

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA BOULDER PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR**



**ANGELI WULANDARI RANDE
H061 20 1003**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA *BOULDER* PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR**



**ANGELI WULANDARI RANDE
H061 20 1003**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA *BOULDER* PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR**

**ANGELI WULANDARI RANDE
H061201003**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024

Optimized using
trial version
www.balesio.com

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA *BOULDER* PADA PROFIL NIKEL LATERIT
MENGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
(ERT) DAN KORELASI DATA BOR**

**ANGELI WULANDARI RANDE
H061201003**

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Geofisika

pada



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
DEPARTEMEN GEOFISIKA
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**ANALISIS DISTRIBUSI ZONA BOULDER PADA PROFIL NIKEL
LATERIT MENGGUNAKAN METODE *ELECTRICAL RESISTIVITY
TOMOGRAPHY (ERT)* DAN KORELASI DATA BOR**

ANGELI WULANDARI RANDE

H061201003

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Sains pada 26 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv. IPM
NIP. 196406161989031006

Mengetahui:
Ketua Departemen,



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng.
NIP. 19709291993031003



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Distribusi Zona *Boulder* Pada Profil Nikel Laterit menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dan Korelasi Data Bor" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv. IPM. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 Agustus 2024



Angeli Wulandari Rande
H061201003



UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan pertolongan-Nya yang senantiasa menyertai dan menuntun penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Distribusi Zona Boulder Pada Profil Nikel Laterit menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dan Korelasi Data Bor**" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua terkasih **Bapak Efraim** dan **Ibu Ike Sambolangi** yang selalu mendoakan, mendukung, dan memberikan cinta kasihnya dengan tulus ikhlas. Begitu pula kepada saudara (i) penulis yang selalu memberikan keceriaan dan semangat dalam proses penyusunan skripsi ini. Kehadiran mereka memberikan warna tersendiri dan menjadi sumber inspirasi bagi penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih juga untuk seluruh keluarga besar di mana pun berada untuk cinta dan dukungan yang selalu diberikan bagi penulis.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga disampaikan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
 2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si.**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
 3. **Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, M.T., Surv, IPM** selaku pembimbing tugas akhir dan pembimbing akademik yang dengan penuh kesabaran telah membimbing penulis selama perkuliahan serta bersedia meluangkan waktu dan pemikiran untuk mendampingi penulis dalam penyelesaian skripsi ini
 4. **Bapak Drs. Erfan, M.Si dan Bapak Syamsuddin, S.Si., MT**, selaku penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dalam penyempurnaan penyusunan skripsi ini.
 5. Bapak/Ibu Dosen dan Staff Departemen Geofisika yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan bantuan selama masa perkuliahan.
 6. **Ibu Aliahni Djafar, Pak Erwin, Kak Ammar, Kak Dayat, Kak Asnur, Kak Iswar, Kak Akram, Kak Hamdan, Kak Hasnan, dan Kak Habib** yang selalu sabar membantu dan mendampingi penulis selama melakukan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
 7. Teman - teman **Geofisika 2020** atas segala dukungan, kerja sama, dan kebersamaannya selama ini.
 8. **Kak Nahda, Dwi, Shelia, Salsa, Vicky, Riska, Jessica** teman-teman maluku 5 yang selalu memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian serta semua teman-teman yang ada di maluku: **Kak Erni, Kak Diva, Zahra, Fatimah, Daffa Rafli, Daffa, Nick, Diana, Bagas, Rival dan Akis** terimakasihnya selama di Vale.
- Terimakasih banyak sudah mau membantu penulis selama skripsi mulai dari menjawab pertanyaan – pertanyaan sampai menyelesaikan masalah yang penulis hadapi pada saat belajar, baik.
- "**Jarang Baik**" : **Aeron, Asi, Chatrine, Chealsea, Gio, Nital, Eby, Ryval, Sepri, Yefan, Yudi, dan Yonas** yang sudah mau



menjadi teman penulis selama perkuliahan, selalu ada baik dalam keadaan suka maupun duka, terimakasih untuk kebersamaannya.

11. **GMKI Komisariat FMIPA Unhas** yang menjadi tempat terbaik penulis untuk bertumbuh dalam iman selama perkuliahan serta memberikan begitu banyak pengalaman dan pembelajaran yang berharga dalam pelayanan selama perkuliahan.
12. Terimakasih untuk diri sendiri yang sudah berjuang dan berusaha keras untuk melewati tantangan baik suka maupun duka selama perkuliahan dan mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman-pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf dan menerima kritik dan saran yang membangun untuk penulis kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya, Terutama untuk mengembangkan ilmu pengetahuan

"Orang-orang yang menabur dengan mencururkan air mata, akan menuai dengan bersorak-sorai. Orang yang berjalan maju dengan menangis sambil menabur benih, pasti pulang dengan sorak-sorai sambil membawa berkas-berkasnya."

-Mazmur 126:5-6-

God Bless You All.

Penulis,



Angeli Wulandari Rande



ABSTRAK

ANGELI WULANDARI RANDE. **Analisis Distribusi Zona *Boulder* Pada Profil Nikel Laterit menggunakan Metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) Dan Korelasi Data Bor** (dibimbing Oleh Muh. Altin Massinai).

Keberadaan zona *boulder* dalam profil nikel laterit menjadi tantangan utama dalam kegiatan penambangan dan pengolahan nikel di PT Vale Indonesia, Sorowako. Zona ini terdiri dari bongkahan batuan keras yang tidak terlapukkan sepenuhnya, sehingga dapat menghambat proses ekstraksi bijih nikel. Pemahaman yang mendalam mengenai distribusi zona *boulder* sangat penting untuk meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi zona *boulder* yang terdapat pada profil nikel laterit PT. Vale Indonesia Tbk. Metode ERT digunakan untuk mengidentifikasi variasi resistivitas bawah permukaan, yang mencerminkan perbedaan material geologis seperti batuan keras dan tanah terlapukkan. Data resistivitas dari ERT kemudian dikorelasikan dengan data bor untuk menghasilkan gambaran distribusi *boulder* yang lebih akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil nikel laterit terdiri dari lapisan limonit dengan resistivitas 170-795 Ωm , saprolit dengan resistivitas 49-395 Ωm , dan batuan dasar dengan resistivitas 133-3566 Ωm . Zona *boulder* memiliki rentang resistivitas dominan antara 127 hingga 311 Ωm . Distribusi *boulder* terkait erat dengan kemiringan topografi dan kondisi geologi setempat.

Kata Kunci : **Nikel Laterit, Metode ERT, *Boulder*, Data Bor**



ABSTRACT

ANGELI WULANDARI RANDE. ***Analysis of Boulder Zone Distribution in Nickel Laterite Profile using Electrical Resistivity Tomography (ERT) Method with Drill Hole Correlation*** (supervised by Muh. Altin Massinai).

The presence of boulder zones in the nickel laterite profile is a major challenge in nickel mining and processing activities at PT Vale Indonesia, Sorowako. This zone consists of hard rock chunks that are not fully weathered, which can hinder the nickel ore extraction process. An in-depth understanding of the distribution of the boulder zone is essential to improve operational efficiency. This study aims to map the distribution of boulder zones found in the nickel laterite profile of PT Vale Indonesia Tbk.. The ERT method is used to identify subsurface resistivity variations, which reflect differences in geologic materials such as hard rock and weathered soil. Resistivity data from ERT was then correlated with drill toole produce a more accurate picture of boulder distribution. The results show that the nickel laterite profile consists of limonite layers with resistivity of 170-795 Ωm , saprolite with resistivity of 49-395 Ωm , and bedrock with resistivity of 133-3566 Ωm . The boulder zone has a dominant resistivity range between 127 to 311 Ωm . The distribution of boulders is closely related to the topographic slope and local geology.

Keywords: *Nickel Laterite, ERT Method, Boulder, Drill Hole*



DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Dan Manfaat	2
1.2.1 Tujuan.....	2
1.2.2 Manfaat.....	2
1.3 Landasan Teori	2
1.3.3 Endapan Nikel Laterit.....	4
1.3.3.1 Faktor-Faktor Pembentukan Nikel Laterit.....	4
1.3.3.2 Profil Endapan Nikel Laterit.....	5
1.3.4 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropik.....	6
1.3.4.1 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi	7
1.3.4.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi.....	9
1.2.4.3 Potensial Oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi	10
1.3.5 Metode ERT (<i>Electrical Resistivity Tomography</i>).....	11
1.3.6 Konfigurasi Gradient Array.....	12
1.3.7 <i>Boulder</i>	13
BAB II METODE PENELITIAN.....	15
2.1 Lokasi Penelitian.....	15
2.2 Alat dan Bahan	15
2.2.1 Alat.....	15
2.2.2 Bahan.....	16
2.3 Prosedur Penelitian.....	16
2.3.1 Tahap Pengolahan Data	16
2.4 Bagan Alir Penelitian.....	18
DISKUSI DAN PEMBAHASAN	19
.....	19
.....	19
Nikel Laterit Berdasarkan Nilai Resistivitas.....	21
Nilai Resistivitas Zona <i>Boulder</i> Pada Profil Nikel Laterit.....	42



3.1.3 Menganalisis Distribusi *Boulder* Pada Profil Nikel Laterit.....43
BAB IV KESIMPULAN55
DAFTAR PUSTAKA.....56
LAMPIRAN58



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Peta Geologi Regional Sulawesi (Kusmana, S. Andi Mangga, 2007)	2
2. Peta Geologi Regional Sulawesi (Kusmana, S. Andi Mangga, 2007)	3
3. Profil Nikel Laterit (Ahmad, 2006)	8
4. Sumber Arus Di Dalam Bumi (Telford et al., 1990)	9
5. Sumber Arus Di Permukaan Bumi (Telford et al,1990)	9
6. Dua Elektroda Arus dan Potensial di Permukaan (Telford et al., 1990)	10
7. Sketsa Konfigurasi Gradient (Dahlin & Zou, 2006)	13
8. Batu Boulder Bertekstur Kasar	14
9. Batu Boulder Bertekstur Halus	14
10. Batu Boulder bertekstur Burik	14
11. Peta Lintasan ERT	15
12. Bagan Alir Penelitian	18
13. Data penelitian	19
14. Hasil Inversi Lintasan E01	20
15. Hasil Inversi Lintasan N07	20
16. Batas Profil Nikel Laterit E01	21
17. Batas Profil Nikel Laterit E02	22
18. Batas Profil Nikel Laterit E03	23
19. Batas Profil Nikel laterit E04	24
20. Batas Profil Nikel Laterit E05	25
21. Batas Profil Nikel laterit E06	26
22. Batas Profil Nikel Laterit E07	27
23. Batas Profil Nikel Laterit E08	28
24. Batas Profil Nikel Laterit E09	29
25. Batas Profil Nikel Laterit E10	30
26. Batas profil Nikel Laterit E11	31
27. Batas Profil Nikel laterit N07	32
28. Batas Profil Nikel Laterit N08	33
29. Batas Profil Nikel Laterit N09	34
30. Batas Profil Nikel Laterit N10	35
31. Batas Profil Nikel Laterit N11	36
32. Batas Profil Nikel laterit N12	37
33. Batas Profil Nikel Laterit N13	38
34. Batas Profil Nikel Laterit N14	39
35. Batas Profil Nikel Laterit N15	40
36. Batas Profil Nikel Laterit N16	41
37. Histogram Resistivitas Zona <i>Boulder</i>	42
38. <i>Boulder</i> Pada Lintasan E01	43
tasan E02	44
tasan E03	44
tasan E04	45
tasan E05	45
tasan E06	46
tasan E07	46
tasan E08	47
tasan E09	47



47. <i>Boulder</i> pada Lintasan E10.....	48
48. <i>Boulder</i> Pada Lintasan E11	48
49. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N07	49
50. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N08	49
51. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N09	50
52. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N10	50
53. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N11	51
54. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N12	51
55. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N13	52
56. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N14	52
57. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N15	53
58. <i>Boulder</i> Pada Lintasan N16	53
69. Sebaran <i>Boulder</i> Penampang.....	54



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Hasil Inversi Tiap Lintasan.....	58
2. Nilai Resistivitas zona boulder pada semua lintasan	67



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale Indonesia adalah salah satu perusahaan tambang terkemuka di Indonesia yang berfokus pada penambangan dan pengolahan nikel. Dalam upayanya untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional, PT Vale Indonesia terus melakukan berbagai penelitian dan inovasi teknologi. Salah satu tantangan utama dalam penambangan nikel laterit adalah keberadaan zona *boulder*, yaitu area yang mengandung bongkahan batuan keras yang tidak terlapukkan sepenuhnya. Zona ini dapat mempengaruhi proses ekstraksi dan pengolahan bijih nikel, sehingga pemahaman yang mendalam mengenai distribusinya sangat penting (Golightly, 1981).

Nikel laterit terbentuk melalui proses pelapukan batuan ultrabasa, yang menghasilkan profil laterit dengan beberapa zona berbeda, termasuk zona *boulder*. Untuk memetakan dan memahami distribusi zona ini, metode *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) dapat digunakan. ERT adalah teknik geofisika yang efektif untuk mengidentifikasi variasi resistivitas bawah permukaan, yang dapat mencerminkan perbedaan material geologis seperti batuan keras dan tanah terlapukkan (Loke, 1999). Dengan ERT, dapat diperoleh gambaran tiga dimensi yang detail mengenai distribusi resistivitas, yang memungkinkan identifikasi zona *boulder* (Dahlin, et al. 2001).

Pengintegrasian data ERT dengan data bor (*drilling*) memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam analisis distribusi zona *boulder*. Data bor menyediakan informasi langsung mengenai komposisi dan karakteristik geologis pada titik-titik tertentu, sementara ERT memberikan gambaran kontinu bawah permukaan di antara titik-titik bor tersebut (Burger., 2006). Korelasi antara kedua jenis data ini dapat meningkatkan akurasi pemodelan dan pemetaan zona *boulder*, sehingga memudahkan perencanaan dan operasi penambangan (Samouëlian et al., 2005).

Penelitian ini sangat relevan bagi PT Vale Indonesia, mengingat pentingnya optimasi proses penambangan dan pengolahan nikel laterit. Dengan memahami distribusi zona *boulder*, perusahaan dapat merencanakan kegiatan penambangan yang lebih efisien, mengurangi biaya operasional, dan meminimalkan dampak lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geologi dan geofisika, khususnya dalam aplikasi metode ERT untuk eksplorasi mineral.

Secara keseluruhan, analisis distribusi zona *boulder* pada profil nikel laterit menggunakan metode ERT dan korelasi data bor di PT Vale Indonesia diharapkan dapat memberikan solusi praktis dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan operasi tambang. Hal ini juga dapat membantu PT Vale Indonesia meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan, serta berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang geologi dan geofisika, khususnya dalam aplikasi metode ERT untuk eksplorasi mineral. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat praktis bagi PT Vale Indonesia, tetapi juga



memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan teknologi dan peningkatan kapasitas ilmiah di bidang geofisika.

1.2 Tujuan Dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

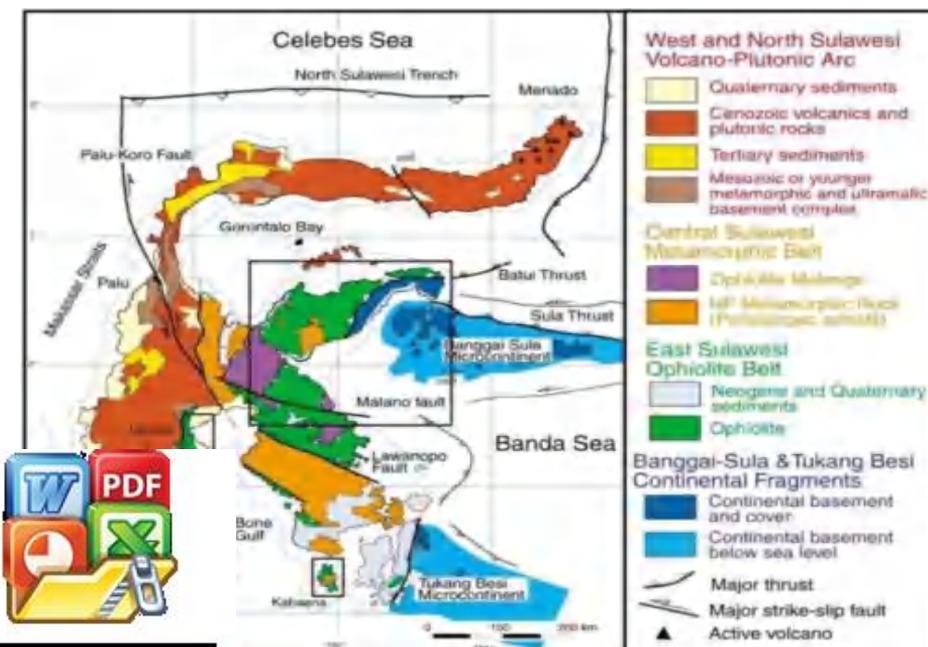
1. Menentukan lapisan profil nikel laterit berdasarkan data resistivitas dan data bor
2. Menentukan *range* nilai resistivitas yang terdapat pada zona *boulder* dari profil nikel laterit
3. Menganalisis distribusi *boulder* pada profil nikel laterit

1.2.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi rinci tentang distribusi dan penyebaran zona *boulder* pada profil nikel laterit, yang penting untuk pemetaan dan eksplorasi sumber daya mineral. Selain itu, penelitian ini juga dapat menggabungkan data geolistrik dengan data bor untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai struktur bawah permukaan, yang meningkatkan keandalan interpretasi geologi. Dengan mengetahui distribusi zona *boulder* secara lebih akurat, diharapkan perusahaan dapat mengurangi risiko dalam perencanaan penambangan dan pengembangan proyek, sehingga menghindari area yang mungkin kurang menguntungkan atau sulit ditambang.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional Sulawesi



Pulau Sulawesi terletak antara pertemuan tiga lempeng seperti yang terlihat pada gambar 1, yaitu lempeng Indo- Australia, lempeng Pasifik, serta lempeng Eurasia, dan menyebabkan keadaan tektonik yang dapat dikatakan kompleks. Batuan-batuan yang tersusun yaitu dari busur kepulauan, batuan banchuh, serta ofiolit dan juga dari proses tektonik. Struktur geologi pada wilayah ini sebagian besar adalah sesar mendatar. Pulau Sulawesi mempunyai luas sekitar 174,600 km². Secara administratif, Pulau Sulawesi terdiri dari 6 provinsi, yaitu Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan serta Sulawesi Tenggara. Bagian topografinya sebagian besar berbentuk gunung dan wilayah lainnya berbentuk datar (di bawah 50 mdpl) hanya sekitar 10.3% dari luas wilayah keseluruhan. Pulau Sulawesi memiliki iklim tropis dan sejarah geologis yang kompleks, menimbulkan Pulau Sulawesi mempunyai fauna dan flora yang dapat dikatakan unik, atau biasa diketahui dengan wilayah "Wallacea" (Rachman, et al. 2020)

Berdasarkan struktur litotektonik, Sulawesi dan pulau-pulau sekitarnya dibagi menjadi empat, yaitu; Mandala barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*) sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan banchuh sebagai bagian dari blok Australia, Mandala timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen dan yang keempat adalah Fragmen Benua Banggai-Sula-Tukang Besi, kepulauan paling timur dan tenggara Sulawesi yang merupakan pecahan benua yang berpindah ke arah barat karena *strike-slip faults* dari New Guinea.

1.3.2 Geologi Regional Sorowako



Geologi daerah Sorowako dibagi menjadi tiga bagian, seperti yang terlihat dalam Gambar 2, yaitu:

1. Satuan batuan sedimen yang berumur Kapur; terdiri dari batugamping laut dalam dan rijang. Terdapat di bagian barat Sorowako dan dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan ke arah barat.
2. Satuan batuan ultrabasa yang 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 intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat di bagian utara.
3. Endapan aluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur Kuartar, umumnya terdapat di bagian utara dekat desa Sorowako.

1.3.3 Endapan Nikel Laterit

Nikel laterit merupakan salah satu mineral logam hasil dari proses pelapukan kimia batuan ultramafik yang mengakibatkan pengkayaan unsur Ni, Fe, Mn, dan Co secara residual dan sekunder. Nikel laterit dicirikan oleh adanya logam oksida yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal dan tingkat pelapukan. Tingkat pelapukan yang tinggi sangat berperan terhadap proses lateritisasi. Proses terbentuknya nikel laterit dimulai dari proses pelapukan yang intensif pada batuan peridotit, selanjutnya infiltrasi air hujan masuk ke dalam zona retakan batuan dan akan melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan berat jenis tinggi akan tertinggal di permukaan sehingga mengalami pengkayaan residu seperti unsur Ca, Mg, dan Si. Mineral lain yang bersifat *mobile* akan terlarutkan ke bawah dan membentuk suatu zona akumulasi dengan pengkayaan (supergen) seperti Ni, Mn, dan Co.

Keberadaan endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar pada daerah-daerah seperti di Provinsi Sulawesi Selatan dijumpai pada daerah Sorowako Kabupaten Luwu Timur dan Daerah Palakka Kabupaten Barru. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali, Kabupaten Luwuk Banggai dan Provinsi Sulawesi Tenggara (Lintjeras, et al. 2019). Menurut Boldt (1996) nikel terbentuk melalui proses pelapukan (laterisasi) yang intensif pada batuan induk. Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis yang memungkinkan tingkat pelapukan tinggi dapat terjadi.

1.3.3.1 Faktor-Faktor Pembentukan Nikel Laterit



Yang mempengaruhi pembentukan bijih laterit nikel ini adalah sebagai berikut:

- i). Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk endapan nikel laterit, macam batuan asalnya adalah batuan ultrabasa dalam hal ini pada batuan ultra basa tersebut:

- Terdapat elemen Ni yang paling banyak di antara batuan lainnya - mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin
 - Mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.
2. Iklim. Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.
 3. Reagen-reagen kimia dan vegetasi. Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan: penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, humus akan lebih tebal. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.
 4. Struktur. Struktur yang sangat dominan yang terdapat di daerah Penelitian ini adalah struktur kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.
 5. Topografi. Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.



tu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang f karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

an Nikel Laterit

179) profil laterit dibagi menjadi 3 zonasi, yaitu:

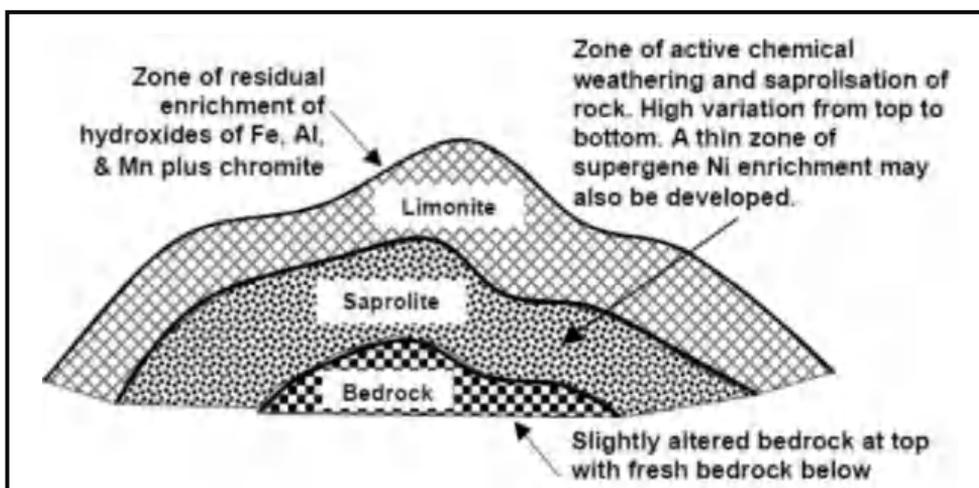
Zona ini berada paling atas pada profil dan masih dipengaruhi aktivitas permukaan dengan kuat. Zona ini tersusun oleh humus dan limonit. Mineral-mineral penyusunnya adalah goethit, hematit, tremolit dan mineral-mineral lain yang terbentuk pada kondisi asam dekat permukaan dengan relief relatif datar. Secara umum material-material penyusun zona ini berukuran halus (lempunglanau), sering dijumpai mineral stabil seperti spinel, magnetit dan kromit.

2. 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 batuan sisa yang keras, pengisian celah oleh mineral – mineral garnierit, kalsedon-nikel dan kuarsa, sedangkan serpentin akan menghasilkan zona saprolit yang relatif homogen dengan sedikit kuarsa atau garnierit.

3. 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. Batuan induk umumnya berupa peridotit, serpentin, atau peridotit terserpentinisasi.



Gambar 3. Profil Nikel Laterit (Ahmad, 2006)



da Bumi Homogen Isotropik

ontinu dialirkan ke dalam medium yang homogen isotropik, n luas permukaan dan J adalah rapat arus listrik (A/m^2), maka s yang melalui elemen permukaan tersebut adalah (Telford et.

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Sedang rapat arus J dan medan listrik E yang ditimbulkan dihubungkan dengan hukum Ohm

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2)$$

Dengan E medan listrik dalam volt/meter dan σ adalah konduktivitas medium dalam (Ω/m), karena medan listrik tidak lain adalah gradien potensial sehingga:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (3)$$

Dengan V adalah potensial listrik, Maka:

$$\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla}V \quad (4)$$

Untuk arus tetap, maka berlaku persamaan:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{j} = 0 \quad (5)$$

Maka,

$$\vec{\nabla} \cdot (-\sigma \vec{\nabla}V) = 0 \quad (6)$$

$$\vec{\nabla} \sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad (7)$$

Jika σ adalah koefisien konstan, maka suku pertama pada persamaan (7) akan hilang dan memenuhi persamaan Laplace yang disebut potensial harmonik:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (8)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial r} + \frac{2}{r} + \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta}) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \left(\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right)$$

1.3.4.1 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi



in isotropis yang mana elektroda arus ditancapkan di dalam sebagai sumber injeksi arus listrik ke segala arah dalam bumi sikan pada Gambar 4. Pada setiap bidang equipotensial dalam k permukaan bola yang mempunyai jari-jari r , sehingga arus luas permukaan bola dengan jari-jari r yaitu (Telford et. al,

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dv}{dr} \right) = 0 \quad (9)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (9) menghasilkan:

$$\int d \left(r^2 \frac{dv}{dr} \right) = \int 0 dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dv}{dr} = P \rightarrow \frac{dv}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (10)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (11)$$

Dengan P dan Q adalah konstanta. Karena $V = 0$ pada saat jarak mendekati tak hingga ($r = \infty$), maka diperoleh $Q = 0$, sehingga persamaan (12) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (12)$$

Dalam kasus sumber arus di dalam bumi homogen isotropik, maka medan-medan equipotensialnya berbentuk bola. Sehingga jumlah arus yang menembus permukaan medan equipotensial berbentuk bola tersebut adalah:

$$I = \vec{A} \cdot \vec{j} \quad (13)$$

Pada persamaan (13) luas permukaan equipotensial berbentuk bola adalah $A = 4\pi r^2$ disubstitusikan ke persamaan (14) maka didapatkan:

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) \quad (14)$$

Karena V dalam fungsi $r \rightarrow \nabla V = \frac{dv}{dr}$, kemudian persamaan (10) disubstitusikan ke persamaan (14) maka,

$$I = -4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (15)$$



persamaan (15) dapat ditulis:

$$I = -4\pi \frac{1}{\rho} P \rightarrow P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (16)$$

substitusikan pada persamaan (12) maka dihasilkan:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right)\frac{1}{r} \quad (17)$$

Dengan,

V = Potensial Listrik (Volt)

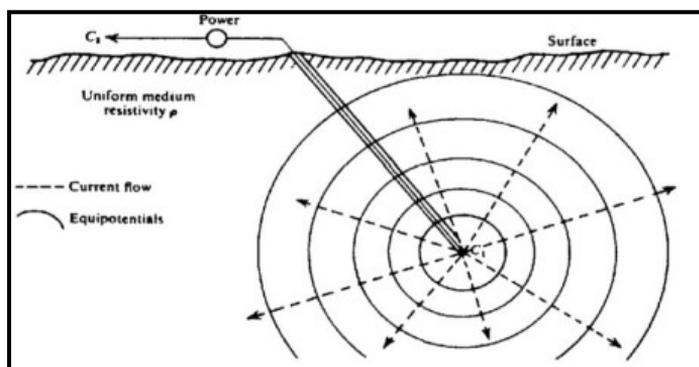
I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

P = Konstanta

\vec{j} = Rapat Arus (A/m²)

σ = Konduktivitas (S/m)

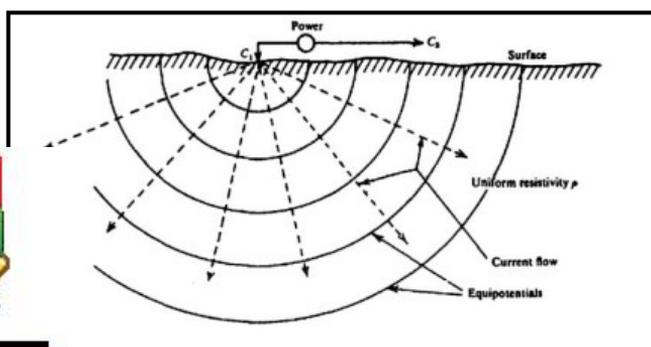


Gambar 4 Sumber Arus Di Dalam Bumi (Telford et.al,1990)

1.3.4.2 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi

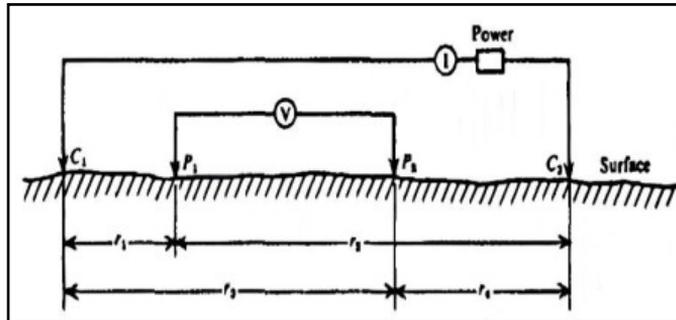
Apabila elektroda arus berada di permukaan pada medium homogen isotropik seperti yang diilustrasikan pada gambar 5 dan nilai konduktivitas udara sama dengan nol, maka bidang *equipotensial* yang tinggal membentuk setengah bola sehingga persamaan (17) menjadi (Telford et. al, 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad (18)$$



1.2.4.3 Potensial Oleh Dua Sumber Arus di Permukaan Bumi

Pada pengukuran geofisika resistivitas umumnya menggunakan dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6. Namun ada juga metode geolistrik yang menggunakan kurang dari dua pasang elektroda, baik itu hanya elektroda arus atau hanya sepasang elektroda (satu elektroda arus dan satu elektroda potensial) (Telford et. al., 1990).



Gambar 6 Dua Elektroda Arus dan Potensial di Permukaan (Telford et. al., 1990)

Ketika jarak antara dua elektroda arus dibatasi di permukaan, maka besarnya nilai potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut. Potensial total di titik P_1 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah (Telford et. al., 1990):

$$V_{P1} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (19)$$

Dan potensial total di titik P_2 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah:

$$V_{P2} = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \quad (20)$$

Beda potensial antara P_1 dan P_2 sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{P1} - V_{P2} \rightarrow \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right) \right\} \quad (21)$$

Sehingga didapatkan persamaan:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (22)$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (23)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \quad (24)$$



ΔV adalah beda potensial antara P_1 dan P_2 , I adalah kuat arus (A), ρ adalah resistivitas semu (Ωm), r_1 adalah jarak C_1 ke P_1 (m), r_2 adalah jarak C_2 ke P_1 (m), r_3 adalah jarak C_1 ke P_2 (m), r_4 adalah jarak C_2 ke P_2 (m), dan K adalah faktor geometri.

1.3.5 Metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*)

ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) merupakan metode 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). Parameter utama yang dikaji adalah resistivitas dan hasil *Electrical Resistivity Tomography* merupakan profil nilai resistivitas material bawah permukaan bumi. Metode ERT dapat digunakan untuk menentukan karakteristik material bawah permukaan sehingga kondisi material penyusun dapat diketahui. Prinsip mendasar dari ERT adalah Prinsip Hukum Ohm, dimana arus dialirkan melalui bumi melalui elektroda pengirim arus dan kemudian potensial diukur di permukaan tanah menggunakan elektroda penerima potensial. Metode ini termasuk dalam kategori metode geolistrik yang bersifat aktif, di mana energi yang diperlukan dihasilkan melalui penyuntikan arus ke dalam bumi terlebih dahulu. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengenali komposisi material seperti endapan mineral, sumber panas bumi (geothermal), batubara, dan juga untuk menemukan lapisan akuifer air tanah. (Telford, et al, 1990).

Survei permukaan resistivitas (geolistrik) didasarkan pada prinsip bahwa distribusi potensial listrik di dalam tanah sekitar elektroda pembawa arus tergantung pada resistivitas listrik dan distribusi tanah dan batuan sekitarnya. Pengukuran kondisi dilapangan yang biasa di lapangan adalah untuk menerapkan arus listrik langsung atau searah atau disebut *Direct Current* (DC) antara dua elektroda ditanamkan di dalam tanah dan untuk mengukur perbedaan potensial antara dua elektroda tambahan yang tidak membawa arus. Elektroda potensial sejalan antara elektroda, tetapi pada prinsipnya elektroda tersebut bisa berada di mana saja. Arus yang digunakan adalah nilai arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC) frekuensi rendah ($\pm 20\text{Hz}$). Arus bolak-balik (*AC/alternating current*) adalah arus listrik di mana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik (Lowrie, 2007).

Prinsip dasar metode resistivitas adalah hukum Ohm, yang menghubungkan antara arus listrik yang mengalir pada sebuah material konduktif dengan tegangan listrik yang di hasilkan. Hubungan secara matematis dari hukum tersebut dapat



$$\Delta V = I \cdot R \quad (25)$$

Optimized using
trial version
www.balesio.com (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Resistivitas listrik tidak hanya dipengaruhi oleh jenis material, akan tetapi juga dipengaruhi oleh bentuk geometri bahan yang dilewati arus listrik. Dengan demikian, bentuk geometri dan tahanan listrik suatu bahan merupakan parameter penting di dalam menentukan nilai resistivitas suatu material, dengan hubungan matematis seperti berikut:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (26)$$

Dengan:

R = Resistansi (Ohm)

ρ = Resistivitas (Ohm.m)

L = Perubahan panjang penampang (m)

A = Luas penampang (m²)

Substitusi persamaan (19) ke persamaan (20) menghasilkan hubungan matematis seperti:

$$\rho = \frac{A}{L} \frac{\Delta V}{I} \quad (27)$$

Resistivitas (ρ) yang sesungguhnya dari suatu material dapat di peroleh dengan memanfaatkan persamaan 21 Akan tetapi istilah resistivitas semu (*apparent resistivity*) (ρ_a) muncul kemudian setelah didapatkan bahwa pada kenyataannya bumi atau lapisan dibawah permukaan merupakan material yang tidak homogen. Nilai resistivitas yang terbaca dalam pengukuran geolistrik tahanan jenis adalah fiktif homogen yang setara dengan tinjauan bahwa struktur di bawah permukaan bumi adalah berlapis (Syamsuddin et. al, 2019).

Formulasi kemudian berubah dengan memperhatikan faktor resistivitas dari nilai sesungguhnya, melalui hubungan berikut:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (28)$$

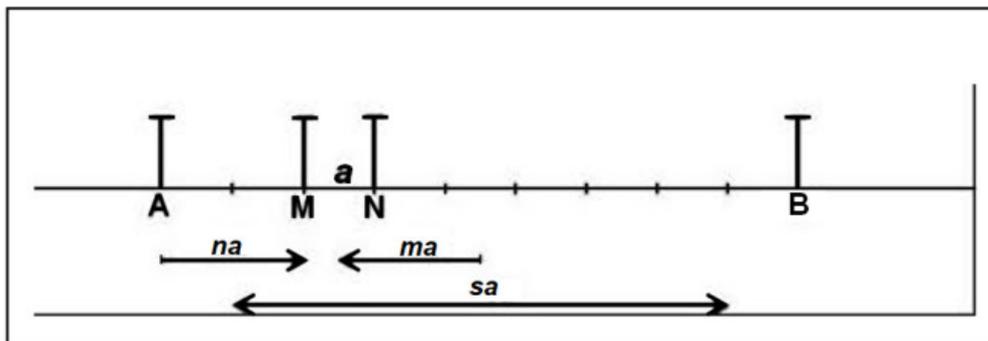
1.3.6 Konfigurasi *Gradient Array*

Dalam eksplorasi, tata letak elektroda memiliki dampak yang signifikan dalam menentukan sensitivitas pengukuran target. Penempatan elektroda dikenal sebagai



Metode umum untuk penempatan elektroda meliputi Wenner, Dipole-Dipole. Walaupun demikian, ada variasi lain dalam a yang menggabungkan berbagai elemen, seperti konfigurasi Gradien ini memiliki karakteristik yang menggabungkan aspek lumberger, Wenner, dan Dipole-Dipole (Dahlin et.al, 2006). urasi Gradien ini, elektroda arus AB (C1 dan C2) ditempatkan

di luar jalur pengukuran, sementara elektroda potensial MN (P1 dan P2) ditempatkan lebih dalam.



Gambar 7. Sketsa Konfigurasi Gradient (Dahlin & Zou, 2006)

Faktor geometri konfigurasi *Gradient*:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \quad (29)$$

Dimana,

$$r_1 = na, r_2 = (n + 1)a, r_3 = (s + 2 - n)a \text{ dan } r_4 = (s + 1 - n)a$$

Keterangan:

a = jarak spasi elektroda

n = jumlah banyaknya lapisan

s = faktor separasi/perpindahan elektroda

1.3.7 Boulder

West Block meliputi 36 bukit dengan luas sekitar 46,5 km persegi, secara umum merupakan batuan *Dunite* dengan bentuk morfologi yang relatif lebih terjal dibandingkan blok timur (karena pengaruh struktur yang kuat), banyak dijumpai bongkah – bongkah segar peridotit (*Boulder*) sisa proses pelapukan sehingga *recovery* menjadi kecil. Umumnya *boulder* dilapisi oleh zona pelapukan tipis dibagian luarnya.

Boulder merupakan salah satu komponen penting yang dapat ditemukan dalam profil nikel laterit. Batu-batu ini sering kali memiliki karakteristik yang berbeda dari material sekitarnya dan dapat mempengaruhi proses eksploitasi dan pengolahan rkan teksturnya, *boulder* dapat di bedakan menjadi 3 bagian 7, gambar 8 dan gambar 9 (Fajrul. et al, 2022).





Gambar 8. Batu Boulder Bertekstur kasar



Gambar 9. Batu Boulder Bertekstur Halus



Gambar 10. Batu Boulder Bertekstur Burik

