SKRIPSI

KARAKTERISTIK NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) BATUAN ULTRAMAFIK DAERAH SOROWAKO, KABUPATEN LUWU TIMUR

Disusun dan diajukan oleh:

ERIKA PATADUNGAN
D061201026

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISTIK NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) BATUAN ULTRAMAFIK DAERAH SOROWAKO, KABUPATEN LUWU TIMUR

Disusun dan diajukan oleh:

ERIKA PATADUNGAN
D061201026

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 28 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T	**Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng**
NIP. 19591008 198703 1 001	NIP. 1977214 200501 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 1977214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Erika Patadungan
NIM : D061201026
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

KARAKTERISTIK NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) BATUAN ULTRAMAFIK DAERAH SOROWAKO, KABUPATEN LUWU TIMUR

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun terbitnya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan/atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 28 Oktober 2024

Yang Menyatakan

Erika Patadungan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga proses penyusunan skripsi yang berjudul **"KARAKTERISTIK NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* (ERT) BATUAN ULTRAMAFIK"** dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan laporan ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Strata I pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada pembuatan laporan ini penulis tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis. Sehingga terselesaikannya laporan ini dengan baik. Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T, sebagai penasihat akademik sekaligus sebagai dosen pembimbing utama yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan dalam proses penulisan laporan.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng, sebagai ketua departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T, M.T, yang telah menjadi dosen penguji pada seminar hasil penulis dan banyak memberikan arahan serta masukan kepala penulis.
4. Bapak Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis, PhD, yang telah menjadi dosen penguji pada seminar hasil penulis dan banyak memberikan arahan serta masukan kepala penulis.
5. Bapak dan Ibu Dosen pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama penulis menempuh pendidikan perkuliahan.
6. Bapak dan Ibu Staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.

7. PT. Vale Indonesia Tbk. yang telah memberikan kesempatan yang luar biasa untuk belajar dan bisa melakukan penelitian tugas akhir.
8. Bapak Erwin dan Bapak Adhie sebagai pembimbing di PT. Vale Indonesia Tbk. yang telah memberi masukan kritik dan saran yang selalu memberi solusi dan menjadi pengajar yang baik.
9. Bapak dan Ibu pegawai di PT. Vale Indonesia Tbk, atas bantuan dan perhatiannya selama penulis melaksanakan penelitian tugas akhir.
10. Teman-teman *intern* menjadi partner di PT. Vale Indonesia Tbk, selalu memberi semangat, motivasi serta membantu penulis sehingga pengolahan data penelitian dapat selesai.
11. Teman-teman Teknik Geologi Angkatan 2020 (Radar) yang menjadi ruang untuk berdiskusi serta telah memberikan banyak dukungan kepada penulis selama penulis dalam masa studi di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
12. Keluarga saya terutama Papa, Mama, Kakak dan Adek yang selalu memberikan motivasi, dukungan, semangat dan bantuan kepada penulis, bantuan moril maupun materil, serta doa restu keluarga yang senantiasa menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
13. Semua rekan yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan. Akhir kata semoga laporan ini bermanfaat dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan ilmu pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan lainnya. Terima kasih.

Gowa, 28 Oktober 2024

Penulis

ABSTRAK

ERIKA PATADUNGAN. *KARAKTERISTIK NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN DATA ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT) BATUAN ULTRAMAFIK DAERAH SOROWAKO, KABUPATEN LUWUTIMUR* (dibimbing oleh Busthan Azikin dan Hendra Pachri)

Dalam eksplorasi nikel laterit, PT. Vale Indonesia Tbk. awalnya hanya menggunakan metode pengeboran (d*rilling*) untuk menentukan batas profil nikel laterit berdasarkan kandungan mineral dan karakteristik sampel atau batuan yang diambil secara langsung, namun sejak 2014 terdapat metode geofisika dianggap bisa menjadi metode pendukung untuk memaksimalkan eksplorasi nikel laterit berdasarkan penentuan batas profil nikel laterit pada area yang tidak ter*cover* oleh *drillhole*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan profil nikel laterit yang dihasilkan berdasarkan nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan data geokimia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengkorelasikan data ERT dan data geokimia menggunakan *software Datamine* kemudian diinterpretasi. Hasil interpretasi profil nikel laterit yang didapatkan yaitu limonit, saprolit, dan *bedrock*. Limonit memiliki kedalaman 0-10 m dengan nilai resistivitas 201-250 Ohm.m. Saprolit memiliki kedalaman 0-10 m dengan nilai resistivitas 101-200 Ohm.m. *Bedrock* terletak pada kedalaman >10 m dengan nilai resistivitas 101 sampai >801 Ohm.m. Variasi nilai resistivitas dipengaruhi oleh berbagai hal, contohnya kandungan mineral dan faktor kedalaman ketiga zona ini dikontrol oleh morfologinya. Volume dari hasil pemodelan geologi berdasarkan batas interpretasi korelasi nilai resistivitas dan *drillhole* adalah 1.625.300 m^3 untuk limonit dan 1.902.600 m^3 untuk saprolit. Sedangkan cadangan yang dihasilkan berdasarkan batas interpretasi *drillhole to drillhole* adalah 1.523.100 m^3 untuk limonit dan 1.390.100 m^3 untuk saprolit. Adapun persentase perbedaan volume yang dihasilkan adalah 6% pada limonit dan 27% pada saprolit. Dari penelitian ini diharapkan akan muncul penggambaran yang jelas mengenai pemodelan geologi menggunakan data drillhole dan data ERT yang digunakan sebagai acuan dalam proses penambangan bijih nikel laterit dan pola korelasi bijih nikel laterit.

Kata kunci : Sorowako, Nikel, Limonit, Saprolit,Bedrock, ERT, Volume, Geokimia

ABSTRACT

ERIKA PATADUNGAN. *THE CHARACTERISTICS OF LATERITIC NICKEL BASED ON GEOCHEMICAL DATA AND ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT) DATA OF ULTRAMAFIC ROCKS IN THE SOROWAKO AREA, EAST LUWU REGENCY (guided by* Busthan Azikin *and* Hendra Pachri*)*

In laterite nickel exploration, PT. Vale Indonesia Tbk. initially relied solely on drilling methods to determine the boundaries of the laterite nickel profile based on mineral content and characteristics of directly obtained samples or rocks. However, since 2014, geophysical methods have been considered as a supporting technique to optimize laterite nickel exploration by identifying profile boundaries in areas not covered by drillholes. The objective of this study is to identify the characteristics of the laterite nickel profile based on resistivity values correlated with geochemical data. The method used in this research involves correlating ERT data and geochemical data using Datamine software and then interpreting the results. The interpreted laterite nickel profile consists of limonite, saprolite, and bedrock. Limonite is found at a depth of 0-10 m with a resistivity value of 201-250 Ohm.m. Saprolite is located at a depth of 0-10 m with a resistivity value of 101-200 Ohm.m. Bedrock is situated at depths greater than 21 m with resistivity values ranging from 101 to more than 801 Ohm.m. Variations in resistivity values are influenced by factors such as mineral content and depth, with these three zones being controlled by their morphology. The volume of geological modeling results based on resistivity value correlation and drillhole interpretation boundaries is 1,625,300 m^3 for limonite and 1,902,600 m^3 for saprolite. Meanwhile, the estimated reserves based on drillhole-to-drillhole interpretation boundaries are 1,523,100 m^3 for limonite and 1,390,100 m^3 for saprolite. The percentage difference in the resulting volumes is 6% for limonite and 27% for saprolite. This study is expected to provide a clear representation of geological modeling using drillhole and ERT data as a reference in the laterite nickel ore mining process and for correlating laterite nickel ore patterns.

***Keywords** : Sorowako, Nickel, Limonite, Saprolite, Bedrock, ERT, Volume, Geochemistry*

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN ..... Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR ..... **iv**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xviii**
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL ..... **xix**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xxi**
PENDAHULUAN **1**
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Maksud dan Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 2
1.5 Waktu dan Lokasi Daerah Penelitian 3
1.6 Manfaat Penelitian 3
1.7 Peneliti Terdahulu 3
TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Geologi Regional 5
2.2 Kompleks Ultramafik 10
2.3 Pelapukan Endapan Nikel Laterit 23
2.5 Metode Geolistrik Resistivitas 25
METODOLOGI PENELITIAN **29**
3.1 Tahap Persiapan 29
3.2 Tahap Studi Pustaka 29
3.3 Tahap Observasi dan Pengambilan Data 29
3.4 Tahap Analisis dan Pengolahan Data 41
3.5 Penyusunan Laporan 43
3.6 Diagram Alir 44

HASIL DAN PEMBAHASAN 45
4.1. Batuan Dasar 45
4.3 Data Penelitian 47
4.3.1 Data *Drillhole* 47
4.4 Interpretasi Berdasarkan Korelasi Data *Drillhole* dengan Penampang Resistivitas 2D 50
4.4 Interpretasi Berdasarkan *Drillhole* 128
4.7 Pemodelan Geologi 130
4.8 Analisis Perbandingan Profil Nikel Laterit Berdasarkan Drillhole dan ERT 133
4.9 Tabel *Cross* Korelasi 135
KESIMPULAN 136
5.1 Kesimpulan 136
5.2 Saran 137
DAFTAR PUSTAKA 138
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian 3
Gambar 2 Peta geologi regional daerah penelitian termasuk kedalam Geologi regional lembar Malili (Simandjuntak dkk, 1986) 7
Gambar 3 Geologi Umum dan Tektonik Sulawesi (Hamilton 1973 dalam Golightly 1979) 8
Gambar 4 Geologi Daerah Soroako (Golightly 1979) 9
Gambar 5 Struktur Geologi Danau Matano – Soroako dan sekitarnya (Golightly 1979) 10
Gambar 6 Skema pembentukan endapan nikel laterit (Totok Darijanto, 1986)..... 15
Gambar 7 Klasifikasi Lereng menurut Van Zuidam (1985) 16
Gambar 8 Penampang skematik endapan nikel laterit secara general terhadap relief topografi (Boldt, 1967)..... 17
Gambar 9 Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Waheed, 2006) 19
Gambar 10 Hubungan topografi proses laterisasi (Waheed, 2006)..... 19
Gambar 11 Penampang laterit hasil pelapukan yang membagi zona saprolit menurut Waheed Ahmad, 2002..... 22
Gambar 12 Generalisasi profil laterit (Elias, 2002) 23
Gambar 13 Peta sebaran titik bor dan lintasan ERT 29
Gambar 14 Kegiatan pengeboran..... 30
Gambar 15 Kenampakan core box di lapangan..... 30
Gambar 16 Pengambilan data survey..... 31
Gambar 17 Peralatan akuisisi data 31
Gambar 18 Peralatan geolistrik..... 33
Gambar 19 Sample core hasil penngeboran dibawa ke sample house..... 34
Gambar 20 Screening graine size..... 35
Gambar 21 Proses homogenisasi sample (Quartering) 35
Gambar 22 Proses pengovenan sampel..... 36

Gambar 23 Penimbangan sampel 36
Gambar 24 Proses penghalusan sampel menggunakan BOYD Crusher 37
Gambar 25 Sampel sudah halus 37
Gambar 26 Proses pemisahan sampel menggunakan splitter 37
Gambar 27 Proses pengemasan sampel 38
Gambar 28 Penimbangan sampel material 800 gr dan flux 0,8 gr 39
Gambar 29 Sampel 800 gr dan flux 0,8 gr dimasukkan dalam cawan platinum 39
Gambar 30 Sampel dimasukkan dalam modutempt selama 10 menit suhu 1000^0 C 39
Gambar 31 Sampel yang telah melebur dituang kedalam cetakan bead 40
Gambar 32 Sampel hasil peleburan 40
Gambar 33 Bead dimasukkan kedalam alat XRF untuk pembacaan unsur 40
Gambar 34 Hasil analisa XRF 41
Gambar 35 Kenampakan morfologi perbukitan pada blok “ER” PT. Vale Indonesia 45
Gambar 36 Peta topografi daerah penelitian 46
Gambar 37 Profil nikel laterit lintasan E01 47
Gambar 38 Profil nikel laterit lintasan E02 48
Gambar 39 Penampang resistivitas pada lintasan E01 49
Gambar 40 Penampang resistivitas pada lintasan E02 49
Gambar 41 (a) Grafik kedalaman limonit (b) Grafik sebaran resistivitas limonit pada lintasan E01 51
Gambar 42 Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E01 52
Gambar 43 Sebaran Resistivitas bedrock pada Lintasan E01 53
Gambar 44 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe pada lintasan E01 54
Gambar 45 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO2 pada lintasan E01 55
Gambar 46 Grafik pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas 56
Gambar 47 Korelasi Penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E01 58

Gambar 48 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan E02 59
Gambar 49 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E02 60
Gambar 50 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan E02 61
Gambar 51 Pengaruh resistivitas terhadap Fe pada lintasan E02 62
Gambar 52 Pengaruh resistivitas terhadap SiO_2 pada lintasan E02 62
Gambar 53 Pengaruh morfologi terhadap nikel laterit dan resistivitas lintasan E02 63
Gambar 54 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E02 64
Gambar 55 (a) Ketebalan limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan E03 65
Gambar 56 (a) Ketebalan saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E03 66
Gambar 57 Sebaran Resistivitas bedrock pada lintasan E03 67
Gambar 58 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 68
Gambar 59 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe 68
Gambar 60 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan E03 69
Gambar 61 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E03 70
Gambar 62 (a) Ketebalan Limonit (b) Sebaran Resistivitas Limonit pada Lintasan E04 71
Gambar 63 (a) Ketebalan saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E04 72
Gambar 64 Sebaran Resistivitas Bedrock pada Lintasan E04 73
Gambar 65 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan E04 74
Gambar 66 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan E04 74
Gambar 67 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan E04 75

Gambar 68 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E04 76
Gambar 69 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit lintasan E05 77
Gambar 70 (a) Kedalaman Saprolit (b) Sebaran Resistivitas Saprolit Lintasan E05 78
Gambar 71 Sebaran resistivitas bedrock lintasan E05 79
Gambar 72 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan E05 79
Gambar 73 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan E05 80
Gambar 74 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan E05 80
Gambar 75 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E05 81
Gambar 76 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan E06 82
Gambar 77 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E06 83
Gambar 78 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan E06 84
Gambar 79 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan E06 84
Gambar 80 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan E06 85
Gambar 81 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan E06 85
Gambar 82 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E06 87
Gambar 83 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan E07 88
Gambar 84 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan E07 89
Gambar 85 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan E07 90
Gambar 86 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan E07 90
Gambar 87 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan E07 91

Gambar 88 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit pada lintasan E07 91
Gambar 89 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan E07 92
Gambar 90 Interpretasi profil nikel laterit dari penampang resistivitas 93
Gambar 91 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan N02 94
Gambar 92 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan N02 95
Gambar 93 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N02 96
Gambar 94 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan N02 96
Gambar 95 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N02 97
Gambar 96 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas 97
Gambar 97 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan N02 99
Gambar 98 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan N03 101
Gambar 99 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit pada lintasan N03 102
Gambar 100 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N03 102
Gambar 101 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe Lintasan N03 103
Gambar 102 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N03 103
Gambar 103 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan N03 104
Gambar 104 Korelasi penampang resistvitas dan drillhole pada lintasan N03 105
Gambar 105 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resisitivitas saprolit pada lintasan N04 107
Gambar 106 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N04 108
Gambar 107 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan N04 108
Gambar 108 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N04 109

Gambar 109 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan N04 109
Gambar 110 Korelasi penampang resistvitas dan drillhole pada lintasan N04 110
Gambar 111 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit lintasan N05 112
Gambar 112 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit lintasan N05 113
Gambar 113 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N05 113
Gambar 114 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan N05 114
Gambar 115 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N05 114
Gambar 116 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan N05 115
Gambar 117 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan N05 116
Gambar 118 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit pada lintasan N06 117
Gambar 119 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit lintasan N06 118
Gambar 120 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N06 119
Gambar 121 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan N06 119
Gambar 122 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N06 120
Gambar 123 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas 120
Gambar 124 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan N06 121
Gambar 125 (a) Kedalaman limonit (b) Sebaran resistivitas limonit lintasan N07 122
Gambar 126 (a) Kedalaman saprolit (b) Sebaran resistivitas saprolit lintasan N07 123
Gambar 127 Sebaran resistivitas bedrock pada lintasan N07 124
Gambar 128 Pengaruh resistivitas terhadap unsur Fe lintasan N07 125

Gambar 129 Pengaruh resistivitas terhadap unsur SiO_2 lintasan N07 125
Gambar 130 Pengaruh morfologi terhadap profil nikel laterit dan resistivitas lintasan N07..... 126
Gambar 131 Korelasi penampang resistivitas dan drillhole pada lintasan N07 127
Gambar 132 Batas Profil Nikel Laterit Lintasan E07 berdasarkan drillhole ... 129
Gambar 133 Batas profil nikel laterit lintasan N04 berdasarkan drillhole..... 129
Gambar 134 Area perhitungan cadangan 130
Gambar 135 Tampilan 3D volume limonit dan saprolit hasil interpretasi berdasarkan korelasi nilai resistivitas dan drillhole..... 131
Gambar 136 Tampilan 3D pemodelan geologi limonit dan saprolit hasil interpretasi berdasarkan drillhole 132
Gambar 137 Overlay penampang volume ERT dan Drillhole 133
Gambar 138 Perbedaan Penampang Volume ERT dan Drillhole 134

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Diagram alir penelitian 44
Tabel 2 Perbandingan volume *drillhole* dan ERT 132
Tabel 3 Cross korelasi volume *drillhole* dan ERT 135

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Persen
º ‘ ‘’	Derajat Menit Detik
ºC	Derajat Celsius
>	Lebih dari
±	Kurang Lebih
ρ	Tahanan Jenis
Ω.m	Ohm.meter
2D	Dua Dimensi
Al	Aluminium
Au	Emas
Ca	Kalsium
Co	Kobalt
Cu	Tembaga
Cr	Kromium
CO_2	Karbon Dioksida
ERT	*Electrical Resistivity Tomography*
EMI	*Electromagnetic Induction*
Fe	Besi
GPS	*Global Positoining System*
gr	Gram
H^+	Ion Hidrogen
IP	*Induced Polarization*
I	*Arus Listrik*
k	*Faktor Geometri*
Km	Kilometer
Km^2	Kilometer Persegi
LS	Lintang Selatan
LOI	*Loss Of Ignis*
Limbot	Limonit Bottom
LIM	Limonit
Mn	Mangan
Mg	Magnesium
MgO	Magnesium Oksida
M	Meter
MDPL	Meter di atas Permukaan Laut
M^3	Metrik Kubik
M^2	Meter Persegi

MTS	*Magneto Telluric Sounding*
N	Nilai
N..	*North*
Ni	Nikel
OH	Radikal Hidroksil
OH^-	Ion Hidrogsida
PGE	*Platinum Group Element*
RBI	Rupa Bumi Indonesia
R	Resistensi
RTK	*Real Time Kinematic*
S	Belerang
Si	Silika
SP	*Self Potential*
Sapbot	*Saprolite Bottom*
SAP	Saprolit
Ti	Titanium
TC	*Telluric Current*
USGS	Badan Survei Geologi Amerika Serikat
V	Volume
V..	Potensial
VES	*Vertical Electrical Sounding*
XRF	*X-Ray Fluorescence*
Zn	Seng

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Olah Data Drillhole

Lampiran 1 Penampang Hasil Olah Data ERT

Lampiran 3 Tabel Pembobotan Assay dan Nilai Resistivitas Daerah Penelitian

Lampiran 4 Foto *Drillhole*

Lampiran 5 Peta-peta

1. Peta Topografi Daerah Penelitian
2. Peta Lintasan ERT Daerah Penelitian

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit adalah sisa material tanah yang berkembang di atas batuan ultramafik melalui proses pelapukan kimia dan proses pengayaan (*supergene enrichment*). Menurut laporan Badan Survei Geologi Amerika Serikat (USGS), Indonesia menjadi penghasil nikel terbesar nomor satu. Total produksinya diperkirakan mencapai 1,6 juta metrik ton atau menyumbang 48,48% dari total produksi nikel global sepanjang tahun 2022. Selain unggul sebagai produsen, Indonesia tercatat sebagai pemilik cadangan nikel terbesar di dunia pada 2022 yakni mencapai 21 juta metrik ton. Salah satu daerah penghasil nikel terbesar di Indonesia berada pada daerah Sorowako, Sulawesi Selatan. Endapan laterit Sorowako di Sulawesi Selatan merupakan sumber utama logam nikel di Indonesia yang telah di tambang dan diolah dengan menggunakan teknik peleburan konvensional oleh PT.Vale Indonesia (Fitrian dkk., 2020).

Dalam eksplorasi nikel laterit, PT. Vale Indonesia awalnya hanya menggunakan metode pengeboran (*drilling*) untuk menentukan batas profil nikel laterit berdasarkan kandungan mineral dan karakteristik sampel atau batuan yang diambil secara langsung dengan jarak antar titik bor (*drillhole*) 50 dan 25 meter. Dari informasi yang didapatkan perbedaan hasil estimasi sumber cadangan dengan keadaan sebenarnya saat penambangan memiliki perbedaan sebanyak 2% sehingga sejak tahun 2014 terdapat metode geofisika yang dianggap bisa menjadi metode pendukung untuk memaksimalkan eksplorasi nikel laterit berdasarkan penentuan batas profil nikel laterit pada area yang tidak ter*cover* oleh *drillhole* atau diantara *hole* yang satu dengan *hole* yang lainnya.

Metode geofisika yang dimaksud adalah metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Dengan adanya ERT, proses pemodelan atau interpretasi dilakukan dengan mengikuti pola kontur dari nilai resistivitas sehingga bentuk pemodelan yang dihasilkan lebih representatif dari kondisi bawah permukaan yang sebenarnya. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk menganalisis karakteristik profil nikel laterit berdasarkan data ERT dan data *drillhole*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik profil nikel laterit berdasarkan data geokimia dan data resistivitas?
2. Apa yang mempengaruhi variasi nilai resistivitas?
3. Bagaimana volume nikel laterit yang dihasilkan berdasarkan nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan *drillhole* dan berdasarkan interpretasi *drillhole to drillhole?*

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menentukan profil nikel laterit berdasarkan data geokimia dan data *electrycal resistivity tomogpraphy* (ERT) terhadap profil nikel laterit pada daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

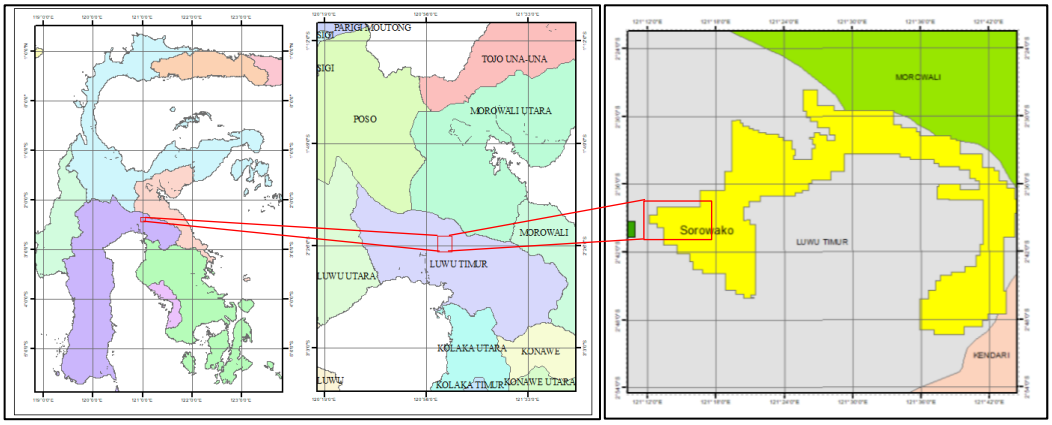
1. Mengetahui karakteristik profil nikel laterit berdasarkan data geokimia dan nilai resistivitas
2. Mengetahui pengaruh variasi nilai resistivitas
3. Membandingkan volume nikel laterit yang dihasilkan berdasarkan nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan *drillhole* dan berdasarkan interpretasi *drillhole to drillhole.*

1.4 Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada pengambilan data sekunder berupa data *drillhole* dan nilai resistivitas dua dimensi (2D) menggunakan Metode ERT Konfigurasi *Gradient* untuk menentukan profil nikel laterit. Interpretasi profil nikel laterit berdasarkan nilai resistivitas yang dikorelasikan dengan data geokimia. Kemudian diakukan analisis karakteristik profil nikel laterit batuan ultramafic pada konsensi PT. Vale Indonesia Tbk.

1.5 Waktu dan Lokasi Daerah Penelitian

Waktu Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan terhitung mulai 7 September 2023 sampai dengan tanggal 9 November 2023. Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah PT. Vale Indonesia,Tbk Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat dari Makassar menuju daerah penelitian pada Desa Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur yang ditempuh sekitar 12 jam dengan jarak sekitar ± 650 km.



Gambar 1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum sebagai acuan pada tahapan eksplorasi secara efektif serta evaluasi terhadap proses yang dilakukan dalam pemodelan geologi menggunakan metode ERT dan data geokimia di blok lainnya dan mengaplikasikan teori-teori yang dijumpai di bangku perkuliahan dan dunia kerja.

1.7 Peneliti Terdahulu

Beberapa ahli geologi yang pernah melakukan penelitian di daerah ini yang sifatnya regional diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Rab Sukamto (1975), penelitian perkembangan tektonik sulawesi dan sekitarnya yang merupakan sintesis yang berdasarkan tektonik lempeng.
2. Simanjuntak (1980), penelitian tentang kondisi geologi regional khususnya pada lembar Bungku, Sulawesi.

3. Sarasin (1901), penelitian tentang geografi dan geologi pada pulau Sulawesi
4. Rab Sukamto (1990), penelitian tentang pulau Selawesi dan sekitarnya yang membagi menjadi 3 mandala geologi.
5. Waheed Ahmad (2006 dan 2008), penelitiannya *mine ge*ology dan *geology eksploration* yang dimana kedua penelitian tersebut merupakan cikal bakal dalam pembangunan pabrik, kegiatan eksplorasi dan mining dari PT. Vale Indonesia, Tbk.
6. Armstrong (2012), penelitian tentang kondisi struktur geologi pada pulau Sulawesi.
7. Surawan, (2014), penelitian tentang penggunaan ERT dalam memaksimalkan eksplorasi nikel laterit.
8. Savin et,al (2016), penelitian tentang *Electrical Tomography Survey* (Sorowako) *Mining Exploration* pada area *East Block.*
9. Arif, (2017), penelitian tentang hubungan nilai resistivitas dan sifat kimia batuan untuk menentukan karakteristik profil nikel laterit di Kecamatan Nuha, Luwu Timur.
10. Dwiangga, (2023) penelitian tentang aplikasi metode ERT dalam Eksplorasi Nikel Laterit untuk menentukan sebaran nilai resistivitas pada layer Ore di Area DN.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Geologi Regional Secara umum, daerah penelitian terletak pada Lembar daerah Malili, adapun geologi regional pada daerah tersebut yaitu :

2.1.1 Geomorfologi

Menurut TO. Simandjuntak, E. Rusmana, Surono dan (*and*) J. B Supandjono, 1991. Secara morfologi daerah ini dapat dibagi atas 4 satuan : Daerah Pegunungan, Daerah Pebukitan, Daerah Kras dan Daerah Pedataran. Daerah Pegunungan menempati bagian barat dan tenggara lembar peta. Di bagian barat terdapat 2 rangkaian pegunungan: Pegunungan Tineba dan Pegunungan Koro-Ue yang memanjang dan baratlaut - tenggara, dengan ketinggian antara 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara lembar peta terdapat Pegunungan Verbeek dengan ketinggian antara 800 - 1346 m di atas permukaan laut, dibentuk oleh batuan ultramafik dan batugamping. Sungai-sungai yang mengalir di daerah ini yaitu S. Kataena, S. Pincara, S. Rongkong. S. Larona dan S. Malili merupakan sungai utama. Pola aliran sungai umumnya dendrit.

2.1.2 Stratigrafi

Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional Lembar Malili termasuk Mendala Geologi Sulawesi Timur dan Mandala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas sesar Palu koro yang membujur hampir utara selatan. Mendala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (Telt): lajur batuah malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen petagos Mesozoikum. Di Mendala Geologi Sulawesi Timur, batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, wehrlit dan serpentinit, setempat batuan mafik termasuk gabro dan basal. Umurnya belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan

ofiolit di lengan timur Sulawesi yang berumur Kapur – Awal Tersier (Simandjuntak, 1986).

Lajur ofiolit Sulawesi Timur

MTosu **Batuan Ultramafik**: harzburgit, lherzolit, wehrlit, websterit, serpentinit dan dunit.

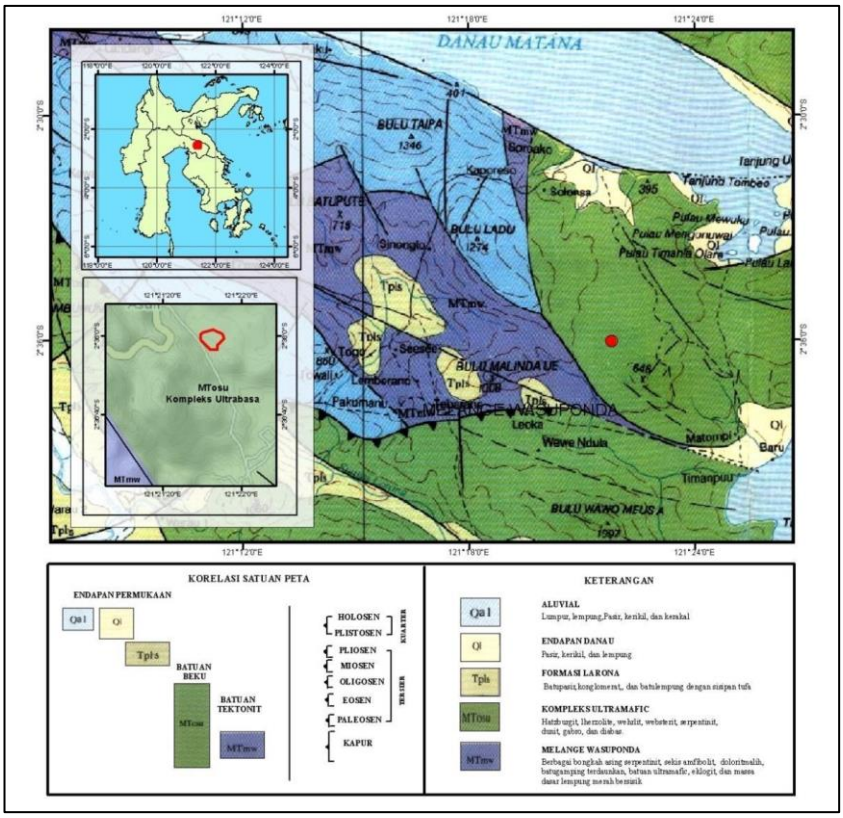
Harzburgit, hijau sampai kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineralnya halus sampai kasar, terdiri atas olivin (60%) dan piroksen (40%). Di beberapa tempat menunjukkan struktur pedaunan. Hasil penghabluran ulang pada mineral piroksen dan olivine mencirikan batas masing-masing kristal bergerigi. Lherzolit, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Mineral penyusunnya ialah olivin (45%), piroksen (25%), dan sisanya epidot, yakut, klorit dan bijih dengan mineral berukuran halus sampai kasar.

Wehrlit, bersifat padu dan pejal; kehitaman; bertekstur afanitik. Batuan ini tersusun oleh mineral olivin, serpentin, piroksen dan iddingsit. Serpentin dan iddingsit berupa mineral hasil ubahan olivin.

Websterit, hijau kehitaman; holokristalin, padu dan pejal. Batuan ini terutama tersusun oleh mineral olivin dan piroksenkilno berukuran halus sampai sedang. Juga ditemukan mineral serpentin, klorit, serisit dan mineral kedap cahaya. Batuan ini telah mengalami penggerusan, hingga di beberapa tempat terdapat pemilonitan dalam ukuran sangat halus yang memperlihalkan struktur kataklas.

Serpentinit, kelabu tua sampai kehitaman; padu dan pejal. Batuannya bertekstur afanitik dengan susunan mineral antigorit, lempung dan magnetit. Umumnya memperlihatkan struktur kekar dan cermin sesar yang berukuran megaskopis.

Dunit, kehitaman; padu dan pejal, teksur afanitik. Mineral penyusunnya ialah olivin, piroksen. plagioklas, sedikit serpentin dan magnetit; berbutir halus sampai sedang. Mineral utama Olivin berjumlah sekitar 90%: Tampak adanya penyimpangan dan pelengkungan kembaran yang dijumpai pada piroksen. Mencirikan adanya gejala deformasi yang dialami oleh batuan ini. Di beberapa tempat dunit terserpentinkan kuat yang ditunjukkan dari struktur sisa seperti jaring dan barik-barik mineral olivin dan piroksen; serpentin dan talcum sebagai mineral pengganti.



Gambar 2 Peta geologi regional daerah penelitian termasuk kedalam Geologi regional lembar Malili (Simandjuntak dkk, 1986)

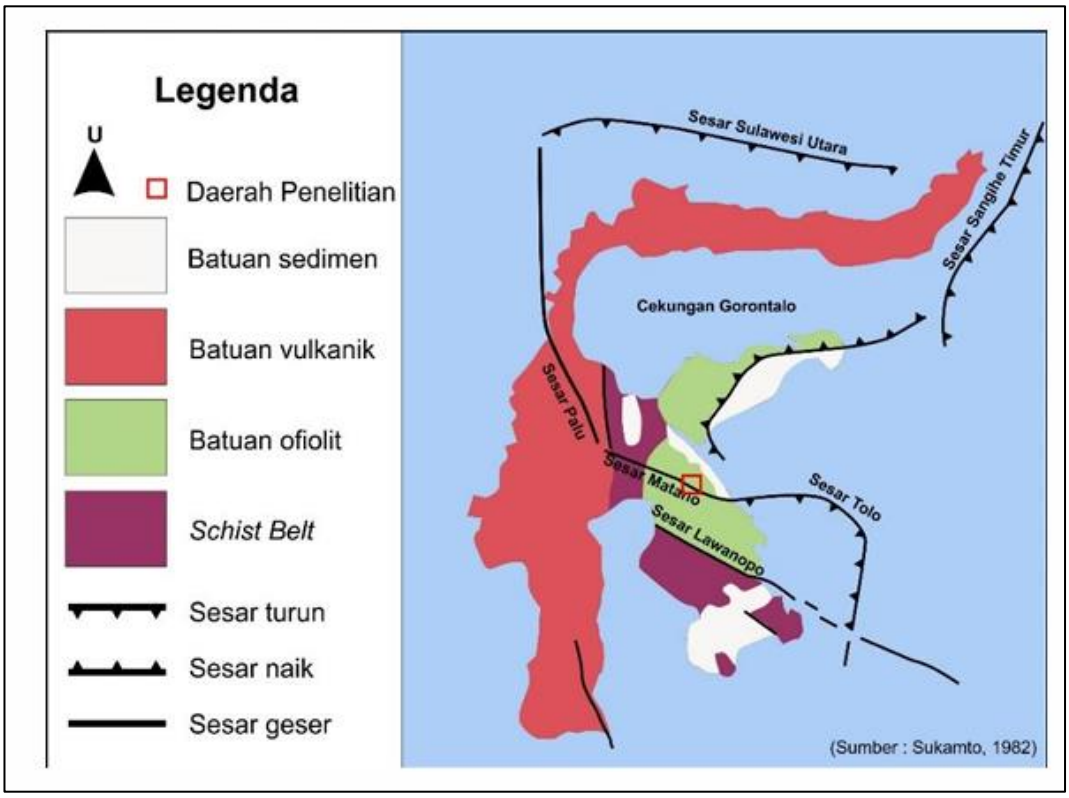
2.1.3 Struktur Geologi

Ada beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai proses tektonik dan geologi daerah Sorowako, antara lain adalah Sukamto (1975) yang membagi pulau Sulawesi dan sekitarnya terdiri dari 3 Mandala Geologi yaitu:

1. Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api Paleogen.
2. Intrusi Neogen dan sedimen Mesozoikum.
3. Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan Ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotite, harzburgit, dunit, piroksenit dan serpentinite yang diperkirakan berumur kapur. Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf Permo-Karbon, batuan batuan plutonik yang bersifat granitis berumur Trias dan batuan sedimen Mesozoikum.

Daerah Sorowako dan sekitarnya menurut (Sukamto, 1975, 1982 & Simanjuntak, 1986) adalah termasuk dalam Mandala Indonesia bagian Timur

yang dicirikan dengan batuan ofiolit dan Malihan yang di beberapa tempat tertindih oleh sedimen Mesozoikum.



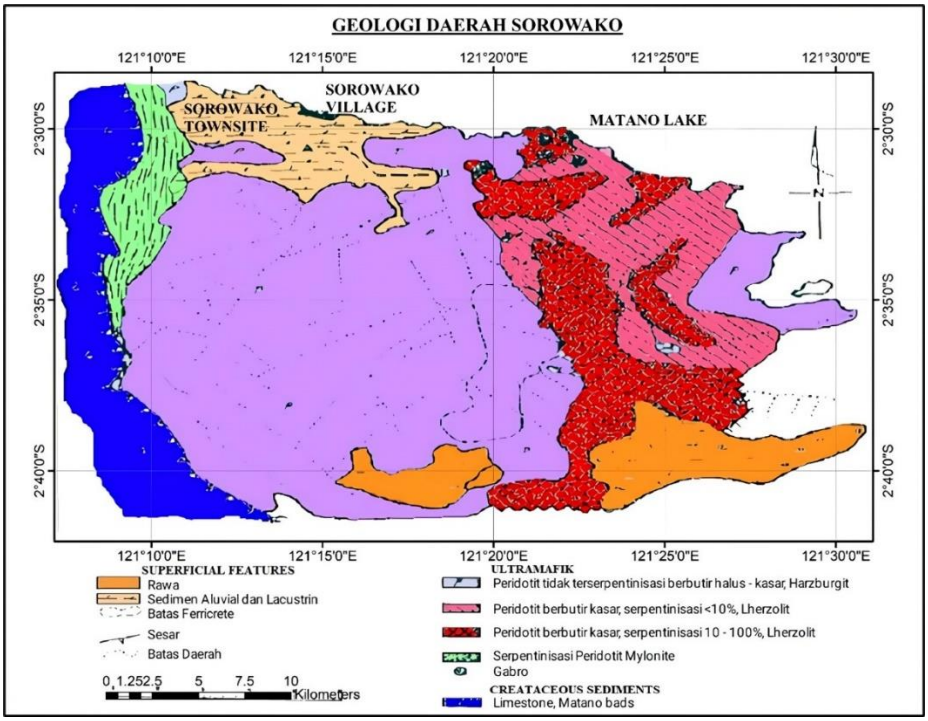
Gambar 3 Geologi umum dan tektonik Sulawesi (Sukamto 1982)

Menurut Hamilton (1979), Mandala Geologi Banggai Sula merupakan mikro kontinen yang merupakan pecahan dari lempung *New Guine* yang bergerak ke arah barat sepanjang sesar sorong (Gambar 3) Melange yang berumur *Miocene - Post* Miocene menempati *central* dan lengan *North-East* Sulawesi. *Uplift* terjadi sangat intensif di daerah ini, diduga karena desakan kerak samudera Banggai Craton. Kerak benua dengan density yang rendah menyebabkan terekspos nya batuan-batuan laut dalam dari kerak samudera dan mantel. Pada bagian Selatan dari zona melange ini terdapat kompleks batuan ultramafik Sorowako-Bahodopi yang pengangkatannya tidak terlalu intensif. Kompleks ini menempati luas sekitar 11,000 km persegi dengan stadia geomorfik menengah, diselingi oleh blok-blok sesar dari *cretaceous abyssal limestone* dan diselingi oleh *chert*.

Menurut Golightly 1979 dalam Kumarawarman 2016, geologi daerah sorowako dibagi menjadi 3 bagian yaitu satuan batuan sedimen yang berumur Kapur yang terdiri dari batugamping laut dalam dan rijang. Pada bagian Barat wilayah Sorowako dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah Barat.

Satuan Batuan Ultrabasa yang berumur awal Tersier, umumnya terdiri dari jenis peridotit, yang sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat dibagian Timur. Pada daerah penelitian terdapat sesar besar yang menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang masih aktif tererosi. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya proses lateritisasi yang bersifat ekonomis.

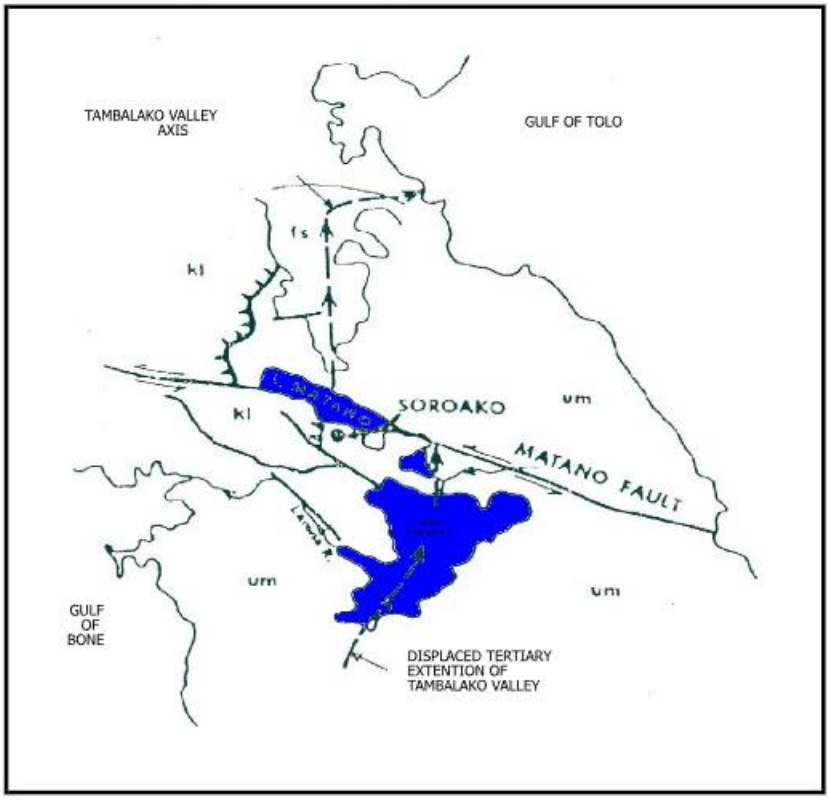
Golightly (1979) juga mengemukakan bagian Timur Sulawesi tersusun dari 3 zona mélange subduksi yang terangkat pada pre – dan *post Miocene*. Mélange yang paling tua tersusun dari sekis yang berorientasi kearah Tenggara disertai beberapa tubuh batuan ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadi geomorfik tua. Sementara yang berumur post Miocene telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterit yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomala.



Gambar 4 Geologi daerah sorowako (Golightly 1979)

Sesar disekitar daerah menyebabkan relief topografi sampai 600 mdpl dan sampai sekarang aktif tererosi. Sejarah tektonik dan gemorfik di kompleks ini sangat penting untuk pembentukan nikel laterit yang bernilai ekonomis. Matano *fault* yang membuat topografi liniament yang cukup kuat adalah sesar aktif dan menggeser Matano limestone dan batuan lainnya sejauh 18 km kearah barat pada

sisi Utara. Danau Matano yang mempunyai kedalaman sekitar 600 m diperkirakan adalah graben yang terbentuk akibat efek zona dilatasi dari sesar tersebut. Danau Towuti pada sisi selatan dari sesar diperkirakan merupakan pergeseran dari Tambalako akibat pergerakan sesar Matano. Pergerakan sesar ini memblok aliran air ke arah utara sepanjang lembah dan membentuk Danau Towuti dan aliran airnya beralih ke barat menuju sungai Larona. Danau – danau yang terbentuk akibat dari "*damming effect*" dari sesar ini merupakan bendungan alami yang menahan laju erosi dan membantu mempertahankan deposit nikel laterit yang terbentuk di daerah Sorowako (Gambar 5).



Gambar 5 Struktur Geologi Danau Matano – Sorowako dan sekitarnya (Golightly 1979)

2.2 Kompleks Ultramafik

2.2.1 Ultramafik

Menurut Waheed Ahmad (2002), batuan ultramafik merupakan batuan yang terdiri dari mineral-mineral yang bersifat mafik (*ferromagnesian*), seperti : olivin, piroksin, hornblend dan mika. Semua batuan ultramafik memiliki indeks warna >70%. Perlu diperhatikan bahwa istilah "ultrabasa" dan "ultramafik" tidak identik.

Sebagian besar batuan ultramafik juga ultrabasa, sementara tidak semua batuan ultrabasa yang ultramafik. Dengan demikian batuan yang kaya akan *feldspathoid* merupakan ultrabasa namun bukan batuan ultramafik, karena tidak mengandung mineral *ferromagnesian* (Waheed Ahmad,2002).

Berikut adalah jenis – jenis dari batuan ultramafik, antara lain:

a) Peridotit

Peridotit biasanya membentuk suatu kelompok batuan ultramafik yang disebut ofiolit, umumnya membentuk tekstur kumulus yang terdiri dari atas harsburgit, lerzolit, werlite dan dunit. Peridotit tersusun atas mineral – mineral holokristalin dengan ukuran medium – kasar dan berbentuk anhedral. Komposisinya terdiri dari olivin dan piroksin. Mineral asesorisnya berupa plagioklas, *hornblende*, biotit dan garnet.

b) Piroksinit

Menurut Waheed Ahmad (2002), piroksinit merupakan kelompok batuan ultramafik monomineral dengan kandungan mineral yang hampir sepenuhnya adalah piroksin. Dalam hal ini piroksinit diklasifikasikan lebih lanjut apakah masuk kedalam piroksin ortorombik atau monoklin.

- *Orthopyroxenites*: *Bronzitites*
- *Clinopyroxenites*: *Diopsidites; diallagites*

c) Hornblendit

Hornblendit merupakan batuan ultramfik monomineral dengan komposisi mineral sepenuhnya *hornblende*.

d) Dunit

Merupakan batuan yang hampir murni olivin (90-100%), umumnya hadir sebagai forsterit atau kristolit, terdapat sebagai sill atau korok-korok halus (dalam dimenai kecil). Sedangkan Waheed Ahmad (2002), menyatakan bahwa dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik olivin (umumnya magnesia olivin), mineral asesorisnya meliputi : kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperature tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa olivine anhedral yang saling mengikat. Terbentuk batuan yang terdiri dari olivine murni

(dunit) misalnya, membuktikan bahwa larutan magma *(liquid)* berkomposisi olivin memisah dari larutan yang lain.

e) Serpentinit

Serpentinit merupakan batuan hasil alterasi hidrotermal dari batuan ultramafik, dimana mineral-mineral olivin dan piroksin jika alterasi akan membentuk mineral serpentin. Serpentin umumnya memiliki komposisi batuan berupa monomineralik serpentin, batuan tersebut dapat terbentuk dari serpentinisasi dunit, peridotit (Waheed Ahmad, 2002). Serpentinit tersusun oleh mineral grup serpentin >50%, kerak serpentinit dapat dihasilkan dari mantel oleh hidrasi dari mantel ultramafik (mantel peridotit dan dunit). Dibawah pegunungan tengah samudera (*mid Oceanic Ridge*) pada temperatur $<500^0$C. serpentin kemudian terbawa keluar melalui migrasi litosfer.

Menurut Waheed Ahmad (2002) bidang terjadinya batuan ultramafik dapat disederhanakan pada dasarnya tiga jenis:

1) Batuan ultramafik berkaitan dengan intrusi lapisan. Hal ini terbukti di beberapa lokasi ultramafik diperoleh melalui gravitasi tetap mineralmineral mafik berat selama proses kristalisasi dari magma dasar (Intrusi *Skaergaard*, *Bushveld* Kompleks, dan *Great Dike* di Afrika). berdasarkan hal tersebut ultramafik akan selalu menjadi batuan diatas mafik.
2) Bagian-bagian kecil seluruhnya merupakan batuan ultramafik (melensa, lembar, tanggul, persediaan). Kadang-kadang, sebuah pengisian ke dapur magma memperlihatkan dengan jelas bahwa ultramafik kemungkinan telah diterobos sebagai kristal padat massa.
3) Terbentuknya ultramafik yang sangat besar jelas terkait dengan *ophiolites*, subduksi *melange*, busur pulau terluar dan sabuk orogenik (Ural daerah, Himalaya, Selandia Baru, Kaledonia Baru, Sulawesi, Filipina, Kuba, Republik Dominika, dan lainnya).

2.2.2 Ofiolit

Ofiolit merupakan kompleks batuan dengan berbagai karakteristik dari layer ultramafik, dengan ketebalan dari beberapa ratus meter sampai beberapa

kilometer bersusun atau berlapis dengan batuan gabro dan batuan *dolerite*, dan pada bagian atanya tersusun oleh *pillow lava* dan breksi, sering berasosiasi dengan batuan sedimen pelagik (Ringwood, 1975).

2.2.3 Endapan Nikel Laterit

Laterite deposit atau endapan laterit diartikan sebagai hasil dari proses pelapukan yang intensif di daerah *humid*, *warm* maupun tropis dan kaya akan mineral lempung yang bersifat kaolinitic serta Fe- dan Al- *oxide/hydroxide*. Endapan laterit pada umumnya menampakkan bidang perlapisan yang baik sebagai hasil reaksi antara air hujan yang masuk ke dalam formasi dan kelembaban tanah yang naik ke atas permukaan (Maulana, 2017).

Laterit menurut Evans (1993) adalah produk sisa dari pelapukan kimia batuan di permukaan bumi, dimana berbagai mineral asli atau primer mengalami ketidakstabilan karena adanya air kemudian larut atau pecah dan membentuk mineral baru yang lebih stabil. Laterit penting sebagai induk untuk endapan bijih ekonomis. Contoh terkenal dari endapan bijih laterit yaitu bauksit dan endapan bijih besi.

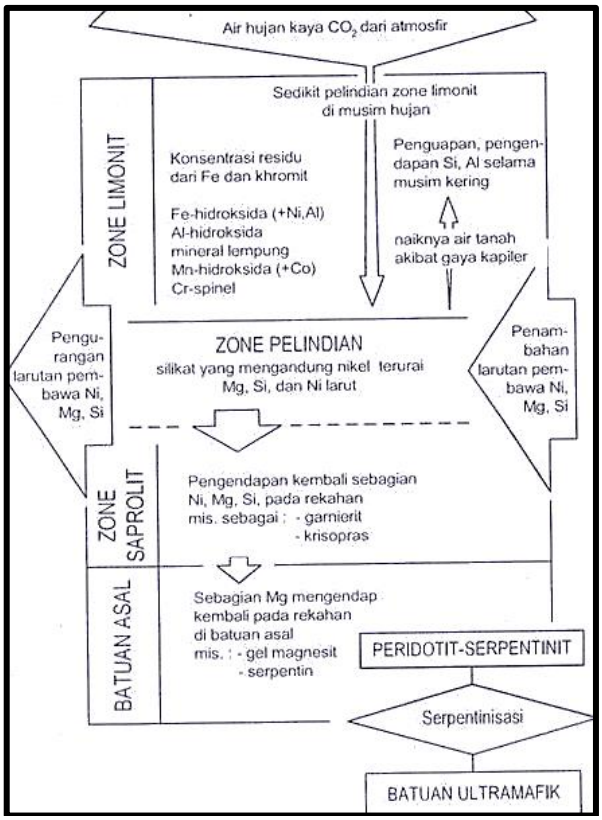
Laterit merupakan sumber dari beberapa mineral ekonomis diantaranya bauxite dan nikel (Ni), mangan (Mn), tembaga (Cu), emas (Au) dan *platinum group element* (PGE). Bagian paling bawah dari profil laterit disebut dengan zona saprolite yang merupakan zona pelapukan tinggi dimana tekstur primer dan fabrik dari batuan asalnya masih dapat dilihat. Akibat fluida yang bersifat *oxided* dan asam, maka bagian paling bawah dari zona ini dicirikan dengan tidak stabilnya *sulfide* dan karbonat dengan hasil pencucian atau *leaching* dari logam-logam *chalcopile* dan unsur-unsur alkalin. Bagian bawah dari zona saprolit ini dicirikan dengan terurainya mineral-mineral feldspar dan *ferromagnesian*, sementara Si dan Al akan tetap tinggal pada mineral lempung (*kaolinite dan halloysite*) (Maulana, 2017).

2.2.4 Genesa Endapan Nikel Laterit

Proses terbentuknya nikel dimulai dari adanya pelapukan yang intensif pada batuan induk. Batuan induk ini akan berubah menjadi serpentin akibat larutan

residual pada waktu proses pembekuan magma (proses serpentinisasi) dan akan merubah batuan peridotit (batuan induk) menjadi batuan sepentinit. Menurut Golightly (1981) sebagian besar unsur Ca, Mg dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen (Ni, Mn, Co, Zn) atau terkayakan secara relatif (Fe, Cr, Al, Ti, S dan Cu).

Air resapan yang mengandung CO_2 (dari udara) meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah melindi mineral-mineral primer yang tidak stabil (olivin, piroksin dan serpentin). Air meresap secara perlahan sampai mencapai batas *limonite zone* dan *saprolite zone*, kemudian mengalir secara lateral. Proses ini menghasilkan Ca dan Mg yang larut disusul dengan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel silika yang sangat halus, sehingga memungkinkan terbentuknya mineral baru melalui pengendapan kembali unsur-unsur tersebut. Semua hasil pelarutan akan turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. Muka air tanah yang berlangsung secara *continue* akan melarutkan unsur-unsur Mg dan Si yang terdapat pada bongkah-bongkah batuan asal di zona saprolit, sehingga memungkinkan penetrasi air tanah yang lebih dalam. Zona saprolit dalam hal ini akan semakin bertambah ikatan-ikatan yang mengandung oksida sehingga bongkah-bongkah yang ada dalam zona ini akan terlindi dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah dan sedikit demi sedikit zona saprolit atas akan berubah sifat porositasnya dan akan menjadi zona limonit (Gambar 6).



Gambar 6 Skema pembentukan endapan nikel laterit (Totok Darijanto, 1986)

Untuk unsur-unsur yang sukar atau tidak mudah larut akan tinggal pada tempatnya dan sisanya akan turun ke bawah bersama larutan sebagai larutan koloid. Bahan-bahan seperti Fe, Ni dan Co akan membentuk konsentrasi residu dan konsentrasi celah pada zona yang disebut zona saprolit, berwarna coklat kuning kemerahan. Batuan asal ultramafik pada zona ini selanjutnya diimpregnasi oleh Ni melalui larutan yang mengandung Ni sehingga kadar Ni dapat naik. Dalam hal ini Ni dapat mensubtitusi Mg dalam serpentin atau juga mengendap dalam rekahan bersama dengan larutan yang mengandung Mg dan Si sebagai garnierit dan krisopras (Totok Darijanto,1986).

2.2.5 Faktor – faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Profil Laterit

Proses-proses dan kondisi yang mengatur dan mengendalikan laterisasi dari batuan ultramafik begitu banyak dan beragam, akibatnya kondisi alamiah dari tiap profil berbeda secara detail dari satu tempat ke tempat lainnya dalam hal ketebalan, kimiawi, komposisi mineralogi dan perkembangan relatif dari zona profil secara

individu. Faktor – faktor utama yang mempengaruhi efisiensi dan kinerja dari pelapukan kimia, berdampak pada model alamiah profil, antara lain iklim, topografi, drainase, tektonik, tipe batuan induk, struktur, stabilitas mineral (struktur kristal, titik lebur), reaksi potensial (reduksi / oksidasi), ukuran butir dan bukaan batuan (porositas), kondisi PH, tingkat pemindahan suatu unsur ke arah vertical, klimaks (temperatur, curah hujan, naik-turunnya muka air tanah), peran permukaan air di bawah tanah, dan waktu . Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat sebaran secara horisontal endapan lateritik (Boldt, 1967), yaitu :

a) Adanya proses pelapukan yang relatif merata walaupun berbeda tingkat intensitasnya, sehingga endapan lateritik terbentuk dan tersebar secara merata. Penyerapan air hujan (pada slope curam umumnya air hujan akan mengalir ke daerah yang lebih rendah /*run off* dan penetrasi ke batuan akan sedikit. Hal ini menyebabkan pelapukan fisik lebih besar dibanding pelapukan kimia).
b) Topografi/morfologi yang tidak curam tingkat kelerengannya, sehingga endapan laterit masih mampu untuk ditopang oleh permukaan topografi sehingga tidak terangkut semua oleh proses erosi ataupun ketidakstabilan lereng.

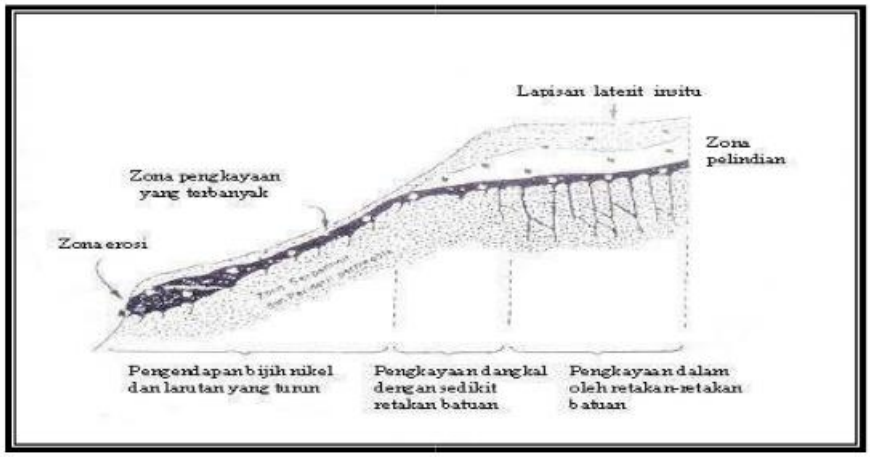
Kelas Lereng	Sifat-sifat proses dan kondisi alamiah	Warna
$0 - 2^0$ (0-2 %)	Datar hingga hampir datar; tidak ada proses denudasi yang berarti	Hijau
$2 - 4^0$ (2-7 %)	Agak miring; Gerakan tanah kecepatan rendah, erosi lembar dan erosi alur (sheet and rill erosion). rawan erosi	Hijau Muda
$4 - 8^0$ (7 – 15 %)	Miring;sama dengan di atas, tetapi dengan besaran yang lebih tinggi. Sangat rawan erosi tanah.	Kuning
$8 - 16^0$ (15 -30 %)	Agak curam; Banyak terjadi gerakan tanah, dan erosi, terutama longsoran yang bersifat nendatan.	Jingga
$16 - 35^0$ (30 – 70 %)	Curam;Proses denudasional intensif, erosi dan gerakan tanah sering terjadi.	Merah Muda
$35 - 55^0$ (70 – 140 %)	Sangat curam; Batuan umumnya mulai tersingkap, proses denudasional sangat intensif, sudah mulai menghasilkan endapan rombakan (koluvial)	Merah
$>55^0$ (>140 %)	Curam sekali, batuan tersingkap; proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhan batu, tanaman jarang tumbuh (terbatas).	Ungu
$>55^0$ (>140 %)	Curam sekali Batuan tersingkap; proses denudasional sangat kuat, rawan jatuhan batu, tanaman jarang tumbuh (terbatas).	Ungu

Gambar 7 Klasifikasi Lereng menurut Van Zuidam (1985)

Daerah yang memiliki *slope* yang kurang dari 20 derajat memungkinkan untuk menahan laterit dan erosi. Pada proses pengayaan nikel, air yang membawa nikel terlarut akan sangat berperan dan dikontrol oleh topografi. Secara kualitatif pada lereng dengan derajat tinggi (curam) maka proses pengayaan akan sangat kecil atau tidak ada sama sekali karena air pembawa Ni akan mengalir. Sedangkan pada daerah dengan lereng sedang / landai proses pengayaan umumnya berjalan dengan baik karena *run off* kecil sehingga ada waktu untuk proses pengayaan dan umumnya ore yang terbentuk akan tebal. Akibat lereng yang sangat curam maka erosi yang terjadi sangat kuat hingga mengakibatkan zona limonit dan saprolit tererosi.

c) Adanya tumbuhan penutup yang berfungsi untuk mengurangi tingkat intensitas erosi endapan lateritik, sehingga endapan laterit tersebut relatif tidak terganggu.

Faktor-faktor tersebut saling terkait secara kompleks. Ketika batuan terekspose ke permukaan, secara gradual akan mengalami dekomposisi. Proses kimia dan mekanik yang disebabkan oleh udara, air, panas dan dingin akan menghancurkan batuan tersebut menjadi soil dan *clay*. Berikut ditunjukkan dalam penampang skematik endapan nikel laterit (gambar 10).



Gambar 8 Penampang skematik endapan nikel laterit secara general terhadap relief topografi (Boldt, 1967)

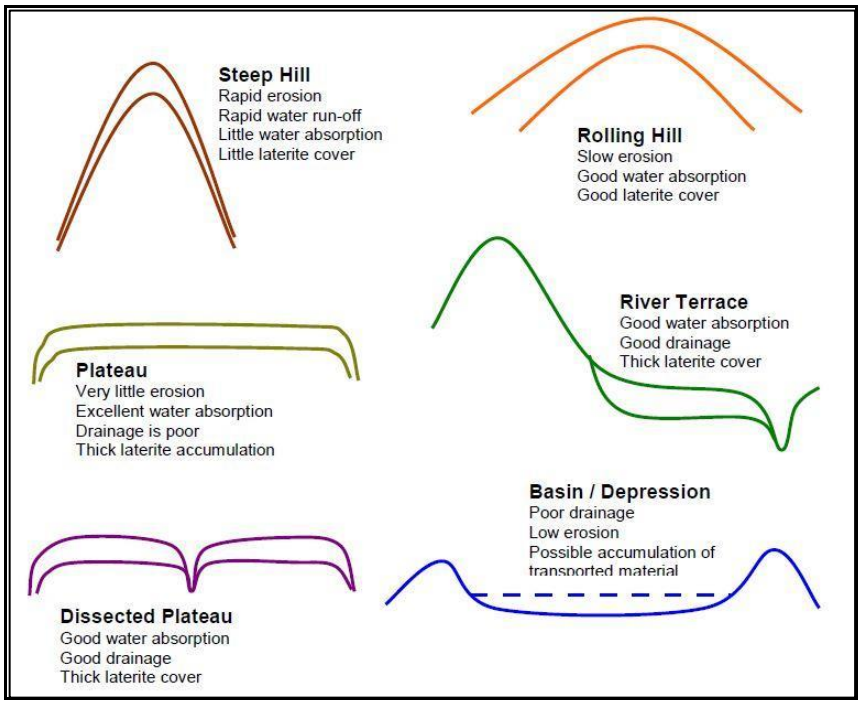
Salah satu faktor yang berperan dalam proses laterisasi adalah morfologi dan topografi, bentuk morfologi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh bentuk morfologi bawah permukaan khususnya morfologi batuan dasarnya. Umumnys, bijih (*ore*) terdapat pada zona saprolite dan Sebagian kecil pada zona limonit. Hal

ini tergantung dari kadar yang terkandung pada zona tersebut. Dimana dalam laterit ini nantinya dapat menentukan seberapa tebal bijih *(ore*) yang terdapat dalam laterit tersebut.

Menurut Ahmad (2006) dalam buku LATERITES (*Fundamentals of chemistry, mineralogy, weathering processes and laterite formation*) mengemukakan bahwa peranan topografi sangat besar terhadap proses laterisasi, melalui bebrapa factor antara lain :

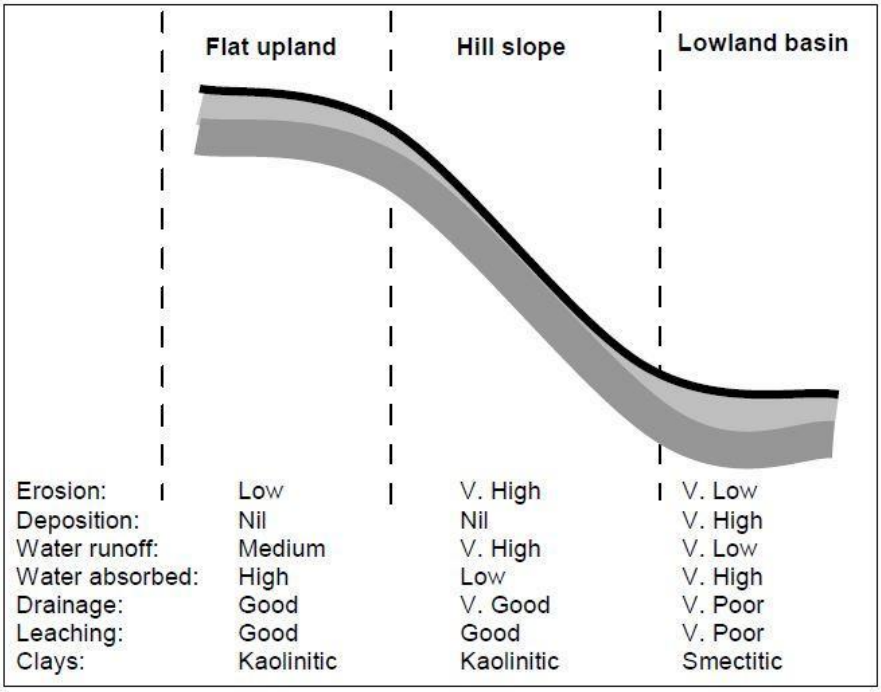
1. Penyerapan air hujan (pada *slope* curam umumnya air hujan akan mengalir ke daerah yang lebih rendah/*run off* dan penetrasi ke batuan akan sedikit. Hal ini menyebabkan pelapukan fisik lebih besar dibanding pelapukan kimia.
2. Daerah tinggi memiliki drainase yang lebih baik daripada daerah rendah dan daerah datar.
3. *Slope* yang kurang dari 20° memungkinkan untuk menahan laterit dan erosi.

Pada proses pengayaan nikel, air yang membawa nikel terlarut akan sangat berperan dan pergerakan ini dikontrol oleh topografi. Secara kualitatif pada lereng dengan derajat tinggi (curam) maka proses pengayaan akan sangat kecil atau tidak ada sama sekali karena air pembawa Ni akan mengalir. Bila proses pengayaan kecil maka pembentukan bijih (*ore*) juga akan kecil (tipis), sedangkan pada daerah dengan lereng sedang/landai proses pengayaan umumnya berjalan dengan baik karena *run off* kecil sehingga ada waktu untuk proses pengayaan, dan umumnya *ore* yang terbentuk akan tebal. Akibat lereng yang sangat curam maka erosi yang terjadi sangat kuat hingga mengakibatkan zona limonit dan saprolit tererosi. Hal ini dapat terjadi selama proses lateritisasi atau setelah terbentuknya zona diatas batuan dasar (*bedrock)*.



Gambar 9 Klasifikasi sederhana antara bentuk lahan dan proses laterisasi (Ahmad, 2006)

Menurut Waheed, 2006 ada beberapa parameter yang digunakan untuk membandingkan proses-proses yang terjadi ada lereng yang berbeda, yaitu :



Gambar 10 Hubungan topografi proses laterisasi (Ahmad, 2006)

2.2.6 Penyebaran dan Penampang Endapan Nikel Laterit

Secara horisontal penyebaran Ni tergantung dari arah aliran air tanah yang sangat dipengaruhi oleh bentuk kemiringan lereng (topografi). Air tanah bergerak dari daerah – daerah yang mempunyai tingkat ketinggian ke arah lereng, yang mana sebagian besar dari air tanah pembawa Ni, Mg dan Si yang mengalir ke zona pelindian atau zona tempat fluktuasi air tanah berlangsung. Pada tempat-tempat yang banyak mengandung rekahan-rekahan Ni akan terjebak dan terakumulasi di tempat-tempat yang dalam sesuai dengan rekahan-rekahan yang ada, sedangkan pada lereng dengan kemiringan landai sampai sedang adalah merupakan tempat pengkayaan nikel.

Air tanah berfungsi sebagai larutan pembawa Ni pada saat berlangsungnya proses pelindian. Pada dasarnya proses pelindian ini dapat dikelompokkan menjadi proses pelindian utama yang berlangsung secara vertikal yang meliputi proses pelindian celah di zona saprolit serta proses pelindian yang terjadi di waktu musim penghujan di zona limonit (Golightly, 1979).

Profil (penampang) laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona. Profil nikel laterit tersebut dideskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah. Menurut Golightly, 1979. Profil laterit dibagi menjadi 4 zona yaitu *iron cap*, limonit, saprolit dan bedrock namun penulis telah menggabungkan beberapa teori dari beberapa penelitian sehingga profil lateri terbagi atas 5 zona yaitu:

1. *Iron cap*

Iron cap atau tudung besi yaitu lapisan berukuran lempung, berwarna coklat kemerahan, dan biasanya terdapat juga sisa-sisa tumbuhan. lapisan dengan konsentrasi besi yang cukup tinggi (*ferriginous duricrust*) dan kandungan nikel yang rendah atau merupakan laterit residu yang dapat terbentuk pada bagian atas dari profil dan melindungi lapisan endapan nikel laterit dibawahnya (Golightly, 1979).

2. Zona Limonit

Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineralmineral lain yang

terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempung-lanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit (Golightly, 1979).

3. *Zona Medium Grade Limonite*

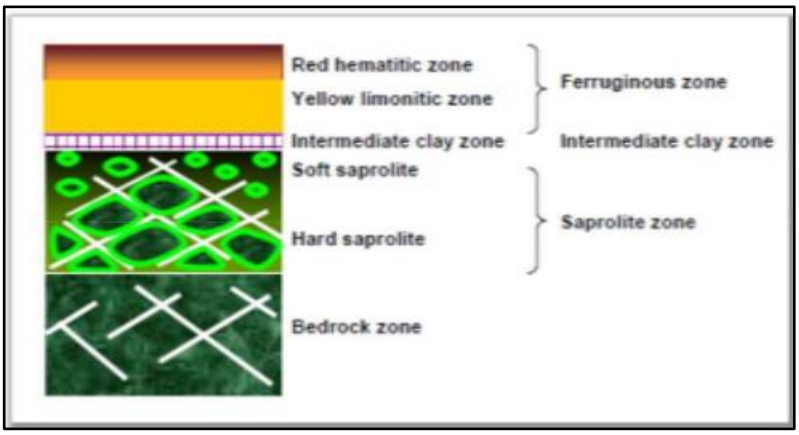
Sifat fisik *zona Medium Grade Limonite* tidak jauh berbeda dengan zona overburden. Tekstur sisa batuan induk mulai dapat dikenali dengan hadirnya fragmen batuan induk, yaitu peridotit atau serpentinit. Rata-rata berukuran antara 1-2 cm dalam jumlah sedikit. Ukuran material penyusun berkisar antara lempung-pasir halus. Ketebalan zona ini berkisar antara 0-6 meter. Umumnya singkapan zona ini terdapat pada lereng bukit yang relatif datar. Mineralisasi sama dengan zona limonite dan zona saprolit, yang membedakan adalah hadirnya kuarsa, lihopirit, dan opal (Golightly, 1979).

4. Zona Saprolit

Zona saprolit merupakan zona bijih, tersusun atas fragmen-fragmen batuan induk yang teralterasi, sehingga mineral penyusun, tekstur dan struktur batuan dapat dikenali. Derajat serpentinisasi batuan asal laterit akan mempengaruhi pembentukan zona saprolit, dimana peridotit yang sedikit terserpentinisasi akan memberikan zona saprolit dengan inti batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentinit akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

Zona saprolit merupakan lapisan setelah zona limonit pada profil laterit, dimana pada lapisan ini terjadi proses pengayaan unsur Ni yang lebih besar dibandingkan zona lapisan lainnya. Hal ini terjadi karena pada saat pada saat proses lateritisasi yang terjadi dimana air yang berfungsi sebagai penyuplai mineral-mineral pembawa unsur Ni akan mengalir masuk melalui kekar atau celah batuan dan akan membawa nikel turun ke bawah dan lambat laun akan terkumpul di zona permeabel yang tidak dapat menembus batuan induk, apabila proses ini berlangsung terus maka pada zona saprolit ini akan terjadi pengayaan supergen. Lapisan saprolit juga dicirikan oleh adanya tekstur sisa dari batuan induk berupa boulder yang kayak akan kadar nikel (Ahmad, 2002).

Menurut Waheed Ahmad (2002) zona saprolit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yang disebut soft saprolit yang tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit dan *rocky* saprolit yang tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan *soft* saprolit. Pada (Gambar 11) memperlihatkan penampang laterit hasil pelapukan, (Ahmad, 2002).



Gambar 11 Penampang laterit hasil pelapukan yang membagi zona saprolit menurut Ahmad, 2002

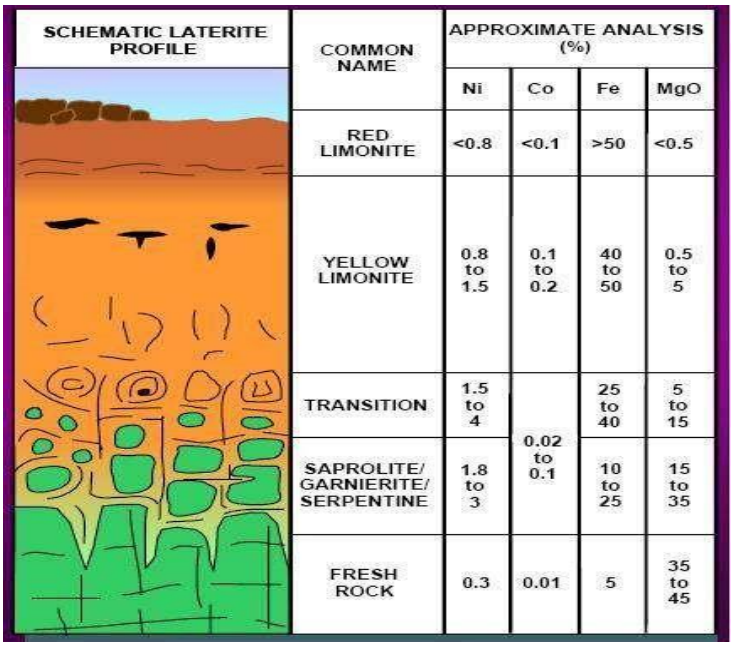
Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi dua yaitu:

a) *Soft Saprolite*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder kurang dari 25%.
b) *Rocky Saprolite*. Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder lebih dari 50%.

5. Zona batuan induk *(Bedrock zone)*

Zona batuan induk berada pada bagian paling bawah dari profil laterit. Batuan induk ini merupakan batuan yang masih segar dengan pengaruh proses-proses pelapukan sangat kecil. Tersusun atas bongkah lebih besar dari 75 cm dan blok batuan dasar dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi. Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang - kadang membuka, terisi oleh mineral garnierit dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab muncul atau adanya *root zone of weathering* (zona akar – akar pelapukan), yaitu *high grade* Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi. Batuan induk umumnya berupa peridotit, dunit, serpentinit (Ahmad, 2002).

Pada gambar berikut menunjukkan susunan penampang nikel laterit menurut Elias, 2002.



Gambar 12 Generalisasi profil laterit (Elias, 2002)

2.3 Pelapukan Endapan Nikel Laterit

Pelapukan adalah proses perubahan fisik dan kimia pada batuan atau mineral yang berlangsung di atau dekat permukaan bumi (Ahmad, 2002). Sedangkan Pearl (1988), menyatakan bahwa ketika batuan terangkat ke permukaan secara perlahan-lahan akan pecah (retak). Retakan pada batuan inilah yang merupakan akses yang baik untuk terjadinya proses pelapukan. Pelapukan disebabkan oleh kontak batuan dengan air, udara, dan organisme.

Menurut Pearl (1988), terdapat 2 dua macam pelapukan, yaitu : pelapukan mekanis dan pelapukan kimia. Walaupum kenyataannya di alam, kedua proses pelapukan tersebut sering terjadi bersama-sama.

1. Pelapukan mekanis

Pelapukan mekanis menyebabkan batuan menjadi pecah-pecah melalui berbagai kekuatan. Proses tersebut tanpa merubah komposisi kimia dari materialnya (Pearl,1988). Batuan yang mengalami proses pelapukan mekanik akan pecah menjadi bagian-bagian yang kecil. Hasil akhir proses ini ialah material kecil yang berasal dari batuan yang besar. Perombakan menjadi material kecil

mengakibatkan bertambahnya luas permukaan material, sehingga menambah efektifitas pelapukan kimia.

2. Pelapukan kimia

Menurut Ahmad (2002), bahwa pelapukan kimia merupakan merupakan proses dimana batuan bereaksi dengan agen-agen atmosfir, hidrosfer dan aktifitas biologi untuk membentuk fase mineral yang lebih stabil. Batuan terurai melalui proses kimia. Pelapukan kimia (yang berhubungan dengan proses lateritisasi terjadi dalam 4 macam (Ahmad, 2002), yaitu :

a) Hidrolisis Merupakan proses kimia oleh adanya penguraian mineral menjadi komponen-komponen yang lebih stabil dibawah pengaruh pelapukan kimia.
b) Oksidasi

   Agen oksidasi pada lingkungan tanah adalah oksigen yang larut dalam air hujan dan iar tanah. Kondisi oksidasi hanya berada diatas permukaan air tanah, sedangkan di bawah muka air tanah merupakan lingkungan reduksi. Oksidasi dan reduksi merupakan proses yang membentuk minera-mineral dengan oksigen, atau jika mengikutsertakan air akan menjadi mineral hidroksida.
c) Hidrasi

   Kehadiran ion hidroksil (OH), banyaknya oksidasi dihasilkan melalui penguraian mineral kemudian diubah menjadi hidroksida. Hidrasi merupakan proses penyebaran molekul-molekul air oleh mineral, sehingga membentuk mineral hidrous. Contoh hematit menjadi limonit.
d) Larutan (*solution*)

   Ketika pelapukan kimia berlanjut, hal ini menjadi lebih penting karena semua unsur akan terurai dari mineral-mineral utamanya yang pindah (hilang) dari lingkungan dimana proses larutan terjadi. Proses kimia yang umumnya berlangsung pada perlapisan batuan ultrabasa adalah hidrolisis dan oksidasi. Hidrolisis merupakan tipe dari reaksi kimia antara mineral dan air selanjutnya menghasilkan suatu kelebihan ion H+ atau OH- dalam larutan.

2.4 Tipe Nikel Laterit Sorowako

Menurut Ahmad (2009), tipe endapan nikel laterit di daerah Sorowako dibagi menjadi 2 yaitu *West Block* dan *East Block.* Pembagian tipe endapan ini berdasarkan beberapa parameter utama, diantaranya: tipe batuan ultramafik, derajat serpentinisasi, kandungan kimia bijih, fraksi batuan, dan kandungan olivin.

1. Tipe *West Block*

Daerah *West Block* memiliki topografi terjal dan membentuk pegunungan. Batuan di daerah ini umumnya adalah harzburgit yang mengandung olivin (rata-rata 80-90%) dan ortopiroksen (rata-rata 10-20%), juga ditemukan batuan dunit dengan kandungan olivin 90% dan sejumlah kecil mineral kromit. Batuan di daerah *west block* umumnya tidak terserpentinisasi atau sedikit terserpentinisasi, dengan sifat material yang relatif keras dan banyak dijumpai bongkah-bongkah peridotit segar *(boulder)* sisa proses pelapukan. Kadar nikel di daerah *West Block* berkisar antara 1.6-2.5% Ni dan rasio silika magnesium yang relatif tinggi (2,2-2,6) dibandingkan *East Block*.

2. Tipe *East Block*

Daerah *East Block* memiliki topografi yang landai sedikit berbukit. Batuan di blok timur umumnya adalah lherzolite yang mengandung olivin (rata-rata 60-65%), ortopiroksen (rata-rata 25-30%), dan klinopiroksen (rata-rata 10%). Batuan di daerah ini memiliki tingkat serpentinisasi yang sedang hingga tinggi, dengan kekerasan batuan yang sedang. Kadar Ni dan rasio silika magnesia *East Block* lebih rendah dibandingkan *West Block.*

2.5 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik pertama kali dilakukan oleh *Conrad Schlumberger* pada tahun 1912. Metode geolistrik merupakan salah satu cabang ilmu geofisika yang mempelajari bumi dan lingkungannya berdasarkan sifat-sifat kelistrikan batuan. Sifat ini adalah tahanan jenis, konduktivitas, konstanta dielektrik, kemampuan menimbulkan potensial listrik sendiri, arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus dan distribusi potensial yang dihasilkan diukur dengan elektroda potensial (Sedana dkk., 2015)

Tujuan dari survei kelistrikan adalah untuk menentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dengan melakukan pengukuran di permukaan tanah. Dari pengukuran ini, sebenarnya resistivitas di bawah permukaan dapat diperkirakan. Resistivitas tanah/batuan berhubungan dengan berbagai parameter geologi seperti kandungan mineral, fluida, porositas dan tingkat saturasi air pada batuan. Survei resistivitas listrik telah digunakan selama beberapa dekade di hidrogeologi, pertambangan, investigasi geoteknik dan survei lingkungan (Loke, 2004).

Menurut Lowrie (2007), survei Geolistrik dibagi menjadi tujuh metode yaitu:

1. *Self Potential* (SP)
2. *Telluric Current* (TC)
3. *Vertical Electrical Sounding* (VES)
4. *Electrical Resistivity Tomography* (ERT)
5. *Induced Polarization* (IP)
6. *Electromagnetic Induction* (EMI)
7. *Magneto Telluric Sounding* (MTS)

Electrical Resistivity Tomography merupakan metode geolistrik multi elektroda yang dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi material di bawah permukaan Bumi berdasarkan pola distribusi dari nilai resistivitas material di bawah permukaan Bumi (Lowrie, 2007). Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dapat dilakukan untuk memperkirakan atau menentukan karakteristik material bawah permukaan bumi. Data yang diperoleh dari metode ERT lebih banyak sehingga keakuratan data lebih baik. Kelebihan metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) sering digunakan untuk melakukan penelitian dengan skala detail.

Prinsip *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda dan multi-channel yang memungkinkan koneksi dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke resistivitas meter. Arus listrik searah (DC) diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang jaraknya tetap dan mengukur beda potensialnya melalui dua elektroda potensial yang jaraknya berubah-ubah.

Electrical Resistivity Tomography juga sering disebut sebagai *resistivity survey* (Loke, 2003) atau *resistivity profiling* karena parameter utama yang dikaji adalah resistivitas dan hasil *Electrical Resistivity Tomography* merupakan profil nilai resistivitas material bawah permukaan bumi. Metode *Electrical Resistivity Tomography* dapat dilakukan untuk memperkirakan atau menenentukan karakteristik material bawah permukaan bumi, sehingga kondisi material penyusun bentuk lahan dapat diperkirakan atau diketahui berdasarkan *Electrical Resistivity Tomography*

Dasar dari metode *Electrical Resistivity Tomography* adalah Hukum Ohm yaitu dengan cara mengalirkan arus kedalam bumi melalui elektroda arus dan mengukur potensialnya di permukaan bumi dengan menggunakan elektroda potensial. Metode ini merupakan salah satu metode geolistrik yang bersifat aktif dimana energi yang dibutuhkan diperoleh dari penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu. Metode ini bertujuan untuk identifikasi bahan galian, endapan mineral, panas bumi (geothermal), batubara serta pencarian akuifer air tanah (Telford, dkk, 1990).

Resistivitas atau tahanan jenis suatu bahan adalah besaran atau parameter yang menunjukan tingkat hambatannya terhadap arus listrik. Bahan yang mempunyai nilai resistivitas atau tahanan jenisnya makin besar, berarti semakin sukar untuk dilalui oleh arus listrik. Prinsip dari metode resistivitas adalah mengalirkan arus searah pada permukaan tanah sehingga beda potensial pada dua titik dapat diukur. Teori dasar dari metode resistivitas adalah Hukum Ohm, yaitu hubungan antara arus yang dialirkan dan beda potensial yang terukur (Telford dkk,1990).

$$R = \frac{V}{I}$$

Dengan,

R : Resistensi

V : Potensial (mV)

I : Arus Listrik (mA)

Oleh karena medium dibawah permukaan bumi tidak homogen (sejenis), maka terdapat hambatan jenis (resistivitas/ ρ) yang bergantung dari pemasangan

elektroda arus dan potensial atau faktor geometri (k), selain tegangan yang terbaca (V) dan arus yang dikirimkan (I)

$$\rho = k\frac{V}{I}$$

Dengan,

ρ : Tahanan Jenis (ohm.m)

k : Faktor Geometri 24

V : Potensial (mV)

I : Arus Listrik (mA)