

Skripsi Geofisika

**KORELASI DATA RESISTIVITAS DENGAN HASIL ANALISIS
UNSUR DATA BOR DALAM ESTIMASI
JUMLAH CADANGAN NIKEL LATERIT DI PULAU GAG**

DISUSUN OLEH:

**DE LEONARD PASTEUR SIMANJORANG
H221 16 509**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

KORELASI DATA RESISTIVITAS DENGAN HASIL ANALISIS
UNSUR DATA BOR DALAM ESTIMASI
JUMLAH CADANGAN NIKEL LATERIT DI PULAU GAG

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Tugas Akhir Untuk Memenuhi Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

pada Program Studi Geofisika Jurusan Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

DE LEONARD PASTEUR SIMANJORANG

H221 16 509

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : De Leonard Pasteur Simanjorang
NIM : H221 16 509
Program Studi : Geofisika
Judul Skripsi : KORELASI DATA RESISTIVITAS DENGAN HASIL
ANALISIS UNSUR DATA BOR DALAM ESTIMASI
JUMLAH CADANGAN NIKEL LATERIT DI PULAU
GAG

OLEH:

DE LEONARD PASTEUR SIMANJORANG

H211 16 509

Makassar, 30 November 2020

Disahkan oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama




Dr. Muh. Hamzah, S.Si, MT
NIP. 19691231 199702 1 002

Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv
NIP. 19640616 198903 1 006

Mengetahui,

Ketua Departemen Geofisika



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasi atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk sesuatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di Lembaga Pendidikan lainnya dimanapun, kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.



De Leonard Pasteur Simanjorang

ABSTRAK

Nikel di Indonesia dijumpai dalam bentuk nikel laterit hasil pelapukan batuan ultramafik. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, jumlah rata-rata ekspor nikel dari tahun 2002 hingga 2014 mencapai angka 17.103.785 ton/tahun. Hal itu menunjukkan eksplorasi nikel yang berkelanjutan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan industri terkait. Salah satu tahapan dalam kegiatan eksplorasi nikel adalah penentuan volume endapan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan terhadap data eksplorasi metode geolistrik tahanan jenis yang bertujuan untuk menentukan volume endapan nikel laterit di area pulau gag, Papua barat. Penentuan volume tersebut didasarkan pada model endapan yang dibuat dari hasil pengolahan metode geolistrik tahanan jenis. Metode geolistrik tahanan jenis mampu membedakan kontras resistivitas antara batuan dasar dan endapan nikel laterit. Pada penelitian kali ini digunakan data sekunder resistivitas metode tahanan jenis sebanyak 6 lintasan yang berarah utara-selatan, barat-timur dan data pemboran sebanyak 9 titik. Hasil penelitian ini menunjukkan endapan nikel laterit dapat dibagi menjadi 3 zona berdasarkan nilai resistivitasnya, zona limonit dengan nilai resistivitas 100-200 Ohm.m, zona saprolit dengan nilai resistivitas 50-80 Ohm.m, dan zona bedrock yang merupakan zona terbawah dengan nilai resistivitas 171-3000 Ohm.m. Ketebalan endapan nikel laterit rata-rata berdasarkan data resistivitas didapati sebesar 13,1 meter. Berdasarkan data resistivitas tersebut maka dibuat model 3D dengan volume total endapan sebesar 148.424,49 m³. Serta, data kadar rata-rata unsur nikel pada area penelitian sebesar 1,53%. Diharapkan volume endapan berdasarkan hasil eksplorasi geofisika metode tahanan jenis tersebut mampu memberikan gambaran awal yang akurat mengenai endapan nikel laterit dan menjadi rujukan dalam kegiatan pertambangan selanjutnya.

Kata Kunci : geolistrik, nikel laterit, resistivitas, volume.

ABSTRACT

Nickel in Indonesia is found in the form of nickel laterites weathering ultramafic rocks. Based on data from the Central Statistics Agency, the average number of nickel exports from 2002 to 2014 reached 17,103,785 tons/year. It shows sustainable nickel exploration is urgently needed to meet the needs of related industries. One of the stages in nickel exploration activities is the determination of sediment volume. In this study, the processing of exploration data of geoelectric resistivity method this type aimed to determine the volume of nickel laterite deposits in the gag island area, West Papua. The determination of the volume is based on sediment models made from the processing of geoelectric resistivity methods. Geoelectric resistivity method is able to distinguish the contrast of resistivity between bedrock and nickel laterite deposits. This study used secondary data resistivity resistivity method as many as 6 lines that are directed north-south, east-west, and drilling data as much as 9 points. The results of this study showed that nickel laterite deposits can be divided into 3 zones based on their resistivity value, limonite zone with resistivity value of 100-200 Ohm.m, saprolite zone with resistivity value of 50-80 Ohm.m, and bedrock zone which is the lowest zone with resistivity value of 171–3000 Ohm.m. The average thickness of nickel laterite deposits based on resistivity data was found at 13,1 meters. Based on the resistivity data, a 3D model was created with a total sediment volume of 148,424.49 m³. Also, data on the average level of nickel elements in the research area was 1.53%. It is expected that sediment volume based on geophysical exploration results resistivity method is able to provide an accurate preliminary picture of nickel laterite deposits and become a reference in subsequent mining activities.

Keywords: geoelectric, nickel laterite, resistivity, volume.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Maha Esa yang telah melimpahkan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Korelasi Data Resistivitas Dengan Hasil Analisis Unsur Data Bor Dalam Estimasi Jumlah Cadangan Nikel Laterit Di Pulau Gag**”, yang merupakan tugas akhir untuk melengkapi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian skripsi ini penulis mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini terjadi karena kelemahan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Puji Tuhan hambatan tersebut dapat teratasi tentunya tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Olehnya itu, sebuah kewajiban bagi penulis dengan segala kerendahan hati untuk menghanturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua tercinta Ayahanda (**Poster Simanjorang**) dan Ibunda (**Selvie D.K Lumempouw**), yang tidak pernah putus berdoa dan senantiasa memberikan dukungan, baik secara moril dan materil. Semoga Tuhan selalu memberikan nikmat kesehatan.
2. Bapak **Dr. Muh. Hamzah, S.Si, MT.** selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT. Surv.** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktu, pikiran, memberikan arahan, bimbingan, ilmu, bantuan, saran dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak **Syamsuddin, S.Si., MT.** dan Bapak **Dr. Erfan, M.Si.** sebagai tim penguji skripsi geofisika yang telah meluangkan waktunya dan memberikan masukan serta saran-saran demi kesempurnaan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M. Eng.** selaku ketua Departemen Geofisika yang membantu dan menyemangati penulis untuk dapat melanjutkan tugas akhir ini yang sempat tertunda.
5. Seluruh **Bapak/Ibu dosen** Departemen Geofisika dan Fakultas MIPA yang telah mendidik dan membagi ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh **staf akademik Departemen Geofisika dan Fakultas MIPA** yang dengan senang hati membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan

akademik. Kepada Pak Anto, Pak Sangkala, Pak Putra, Ibu Evi, Ibu Firli, Pak Sangkala dan Pak Suardi, terima kasih untuk semua bantuannya.

7. **Harny Rara** yang selalu ada untuk menyemangati dan menghibur serta selalu mendampingi penulis. Trimakasih atas segalanya.
8. Kakak dan Adik (Butet dan Nando) yang senantiasa menyemangati dan menghibur penulis.
9. Teman seperjuangan yang selalu bersama-sama dengan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Terimakasih sudah menjadi teman berjuangku.
10. Teman-teman **16neous 2016** terima kasih atas persaudaraan yang terjalin.
11. Teman-teman Paguyuban KSE UNHAS yang telah kebersamai.
12. Teman-teman KSE se nusantara terima kasih support dan semoga cepat nyusul
13. Kanda - kanda, teman-teman serta adik-adik **Laboratorium Geofisika Padat**, saya ucapkan terimakasih atas doa dan selalu menyemangati penulis.
14. Semua pihak yang membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam seluruh proses perkuliahan di Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan. Akhir kata penulis mengharapkan semoga penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis maupun pihak lain yang membutuhkan.

Makassar, November 2020

De Leonard Pasteur Simanjourang
H22116509

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
<u>BAB I PENDAHULUAN</u>	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
<u>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</u>	4
II.1 Geologi Regional	4
II.2 Geologi Daerah Pulau Gag.....	5
II.3 Endapan Nikel Laterit	6
II.4 Sifat Kelistrikan Batuan	9
II.5 Metode Geolistrik.....	15
II.6 Geostatistik.....	17
II.7 Metode Kuadrat Terkecil	19
II.8 Korelasi Data Bor dan Resistivitas.	22
<u>BAB III METODE PENELITIAN</u>	23
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
III.2 Bahan	23
III.3 Tahapan Penelitian	24
III.3.1 Tahap Kajian Pustaka	24

III.3.2 Tahap Pengumpulan Data.....	24
III.3.3 Tahap Pengolahan Data.	24
III.3.4 Tahap Interpretasi.	25
III.4 Bagan Alir.	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
IV.1 Hasil.....	27
IV.2 Pembahasan	33
BAB V PENUTUP.....	44
V.1 Kesimpulan	44
V.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
<u>LAMPIRAN.....</u>	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta tektonik timurlaut Indonesia dan Filipina dimana Pulau Gag diapit oleh sesar Sorong dan sesar Halmahera-Papua	5
Gambar 2.2 Peta geologi Pulau Gag	8
Gambar 2.3 Penampang umum nikel laterit	9
Gambar 2.4 Arus yang menembus luasan permukaan medium homogen isotropis	10
Gambar 2.5 Potensial disekitar titik arus dalam bumi	11
Gambar 2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan bumi yang homogen.....	13
Gambar 2.7 Distorsi garis ekuipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus	14
Gambar 2.8 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan bumi yang homogen.....	14
Gambar 2.8 Dua kemungkinan pengaturan yang berbeda untuk pengukuran larik dipol-dipol. Dua pengaturan ini memiliki panjang array yang sama tetapi faktor "a" dan "n" yang berbeda menghasilkan kekuatan sinyal yang sangat berbeda.....	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Tabel Perhitungan Lintasanl.....	47
Lampiran 2: Penampang kontur resistivitas 2D lintasanr.....	52
Lampiran 3: Tabel Korelasi Data resistivitas vs Data assay kadar besi Fe r.....	57
Lampiran 4 : 3D Wireframet.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Endapan nikel laterit merupakan produk dari proses pelapukan lanjut pada batuan ultramafik pembawa Ni-Silikat, umumnya terdapat daerah dengan iklim tropis sampai dengan subtropis. Indonesia dikenal sebagai salah satu negara utama penghasil bahan galian di dunia, termasuk nikel. Berdasarkan karakteristik geologi dan tatanan tektoniknya, beberapa lokasi endapan nikel laterit yang potensial di Indonesia umumnya tersebar di wilayah Indonesia bagian timur, antara lain : Pomala di Sulawesi Tenggara, Sorowako di Sulawesi Selatan, Gebe dan Tanjung Buli di Halmahera, dan Pulau Gag di Papua Barat (Hamilton, 1979).

Penambangan bijih nikel pada prosesnya dapat terjadi hal-hal yang dapat membuat penurunan produksi nikel yang berimbas pada penurunan omset perusahaan. Dalam eksplorasi mineral nikel sering terjadi perbedaan yang sangat besar antara estimasi cadangan dan hasil yang didapatkan pada saat penambangan. Dengan demikian diperlukan metode-metode baru yang dapat memberikan efisiensi yang tinggi dalam proses estimasi cadangan, salah satu metode baru ialah *Electrical Resistivity Tomography* (ERT) untuk menentukan kedalaman dari profil nikel laterit daerah penelitian.

Respon batuan dapat berupa tahanan jenis batuan bawah permukaan terhadap listrik yang diinjeksikan. Dengan mengetahui sebaran resistivitas bawah permukaan dapat memudahkan untuk menginterpretasi mengenai material di bawah permukaan dan mengetahui batas-batas profil nikel laterit.

Pada umumnya penelitian terdahulu pengolahan data ERT terkhusus pada eksplorasi nikel laterit hanya sampai pada ketebalan saprolit, pada penelitian ini proses pengolahan data ERT sampai pada tahap estimasi penghitungan volume lapisan saprolit, yang memberikan acuan yang lebih representatif yang selanjutnya diproses ke pertambangan.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini meliputi pengolahan data geolistrik tahanan jenis menggunakan konfigurasi Dipole - dipole untuk salah satu lokasi tambang PT. Gag Nikel, Tbk. Di Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana korelasi antara data resistivitas dan data bor pada daerah Penelitian ?
2. Bagaimana interpretasi profil nikel laterit berdasarkan data ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) pada daerah penelitian ?
3. Bagaimana Mengetahui volume dan kadar nikel lapisan saprolit pada daerah penelitian ?

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkorelasikan data resistivitas dan data bor pada daerah penelitian, untuk mengetahui apakah data resistivitas dan data bor saling mendukung.
2. Menginterpretasi profil nikel laterit berdasarkan data ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) pada daerah penelitian.
3. Mengetahui volume dan kadar nikel lapisan saprolit pada daerah penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

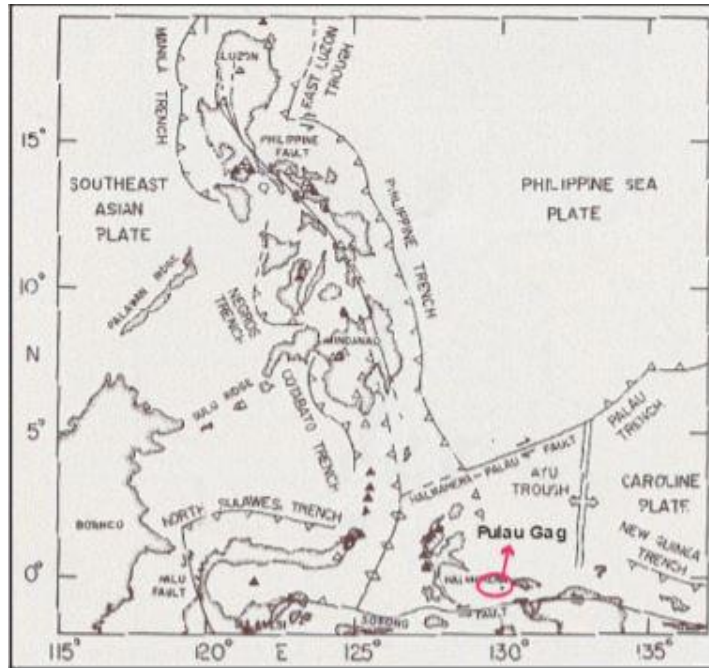
II.1 Geologi Regional

Secara umum, Pulau Gag diapit oleh Sesar Sorong dan Sesar Halmahera dan membentuk kelurusan arah barat laut-tenggara. Kelurusan ini membentang ke arah barat laut-tenggara. Kelurusan ini membentang ke arah barat laut menuju kearah Pulau Gebe yang sejajar dengan bentuk teluk Saulalkasu. Kelurusan tersebut diperkirakan berhubungan dengan sesar yang berkembang di daerah tersebut.

Pulau Gag masuk ke dalam peta geologi lembar waigeo, secara umum sejarah tektonikannya sangat terkait dengan tektonik regional daerah itu. Pada akhir jura, terjadi pemekaran Samudera Pasifik. Pemekaran tersebut diikuti oleh pembentukan laut dalam yang mengakumulasikan endapan laut dalam. Formasi Tanjung Bormas. Selama proses itu berlanjut, banyak sesar geser terbentuk sehingga mengakibatkan pelengseran. Selanjutnya, kurang lebih berakhir pada Awal Tersier terjadi pengendapan Formasi Lamlam.

Pada akhir kapur, Benua Australia bergerak ke arah utara dan membentuk busur kepulauan yang beralaskan batuan ofiolit hasil penunjaman supra. Pada kegiatan ini terjadi pengendapan Formasi Rumai yang sebagian terbentuk di bawah permukaan air dan kegiatan itu mencapai puncaknya antara eosen dan miosen. Setelah busur kepulauan terbentuk, mulai Miosen Awal hingga Miosen Akhir terjadi pengendapan Formasi Waigeo di sekitar kepulauan itu. Bersamaan dengan pengendapan Formasi

Waigeo, selama Miosen hingga Pliosen, diikuti pula pengikisan sehingga terbentuklah batugamping klastika Formasi Puri (Hamilton, 1979).

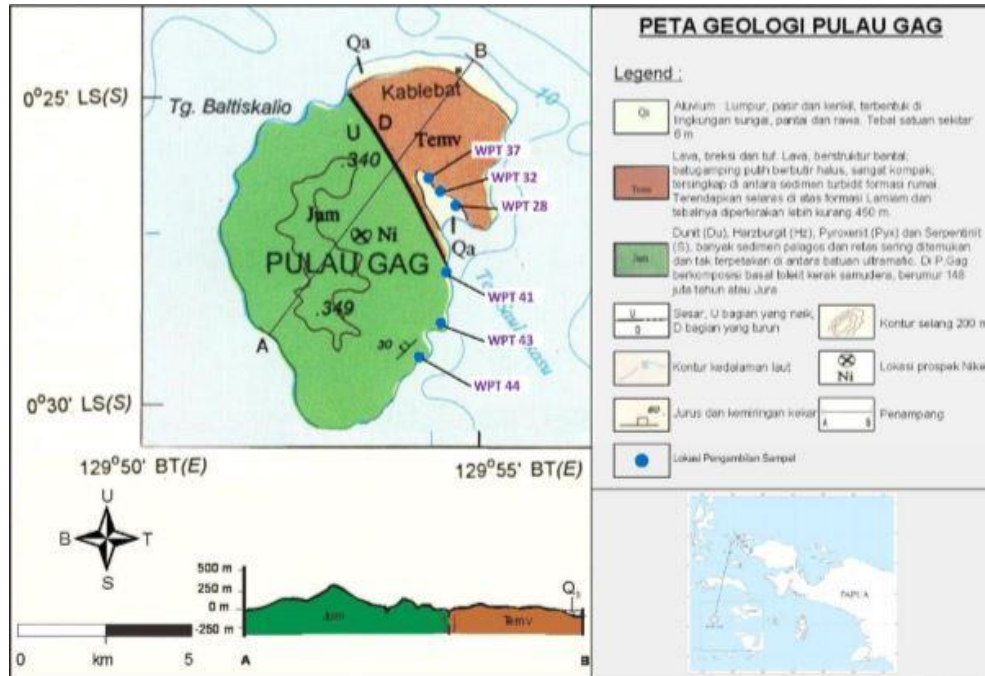


Gambar 2.1 Peta tektonik timurlaut Indonesia dan Filipina dimana Pulau Gag diapit oleh sesar Sorong dan sesar Halmahera-Papua (Hamilton, 1979).

II.2. Geologi Daerah Pulau Gag

Berdasarkan peta geologi bersistem Indonesia skala 1:250.000, Pulau Gag masuk ke dalam peta geologi lembar Waigeo. Secara geologi, daerah ini sangat sederhana. Batuan tertua yang tersingkap di daerah ini adalah batuan ultramafik. Batuan ini terdiri dari harzburgit, dunit, piroksenit, diabas dan serpentinit. Secara kontak sesar, batuan ultramafik ditindih oleh anggota batuan gunungapi Formasi Rumai, yang terdiri dari lava, breksi, tuf lava dan batugamping. Batuan-batuan ini tampaknya telah diterobos oleh retas-retas batuan subvulkanik sehingga sebagian telah mengalami ubahan serta

munculnya urat-urat kuarsa. Endapan termuda berupa kerikil, kerakal, pasir, lempung, dan koral (Supriatna dkk., 1995).



Gambar 2.2 Peta geologi Pulau Gag (Supriatna dkk., 1995).

II.3 Endapan Nikel Laterit

II.3.1 Batuan Sumber Nikel Laterit

Batuan ultramafik yang dikenal sebagai kompleks ofiolit, merupakan suatu runtunan batuan basa sampai ultrabasa. Kelompok ofiolit ini disusun oleh peridotit seperti lherzolit, harzburgit, dunit dan piroksenit seperti olivin websterlit, olivin othopiroksenit, dan websterlit. Ofiolit dapat pula dinyatakan sebagai bagian litosfer samudera yang secara tektonik muncul sebagai massa tersungkup di tepi kontinen dan busur kepulauan (Wilson ,1989).

Logam yang dijumpai dalam runtunan batuan ofiolit terutama kromit (Cr) yang terbentuk pada lapisan ultrabasa; emas(Au), tembaga (Cu), Nikel (Ni), dan kobal (Co) terdapat pada lapisan baruan gabro-diorit (Edward dan Atkinson, 1986).

II.3.2 Profil Endapan Nikel Laterit

Profil laterit dapat dibagi menjadi beberapa zona .Profil nikel laterit tersebut didiskripsikan dan diterangkan oleh daya larut mineral dan kondisi aliran air tanah (Osborne & Waraspati, 1986).

1. Lapisan tanah penutup (*Overburden*)

Lapisan ini terletak di bagian atas permukaan ,lunak dan berwarna coklat kemerahan hingga gelap dengan kadar air antara 25% sampai 35%, kadar nikel maksimal 1,3% dan di permukaan atas dijumpai lapisan *iron capping*. Lapisan ini mempunyai ketebalan berkisar antara 1 – 12 meter, merupakan kumpulan massa goethit dan limonit.

2. Lapisan limonit berkadar menengah (*Medium grade limonit*)

Lapisan ini terletak di bawah lapisan tanah penutup *Fine grained*, merah-coklat atau kuning, agak lunak, berkadar air antara 30% - 40%, kadar nikel 1,5%, Fe 44%, MgO 3%, SiO₂%, lapisan kaya besi dari limonit soil menyelimuti seluruh area dengan ketebalan rata-rata 3 meter. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral *manganese oxide*, *lithiophorite*. Terkadang terdapat mineral talc, tremolite, chromiferous, Quartz, gibbsite, maghemite.

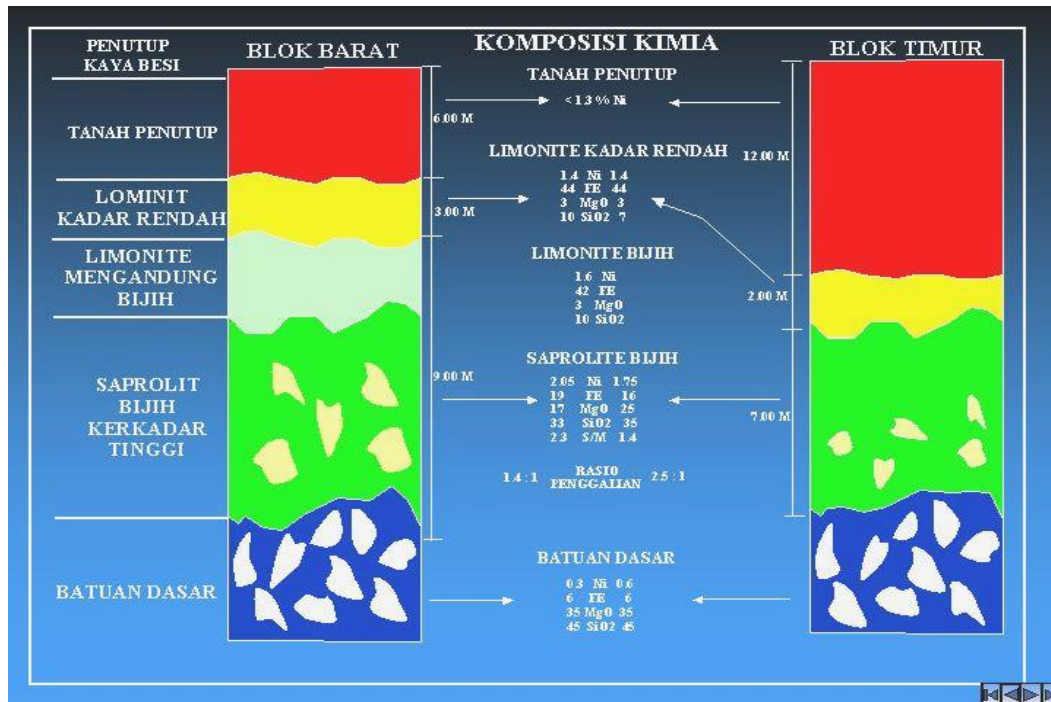
3. Lapisan Bijih (*Saprolit*)

Lapisan ini merupakan hasil pelapukan batuan peridotit, berwarna kuning kecoklatan agak kemerahan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonite berkadar menengah, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Garnierit di lapangan biasanya diidentifikasi sebagai *colloidal talc* dengan lebih atau kurang *nickeliferous serpentin*. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Lapisan ini terdapat bersama batuan yang keras atau rapuh dan sebagian saprolit. Kadar Ni 1,85%, Fe 16%, MgO 25%, SiO₂ 35%. Lapisan ini merupakan lapisan yang bernilai ekonomis untuk ditambang sebagai bijih.

4. Lapisan batuan dasar (*Bed rock*)

Bagian terbawah dari profil laterit Lapisan ini merupakan batuan peridotit sesar yang tidak atau belum mengalami pelapukan. Blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis lagi (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Berwarna kuning pucat sampai abu-abu kehijauan.

Ketebalan dari masing-masing lapisan tidak merata, tergantung dari morfologi dan relief, umumnya endapan laterit terakumulasi banyak pada bagian bawah bukit dengan relief yang landai. Sedang relief yang terjal endapan semakin menipis, di samping adanya kecenderungan akumulasi mineral yang berkadar tinggi dijumpai pada zona-zona retakan, zona sesar dan rekahan pada batuan (Osborne & Waraspati, 1986).



Gambar 2.3 Penampang umum nikel laterit (Osborne & Waraspati,1986).

II.4 Sifat Kelistrikan Batuan

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

Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan/mineral digolongkan menjadi tiga yaitu:

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

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

Isolator : $(\rho > 10^7) \Omega m$

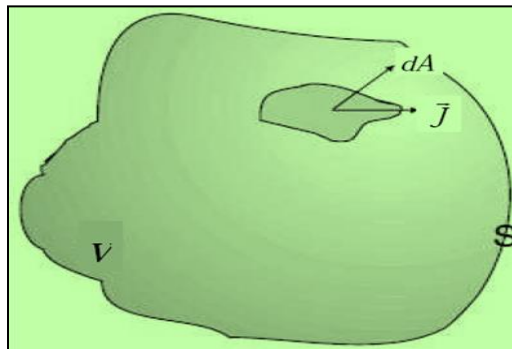
Tabel 2.1 Tabel resistivitas batuan (Telford, 1976).

Material	Resistivity ($\Omega \cdot m$)	Conductivity (Siemen/m)
Igneous and Metamorphic Rocks		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^7 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Sedimentary Rocks		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Soils and waters		
Clay	1 - 100	0.01 - 1
Alluvium	10 - 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 - 100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
Chemicals		
Iron	9.074×10^{-8}	1.102×10^7
0.01 M Potassium chloride	0.708	1.413
0.01 M Sodium chloride	0.843	1.185
0.01 M acetic acid	6.13	0.163
Xylene	6.998×10^{16}	1.429×10^{-17}

II.4.1 Medan Listrik dari Elektroda Arus pada Bumi Berlapis

Metode geolistrik adalah suatu metode dimana arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan potensialnya diukur melalui dua buah elektroda potensial (Hendrajaya, 1990).

Suatu arus yang dialirkan pada medium homogen isotropis, seperti pada gambar II.5 berikut.



Gambar 2.4 Arus yang menembus luasan permukaan medium homogen isotropis (Hendrajaya, 1990).

Bila dA adalah elemen luas permukaan dan J rapat arus listrik (ampere/m^2) maka besarnya elemen arus yang melalui permukaan tersebut adalah :

$$dI = \vec{j} \cdot d\vec{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Hubungan rapat arus (J) dan medan listrik (E) yang ditimbulkan, dapat dihubungkan dengan hukum Ohm :

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

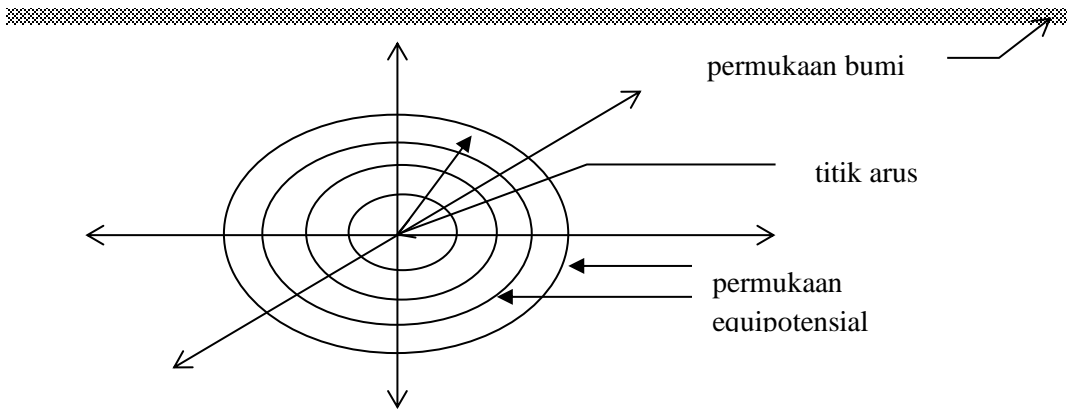
Dengan : $\sigma = \text{konduktivitas medium } (\Omega m)^{-1} = 1/\rho$

$$\vec{j} = \frac{I}{A} : \text{rapat arus } (A.m^{-2})$$

$$\vec{E} = \frac{V}{L} : \text{medan listrik } (V.m^{-1})$$

Konduktivitas (σ) adalah besaran skalar yang merepresentasikan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Sedangkan resistivitas (ρ) adalah kebalikan dari konduktivitas.

Bumi terdiri dari beberapa lapisan (non homogen) dengan ditandai adanya variasi nilai resistivitas yang berbeda, baik secara horizontal maupun secara vertikal. Untuk memudahkan perhitungan maka metode geolistrik resistivitas ini mengasumsikan bahwa bumi memiliki sifat homogen isotropis. Homogen artinya setiap lapisan memiliki tahanan jenis yang sama, sedangkan isotropis adalah daya hantar listrik (konduktivitas) sama dengan harganya untuk ke segala arah dari aliran arus listrik. Sehingga jika suatu arus diinjeksikan ke dalam bumi yang homogen isotropis ini, maka arus tersebut akan menyebar ke segala arah dan permukaan ekuipotensial dalam bumi berupa permukaan bola seperti pada gambar (II.6) berikut :



Gambar 2.5 Potensial disekitar titik arus dalam bumi

Medan listrik merupakan gradien dari potensial skalar (V), maka diperoleh hubungan:

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

Persamaan (2.3) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.4), sehingga rapat arusnya diperoleh :

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

Jika dianggap muatannya tetap, berarti tidak ada arus yang keluar ataupun yang masuk dalam suatu volume tertutup dengan luas permukaan dA , maka dapat ditulis :

$$\int_A \vec{j}dV = 0 \dots\dots\dots(2.5)$$

Menurut Teorema Gauss, integral volume dari divergensi arus melalui suatu daerah tertutup adalah sama dengan jumlah muatan total dalam volume tertutup itu, sehingga:

$$\int_v \vec{\nabla} \cdot \vec{j}dV = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan v sebagai volume yang sangat kecil, maka dengan mensubstitusikan persamaan (2.4) ke persamaan (2.6) diperoleh :

$$\vec{\nabla} \vec{J} = -\vec{\nabla}^2 \sigma V = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

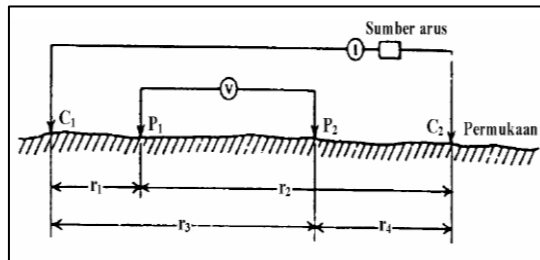
Dalam medium homogen isotropis, $\sigma = \frac{1}{\rho}$ adalah suatu konstanta, sehingga persamaan (2.7) menjadi :

$$\nabla^2 V = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

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

II.4.2 Dua Pasang Elektroda Arus di Permukaan Bumi

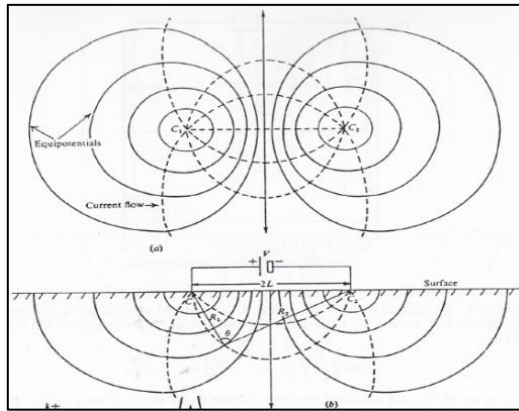
Bila dua elektroda memiliki jarak tertentu (Gambar II.7), potensial pada titik di permukaan yang letaknya antara dua elektroda arus, potensial pada setiap titik di permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus (Telford, 1976).



Gambar 2.6 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial di permukaan bumi yang homogen (Telford, 1976).

Perubahan potensial sangat drastis pada daerah dekat sumber arus. Dimana gradien potensial yang berada di luar C_1 dan C_2 yang menjauh dari linier memiliki gradien potensial yang besar, sedangkan pada daerah antara C_1 dan C_2 gradien potensial kecil dan mendekati linier. Dari alasan ini, pengukuran potensial paling baik dilakukan pada

daerah diantara C_1 dan C_2 yang mempunyai gradien potensial linier. Untuk menentukan perbedaan potensial antara dua titik yang ditimbulkan oleh sumber arus listrik C_1 dan C_2 , maka dua elektroda potensial misalnya P_1 dan P_2 ditempatkan di dekat sumber seperti pada Gambar II.8.



Gambar 2.7 Distorsi garis ekuipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus (Telford,1976). (a) Denah ; (b) Penampang vertikal di permukaan tanah (Telford, 1976).

Potensial di titik P_1 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 adalah :

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \dots\dots\dots(2.9)$$

dan di P_2 potensial yang timbul adalah :

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right), \dots\dots\dots(2.10)$$

Sehingga beda potensial antara titik P_1 dan P_2 adalah :

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana $r_1, r_2, r_3,$ dan r_4 adalah besaran jarak, seperti dapat dilihat pada Gambar II.7.

II.5 Metode Geolistrik

Geolistrik adalah metode geofisika yang mempelajari sifat aliran dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya dipermukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus dan medan elektromagnetik yang terjadi, baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang dapat memberikan gambaran susunan dan kedalaman lapisan batuan, dengan mengukur sifat kelistrikan batuan (Hendrajaya, 1990).

Batuan mempunyai sifat – sifat kelistrikan karena batuan merupakan suatu jenis materi. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadinya ketidakseimbangan atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya.

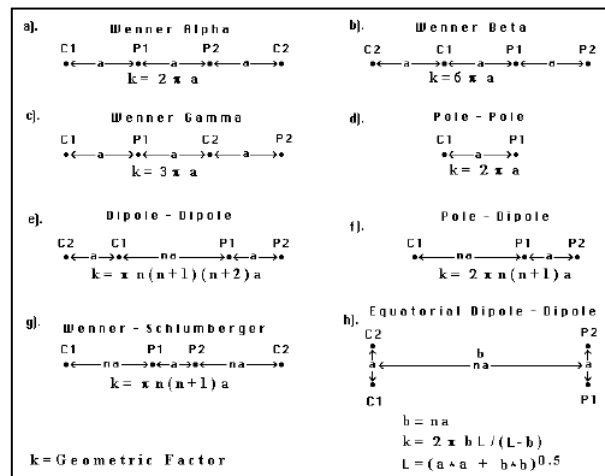
Dan hal ini yang akan dipelajari mengenai potensial listrik alam dari batuan, konduktivitas batuan dan konstanta dielektrik batuan (Hendrajaya, 1990).

Metode geolistrik tahanan jenis merupakan salah satu metode geolistrik yang sering digunakan dalam survei geofisika untuk eksplorasi yang relatif dangkal, diantaranya digunakan dalam survei geofisika untuk eksplorasi sumber mata air, keadaan struktur bawah permukaan dan juga dapat digunakan sebagai pendukung eksplorasi bahan – bahan tambang. Dalam aplikasi eksplorasi, metode geolistrik (resistivity) dapat memberikan informasi yang tidak mungkin diberikan oleh metode lain (Reynolds, 2011).

Dalam metode ini, resistivitas yang terukur (*apparent resistivity*) bukan resistivitas sebenarnya dan tergantung spasi elektrodanya. Karena ketidakhomogenan bumi dan

kenyataan bahwa bumi berlapis – lapis maka lapisan batuan dan masing – masing per lapisan mempunyai harga resistivitas yang tertentu (Reynolds, 2011).

Ada beberapa konfigurasi elektroda yang sering digunakan , yaitu metoda wenner, metode pole – pole, metoda pole – dipole, metoda dipole – dipole, metoda schlumberger dan metoda wenner – schlumberger. Dengan C1 dan C2 adalah elektroda – elektroda arus, P1 dan P2 adalah elektroda – elektroda potensial, a adalah spasi elektroda, n adalah perbandingan jarak antara elektroda C1 dan P1 dengan spasi a.



Gambar 2.8 Beberapa konfigurasi elektroda yang digunakan dalam survey metoda geolistrik tahanan jenis (Loke, 2004).

Apabila terdapat dua elektroda arus yang dibuat dengan jarak tertentu seperti gambar, potensial pada titik – titik dekat permukaan akan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut.

II.5.I Metode ERT (*Electrical Resistivity Tomography*)

ERT 2D adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan dengan mengukur perubahan tahanan jenis lapisan batuan

dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah.

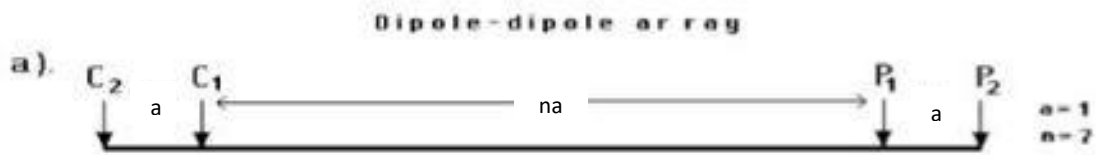
Prinsip ERT didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda yang terbuat dari selektor elektroda dan *multi-channel sistem acquisition* yang memungkinkan koneksi dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke *resistivity* meter. *Resistivity* meter terhubung ke laptop yang telah mempunyai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

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

II.5.2 Konfigurasi Dipole - dipole

Konfigurasi ini telah, dan masih, banyak digunakan dalam resistivitas dan survei IP. Susunan elektroda ditunjukkan pada gambar II.9. Jarak antara pasangan elektroda saat ini, C2-C1, diberikan sebagai "a" yang sama dengan jarak antara potensi pasangan elektrode P1-P2. Konfigurasi ini memiliki faktor lain yang ditandai sebagai "n" pada gambar II.9. Ini adalah rasio jarak antara C1 dan P1 elektroda ke C2-C1 (atau P1-P2) dipol panjang "a". Untuk survei dengan konfigurasi ini, "a" jarak awalnya tetap tetap

pada jarak elektroda unit terkecil dan "n" faktor meningkat dari 1 sampai 2 sampai 3 sampai sekitar 6 untuk meningkatkan kedalaman penyelidikan (Loke, 2004).



Gambar 2.9 Dua kemungkinan pengaturan yang berbeda untuk pengukuran larik dipol-dipol. Dua pengaturan ini memiliki panjang array yang sama tetapi faktor "a" dan "n" yang berbeda menghasilkan kekuatan sinyal yang sangat berbeda (Loke, 2004).

II.6 Geostatistik

Geostatistika merupakan statistika yang digunakan pada bidang geologi. Pada bidang geologi terdapat suatu metode yang digunakan untuk melakukan pengestimasi cadangan mineral atau hasil tambang lainnya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengestimasi cadangan tersebut dengan menggunakan metode kriging. Metode kriging digunakan oleh G. Matheron untuk menonjolkan metode khusus dalam moving average terbobot (weighted moving average) yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi. Kriging adalah suatu teknik perhitungan untuk estimasi dari suatu variabel terregional yang menggunakan pendekatan bahwa data yang dianalisis dianggap sebagai suatu realisasi dari suatu variabel acak, dan keseluruhan variabel acak yang dianalisis tersebut akan membentuk suatu fungsi acak dengan menggunakan model struktural variogram. Kriging juga merupakan suatu metode yang digunakan untuk menonjolkan metode khusus dalam rata-rata bergerak terbobot yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi (Suprajitno, 2005).

II.6.1 Analisis Statistik Koefisien Korelasi Pearson

Koefisien korelasi pearson merupakan metode pengukuran korelasi yang sering digunakan. Metode ini bisa digunakan dengan kondisi data sebagai berikut (Purwanto, 2019) :

1. Data memiliki skala interval atau rasio,
2. Korelasi antara 2 variabel harus linier, artinya distribusi data haruslah menunjukkan hubungan searah

Formula yang digunakan adalah :

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x \sum y)}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- r = Koefisien korelasi
- x = Variabel terikat 1
- y = Variabel terikat 2
- n = banyak data variabel terikat

II.7 Metode Kuadrat Terkecil

Misalkan fungsi sebenarnya dari data tersebut adalah sebagai berikut (Lawson, 1974):

$$y = ax + b + e \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan a dan b adalah parameter fungsi dan e adalah error data. Untuk itu, kita misalkan misalkan penyajian datanya oleh suatu fungsi pendekatan berikut

$$y = ax + b \dots\dots\dots(2.14)$$

Error data yang terjadi antara setiap titik data dengan nilai fungsi permisalan adalah

$$e_i = y_i - Y_i \text{ dengan } i = 1,2,3, \dots, N \dots\dots\dots(2.15)$$

N adalah banyaknya data. Apabila ditetapkan fungsi

$$s = \sum_i^N e_i^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Maka, S adalah fungsi dari koefisien fungsi y, yaitu $S = S(a, b)$;

Agar nilai S minimum, haruslah ditetapkan koefisien a dan b sehingga turunan parsial S terhadap a dan b sama dengan nol, maka dapat ditulis

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 \dots\dots\dots(2.18)$$

Fungsi error S menjadi,

$$\begin{aligned} S &= \sum_i^N e_i^2 = (y_1 - Y_1)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + \dots + (y_N - Y_N)^2, \\ &= (ax_1 + b - y_1)^2 + (ax_2 + b - y_2)^2 + \dots + (ax_N + b - y_N)^2 \dots\dots(2.19) \end{aligned}$$

Turunan parsial persamaan 2.19 terhadap a sama dengan nol ; menghasilkan :

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial a} = 0 &= 2(ax_1 + b - y_1)x_1 + 2(ax_2 + b - y_2)x_2 + \dots + 2(ax_N + b - y_N)x_N, \\ 2(ax_1 + b - y_1)x_1 + 2(ax_2 + b - y_2)x_2 + \dots + 2(ax_N + b - y_N)x_N &= 0, \\ (ax_1 + b - y_1)x_1 + (ax_2 + b - y_2)x_2 + \dots + 2(ax_N + b - y_N)x_N &= 0 \\ a \sum_i^N x_i^2 + b \sum_i^N x_i - \sum_i^N (x_i y_i) &= 0 \dots\dots\dots(2.20) \end{aligned}$$

Turunan parsial persamaan 2.19 terhadap b sama dengan nol ; menghasilkan :

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial b} = 0 &= 2(ax_1 + b - y_1)(1) + 2(ax_2 + b - y_2)(1) + \dots + 2(ax_N + b - y_N)(1), \\ 2(ax_1 + b - y_1)(1) + 2(ax_2 + b - y_2)(1) + \dots + 2(ax_N + b - y_N)(1) &= 0, \end{aligned}$$

$$(ax_1 + b - y_1) + (ax_2 + b - y_2) + \dots + (ax_N + b - y_N) = 0 ,$$

$$a \sum_i^N x_i^2 + b \sum_i^N x_i - \sum_i^N (x_i y_i) = 0 \dots \dots \dots (2.21)$$

Didapatkan dua persamaan untuk mencari a dan b yang kita perlukan :

$$a \sum_i^N x_i^2 + b \sum_i^N x_i - \sum_i^N (x_i y_i) = 0 ,$$

$$a \sum_i^N x_i + Nb - \sum_i^N y_i = 0 \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan menggunakan teknik substitusi dan eliminasi pada kedua persamaan di atas, dapat diperoleh bahwa Gradien terbaiknya adalah a,

$$a = \frac{\sum_i^N y_i \sum_i^N x_i^2 - \sum_i^N x_i \sum_i^N (x_i y_i)}{N \sum_i^N x_i^2 - (\sum_i^N x_i)^2} \dots \dots \dots (2.23)$$

Dapat ditulis,

$$a_{\text{terbaik}} = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum (x_i y_i)}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (2.24)$$

Titik potong pada sumbu y terbaik adalah b,

$$b = \frac{N \sum_i^N (x_i y_i) - \sum_i^N x_i \sum_i^N y_i}{N \sum_i^N x_i^2 - (\sum_i^N x_i)^2} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dapat ditulis,

$$b_{\text{terbaik}} = \frac{N \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots \dots \dots (2.26)$$

Jadi persamaan berikut ini,

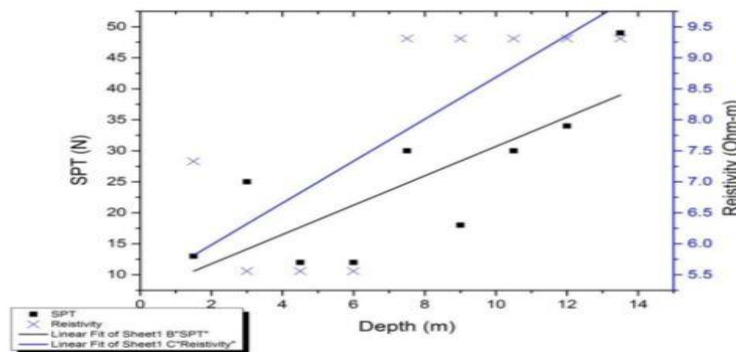
$$y = a_{\text{terbaik}}x + b_{\text{terbaik}} \dots \dots \dots (2.27)$$

Adalah persamaan yang telah dapat mewakili penyajian data pembentukan grafik metode kuadrat terkecil. metode kuadrat terkecil memakai fungsi S yang merupakan jumlah error kuadrat setiap titik data, kemudian dicari nilai terkecil atau nilai minimum

S agar setiap titik data ke garis lurus (dengan parameter a dan b) menjadi minimum pula.

II.8 Korelasi Data Bor dan Resistivitas

Menurut Sinta (2018), Hasil data yang ditafsirkan menunjukkan bahwa nilai resistivitas listrik memiliki korelasi yang baik dengan data SPT. Garis tren yang diperoleh dari SPT meningkat dengan kedalaman yang meningkat, serta hasil interpretasi resistivitas listrik. Setiap lokasi memiliki nilai gradien yang berbeda, itu karena lapisan bawah permukaan setiap lokasi berbeda. Untuk peneliti lebih lanjut diinginkan untuk melakukan penelitian dasar tomografi dan jika mungkin, akuisisi data resistivitas dilakukan bersamaan dengan pengeboran geoteknik dan SPT.



Gambar 2.10 Grafik perbandingan antara SPT-N dan resistivitas listrik

Gambar II.10 menunjukkan nilai-nilai SPT dan resistivitas listrik meningkat dengan kedalaman yang meningkat. Pada kedalaman 3 m nilai resistivitas rendah yaitu 6 Ω .m sedangkan nilai SPT adalah 25, dapat berkorelasi pada kedalaman itu, lapisannya silt dengan konsistensi yang sangat kaku. Pada kedalaman 4,5 m dan 6 m, baik dari nilai SPT dan resistivitas memiliki nilai rendah, dapat diketahui lapisan pada kedalaman itu adalah lumpur dengan konsistensi yang kaku