1 bertemu dengan sang Pencipta. Tak lupa penulis berterima kasih kepada  
kak tercinta **Esmi** dan **Lismawati** yang selalu memberikan motivasi dan

selalu membuat penulis berusaha menjadi yang terbaik. Terima kasih juga untuk **Agis, Imran, Fahrul** dan **Abizar** keponakan yang selalu menghibur penulis ketika di rumah. Selain itu, terima kasih untuk keluarga besar yang selalu mendoakan yang terbaik, memberikan semangat dan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM** selaku pembimbing utama dan Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktunya dan memberikan perhatian, bimbingan, nasihat, motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** dan Bapak **Muh. Fawzy Ismullah Massinai, S.Si, MT** selaku tim penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
3. Om **Frans Attong**, Om **Adhie Wahyudi**, Om **Moh. Erwin Syam Noor** dan Kanda **Muammar Hakim** selaku pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktunya, memberikan banyak masukan dan ilmunya selama melaksanakan penelitian di PT Vale Indonesia Tbk.
4. Kanda **Hidayat Latuconsina**, Kanda **Asnur Azis**, Kanda **Iswar Edis Pratama** dan Kanda **Akram Ramadhan** atas bantuannya dan motivasi selama penelitian serta Akhir di PT Vale Indonesia Tbk.



5. Ibu **Dra. Maria, M.Si** selaku Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan nasehat, bimbingan dan masukan selama menempuh studi.
6. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
7. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh **Dosen Pengajar Departemen Geofisika** yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama menempuh studi.
9. Seluruh **Staf Departemen Geofisika, Staf FMIPA Unhas, Staf Laboratorium dan Staf Perpustakaan FMIPA Unhas** yang telah memberikan bantuan dan arahan kepada penulis dalam pengurusan administrasi perkuliahan selama menempuh studi.
10. Om **Jayadi**, Om **Arpah**, Ibu **Jum**, Mbak **Dian**, Mbak **Sherly** dan Mbak **Carrine** yang telah membantu dalam pengurusan administrasi saat melakukan penelitian Tugas Akhir di PT Vale Indonesia Tbk.
11. Tante **Ami, Bunda**, Om **Pur, Dian, Amat, Madina** dan Mbak **Arsyih** selaku keluarga baru yang telah memberikan banyak bantuan dan pelayanan selama melaksanakan Tugas Akhi di Sorowako.
12. Pak **Zeth**, Pak **Wanni**, Om **Deni**, Om **Sule**, Om **Iman**, Kak **Jumbo**, Kak **Ippang**, Kak **Aulia**, Kak **Agus**, Kak **Indrawahyu**, Kak **Cross**, Kak **Ricky**, Kak **Ia**, Kak **Aghna**, Kakak **Geologist** dan Teman-teman **Crew ERT** terima atas bantuan dan ilmunya selama Tugas Akhir di PT Vale Indonesia Tbk.



13. Saudara **Muh. Ali Akbar** dan **Gebrina Rezki S** terima kasih karena selalu ada dan peduli, yang telah banyak memberikan bantuan, cerita dan pengalaman hidup kepada penulis selama menempuh studi.
14. Saudara **Sri Wahyunia, Muh. Reza Zaputra, Muh. Faqih Raihan** dan **Muh. Farid Wajedy** yang telah memberikan banyak bantuan dalam hal akademik kepada penulis selama kuliah.
15. Saudara seperantauan Penghuni Pondok, **Indi, Kiki, Rio** dan **Saras** terima kasih atas cerita dan kebersamaan yang terjalin selama penulis merantau dan menempuh pendidikan di Kota Makassar.
16. Teman seperjuangan seangkatan **Geofisika 2017 (Adhe, Ainun, Ajeng, Albar, Aldo, Ale', Ano, Andika, Angga, Aul, Aya, Bintang, Dandung, Danti, Daya, Desha, Dicky, Esi, Eki, Epi, Faishal, Fajar, Farid, Faqih, Firman, Gufa, Hikmah, Illa, Indra, Jefri, Karmila, Khalis, Khusnul, Melsi, Mifta, Mirna, Nea, Nia, Reza, Rina, Riri, Sindi, Syakirah, Tsaqif, Titien, Ucha, Unia, Wide, Yusrin, Zahari)** terima kasih atas segala cerita dan kesan yang terukir selama kuliah. Semoga perjuangan dan perjalanan yang dilalui menjadi saksi atas kesuksesan kita kelak.
17. Saudara-saudara **HIMAFI 2017** terima kasih atas kebersamaan yang telah memberikan banyak kesan dan mengukir kisah yang tidak akan terlupakan. Salam “Teguh dalam Keyakinan Kukuh dalam Kebersamaan”.
18. Keluarga **Himpunan Mahasiswa Geofisika (HMGF) FMIPA Unhas** dan



**Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) FMIPA Unhas** yang menjadi

wadah bagi penulis untuk tumbuh dan berkembang serta memberikan banyak kesan dan pengalaman dalam berorganisasi.

19. **SPE Unhas SC** terima kasih atas kesempatan dan pengalaman yang luar biasa yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi.
20. Saudara **Dicky Nistya Dwiangga**, partner Tugas Akhir selama 3 bulan di Enggano. Terima kasih atas cerita dan momen-momen yang tidak akan terlupakan mulai dari mengurus proposal, mengikuti induksi, datang ke Sorowako, mengambil APD di Eksternal, salah gedung, ketinggalan bus, azan di musholla, main futsal di Pontada, ikut pengambilan data ke lapangan, belajar, presentasi dan cerita lucu di kantor sampai mengembalikan APD.
21. Teman-teman **KKN Tematik Unhas Gelombang 105 Posko Tamalanrea 8** yang memberikan banyak cerita dan pengalaman selama di lokasi KKN.
22. Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menempuh masa studi sampai pada tahap penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis.

Makassar, 6 Juni 2024



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Ruang Lingkup.....	3
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
II.1 Geologi Regional .....	4
II.2 Nikel Laterit.....	6
II.2.1 Batuan Sumber Nikel Laterit .....	7
II.2.2 Ganesa Pembentukan Nikel Laterit.....	8
II.2.3 Profil Endapan Nikel Laterit .....	9
II.2.4 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit .....	11
II.3 Sifat Kelistrikan Batuan.....	12
II.3.1 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropik .....	15
II.3.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Dalam Bumi.....	16
3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Permukaan Bumi .....	18
4 Potensial oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi .....	19
Metode Geolistrik Resistivitas.....	20



II.4.1 Prinsip Dasar ERT (Electrical Resistivity Tomography).....	21
II.4.2 Konfigurasi <i>Gradient</i> .....	22
II.5 Proses Inversi.....	24
II.6 Interpolasi Kriging.....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
III.1 Lokasi Penelitian .....	27
III.2 Alat dan Bahan .....	28
III.2.1 Alat.....	28
III.2.2 Bahan .....	28
III.3 Prosedur Penelitian.....	29
III.3.1 Tahap Kajian Pustaka .....	29
III.3.2 Pengolahan Data .....	29
III.3.3 Tahap Analisis Data.....	30
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
IV.1 Hasil .....	32
IV.1.1 Hasil Inversi Data ERT.....	32
IV.1.2 Hasil Analisis Data Bor .....	48
IV.2 Pembahasan.....	49
IV.2.1 Penampang Resistivitas dan Kandungan Geokimia .....	49
IV.2.2 Hubungan Nilai Resistivitas Terhadap Kandungan Geokimia.....	72
IV.2.3 Ketebalan Lapisan Saprolit.....	76
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>89</b>
V.1 Kesimpulan.....	89
V.2 Saran .....	90
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>91</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>94</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta Geologi Sulawesi .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Geologi daerah Sorowako.....	6
<b>Gambar 2.3</b> Profil nikel laterit.....	9
<b>Gambar 2.4</b> Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi .....	18
<b>Gambar 2.5</b> Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi.....	18
<b>Gambar 2.6</b> Susunan Dua Elektroda Arus ( $C_1$ dan $C_2$ ) dan Potensial ( $P_1$ dan $P_2$ ) di Permukaan Bumi.....	19
<b>Gambar 2.7</b> Sketsa dari konfigurasi <i>gradient</i> .....	23
<b>Gambar 3.1</b> Peta Lokasi Penelitian.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Lintasan ERT .....	28
<b>Gambar 3.3</b> Bagan Alir Penelitian.....	31
<b>Gambar 4.1</b> Penampang resistivitas lintasan E01 .....	33
<b>Gambar 4.2</b> Penampang resistivitas lintasan E02.....	34
<b>Gambar 4.3</b> Penampang resistivitas lintasan E03.....	34
<b>Gambar 4.4</b> Penampang resistivitas lintasan E04.....	35
<b>Gambar 4.5</b> Penampang resistivitas lintasan E05.....	36
<b>Gambar 4.6</b> Penampang resistivitas lintasan E06.....	36
<b>Gambar 4.7</b> Penampang resistivitas lintasan E07.....	37
<b>Gambar 4.8</b> Penampang resistivitas lintasan E08.....	38
<b>Gambar 4.9</b> Penampang resistivitas lintasan E09.....	38
<b>Gambar 4.10</b> Penampang resistivitas lintasan E10.....	39
<b>Gambar 4.11</b> Penampang resistivitas lintasan E11 .....	40
<b>Gambar 4.12</b> Penampang resistivitas lintasan E12.....	40
<b>Gambar 4.13</b> Penampang resistivitas lintasan E13.....	41
<b>Gambar 4.14</b> Penampang resistivitas lintasan E14.....	42
<b>4.15</b> Penampang resistivitas lintasan E15.....	42
<b>4.16</b> Penampang resistivitas lintasan N01 .....	43
<b>4.17</b> Penampang resistivitas lintasan N02 .....	44



<b>Gambar 4.18</b>	Penampang resistivitas lintasan N03 .....	44
<b>Gambar 4.19</b>	Penampang resistivitas lintasan N04 .....	45
<b>Gambar 4.20</b>	Penampang resistivitas lintasan N05 .....	46
<b>Gambar 4.21</b>	Penampang resistivitas lintasan N06 .....	46
<b>Gambar 4.22</b>	Penampang resistivitas lintasan N07 .....	47
<b>Gambar 4.23</b>	Penampang resistivitas lintasan N08 .....	48
<b>Gambar 4.24</b>	Penampang data bor lintasan E01 .....	48
<b>Gambar 4.25</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E01 .....	49
<b>Gambar 4.26</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E02 .....	50
<b>Gambar 4.27</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E03 .....	51
<b>Gambar 4.28</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E04 .....	52
<b>Gambar 4.29</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E05 .....	53
<b>Gambar 4.30</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E06 .....	54
<b>Gambar 4.31</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E07 .....	55
<b>Gambar 4.32</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E08 .....	56
<b>Gambar 4.33</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E09 .....	57
<b>Gambar 4.34</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E10 .....	58
<b>Gambar 4.35</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E11 .....	59
<b>Gambar 4.36</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E12 .....	60
<b>Gambar 4.37</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E13 .....	61
<b>Gambar 4.38</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E14 .....	62
<b>Gambar 4.39</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan E15 .....	63
<b>Gambar 4.40</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N01 .....	64
<b>Gambar 4.41</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N02 .....	65
<b>Gambar 4.42</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N03 .....	66
<b>Gambar 4.43</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N04 .....	67
<b>Gambar 4.44</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N05 .....	68
<b>Gambar 4.45</b>	Penampang resistivitas dan data bor lintasan N06 .....	69
	4.46 Penampang resistivitas dan data bor lintasan N07 .....	70
	4.47 Penampang resistivitas dan data bor lintasan N08 .....	71
	4.48 Hubungan unsur major terhadap nilai resistivitas untuk tipe -1 ....	73



**Gambar 4.49** Hubungan unsur minor terhadap nilai resistivitas untuk tipe -1.... 73

**Gambar 4.50** Hubungan unsur major terhadap nilai resistivitas untuk tipe -6.... 74

**Gambar 4.51** Hubungan unsur minor terhadap nilai resistivitas untuk tipe -6.... 74

**Gambar 4.52** Penampang kontur resistivitas 2D dengan batas atas dan batas bawah lapisan saprolit..... 78

**Gambar 4.53** Grafik perbandingan ketebalan lapisan saprolit berdasarkan data resistivitas dan data bor..... 87



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Nilai Resistivitas Batuan dan Mineral.....	14
<b>Tabel 4.1</b> Kandungan Geokimia Lintasan E01.....	50
<b>Tabel 4.2</b> Kandungan Geokimia Lintasan E02.....	51
<b>Tabel 4.3</b> Kandungan Geokimia Lintasan E03.....	52
<b>Tabel 4.4</b> Kandungan Geokimia Lintasan E04.....	53
<b>Tabel 4.5</b> Kandungan Geokimia Lintasan E05.....	54
<b>Tabel 4.6</b> Kandungan Geokimia Lintasan E06.....	55
<b>Tabel 4.7</b> Kandungan Geokimia Lintasan E07.....	56
<b>Tabel 4.8</b> Kandungan Geokimia Lintasan E08.....	57
<b>Tabel 4.9</b> Kandungan Geokimia Lintasan E09.....	58
<b>Tabel 4.10</b> Kandungan Geokimia Lintasan E10.....	59
<b>Tabel 4.11</b> Kandungan Geokimia Lintasan E11.....	60
<b>Tabel 4.12</b> Kandungan Geokimia Lintasan E12.....	61
<b>Tabel 4.13</b> Kandungan Geokimia Lintasan E13.....	62
<b>Tabel 4.14</b> Kandungan Geokimia Lintasan E14.....	63
<b>Tabel 4.15</b> Kandungan Geokimia Lintasan E15.....	64
<b>Tabel 4.16</b> Kandungan Geokimia Lintasan N01 .....	65
<b>Tabel 4.17</b> Kandungan Geokimia Lintasan N02 .....	66
<b>Tabel 4.18</b> Kandungan Geokimia Lintasan N03 .....	67
<b>Tabel 4.19</b> Kandungan Geokimia Lintasan N04 .....	68
<b>Tabel 4.20</b> Kandungan Geokimia Lintasan N05 .....	69
<b>Tabel 4.21</b> Kandungan Geokimia Lintasan N06 .....	70
<b>Tabel 4.22</b> Kandungan Geokimia Lintasan N07 .....	71
<b>Tabel 4.23</b> Kandungan Geokimia Lintasan N08 .....	72
<b>Tabel 4.24</b> Perhitungan batas atas dan batas bawah lapisan saprolit lintasan E0177	
25 Perhitungan ketebalan lapisan saprolit (data bor) lintasan E01 .....	78
26 Perhitungan ketebalan lapisan saprolit (data resistivitas) lintasan E01	
.....	79



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Nikel merupakan bahan galian bernilai ekonomis yang banyak digunakan sebagai bahan baku berbagai jenis produk industri, termasuk pembuatan baja tahan karat, peralatan rumah tangga, komponen mesin hingga peralatan listrik. Indonesia adalah salah satu negara besar yang kaya akan sumber daya nikel (Ni) dan memiliki deposit nikel laterit terbesar dan terkenal di dunia (Ilyas & Koike 2012). Berdasarkan karakteristik geologi dan tatanan tektoniknya, beberapa lokasi endapan nikel laterit yang potensial di Indonesia umumnya tersebar di wilayah Indonesia bagian timur, antara lain: Pomala di Sulawesi Tenggara, Sorowako di Sulawesi Selatan, Gebe di Halmahera, Tanjung Buli di Halmahera, Tapunopaka di Sulawesi Tenggara dan di sekitar Pulau Halmahera, antara lain Pulau Obi, Pulau Gee, dan Pulau Pakal (Syafrizal et al., 2009).

Nikel laterit dapat diartikan sebagai suatu endapan bijih nikel yang terbentuk dari proses laterisasi pada batuan ultramafik dan umumnya terbentuk pada daerah tropis dan subtropis. Profil nikel laterit terdiri dari zona limonit, saprolit dan *bedrock* yang mana setiap zona memiliki karakteristik yang berbeda-beda baik secara fisika maupun kimia. Zona limonit merupakan zona yang berada pada bagian atas dalam profil laterit, struktur asli dan tekstur batuan asal sudah tidak terlihat pada zona ini.



prolit merupakan target dalam eksploitasi karena merupakan zona an bijih (*ore*) yang bernilai ekonomis untuk ditambang. Zona *bedrock*

merupakan zona batuan dasar yang tidak atau belum terpengaruh oleh pelapukan (Ahmad, 2005).

Umumnya pada tahap eksplorasi dalam penentuan kedalaman zona atau lapisan ekonomis (saprolit) dilakukan dengan metode pemboran yang menggunakan beragam spasi dalam satu lintasan, selanjutnya sampel bor diteliti untuk mengetahui kandungan geokimia. Tetapi dalam pelaksanaannya metode pemboran terkadang berhenti ketika menyentuh lapisan yang keras, yang mana lapisan keras ini bisa saja bukan merupakan *bedrock* tetapi hanya bongkah atau *boulder*. Oleh karena itu diperlukan metode yang dapat memberikan efisiensi tinggi dalam proses estimasi cadangan. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan diantaranya metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) untuk menentukan kedalaman dari profil nikel laterit daerah penelitian. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam membedakan resistivitas *bedrock* (batuan ultramafik) dan resistivitas endapan nikel laterit pada zona limonit dan zona saprolit. Dalam pengukuran ERT, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian respon beda potensial antara dua titik di permukaan yang diakibatkan oleh aliran arus tersebut, diukur melalui dua elektroda potensial. Hasil pengukuran ERT dapat mencitrakan sebaran resistivitas bawah permukaan daerah penelitian secara lateral dan vertikal. Beberapa penelitian telah dilakukan di PT Vale Indonesia Tbk antara lain “Optimalisasi Penggunaan ERT Konfigurasi *Gradient* dalam Memaksimalkan Eksplorasi Nikel Laterit” (Surawan, 2014), “Hubungan Nilai Resistivitas dan Sifat Batuan untuk Menentukan Karakteristik Profil Nikel Laterit di Kecamatan Bawakambing Kabupaten Luwu Timur” (Arif, 2017). Berdasarkan uraian-uraian tersebut diatas, maka



dalam skripsi ini akan dilakukan penelitian tentang analisis ketebalan lapisan saprolit dalam eksplorasi nikel laterit berdasarkan data resistivitas dan data bor.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana hasil penampang nikel laterit berdasarkan data resistivitas dan data geokimia?
2. Bagaimana hubungan nilai resistivitas terhadap kandungan geokimia?
3. Bagaimana perbandingan ketebalan lapisan saprolit berdasarkan data bor dan data resistivitas?

## **I.3 Ruang Lingkup**

Penelitian ini dibatasi menggunakan data sekunder pada analisis data geolistrik konfigurasi *gradient* dan data geokimia dari lubang bor untuk menentukan ketebalan lapisan saprolit pada salah satu blok di area eksplorasi nikel laterit PT Vale Indonesia Tbk yang berada di Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan.

## **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat penampang nikel laterit berdasarkan data resistivitas dan data bor
2. Menentukan hubungan nilai resistivitas terhadap kandungan geokimia
3. Membandingkan ketebalan lapisan saprolit berdasarkan data bor dan data resistivitas



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

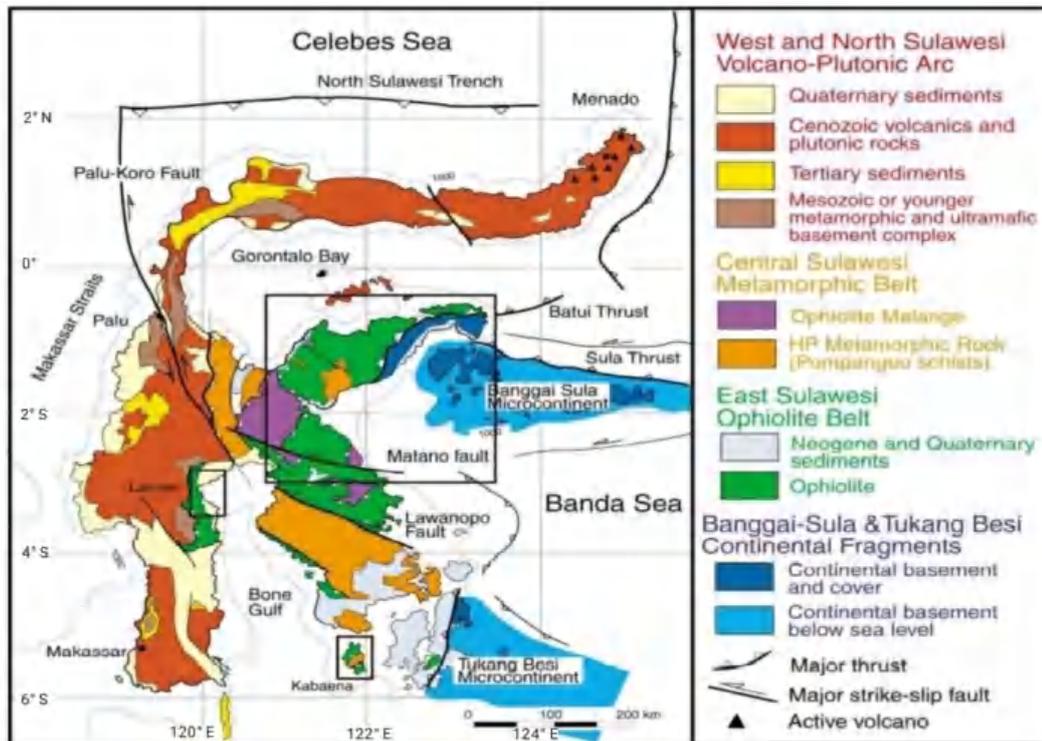
#### II.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi dan sekelilingnya mempunyai kondisi geologi yang kompleks karena merupakan tempat tumbukan aktif dari tiga lempeng besar yaitu, Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara, Lempeng Pasifik bergerak ke arah barat, dan Lempeng Eurasia bergerak ke arah selatan-tenggara. Tumbukan ketiganya mengakibatkan kawasan itu memiliki struktur geologi dan stratigrafi yang rumit, serta komposisi batuan yang beragam (Surono & Hartono, 2013).

Berdasarkan proses tektonik dan sifat geologi regionalnya, Pulau Sulawesi dibagi menjadi empat mandala, yaitu (Hall and Willson 2000):

1. Mandala barat (*West Sulawesi Vulcano-Plutonic Arc*) dicirikan oleh jalur gunungapi paleogen, terdiri dari sedimen Kenozoikum, serta batuan ultrabasa dan malihan.
2. Mandala timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) dicirikan oleh kompleks batuan ofiolit berupa batuan ultramafik peridotit.
3. Mandala tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) tersusun dari batuan metamorf dan kompleks melange, serta molasa sulawesi.
4. Blok Benua Banggai-Sula-Tukang Besi tersusun dari batuan beku dan batuan metamorf serta batuan sedimen laut dalam berumur Paleozoikum dan zoikum.



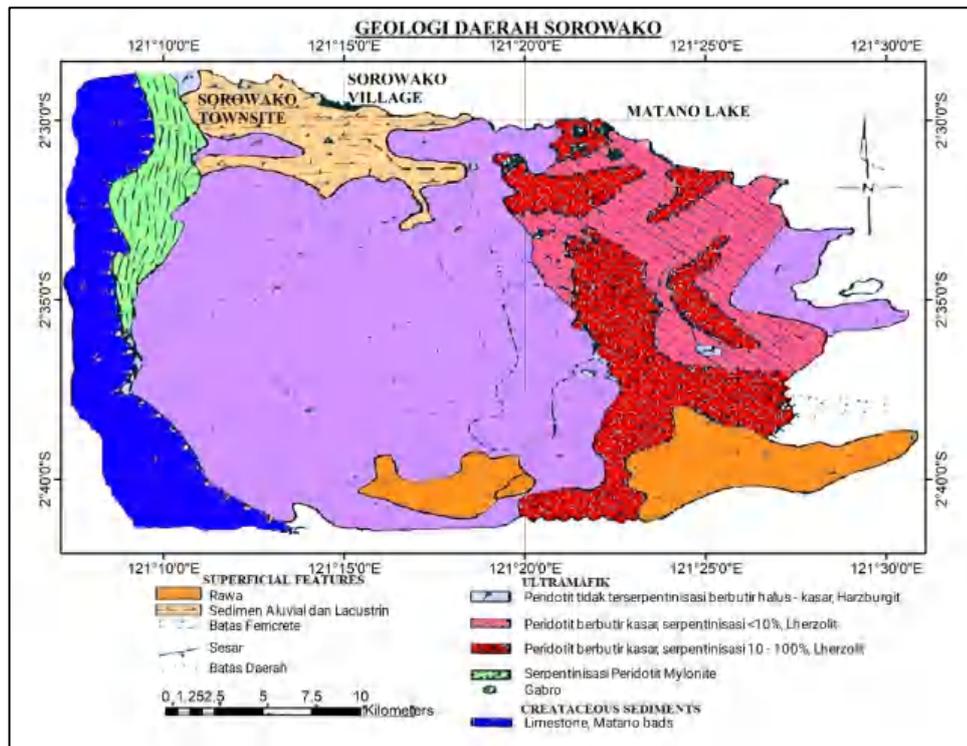


Gambar 2.1 Peta Geologi Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)

Geologi daerah Sorowako dapat dibagi menjadi tiga bagian, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2, yaitu (Golightly, 1979):

1. Satuan batuan sedimen berumur kapur, terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Terdapat di bagian barat Sorowako dan dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah barat.
2. Satuan batuan ultramafik berumur awal Tersier, umumnya terdiri dari jenis peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat di bagian timur. Pada satuan ini juga terdapat terdapat intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat di bagian utara.
3. Endapan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) berumur Kwartir, umumnya terdapat di bagian utara dekat desa Sorowako.





Gambar 2.2 Geologi daerah Sorowako (Golightly, 1979)

## II.2 Nikel Laterit

Nikel (Ni) merupakan logam berwarna putih keperakan yang mempunyai sifat keras dan tahan korosi serta cukup reaktif terhadap asam dan lambat bereaksi terhadap udara pada suhu dan tekanan normal (Salinita & Nugroho 2014). Endapan nikel laterit didefinisikan sebagai sisa tanah/residu dari hasil proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen, utamanya dari batuan ultramafik yang dipengaruhi oleh kondisi suhu dan curah hujan yang cukup tinggi dan dikontrol oleh pergerakan fluktuatif muka air tanah (Kamaruddin et al., 2018).

Istilah "laterite" dapat diartikan sebagai endapan yang kaya akan iron-oxide, miskin silika dan secara intensif ditemukan pada endapan lapukan di iklim tropis.



Salah satu sumber endapan nikel laterite adalah batuan ultramafik umumnya berupa

peridotite (harzburgit dan lherzolite), dunite dan jenis peridotite yang lain (Ahmad, 2005).

## II.2.1 Batuan Sumber Nikel Laterit

Sebagian besar endapan nikel laterit terbentuk di atas batuan dasar ultramafik yang memiliki konsentrasi nikel primer yang relatif tinggi. Klasifikasi batuan ultramafik berdasarkan kandungan mineral olivin, piroksen dan hornblende terbagi atas 5 macam (Ahmad, 2009):

### 1. Dunit

Dunit merupakan batuan ultramafik yang memiliki komposisi hampir seluruhnya adalah olivin. Kandungan olivin dalam batuan ini lebih dari 90%, dengan mineral penyerta meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel.

### 2. Peridotit

Peridotit merupakan batuan ultramafik yang mengandung lebih banyak olivin tetapi juga mengandung mineral-mineral mafik lainnya dalam jumlah yang signifikan. Berdasarkan mineral-mineral mafik yang menyusunnya maka batuan peridotit dapat diklasifikasikan sebagai piroksen peridotit, hornblende peridotit, mika peridotit.

### 3. Piroksenit

Piroksenit adalah batuan ultramafik monomineral yang memiliki komposisi seluruhnya mineral piroksen.

### 4. Hornblendit



lendit adalah batuan ultramafik yang seluruhnya mengandung mineral ende.

## 5. Serpentin

Serpentin merupakan batuan ultramafik monomineral yang seluruhnya mengandung mineral serpentin. Batuan ini dapat terbentuk dari batuan dunit yang terserpentinisasi, hornblendit ataupun peridotit (Ahmad, 2009).

### II.2.2 Ganesa Pembentukan Nikel Laterit

Nikel laterit terbentuk pada daerah yang terletak pada zona perubahan muka air tanah. Terjadinya perubahan dari musim kemarau ke musim hujan akan mempengaruhi pergerakan muka air tanah sehingga sesuai untuk terjadinya pembentukan laterit. Proses pembentukan nikel laterit diawali dari proses pelapukan batuan ultramafik seperti peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur Ni, Co, dan Fe (Santoso & Subagio, 2018).

Air merupakan faktor penting yang berperan sebagai media transportasi. Air hujan yang mengandung CO<sub>2</sub> dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil melindih mineral primer yang tidak stabil. Kandungan olivin, piroksen, magnesium silikat, besi, nikel dan silika akan terurai dan membentuk suatu larutan, di dalam larutan yang telah terbentuk tersebut, besi akan bersenyawa dengan oksida dan mengendap sebagai ferri hidroksida. Endapan ferri hidroksida ini akan menjadi reaktif terhadap air, sehingga kandungan air pada endapan tersebut akan mengubah ferri hidroksida menjadi mineral-mineral seperti goethite

)), hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan cobalt. Endapan ini akan terakumulasi dekat permukaan tanah, sedangkan magnesium, nikel dan silika akan tetap

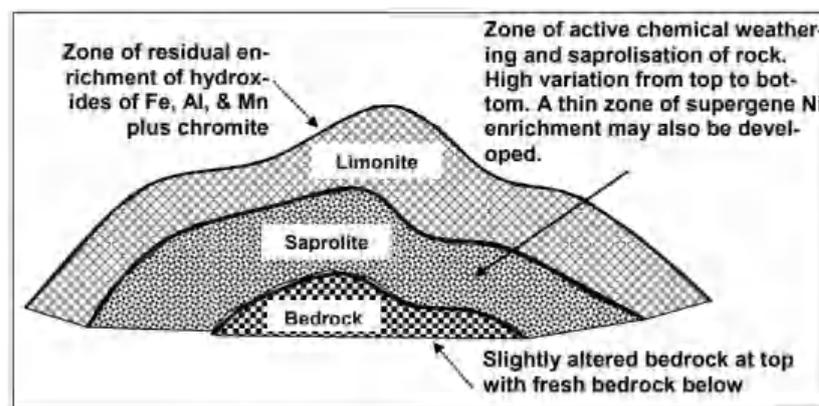


tertinggal di dalam larutan dan bergerak turun selama suplai air yang masuk ke dalam tanah terus berlangsung (Ahmad, 2009).

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 sehingga zona saprolit ini akan menjadi jenuh dengan unsur nikel (Santoso & Subagio, 2018).

### II.2.3 Profil Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan proses pembentukannya, endapan nikel laterit secara vertikal memiliki karakteristik kekhasan memisahkan sifat fisik zona laterisasi, secara umum dibagi menjadi tiga zona, yaitu (Hernandi et al., 2017):



Gambar 2.3 Profil nikel laterit (Ahmad, 2009)

#### 1. Zona limonit

Zona ini berada pada bagian atas profil laterit dan merupakan pembentukan akhir pelamukan batuan ultramafik serta terkonsentrasinya elemen non-mobile yang akan proses pelindian pada batuan ultramafik. Lapisan permukaan zona t bagian atas tersusun oleh sub zona lapisan *iron capping*, berwarna merah



disebut sebagai *red limonite*. Sub zona ini memiliki karakteristik kaya akan mineral hematite terbentuk relatif tinggi dan kondisi asli tekstur batuan asal tidak teridentifikasi akibat proses pelapukan yang telah berlangsung sempurna. Sedangkan dibagian bawah tanah penutup (*overburden*), merupakan zona limonit berwarna merah-coklat atau kuning dan biasa disebut sebagai sub zona *yellow limonite* atau incremental limonit-saprolit, mengandung mineral goethite dan besi hidroksida.

## 2. Saprolit

Zona ini berada di atas batuan dasar (*bedrock*), umumnya boulder sebagian atau seluruhnya telah mengalami pelapukan yang terjadi pada *joint* dan *fracture boulder*. Tekstur atau fragment batuan masih dikenali dan proses pelapukan belum berlangsung dengan sempurna. Ni merupakan produk residual, namun umumnya merupakan hasil proses pengayaan yang kedua. Hal ini disebabkan ketika alunitas muka air tanah yang bersifat asam pada bagian atas tiba-tiba meningkat menyebabkan terpisahnya olivine dan terlepasnya magnesias, sehingga Ni pada bagian atas terlarutkan dan diendapkan pada zona saprolit.

## 3. Bedrock

Zona ini merupakan zona batuan dasar yang berada pada bagian bawah profil laterit, berupa batuan ultramafik yang belum mengalami proses pelapukan.

Ketebalan endapan laterit bervariasi dipengaruhi oleh morfologi pada setiap daerah.

Kondisi morfologi sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta unsur lainnya.

Dalam daerah yang landai, air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kemampuan untuk masuk lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori



batuan. Pada daerah terjal, air akan mengalir di permukaan dan terjadi erosi yang intensif. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah yang landai sampai kemiringan sedang. Jenis batuan penyusun/*source rock* sangat berpengaruh terhadap pembentukan nikel laterit. Litologi yang berbeda akan menghasilkan komposisi mineral yang berbeda-beda serta akan mempengaruhi geokimia nikel pada suatu endapan nikel laterit. Umur dari endapan laterit berkisar antara Paleozoikum sampai sekarang dan sebagian besar endapan yang berada di zona tropis saat ini masih mengalami proses laterisasi (Kusuma et al., 2019).

#### **II.2.4 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit**

Menurut Ahmad (2009) pembentukan endapan nikel laterit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu:

a. Batuan asal

Merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, batuan asalnya dalam hal ini adalah batuan ultramafik yang mengandung elemen Ni paling banyak diantara batuan lainnya, mempunyai mineral-mineral yang mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin, mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

b. Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dapat menimbulkan perbedaan temperatur yang cukup besar yang dapat membantu terjadinya mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.



c. Topografi

Daerah yang mempunyai topografi landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan.

d. Struktur

Yang sangat dominan adalah struktur kekar (joint) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

e. Suhu atau temperatur yang tinggi

Suhu dan temperatur yang tinggi sangat penting dalam mempercepat proses pelapukan kimia yang merupakan kondisi yang sangat ideal dalam pengembangan laterit.

f. Waktu

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

### II.3 Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan adalah material yang memiliki daya hantar listrik dan harga tahanan jenis tertentu. Batuan yang sama belum tentu memiliki tahanan jenis yang sama. Sebaliknya harga tahanan jenis yang sama bisa dimiliki oleh batuan yang berbeda, hal ini karena nilai resistivitas atau tahanan jenis batuan memiliki rentang nilai yang bisa saling tumpang tindih. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan

akan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu



sendiri akibat terjadinya ketidakseimbangan ataupun arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya (Surawan, 2014).

Aliran arus listrik dalam batuan/mineral dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu (Syamsuddin et al., 2012):

1. Konduksi Elektronik, konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan. Hal ini terjadi jika batuan mempunyai banyak elektron bebas, akibatnya arus listrik mudah mengalir pada batuan tersebut.
2. Konduksi Elektrolitik, konduksi ini banyak terjadi pada batuan yang bersifat porous dan pori-porinya terisi larutan elektrolit. Dalam hal ini arus listrik mengalir karena dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit.
3. Konduksi Dielektrik, konduksi ini terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik, artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit atau tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron-elektron dalam atom dipaksa berpindah dan berkumpul berpisah dari intinya sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini sangat tergantung konduktivitas batuan yang bersangkutan.

Berdasarkan harga tahanan jenisnya, batuan/mineral digolongkan menjadi tiga yaitu (Telford et al., 1990):

Konduktor baik :  $(10^{-8} < \rho < 1) \Omega\text{m}$

Konduktor pertengahan :  $(1 < \rho < 10^7) \Omega\text{m}$

:  $(\rho > 10^7) \Omega\text{m}$



nis batuan memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda. Batuan yang dari magma yang telah mengalami pendinginan akan memiliki nilai

resistivitas yang tinggi, sedangkan untuk batuan sedimen memiliki nilai resistivitas yang rendah. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai resistivitas batuan diantaranya adalah porositas dan salinitas air yang terkandung didalam batuan, berikut pada tabel 2.1 merupakan nilai resistivitas dari berbagai jenis batuan di alam (Telford et al., 1990).

Tabel 2. 1 Nilai Resistivitas Batuan dan Mineral (Telford et al., 1990)

Material	Resistivitas ( $\Omega$ m)
Air Tanah ( <i>Ground Water</i> )	0.5 – 150
Topsoil	500 – 1000
Weathered Bedrock	100 – 1000
Granit ( <i>Granite</i> )	200 - 100000
Batu Pasir ( <i>Sandstone</i> )	200 - 8000
Gamping ( <i>Limestone</i> )	50 - 10000000
Dolomite	350 - 5000
Basal ( <i>Basalt</i> )	1000 – 1000000
Olivine Norite	1000 – 60000 (wet)
Peridotite	3000 (wet) – 6500 (dry)
Batu Serpih ( <i>Shale</i> )	20 – 2000
Serpentine	200 - 3000
Lempung ( <i>Clay</i> )	1 – 100
Niccolite	0.0000001 – 0.002
Laterite	800 – 1500
Lateritic Soil	120 – 750

Nilai resistivitas profil nikel laterit daerah penelitian secara umum dibagi menjadi tiga yaitu limonit, saprolit dan *bedrock*. Zona limonit memiliki nilai resistivitas 201 – 350  $\Omega$ m, zona saprolit memiliki nilai resistivitas 101 – 200  $\Omega$ m dan *bedrock* dengan nilai resistivitas 101 sampai >801  $\Omega$ m (Pinandhito, 2018).



### II.3.1 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropik

Suatu arus listrik dialirkan kedalam sebuah medium yang bersifat homogen isotropik, dengan  $\delta A$  adalah elemen luas permukaan dan  $\vec{j}$  adalah rapat arus ( $A/m^2$ ) maka akan berlaku hubungan (Telford et al., 1990):

$$I = \vec{j} \cdot \delta \vec{A} \quad (2.1)$$

Dengan demikian rapat arus  $\vec{j}$  dan medan listrik  $\vec{E}$  akan berlaku hubungan berdasarkan hukum Ohm:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (2.2)$$

Dengan  $\vec{E}$  medan listrik dalam volt/meter (V/m) dan  $\sigma$  adalah konduktivitas medium dalam siemens per meter (S/m). Karena medan listrik merupakan gradien dari potensial skalar:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.3)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (2.4)$$

Aliran arus yang mengalir dalam bumi homogen isotropik didasarkan pada hukum kekekalan muatan, dapat ditulis dalam persamaan:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (2.5)$$

Dengan  $\vec{j}$  rapat arus ( $A/m^2$ ) dan  $q$  rapat muatan ( $C/m^3$ ), untuk arus stasioner akan berlaku persamaan:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (2.6)$$



$$\vec{\nabla}(\sigma \cdot \vec{\nabla}V) = 0 \quad (2.7)$$

$$\vec{\nabla}\sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (2.8)$$

Jika arus stasioner dengan koefisien konduktivitas konstan, maka suku pertama pada persamaan (2.8) dapat diabaikan sehingga diperoleh persamaan Laplace dengan potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) memenuhi persamaan Laplace yang menunjukkan distribusi potensial listrik untuk aliran arus searah dalam medium homogen isotropis.

### II.3.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Dalam Bumi

Pada medium homogen dengan ( $\rho$ ) konstan pada seluruh ruang maka potensial ( $V$ ) akibat suatu sumber arus tunggal ( $I$ ) lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola seperti diilustrasikan pada (Gambar 2.4). Karena sifat simetri yang ditinjau dalam hal ini tidak berotasi dan berevolusi maka potensial hanya sebagai fungsi jarak  $r$  dari sumber, sehingga persamaan (2.9) dapat dinyatakan sebagai (Telford et al., 1990):

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.10)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (2.10) sehingga diperoleh:

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (2.11)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (2.12)$$



$P$  dan  $Q$  merupakan konstanta integral yang nilainya bergantung pada arus dengan menerapkan bahwa potensial pada jarak tidak berhingga

memiliki harga sama dengan nol ( $V = 0, r = \infty$ ), maka  $Q = 0$ , sehingga persamaan (2.12) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (2.13)$$

Substitusi persamaan (2.4) pada persamaan (2.1) maka diperoleh:

$$I = (-\sigma \nabla V) 4\pi r^2 \quad (2.14)$$

Karena  $V$  hanya dipengaruhi oleh  $r$  maka persamaan (2.11) disubstitusi ke persamaan (2.14), sehingga diperoleh:

$$I = -4\pi r^2 \sigma \left( \frac{P}{r^2} \right) \quad (2.15)$$

Atau dapat ditulis:

$$P = -\frac{I}{4\pi\sigma} \quad (2.16)$$

Karena  $\sigma = \frac{1}{\rho}$ , maka persamaan (2.16) dapat ditulis:

$$P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.17)$$

Persamaan (2.17) disubstitusikan pada persamaan (2.13) maka diperoleh:

$$V = \left( \frac{I\rho}{4\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.18)$$

Dengan,

$V$  = Potensial Listrik (Volt)

$\rho$  = Resistivitas (Ohm.m)

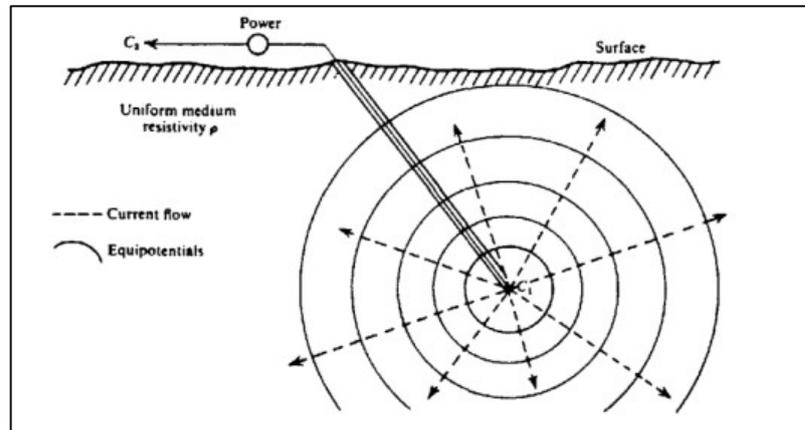


$I$  = Kuat Arus Listrik (Ampere)

$k$  = Konstanta

$\vec{j}$  = Rapat Arus ( $A/m^2$ )

$\sigma$  = Konduktivitas ( $S/m$ )

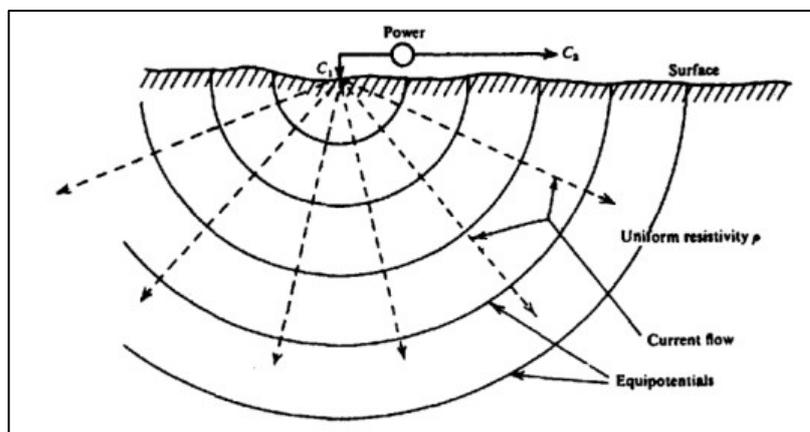


Gambar 2.4 Sumber Arus Tunggal di Dalam Bumi (Telford et al., 1990)

### II.3.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Permukaan Bumi

Suatu sumber arus berada di permukaan medium homogen isotropik seperti yang diilustrasikan pada (Gambar 2.5). Permukaan equipotensial membentuk setengah bola karena konduktivitas listrik di udara sama dengan nol. Dengan demikian persamaan (2.18) dapat ditulis sebagai (Telford et al., 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad (2.19)$$

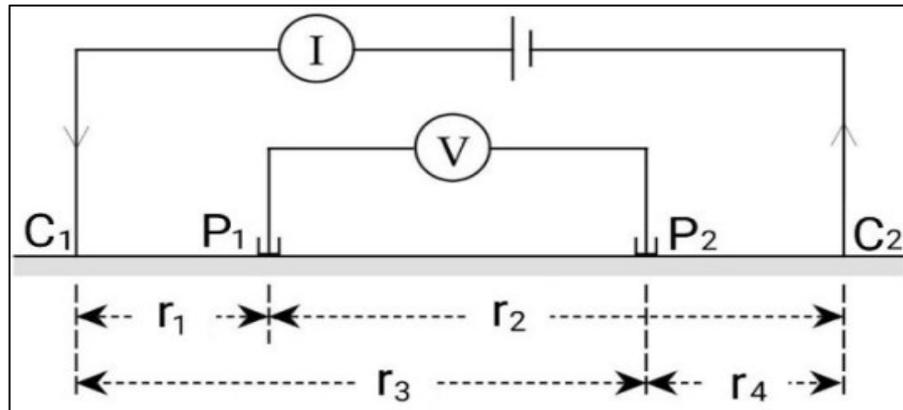


ar 2.5 Sumber Arus Tunggal di Permukaan Bumi (Telford et al., 1990)



### II.3.4 Potensial oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Jika dua elektroda arus berada di permukaan bumi (Gambar 2.6), maka besarnya nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Telford et al., 1990).



Gambar 2.6 Susunan Dua Elektroda Arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan Potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ) di Permukaan Bumi (Lowrie, 2007).

Potensial di titik  $P_1$  yang ditimbulkan oleh arus  $C_1$  adalah:

$$V_{P11} = \left( \frac{I\rho}{2\pi r_1} \right) \quad (2.20)$$

Dan potensial di titik  $P_1$  yang ditimbulkan oleh arus  $C_2$  adalah:

$$V_{P12} = \left( -\frac{I\rho}{2\pi r_2} \right) \quad (2.21)$$

Potensial total di titik  $P_1$  yang dipengaruhi oleh arus  $C_1$  dan  $C_2$  adalah:

$$V_1 = V_{P11} + V_{P12} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.22)$$

Dengan cara yang sama maka potensial di titik  $P_2$  yang dipengaruhi oleh arus  $C_1$

dan  $C_2$  adalah:

$$V_2 = V_{P21} + V_{P22} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.23)$$



Beda potensial antara P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> adalah:

$$\Delta V = V_1 - V_2 \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.24)$$

Sehingga diperoleh persamaan:

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

Atau dapat dituliskan:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.26)$$

Dengan,

$\Delta V$  = Beda Potensial (Volt)

$I$  = Kuat Arus Listrik (Ampere)

$\rho$  = Resistivitas (Ohm.m)

$r_1$  = Jarak antara C<sub>1</sub> dan P<sub>1</sub> (meter)

$r_2$  = Jarak antara C<sub>2</sub> dan P<sub>1</sub> (meter)

$r_3$  = Jarak antara C<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> (meter)

$r_4$  = Jarak antara C<sub>2</sub> dan P<sub>2</sub> (meter)

$K$  = Faktor Geometri Elektroda

#### II.4 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik tahanan jenis atau resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat listrik batuan dengan menggunakan arus listrik (Telford et al., 1990). Metode ini mempelajari sifat aliran



dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi (Massinai et al., ujuan dari survei listrik adalah untuk menentukan distribusi resistivitas

bawah permukaan dengan membuat pengukuran di permukaan tanah. Dari pengukuran ini, resistivitas sebenarnya di bawah permukaan dapat diperkirakan. Resistivitas tanah/batuan berhubungan dengan berbagai parameter geologi seperti kandungan mineral, kandungan fluida, porositas dan tingkat saturasi air di batuan (Loke, 2004).

Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya harga resistivitas yang terukur seolah-olah merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja. Dengan demikian tahanan jenis yang terukur bukan merupakan harga tahanan jenis untuk satu lapisan saja terutama untuk spasi elektroda yang besar. Dalam hal ini yang terukur adalah tahanan jenis semu (*apparent resistivity*) (Aisha et al., 2018).

#### **II.4.1 Prinsip Dasar ERT (Electrical Resistivity Tomography)**

Metode ERT adalah Metode pengukuran resistivitas dipermukaan tanah / batuan dengan menggunakan banyak elektroda, agar diperoleh variasi distribusi resistivitas bawah permukaan secara lateral dan vertikal, sehingga didapatkan citra bawah permukaan. Dalam pengukuran ERT, arus listrik di injeksikan ke dalam bumi



dua elektroda arus, kemudian respon beda potensial antara dua titik tahanan yang diakibatkan oleh aliran arus tersebut, diukur melalui dua potensial (Santoso et al., 2017).

Prinsip ERT didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda yang terbuat dari selektor elektroda dan multi-channel sistem acquisition yang memungkinkan koneksi dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke resistivity meter. Resistivity meter terhubung ke laptop yang telah mempunyai program akuisisi secara berurutan yang secara otomatis memilih nomor elektroda arus dan elektroda potensial (mengukur potensial). Setiap elektroda ditentukan oleh alamat numerik yang unik dalam sistem yang dapat diidentifikasi oleh komputer.

Pengukuran ini dapat secara otomatis menyimpan data dari ratusan pengukuran single-channel. Data yang disajikan dalam bentuk penampang plot, yang diperoleh dengan menempatkan setiap nilai resistivitas semu pada penampang lintasan. Titik yang terletak dibawah elektroda ABMN dengan kedalaman setengah dari AB disebut dengan penampang kedalaman (Surawan, 2014).

#### II.4.2 Konfigurasi *Gradient*

Konfigurasi *gradient* adalah salah satu konfigurasi yang jarang digunakan. Konfigurasi *gradient* mampu mendapatkan data set yang besar, karena itu konfigurasi ini harus menggunakan sistem multichannel agar tidak menghabiskan waktu. Konfigurasi *gradient* dilakukan dengan menginjeksi elektroda arus dengan jarak pemisah  $(s+2)a$  (Gambar 2.7) selanjutnya elektroda potensial berada ditengah elektroda arus dengan jarak  $a$ ,  $s$  adalah bilangan bulat dimana merupakan nilai maksimum antara elektroda arus. Sedangkan faktor  $n$  dapat didefinisikan sebagai

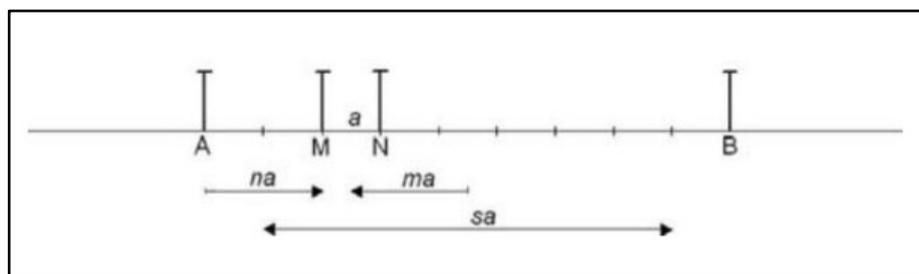


ura elektroda arus dan elektroda potensial terdekat. Oleh karena itu, hal ini aktif dapat digunakan untuk mendefinisikan titik tengah faktor  $m$  sebagai jarak kutub elektroda potensial terhadap kutub elektroda arus. Titik tengah

potensial dipol m relatif terhadap pasangan elektroda arus yang dapat dituliskan sebagai berikut (Dahlin & Zhou, 2006):

$$m = \frac{(x_M + x_N)/2 - (x_A + x_B)/2}{(x_N - x_M)} = \frac{x_{MN} - x_{AB}}{a} \quad (2.27)$$

Dimana  $x_A$ ,  $x_B$ ,  $x_M$ ,  $x_N$  adalah posisi dari elektroda arus dan potensial ( $x_B > x_A$ ,  $x_N > x_M$ ), dan  $x_{AB}$ ,  $x_{MN}$  adalah titik tengah dari masing-masing dipol. Oleh karena itu, m-faktor negatif menunjukkan potensi dipol di sebelah kiri titik tengah elektroda saat ini, dan m-faktor positif menunjukkan bahwa potensial elektroda dipole digeser ke kanan, relatif terhadap titik tengah.



Gambar 2.7 Sketsa dari konfigurasi *gradient*

Berdasarkan gambar 2.7 dapat diperoleh besarnya faktor geometri untuk konfigurasi *gradient*:

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

Dengan,

$$r_1 = na$$

$$r_2 = (s+2-n)a$$

$$(n+1)a$$

$$(s+1-n)a$$



## II.5 Proses Inversi

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna tentang suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem. Sistem yang dimaksud adalah fenomena yang diamati, hasil dari observasi terhadap sistem adalah data sedangkan informasi yang diperoleh dari data adalah model atau parameter model. Permasalahan geofisika pada dasarnya adalah masalah inversi yang dapat diselesaikan dengan memperkirakan model atau parameter model berdasarkan data hasil observasi. Pemodelan inversi merupakan fokus hampir semua bidang geofisika. Meskipun pemodelan inversi bersifat umum, namun masalah yang diselesaikan menggunakan metode inversi adalah masalah yang dapat direpresentasikan secara kuantitatif dengan pendekatan fisika atau matematika (Grandis, 2009).

Data observasi atau data lapangan diharapkan dapat memberikan informasi yang baik, tidak hanya mengenai sifat fisis batuan, tetapi juga kondisi geometri dan posisi kedalaman batuan di bawah permukaan. Informasi tersebut dapat diperoleh dengan mengetahui hubungan antara sifat fisis batuan dan data observasi. Hubungan antara keduanya hampir selalu adalah persamaan matematika atau disebut sebagai model matematika. Oleh karena itu kita dapat mengekstrak parameter fisis batuan dari data observasi. Proses ini disebut pemodelan inversi atau *inverse modelling* (Supriyanto,



2007).  
in inversi (*inverse modelling*) merupakan kebalikan dari pemodelan (*forward modelling*) karena dalam pemodelan inversi parameter model

diperoleh secara langsung dari data observasi. Pemodelan inversi adalah proses pengolahan data hasil observasi di lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh informasi mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Dalam proses pemodelan inversi dilakukan pencocokan kurva (*curve fitting*) antara model matematika dan data observasi. Tujuan dari pemodelan inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan di bawah permukaan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*). Beberapa contoh dari proses inversi diantaranya seperti *fitting* garis untuk data seismik refraksi, tomografi akustik dan *matching* (pencocokan) kurva resistivitas yang multidimensi (Supriyanto, 2007).

## II.6 Interpolasi Kriging

Interpolasi didefinisikan sebagai teknik untuk mendapatkan suatu fungsi yang melewati semua titik dari sebuah set data diskrit atau dapat didefinisikan sebagai teknik perkiraan atau taksiran suatu titik atau nilai diantara suatu set data yang telah diketahui. Ada dua pendekatan yaitu mencari titik tengah yang disebut interpolasi dan dapat diperluas dengan perkiraan titik setelah set data yang terdefinisi atau titik selanjutnya dari titik-titik yang sudah diketahui disebut ekstrapolasi (Ilham, 2020).

Pada metode geolistrik 2D perlu digunakan metode interpolasi sehingga dapat diperkirakan pola nilai diantara titik-titik datum yang tidak terukur. Dari pola nilai tersebut dapat dijadikan penampang resistivitas. Penampang yang dihasilkan



enampang warna-warni yang setiap warnanya mewakili nilai-nilai dari kecil sampai yang terbesar. Untuk dapat membuat penampang resistivitas

dengan beberapa titik datum yang diketahui, maka diperlukan metode interpolasi kriging.

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

Persamaan untuk menghitung nilai estimasi pada titik tertentu adalah sebagai berikut (Rozalia et al., 2016):

$$Z(s) = \sum_{i=1}^n W_i Z(s_i) \quad (2.29)$$

Dengan,

$Z(s)$  = nilai estimasi pada titik tidak tersampel

$W_i$  = koefisien bobot dari  $Z(s_i)$

$Z(s_i)$  = nilai pada lokasi tersampel

$n$  = banyak sampel

