

SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN NIKEL LATERIT
DENGAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* DAN
NEAREST NEIGHBOUR POINT BERDASARKAN
PENGARUH KEMIRINGAN LERENG**

(Studi Kasus: Blok X, PT Tiran Indonesia, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh:

**CYNTHIA BELLA PRATIWI
D111 19 1003**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ESTIMASI SUMBERDAYA TERUKUR ENDAPAN NIKEL LATERIT
DENGAN METODE *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* DAN
NEAREST NEIGHBOUR POINT BERDASARKAN
PENGARUH KEMIRINGAN LERENG**

(Studi Kasus: Blok X, PT Tiran Indonesia, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara)

Disusun dan diajukan oleh

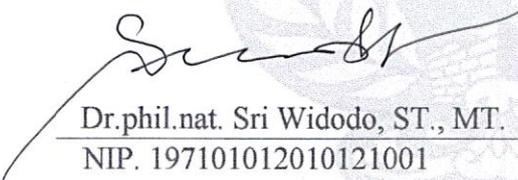
**CYNTHIA BELLA PRATIWI
D111191003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 19 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr.phil.nat. Sri Widodo, ST., MT.
NIP. 197101012010121001


Dr. Ir. Irzal Nur, MT.
NIP. 196604091997031002

Ketua Program Studi,


Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.
NIP. 197010052008012026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Cynthia Bella Pratiwi
NIM : D111191003
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Nikel Laterit Dengan Metode *Inverse Distance Weighting* Dan *Nearest Neighbour Point* Berdasarkan Pengaruh Kemiringan Lereng
(Studi Kasus: Blok X, PT Tiran Indonesia, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan 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 penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab 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 dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 19 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Cynthia Bella Pratiwi

ABSTRAK

CYNTHIA BELLA PRATIWI. *Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Nikel Laterit dengan Metode Inverse Distance Weighting dan Nearest Neighbour Point Berdasarkan Pengaruh Kemiringan Lereng* (dibimbing oleh Sri Widodo dan Irzal Nur)

Proses estimasi dilakukan dengan mempertimbangkan faktor kemiringan lereng yang merupakan salah satu faktor pembentukan endapan nikel laterit. Kemiringan lereng sangat penting untuk diketahui dalam menentukan persentase keberadaan kadar serta ketebalan endapan nikel laterit sebagai salah satu perencanaan eksplorasi serta eksploitasi dalam rangka meningkatkan hasil produksi penambangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kemiringan lereng terhadap ketebalan serta tingkatan hubungan kedalaman zona endapan terhadap kadar Ni, mengetahui hasil estimasi sumberdaya nikel laterit menggunakan metode IDW dan NNP, mengetahui selisih dan faktor penyebab selisih hasil estimasi sumberdaya menggunakan kedua metode tersebut serta dapat memberikan rekomendasi kemiringan lereng dan metode yang lebih presisi dalam melakukan estimasi sumberdaya. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa kemiringan lereng memiliki pengaruh terhadap ketebalan zona limonit sebesar 69% dan 83% pada zona saprolit dengan arah hubungan negatif dimana semakin meningkatnya derajat kemiringan lereng akan menyebabkan penurunan ketebalan zona limonit dan saprolit, tingkatan hubungan kedalaman zona limonit terhadap kadar Ni memiliki tingkatan hubungan sedang – kuat dengan arah hubungan positif sedangkan pada zona saprolit memiliki tingkatan hubungan rendah – sedang dengan arah hubungan negatif. Hasil estimasi sumberdaya nikel laterit pada kemiringan Tipe I menggunakan metode IDW diperoleh tonase 17.230 ton sedangkan metode NNP diperoleh tonase 14.794 ton. Pada kemiringan Tipe II menggunakan metode IDW diperoleh tonase 26.588 ton sedangkan metode NNP diperoleh tonase 23.612 ton. Pada kemiringan Tipe III menggunakan metode IDW diperoleh tonase 237.491 ton sedangkan metode NNP diperoleh tonase 234.626 ton. Hasil estimasi yang didapatkan tidak sesuai dengan hasil analisis regresi linear hal ini disebabkan karena adanya sebaran spasi titik bor yang tidak merata pada tiap tipe kemiringan lereng dan data ketebalan yang ada merupakan data ketebalan semu bukan ketebalan sebenarnya. Berdasarkan hasil data penelitian kemiringan lereng agak landai – landai lebih relevan dalam menentukan persentase keberadaan endapan nikel laterit, sedangkan metode IDW lebih relevan digunakan dibandingkan metode NNP untuk endapan yang memiliki sifat tidak homogen seperti nikel laterit. Didapatkan selisih hasil estimasi pada tiap tipe kemiringan lereng yaitu 14,1%, 11,2% dan 1,2%. Faktor penyebab perbedaan hasil sumberdaya dengan kedua metode dikarenakan metode IDW mempertimbangkan nilai kadar yang ada pada titik di sekitarnya sedangkan metode NNP hanya memperhitungkan nilai titik yang paling dekat.

Kata Kunci: Nikel Laterit, Kemiringan Lereng, Metode NNP, Metode IDW

ABSTRACT

CYNTHIA BELLA PRATIWI. *Estimated Measured Resources of Laterite Nickel Deposits Using Inverse Distance Weighting and Nearest Neighbor Point Methods Based on Slope Slope Effects* (supervised by Sri Widodo dan Irzal Nur)

The estimation process is carried out by considering the slope factor which is one of the factors in the formation of nickel laterite deposits. The slope is very important to know in determining the percentage of grade and thickness of nickel laterite deposits as one of the exploration and exploitation plans in order to increase mining production. This study aims to find out how the slope affects thickness and the degree of relationship between the depth of the deposition zone and Ni content, to find out the results of laterite nickel resource estimation using the IDW and NNP methods, to find out the differences and the factors causing the difference in the results of resource estimation using both methods and to provide recommendations slope gradient and a more precise method of estimating resources. The results of this study found that the slope has an influence on the thickness of the limonite zone by 69% and 83% in the saprolite zone with a negative relationship where increasing the degree of slope will cause a decrease in the thickness of the limonite and saprolite zones, the degree of relationship between the depth of the limonite zone and Ni content has a medium - strong relationship with a positive direction, while in the saprolite zone it has a low - medium relationship with a negative relationship. The estimation results of nickel laterite resources on the Type I slope using the IDW method obtained a tonnage of 17,230 tons while the NNP method obtained a tonnage of 14,794 tons. On the Type II slope using the IDW method a tonnage of 26,588 tons was obtained while the NNP method obtained a tonnage of 23,612 tons. On the Type III slope using the IDW method a tonnage of 237,491 tons was obtained while the NNP method obtained a tonnage of 234,626 tons. The estimation results obtained do not match the results of the linear regression analysis, this is due to the uneven distribution of drill point spacing on each type of slope and the existing thickness data is apparent thickness data, not actual thickness. Based on the results of research data, the slope is slightly gentler - more relevant in determining the percentage of nickel laterite deposits, while the IDW method is more relevant than the NNP method for deposits that have inhomogeneous properties such as nickel laterite. The difference in estimation results for each type of slope is 14.1%, 11.2% and 1.2%. The causative factor for the difference in resource yields with the two methods is because the IDW method considers the grade values at the surrounding points, while the NNP method only takes into account the closest point values.

Keywords: Nickel Laterite, Slope, NNP Method, IDW Method

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nikel Laterit	5
2.2 Pengaruh Topografi Terhadap Pembentukan Nikel Laterit	11
2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral.....	14
2.4 Estimasi Sumberdaya Mineral	16
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Alat Penelitian.....	25
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.5 Sumber Data.....	26
3.6 Pengolahan Data	28
3.7 Bagan Alir Penelitian	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Persebaran Titik Bor Berdasarkan Kemiringan Lereng.....	45
4.2 Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Ketebalan Zona Laterit.....	47
4.3 Hubungan Kedalaman Zona Laterit Terhadap Kadar Ni	49
4.4 Hasil Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit	54
4.5 Perbandingan Hasil Estimasi IDW dan NNP.....	68
4.6 Hubungan Kedalaman Zona Laterit dan Kadar Ni Terhadap Hasil Estimasi Sumberdaya.....	70
4.7 Hubungan Pengaruh Kemiringan Lereng dan Ketebalan Zona Laterit Terhadap Hasil Estimasi Sumberdaya	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Proses pembentukan nikel laterit.....	6
Gambar 2 Profil endapan nikel laterit	9
Gambar 3 Profil nikel tipe <i>hydrous silicate deposits</i>	10
Gambar 4 Profil nikel tipe <i>clay silicate deposits</i>	11
Gambar 5 Profil nikel tipe <i>oxide deposits</i>	11
Gambar 6 Hubungan topografi terhadap laterisasi.....	13
Gambar 7 Hubungan antara kemiringan topografi dengan ketebalan zona laterit.	14
Gambar 8 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral	16
Gambar 9 Estimasi sumberdaya dengan metode IDW	19
Gambar 10 Hasil penaksiran dengan blok model	20
Gambar 11 Estimasi sumberdaya dengan metode NNP	22
Gambar 12 Peta tunjuk lokasi penelitian	23
Gambar 13 Peta izin usaha pertambangan PT Tiran Indonesia	24
Gambar 14 Morfologi pada daerah penelitian	24
Gambar 15 Data topografi dalam bentuk DTM	28
Gambar 16 Klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidan	29
Gambar 17 <i>Report database</i> yang telah diimport	30
Gambar 18 <i>Drillhole</i> kemiringan lereng 2 – 4°	31
Gambar 19 <i>Drillhole</i> kemiringan lereng 4 – 8°	31
Gambar 20 <i>Drillhole</i> kemiringan lereng 8 – 16°	31
Gambar 21 <i>String top</i> limonit kemiringan lereng 2 – 4°	32
Gambar 22 <i>String top</i> saprolit kemiringan lereng 2 – 4°	33
Gambar 23 <i>String bottom</i> saprolit kemiringan lereng 2 – 4°	33
Gambar 24 <i>String top</i> limonit kemiringan lereng 4 – 8°	33
Gambar 25 <i>String top</i> saprolit kemiringan lereng 4 – 8°	34
Gambar 26 <i>String bottom</i> saprolit kemiringan lereng 4 – 8°	34
Gambar 27 <i>String top</i> limonit kemiringan lereng 8 – 16°	34
Gambar 28 <i>String top</i> saprolit kemiringan lereng 8 – 16°	35
Gambar 29 <i>String bottom</i> saprolit kemiringan lereng 8 – 16°	35
Gambar 30 DTM zona limonit kemiringan lereng 2 – 4°	36
Gambar 31 DTM zona saprolit kemiringan lereng 2 – 4°	36
Gambar 32 DTM zona limonit kemiringan lereng 4 – 8°	36
Gambar 33 DTM zona saprolit kemiringan lereng 4 – 8°	37
Gambar 34 DTM zona limonit kemiringan lereng 8 – 16°	37
Gambar 35 DTM zona saprolit kemiringan lereng 8 – 16°	37
Gambar 36 Komposit titik bor kemiringan lereng 2 – 4°	38
Gambar 37 Komposit titik bor kemiringan lereng 4 – 8°	38
Gambar 38 Komposit titik bor kemiringan lereng 8 – 16°	38
Gambar 39 Proses pembuatan peta sebaran kadar Ni	39
Gambar 40 <i>Block model</i> kemiringan lereng 2 – 4°	39
Gambar 41 <i>Block model</i> kemiringan lereng 4 – 8°	40
Gambar 42 <i>Block model</i> kemiringan lereng 8 – 16°	40
Gambar 43 Hasil <i>constraint</i> lapisan limonit kemiringan 8 – 16°	41
Gambar 44 Hasil <i>constraint</i> lapisan saprolit kemiringan 8 – 16°	41

Gambar 45 Hasil <i>constraint</i> lapisan <i>bedrock</i> kemiringan 8 – 16°	41
Gambar 46 Kolom atribut telah terbentuk	42
Gambar 47 Memasukkan nilai densitas pada <i>assign value</i>	43
Gambar 48 Atribut telah terisi.....	43
Gambar 49 Bagan alir penelitian.....	44
Gambar 50 Kenampakan kemiringan lereng tipe I	45
Gambar 51 kenampakan kemiringan lereng tipe II.....	45
Gambar 52 Kenampakan kemiringan lereng tipe III.....	46
Gambar 53 Peta sebaran titik bor berdasarkan kemiringan lereng	47
Gambar 54 Analisis regresi linear kemiringan lereng terhadap ketebalan zona laterit	48
Gambar 55 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona limonit kemiringan tipe I.....	50
Gambar 56 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona limonit kemiringan tipe II	51
Gambar 57 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona limonit kemiringan tipe III.....	51
Gambar 58 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona saprolit kemiringan tipe I.....	52
Gambar 59 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona saprolit kemiringan tipe II	53
Gambar 60 Analisis korelasi kadar Ni dengan kedalaman zona saprolit kemiringan tipe III.....	53
Gambar 61 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe I.....	55
Gambar 62 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe I.....	55
Gambar 63 Penyebaran Kadar Ni lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe I	56
Gambar 64 Penyebaran Kadar Ni lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe I	56
Gambar 65 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe II.....	57
Gambar 66 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe II.....	57
Gambar 67 Penyebaran Kadar Ni lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe II.....	58
Gambar 68 Penyebaran kadar Ni lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe II.....	58
Gambar 69 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe III	59
Gambar 70 Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe III	59
Gambar 71 Penyebaran kadar Ni lapisan limonit dengan metode IDW kemiringan Tipe III.....	60
Gambar 72 Penyebaran kadar Ni lapisan saprolit dengan metode IDW kemiringan Tipe III.....	60

Gambar 73	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe I.....	62
Gambar 74	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe I.....	62
Gambar 75	Penyebaran kadar Ni lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe I.....	63
Gambar 76	Penyebaran kadar Ni lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe I.....	63
Gambar 77	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe II.....	64
Gambar 78	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe II.....	64
Gambar 79	Penyebaran Kadar Ni lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe II.....	65
Gambar 80	Penyebaran Kadar Ni lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe II.....	65
Gambar 81	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe III.....	66
Gambar 82	Klasifikasi material <i>ore</i> dan <i>waste</i> lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe III.....	66
Gambar 83	Penyebaran kadar Ni lapisan limonit dengan metode NNP kemiringan Tipe III.....	67
Gambar 84	Penyebaran kadar Ni lapisan saprolit dengan metode NNP kemiringan Tipe III.....	67
Gambar 85	Perbandingan kadar lubang bor dan kadar hasil estimasi metode IDW.....	69
Gambar 86	Perbandingan kadar lubang bor dan kadar hasil estimasi metode NNP.....	70
Gambar 87	Ketebalan semu (<i>apparent thickness</i>) dan ketebalan sebenarnya (<i>true thickness</i>).....	73
Gambar 88	Ilustrasi mencari ketebalan sebenarnya kemiringan Lereng Tipe I....	73
Gambar 89	Ilustrasi mencari ketebalan sebenarnya kemiringan Lereng Tipe II..	74
Gambar 90	Ilustrasi mencari ketebalan sebenarnya kemiringan Lereng Tipe III.	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Keseimbangan antara tingkat lereng topografi dan erosi laterit	12
Tabel 2 Klasifikasi kemiringan lereng	13
Tabel 3 Contoh data <i>assay</i>	26
Tabel 4 Contoh data <i>collar</i>	26
Tabel 5 Contoh data <i>survey</i>	27
Tabel 6 Contoh data <i>geology</i>	27
Tabel 7 Format data titik bor.....	29
Tabel 8 Persebaran titik bor berdasarkan kemiringan lereng.....	46
Tabel 9 Hasil rata-rata ketebalan zona laterit berdasarkan kemiringan lereng	47
Tabel 10 Pedoman interpretasi terhadap koefisien korelasi.....	49
Tabel 11 Data <i>report</i> estimasi dengan metode IDW kemiringan lereng Tipe I....	56
Tabel 12 Data <i>report</i> estimasi dengan metode IDW kemiringan lereng Tipe II ..	59
Tabel 13 Data <i>report</i> estimasi dengan metode IDW kemiringan lereng Tipe III .	61
Tabel 14 Data <i>report</i> estimasi dengan metode NNP kemiringan lereng Tipe I....	63
Tabel 15 Data <i>report</i> estimasi dengan metode NNP kemiringan lereng Tipe II ..	66
Tabel 16 Data <i>report</i> estimasi dengan metode NNP kemiringan lereng Tipe III..	68
Tabel 17 Perbandingan hasil estimasi metode IDW dan NNP kemiringan Tipe I	68
Tabel 18 Perbandingan hasil estimasi metode IDW dan NNP kemiringan Tipe II.....	68
Tabel 19 Perbandingan hasil estimasi metode IDW dan NNP kemiringan Tipe III	69
Tabel 20 Perbandingan rata-rata kadar Ni tiap tipe kemiringan lereng	71

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Z	Kadar taksiran (%)
n	Jumlah data
i	Kadar ke-i
d _i	Spasi antara titik takiran dengan titik ke-i yang ditaksir
k	Pangkat (<i>script</i>)
Z _i	Kadar awal (%)
G	Kadar taksiran
G _i	Kadar titik pada jarak sejauh D
D _i	Jarak dari titik yang diinginkan
TT	<i>True Thickness</i> (m)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Klasifikasi Kemiringan Lereng.....	82
Lampiran 2 Peta Sebaran Kadar Ni Kemiringan Tipe I.....	84
Lampiran 3 Peta Sebaran Kadar Ni Kemiringan Tipe II.....	87
Lampiran 4 Peta Sebaran Kadar Ni Kemiringan Tipe III	90
Lampiran 5 Contoh Data Titik Bor	93
Lampiran 6 Kartu Konsultasi Tugas Akhir	98

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Nikel Laterit dengan Metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* Berdasarkan Pengaruh Kemiringan Lereng (Studi Kasus: Blok X, PT Tiran Indonesia, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara)” kiranya dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai syarat mendapatkan gelar sarjana di Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak serta berkat dari Tuhan Yang Maha Esa, penulis dapat melalui dan mengatasi kendala-kendala tersebut.

Penyusunan tugas akhir tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari orang-orang hebat yang telah memfasilitasi penulis mulai dari tahap pengumpulan data hingga selesai. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Muhammad Saleh, S.T. selaku Kepala Teknik Tambang PT Tiran Indonesia, Bapak Sunaryo Sadli, S.T. selaku *Supervisor* MPE, Ibu Mecky Mantung, S.T. selaku *Officer* MPE dan Bapak Muh. Dzul Fahmi Rusli, S.T. selaku *Geologist* serta seluruh tim divisi *Mine Plan Engineer* (MPE) PT Tiran Indonesia yang telah memberikan bimbingan, pengalaman dan kesempatan kepada penulis untuk melakukan pengambilan data tugas akhir.

Terima kasih pula penulis ucapkan kepada Ibu Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin, segenap dosen serta staf administrasi yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi penulis.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. phil. nat. Sri Widodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran serta memberikan ilmu yang bermanfaat dan motivasi bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Ibu Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. dan Bapak

Akmal Saputno, S.T., M.T. selaku dosen penguji atas saran dan masukan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Terima kasih sedalam-dalamnya kepada orangtua, Bapak Daniel Duma, S.E dan Ibu Bertha Kasmawany, S.E atas segala doa, rasa cinta dan semua yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Terima kasih penulis ucapkan kepada kakak penulis Jesicha Aulia atas dukungan dan semangat yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Terima kasih penulis haturkan kepada Kanda Muh. Alfian Lasefeati, S.T. atas segala bantuan dan saran yang diberikan kepada penulis.

Terima kasih buat seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Pertambangan Angkatan 2019 (Igneouz) atas masa-masa indah yang telah dilalui bersama, begitu banyak cerita dan kenangan yang takkan mungkin dilupakan, terima kasih atas dukungan selama melaksanakan perkuliahan dan dalam penyusunan tugas akhir. Terima kasih khususnya pada anggota Laboratorium Eksplorasi Mineral atas masukan, dukungan dan persaingan yang terjalin dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbatasan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran serta kritik yang membangun sehingga kedepannya kekurangan dan keterbatasan yang diperoleh dapat diminimalisir. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan dengan harapan semoga tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kemajuan dan keberlangsungan ilmu pengetahuan.

Gowa, 19 Oktober 2023

Cynthia Bella Pratiwi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan sumberdaya mineral yang cukup tinggi, terkhususnya pada endapan nikel laterit. Hal ini menyebabkan Indonesia sebagai negara penghasil nikel terbesar kedua dunia yang memberikan sumbangan sekitar 15% dari jumlah produksi nikel dunia setiap tahunnya (Fitrian, 2011). Nikel menempati urutan kedua setelah mangan yang merupakan bahan paduan logam, dimana keberadaannya diperkirakan 3% dalam inti bumi dan 0,003% dalam kerak bumi (Thamsi, 2023). Salah satu daerah yang memiliki cadangan nikel laterit terbesar di Indonesia adalah Provinsi Sulawesi Tenggara. Berdasarkan kondisi geologi serta iklimnya, daerah Sulawesi Tenggara termasuk daerah yang beriklim tropis dan memiliki banyak singkapan batuan beku ultramafik, sehingga menjadikan daerah ini sangat berpotensi sebagai penghasil nikel laterit terbesar di Indonesia.

Nikel laterit merupakan bahan galian yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lunak tetapi akan menjadi baja keras tahan karat jika digabungkan dengan besi, krom dan logam lainnya. Gabungan tersebut banyak diimplementasikan pada peralatan dapur seperti sendok dan peralatan masak, alat-alat laboratorium, ornamen rumah dan gedung serta komponen-komponen industri lainnya (Sundari, 2012).

Nikel laterit terbentuk dari hasil pelapukan kimia pada batuan ultramafik yang berlangsung selama jutaan tahun. Salah satu faktor pembentukan dan penyebaran nikel laterit dipengaruhi oleh kondisi kemiringan lereng yang dapat mempengaruhi tingkat pelapukan sehingga berdampak pada ketebalan, distribusi kadar dan pengayaan unsur maupun senyawa endapan nikel laterit. Menurut Syafrizal, 2009 bahwa semakin tinggi derajat kemiringan lereng maka semakin kecil distribusi endapan nikel laterit dalam proses pengendapannya, sebaliknya semakin rendah derajat kemiringan lereng maka semakin tinggi derajat persentase distribusi endapan nikel laterit. Kemiringan lereng sangat penting diketahui dalam menentukan persentase keberadaan kadar serta ketebalan endapan nikel laterit

sebagai salah satu perencanaan eksplorasi serta eksploitasi dalam rangka meningkatkan hasil produksi penambangan. Sebelum melakukan penambangan, diperlukan estimasi untuk dapat menghitung sumberdaya sebelum proses penambangan berlangsung.

Estimasi sumberdaya berperan penting dalam menentukan kualitas dan kuantitas dari suatu endapan. Sebab hasil estimasi yang baik dan akurat yang sesuai dengan keberadaannya di lapangan dapat menentukan investasi yang akan ditanam sebagai modal dalam usaha penambangan, cara penambangan bahkan dalam memperkirakan waktu yang akan dibutuhkan dalam melaksanakan usaha penambangan. Untuk mengetahui besaran potensi nikel laterit suatu daerah, ada beberapa metode estimasi yang dapat digunakan, dimana setiap metode estimasi akan memberikan hasil interpolasi yang berbeda (Fitrian, 2011). Menurut Rustam, 2017 bahwa akan menjadi lebih mudah dan bermanfaat apabila dalam melakukan estimasi sumberdaya digunakan metode yang berbeda sehingga hasil interpolasi tersebut dapat memberikan pertimbangan dalam memilih metode yang tepat.

Perhitungan estimasi sumberdaya pada penelitian ini menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point*. Pemilihan kedua metode ini berdasarkan adanya kemiringan lereng yang digunakan pada penelitian ini. Dimana kedua metode ini dapat mencakup daerah yang tidak tersampel karena adanya kemiringan yang sulit dijangkau dalam melakukan kegiatan pemboran sehingga spasi titik bor yang ada tidak tersebar secara merata. Metode ini memiliki perhitungan yang lebih sederhana dan mudah dipahami serta memiliki tingkat akurasi yang baik, khususnya digunakan pada endapan yang tidak homogen seperti nikel laterit.

Penelitian dilakukan di Blok X yang berada pada Wilayah Izin Usaha Pertambangan milik PT Tiran Indonesia. Blok X memiliki luas 53, 8 ha, dimana secara regional termasuk kedalam satuan morfologi pegunungan yang terbentuk oleh kompleks batuan ultramafik. Berdasarkan kenampakan di lapangan, morfologi didominasi oleh perbukitan bergelombang dan pedataran dengan bentuk topografi berupa lereng datar hingga curam dengan kontur tertinggi berada pada 555 mdpl dan kontur terendah berada pada 165 mdpl. Secara geologi keberadaan daerah

penelitian memiliki berbagai tipe kemiringan lereng yang dapat mempengaruhi pembentukan nikel laterit pada kemiringan lereng yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian mengenai estimasi sumberdaya dengan mempertimbangkan salah satu faktor pembentukan nikel laterit yaitu kondisi kemiringan lereng, sehingga penelitian ini dilaksanakan dengan mengangkat judul “Estimasi Sumberdaya Terukur Endapan Nikel Laterit dengan Metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* Berdasarkan Pengaruh Kemiringan Lereng”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kemiringan lereng terhadap ketebalan zona endapan nikel laterit?
2. Bagaimana tingkatan hubungan kedalaman zona endapan terhadap kadar nikel laterit pada setiap tipe kemiringan lereng?
3. Berapa total volume dan tonase sumberdaya nikel laterit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* dengan mempertimbangkan pengaruh kemiringan lereng?
4. Berapa selisih hasil estimasi sumberdaya nikel laterit dengan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* serta faktor penyebab perbedaan hasil estimasi sumberdaya dengan kedua metode tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh kemiringan lereng terhadap ketebalan zona endapan nikel laterit.
2. Menganalisis tingkatan hubungan kedalaman zona endapan terhadap kadar nikel laterit pada setiap tipe kemiringan lereng.
3. menghitung total volume dan tonase sumberdaya nikel laterit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* dengan mempertimbangkan pengaruh kemiringan lereng.

4. Menganalisis selisih dan faktor penyebab selisih hasil estimasi sumberdaya menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point* serta dapat memberikan rekomendasi kemiringan lereng dan metode yang lebih presisi dalam melakukan estimasi sumberdaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Perusahaan

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan kepada perusahaan dalam memilih metode estimasi sumberdaya yang efektif sehingga dapat menguntungkan bagi perusahaan dengan mempertimbangkan pengaruh kemiringan lereng.

2. Bagi Akademi

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam menambah wawasan mengenai metode estimasi sumberdaya terukur endapan nikel laterit menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point*.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini secara khusus membahas mengenai estimasi sumberdaya nikel laterit untuk mengetahui volume dan tonase serta kadar dari daerah penelitian dengan menggunakan metode *Inverse Distance Weighting* dan *Nearest Neighbour Point*. Estimasi sumberdaya mempertimbangkan kondisi kemiringan lereng. Penelitian ini menggunakan data topografi dan *database* hasil pengeboran berjumlah 25 data titik bor dengan rata-rata jarak spasi titik bor yaitu 25 m. Pengolahan data menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*, *Surpac 6.6.2* dan *ArcGis 10.3*. Analisis yang digunakan yaitu analisis regresi linear untuk mengetahui besarnya pengaruh antara variabel kemiringan lereng dengan ketebalan nikel laterit dan analisis korelasi digunakan untuk mengetahui tingkatan hubungan antara variabel kedalaman dengan kadar Ni. Pembatasan ruang lingkup pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih terarah dan terfokus pada penelitian yang dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit

Laterit adalah produk sisa pelapukan kimia batuan di permukaan bumi yang didalamnya terdapat mineral yang tidak stabil karena adanya air, sehingga memungkinkan mineral tersebut larut atau hancur dan membentuk mineral baru yang lebih stabil (Fitrian, 2011). Nikel laterit adalah produk laterisasi batuan yang kaya Mg atau ultramafik yang memiliki kandungan Ni primer 0,2 – 0,4% (Thamsi, 2023). Batuan ini umumnya seperti dunit, harzburgit dan peridotit yang berada di kompleks ofiolit dan lapisan batuan intrusi mafik-ultramafik (Brand et al., 1998). Proses laterisasi akan menghasilkan konsentrasi 3 sampai 30 kali kandungan nikel dan kobalt dari batuan induk. Proses dan karakter laterit yang dihasilkan dikendalikan oleh faktor-faktor dinamis seperti iklim, topografi, tektonik, tipe dan struktur batuan primer (Elias, 2002).

Bijih nikel laterit banyak ditemukan di belahan bumi dengan iklim tropis atau subtropis, terdiri dari batuan ultramafik yang mengalami pelapukan kimiawi yang kemudian membentuk lapisan-lapisan seperti limonit, saprolit dan batuan dasar (*bedrock*). Dari ketiga lapisan tersebut, lapisan limonit hanya dianggap sebagai *waste* atau lebih dikenal dengan lapisan tanah penutup (*overburden*) sedangkan saprolit merupakan lapisan yang paling banyak ditambang untuk diolah menjadi bijih nikel ekonomis. Nikel laterit ditemukan pada permukaan tanah yang relatif dangkal pada kedalaman sekitar 6 – 15 meter, namun dapat mencapai 60 meter di bawah permukaan tanah. Pembentukan bijih nikel laterit dapat berlangsung lebih dari satu juta tahun.

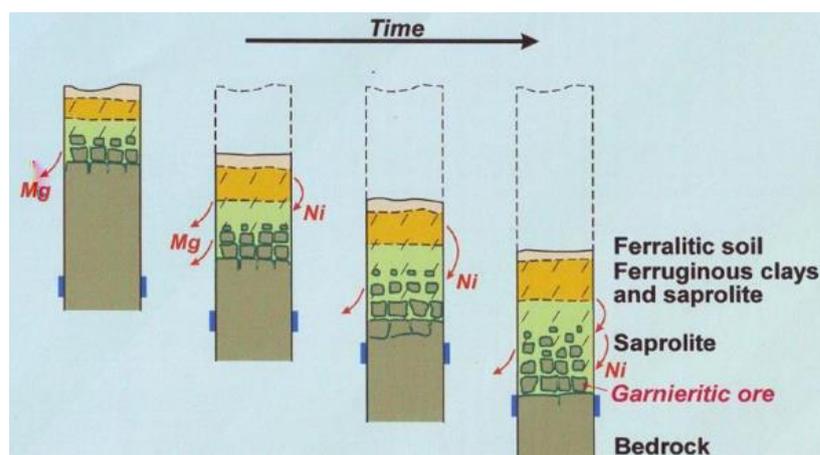
2.1.1 Pembentukan Endapan Nikel Laterit

Endapan nikel laterit adalah hasil laterisasi batuan ultramafik yang mengandung nikel seperti peridotit dan serpentinit. Hal ini dapat berlangsung karena adanya air permukaan yang bersifat asam sehingga dapat melarutkan nikel, magnesium dan silikon yang terkandung dalam batuan dasar. Berbeda dengan nikel sulfida yang ditemukan pada kedalaman ratusan meter di bawah permukaan tanah, nikel laterit

terdapat pada kedalaman yang relatif lebih dangkal, yaitu sekitar 15 – 20 meter di bawah permukaan tanah. Endapan nikel laterit cenderung berkadar rendah dengan jumlah yang melimpah.

Proses pembentukan nikel laterit diawali dengan proses laterisasi dari infiltrasi air hujan yang bersifat asam masuk ke zona retakan, kemudian melarutkan mineral yang mudah larut pada batuan dasar. Mineral dengan densitas tinggi akan tetap berada di permukaan membentuk pengkayaan residual, sedangkan mineral yang mudah larut akan turun ke bawah membentuk zona akumulasi dengan pengayaan supergen dimana fluktuasi air tanah berlangsung (Asy'ari dkk., 2013). Akibat fluktuasi ini, air tanah yang kaya akan CO_2 akan kontak dengan zona saprolit yang masih mengandung batuan asal dan melarutkan mineral-mineral yang tidak stabil seperti olivin, serpentin dan piroksin dan terbawa sesuai dengan aliran air tanah lalu akan membentuk mineral-mineral baru pada proses pengendapan kembali (Elias, 2002).

Boldt (1967), menyatakan bahwa proses pelapukan dimulai pada batuan ultrabasa (peridotit, dunit, serpentin), dimana pada batuan ini banyak mengandung mineral olivin, magnesium silikat dan besi silikat yang pada umumnya banyak mengandung 0,30% Nikel. Menurut Golightly (1981), beberapa unsur Ca, Mg dan Si akan mengalami dekomposisi dan beberapa terkayakan secara supergen seperti unsur Ni, Mn, Co, Zn atau terkayakan secara relatif seperti unsur Fe, Cr, Al, Ti, S dan Cu. Proses pembentukan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Proses pembentukan nikel laterit (Freyssinet et al, 2005)

Pembentukan nikel laterit dipengaruhi oleh beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan nikel laterit adalah (Ahmad, 2008):

1. Batuan Asal

Batuan asal dari nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Batuan ultrabasa mempunyai komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel serta mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil.

2. Iklim

Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah pelapukan pada batuan. Curah hujan akan mempengaruhi jumlah air yang melewati tanah yang akan menyebabkan intensitas pelarutan dan perpindahan komponen dapat dilautkan.

3. Reagen-Reagen Kimia

Reagen-reagen kimia membantu dalam mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia.

4. Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi 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 batuan. Pada daerah yang curam, secara teoritis jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

5. Waktu

Terbentuknya endapan nikel laterit membutuhkan waktu yang lama. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

6. Struktur

Adanya rekahan dan patahan akan mempermudah rembesan air ke dalam tanah dan mempercepat proses pelapukan terhadap batuan induk. Selain itu rekahan dan patahan dapat pula berfungsi sebagai tempat pengendapan larutan-larutan yang mengandung nikel (Ni) sebagai *vein*.

2.1.2 Profil Endapan Nikel Laterit

Berdasarkan proses pembentukannya, endapan nikel laterit terbagi menjadi beberapa zona dengan ketebalan dan kadar yang bervariasi. Daerah yang mempunyai intensitas pengkekarannya yang intensif kemungkinan akan mempunyai profil lebih tebal dibandingkan dengan yang pengkekarannya kurang intensif. Perbedaan intensitas inilah yang menyebabkan ketidakteraturan dari distribusi pengayaan unsur-unsur pada profil laterit, karena pembentukan endapan laterit sangat tergantung pada faktor-faktor batuan dasar (*bedrock*), laju pelapukan, struktur geologi, iklim, topografi, reagen-reagen kimia dan vegetasi, serta waktu (Syafrizal dkk., 2011). Profil endapan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2. Berikut susunan stratigrafi endapan nikel laterit dan dideskripsikan dari bawah ke atas yang merupakan urutan aktual pembentukan endapan nikel laterit (Kadarusman dkk., 2004):

1. *Bedrock*

Terletak di bagian paling bawah dari profil laterit yang berbentuk bongkah berukuran >75 cm. Zona batuan dasar menandai batuan ultrabasa asli yang belum terpengaruh oleh proses pelapukan. Air tanah yang terserap telah kehilangan hampir semua keasamannya pada saat mencapai zona batuan dasar dan dengan demikian tidak mampu masuk ke tingkat komponen mineral yang signifikan. Secara umum kadar nikel pada zona ini kecil sekitar 0,2 – 0,4%.

2. Saproilit

Terletak di atas batuan dasar, zona saproilit terdiri dari batuan yang sebagian telah benar-benar terurai di bawah pengaruh pelapukan. Bijih saproilit memiliki kandungan nikel lebih tinggi daripada yang terdapat pada lapisan limonit, yaitu sekitar 1,5 – 3%. Kandungan magnesium dan silika juga lebih tinggi, namun kadar besinya rendah. Menurut (Ahmad, 2006) zona saproilit terbagi atas 2 lapisan berdasarkan tingkat pelapukannya yaitu:

- a. *Soft* Saproilit tinggi akan tingkat pelapukan hingga menghasilkan ciri-ciri yang hampir menyerupai limonit.
- b. *Rocky* Saproilit tingkat pelapukannya lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada lapisan *soft* saproilit.

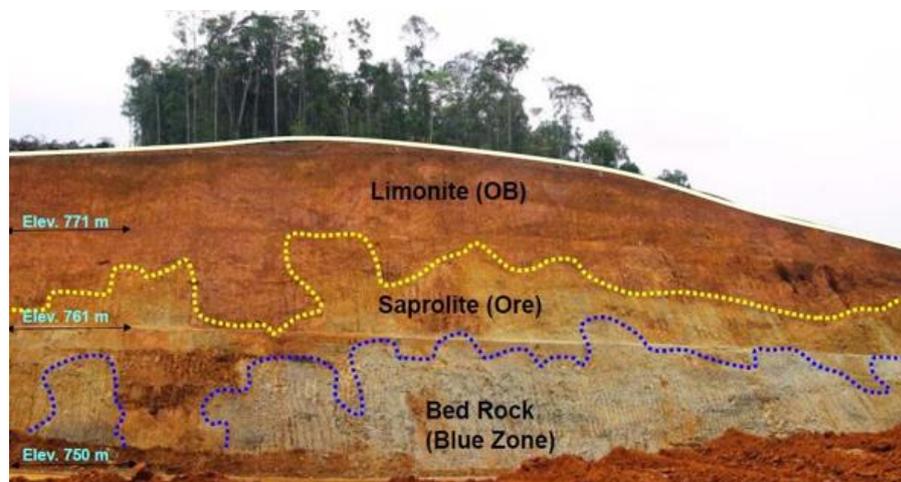
3. Limonit

Akar tumbuhan banyak terdapat pada zona limonit, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Keberadaan fragmen batuan ultrabasa tidak dominan atau hampir tidak ada pada zona ini, umumnya mineral-mineral batuan ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum sempurna (Elias, 2002). Zona limonit merupakan lapisan kaya besi sekitar 40 – 50%, berukuran halus dan berwarna coklat kemerahan atau kekuningan. Limonit dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. *Red Limonit* yang biasa disebut hematit dan merupakan zona yang mengandung pengayaan besi residual pada profil laterit yang utamanya disusun oleh oksida besi terhidrasi.
- b. *Yellow Limonit* yang disebut zona transisi terdapat mineral *goethite*, smektit dan silika biasanya pada goetit nikel berasosiasi dengan Fe dan mengganti unsur Fe sehingga pada zona limonit terjadi pengayaan unsur Ni.

4. Zona Tanah Penutup (*Overburden*)

Zona ini memiliki kadar nikel yang sangat rendah sehingga tidak digunakan untuk penambangan. Zona ini terdiri dari akar tumbuhan, humus, oksida besi dan residu organik lainnya. Lapisan ini memiliki kandungan besi yang cukup tinggi sekitar >50% dan kandungan nikel yang rendah < 0,6% atau merupakan nikel residu yang dapat terbentuk di bagian atas dari profil dan melindungi lapisan nikel laterit di bawahnya. Pada lapisan ini terkandung hematit dan kromiferus (Elias, 2002).



Gambar 2 Profil endapan nikel laterit (Ahmad, 2008)

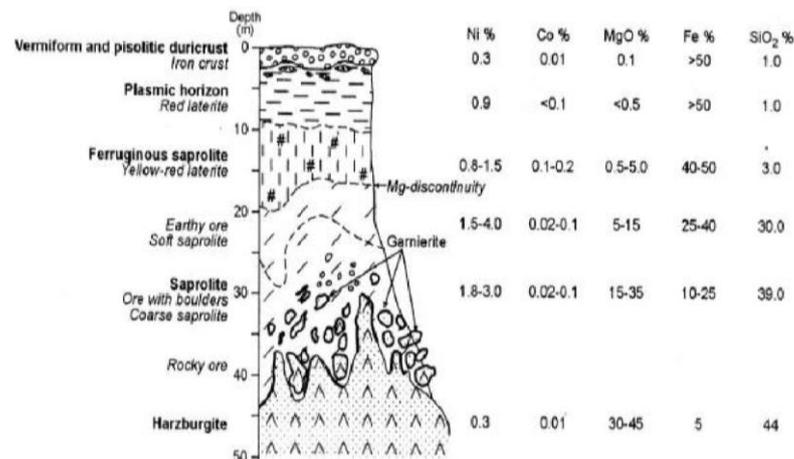
Kenampakan setiap zona dapat dilihat dari kenampakan fisiknya yaitu dari lapisan bawah ke atas yaitu batuan dasar diikuti lapisan tengah saprolit dan lapisan atas limonit. Kenampakan dari setiap lapisan terlihat jelas dengan batas yang tidak beraturan. Ketebalan lapisan limonit umumnya bervariasi namun cenderung lebih tipis dibandingkan dengan zona saprolit (Sufriadin & Mulyono, 2013).

2.1.3 Klasifikasi Endapan Nikel Laterit

Secara mineralogi nikel laterit dapat dibagi dalam tiga kategori yaitu (Brand, 1998):

1. *Hydrous Silicate Deposits*

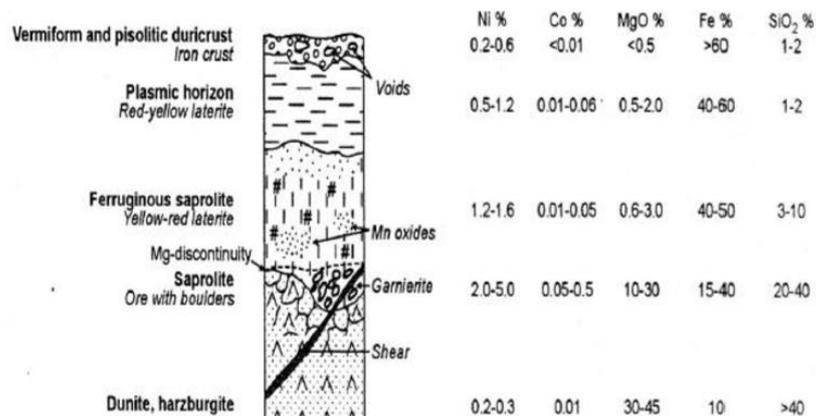
Pada endapan tipe *hydrous silicate* bagian bawah zona saprolit didominasi oleh mineral *hydrous* Mg – Ni silikat pada zona saprolit, urat-urat halus atau *box-work* dapat terbentuk. Pada endapan tipe *hydrous silicate*, posisi muka air tanah relatif dalam, kondisi ini menyebabkan infiltrasi air yang dalam sehingga nikel lebih banyak terakumulasi pada zona saprolit bagian bawah. Profil dari nikel tipe *hydrous silicate deposits* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Profil nikel tipe *hydrous silicate deposits* (Freyssinet et al, 2005)

2. *Clay Silicate Deposits*

Silika (Si) dari profil laterit, pada tipe ini hanya sebagian yang terlindungi oleh air tanah. Silika yang tersisa bersama dengan Fe, Ni dan Al membentuk mineral lempung seperti *Ni-rich nontronite* pada bagian tengah sampai dengan bagian atas zona saprolit. Secara umum, kadar nikel rata-rata pada endapan ini lebih rendah dibandingkan dengan tipe *clay silicate deposits* yang dapat dilihat pada Gambar 4.

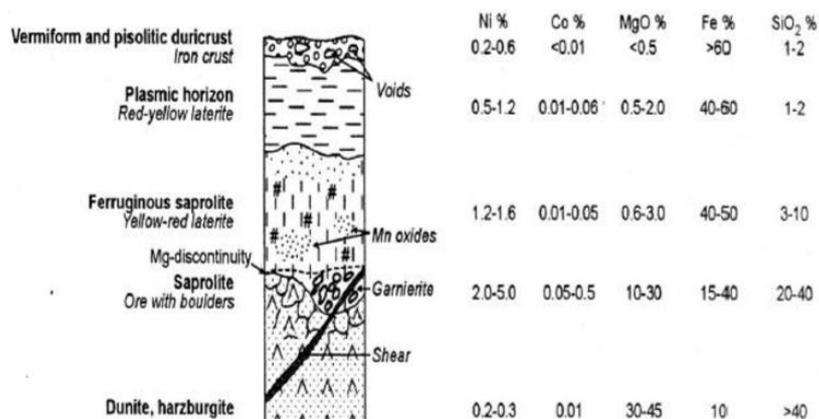


Gambar 4 Profil nikel tipe *clay silicate deposits* (Freyssinet et al, 2005)

Pada endapan tipe *clay deposit*, posisi muka air tanah awal relatif lebih dangkal dan drainase terhambat, kondisi ini menyebabkan lapisan limonit lebih sering terendam air sehingga terbentuk lapisan lempung.

3. *Oxide Deposits*

Kadar Ni rata-rata pada endapan ini lebih rendah 1.0 – 1.6%, sehingga memiliki nilai ekonomis yang kurang baik. Profil dari nikel tipe *oxide deposits* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Profil nikel tipe *oxide deposits* (Freyssinet et al, 2005)

Pada endapan *oxide deposits* posisi muka air tanah relatif dangkal dan drainasenya tidak terhambat (infiltrasi air lancar) sehingga Ni lebih banyak terakumulasi pada zona limonit sampai saprolit bagian atas.

2.2 Pengaruh Topografi Terhadap Pembentukan Nikel Laterit

Topografi akan memberikan pengaruh dalam pembentukan laterit diantaranya yaitu (Ahmad, 2006):

1. Proses penyerapan air dengan topografi curam, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap, sedangkan pada lereng yang lebih rendah air hujan memiliki peluang untuk menembus tanah dan mengadakan penetrasi lebih dalam.
2. Tingkat drainase bawah permukaan dan pembuangan bahan terlarut, daerah curam akan menghasilkan drainase yang lebih baik dari pada dataran rendah dan datar.
3. Laju erosi yang tinggi terus mengekspos permukaan baru terhadap pelapukan kimia dan terus menghilangkan akumulasi residu.

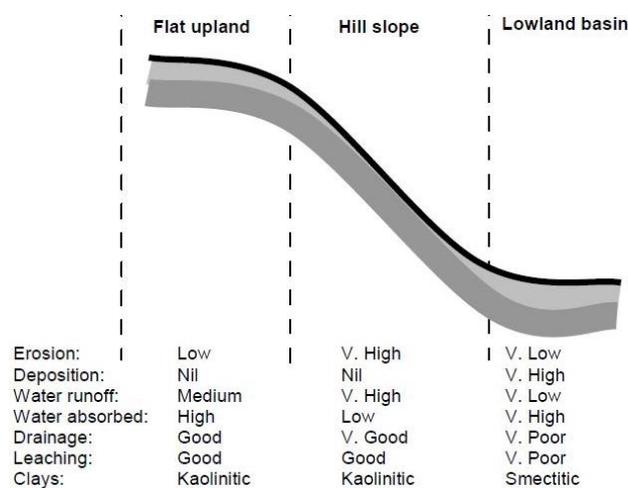
Dapat dilihat pada Tabel 1 yang menggambarkan secara kualitatif efek pembentukan laterit yang berhubungan dengan tingkat lereng topografi (Ahmad, 2006):

	Daerah datar ketinggian	Lereng yang sangat curam	Kemiringan sederhana	Daerah datar lebih rendah
Pemindahan bahan terlarut	Sedang	Rendah	Baik sekali	Rendah
Akumulasi bersih residu <i>in-situ</i>	Tinggi, karena pembentukan laterit yang tinggi dan erosi yang rendah	Rendah (tingkat pembentukan rendah; tingkat pemindahan tinggi)	Rendah ke sedang (tingkat pembentukan tinggi; tingkat pemindahan sedang)	Tinggi (tingkat pembentukan dan pemindahan rendah; tingkat tingkat pengendapan tinggi)
Penyerapan air hujan	Tinggi	Sangat sedikit	Sedang	Tinggi
Akumulasi laterit yang diangkut	Tidak ada	Tidak ada	Dapat menebal di sisi bukit	Sangat signifikan

	Daerah datar ketinggian	Lereng yang sangat curam	Kemiringan sederhana	Daerah datar lebih rendah
Erosi residu	Rendah	Sangat tinggi	Sedang	Sangat rendah

Sumber: Ahmad (2006)

Topografi dan laju pelapukan kimia pada akhirnya mengontrol ketebalan profil. Hubungan persen topografi dengan ketebalan zona endapan laterit memperlihatkan bahwa ketebalan zona limonit akan berbanding terbalik dengan kondisi kemiringan topografi (Syafrizal, 2009). Pada Gambar 6 dapat dilihat hubungan kemiringan topografi terhadap proses laterisasi (Ahmad, 2006).



Gambar 6 Hubungan topografi terhadap laterisasi (Ahmad, 2006)

Kemiringan lereng menunjukkan besarnya sudut yang terbentuk dari perbedaan ketinggian sebuah bentang alam, yang biasanya disajikan dalam satuan persentase atau derajat. Untuk daerah yang relatif datar (*flat*) biasanya memiliki nilai kemiringan lereng yang kecil, sedangkan untuk daerah yang berupa dataran tinggi terjal memiliki nilai kemiringan lereng yang tinggi. Sistem klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1985) dikelompokkan dalam tujuh kategori umum yang dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah.

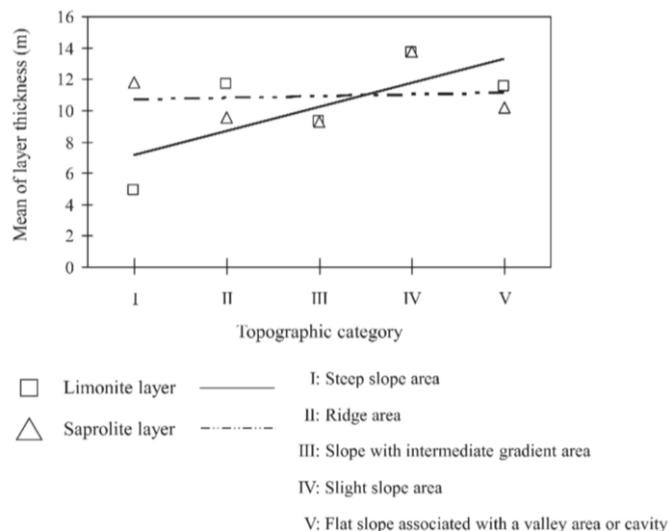
Tabel 2 Klasifikasi kemiringan lereng

Klasifikasi	Kemiringan		Beda Tinggi (m)	Warna
	Persen (%)	Derajat (°)		
Datar	0 – 2	0 – 2	< 5 m	Hijau
Agak Landai	2 – 7	2 – 4	5 – 25 m	Hijau Muda
Landai	7 – 15	4 – 8	25 – 75 m	Kuning

Klasifikasi	Kemiringan		Beda Tinggi (m)	Warna
	Persen (%)	Derajat (°)		
Agak Curam	15 – 30	8 – 16	75 – 200 m	Jingga
Curam	30 – 70	16 – 35	200 – 500 m	Merah Muda
Terjal	70 – 140	35 – 55	500 – 1000 m	Merah
Sangat Terjal	>140	>55	>1000 m	Ungu

Sumber: Van Zuidam (1985)

Beberapa peneliti yang melakukan penelitian mengenai hubungan topografi terhadap ketebalan zona laterit di antaranya adalah (Ilyas, et al) pada daerah sorowako. Hasil hubungan ketebalan zona laterit dengan topografi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hubungan antara kemiringan topografi dengan ketebalan zona laterit (Ilyas, 2016)

Gambar diatas menunjukkan bahwa ketebalan zona limonit cenderung meningkat pada topografi yang landai dan cenderung menipis pada topografi yang curam, seperti yang ditunjukkan oleh garis regresi sedangkan ketebalan zona saprolit tidak berkorelasi dengan kemiringan topografi (Ilyas, 2016).

2.3 Klasifikasi Sumberdaya Mineral

Berdasarkan Kode KCMII (2017), sumberdaya mineral adalah suatu konsentrasi dari material yang memiliki nilai ekonomi dengan bentuk, kualitas dan kuantitas tertentu yang memiliki keprospekkan yang beralasan untuk pada akhirnya dapat

diekstraksi secara ekonomis. Aspek yang perlu diketahui dalam sumberdaya mineral yaitu lokasi, kuantitas, kadar, karakteristik geologi dan kemenerusan, sehingga dapat dilakukan estimasi atau interpretasi berdasarkan bukti-bukti dan pengetahuan geologi yang spesifik, termasuk pengambilan contohnya. Sumberdaya mineral dikelompokkan berdasarkan tingkat keyakinan geologinya ke dalam kategori tereka, tertunjuk dan terukur (KCMI, 2017).

1. Sumberdaya mineral tereka

Sumberdaya mineral tereka yaitu apabila pemboran/*sampling* dilakukan dengan jarak spasi yang lebih besar dari 50 m atau pada badan bijih yang sulit dilakukan interpretasi antar *section*. Sumberdaya mineral yang dimana tonase, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan rendah. Pada tahap ini dilakukan asumsi dari fakta-fakta geologi yang ada dan tidak ada verifikasi dari informasi geologi dan/atau kemenerusan kadar. Informasi-informasi yang didapat terbatas dan kualitasnya tidak pasti serta masih diragukan sehingga parameter keteknikan dan keekonomian tidak dapat digunakan untuk perencanaan rinci.

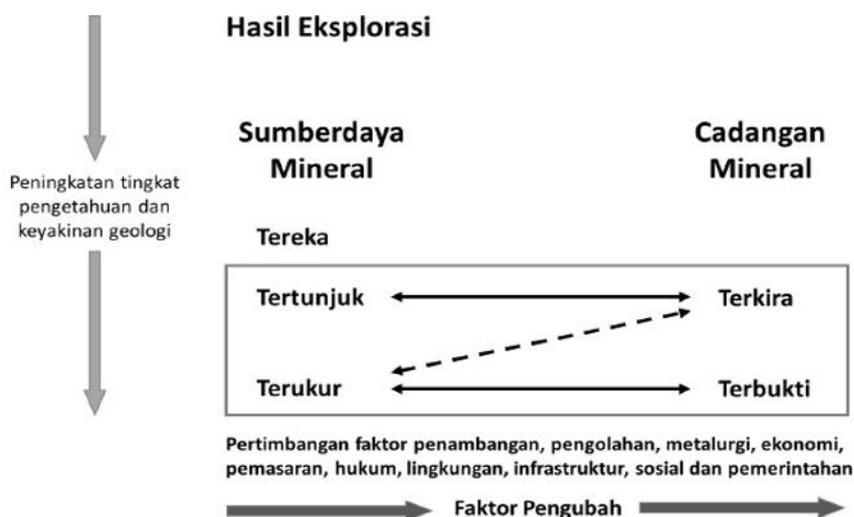
2. Sumberdaya mineral tertunjuk

Sumberdaya mineral tertunjuk yaitu apabila pemboran/*sampling* dilakukan dengan jarak spasi 25 – 50 m dan pada badan bijih yang cukup tebal/strukturnya cukup jelas. Bukti geologi didapatkan dari eksplorasi, pengambilan conto dan pengujian yang cukup detail, andal dan memadai untuk mengasumsikan kemenerusan geologi dan kadar atau kualitas diantara titik-titik pengamatan.

3. Sumberdaya mineral terukur.

Sumberdaya mineral terukur yaitu apabila pemboran dilakukan pada jarak spasi 12,5 – 25 m. Sumberdaya mineral dimana tonase, kerapatan, bentuk, karakteristik fisik, kadar dan kandungan mineral dapat diestimasi dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Estimasi didasarkan pada informasi detail dan telah teruji dengan menggunakan teknik tertentu. Antar luas lokasi penelitian dengan data-data yang dikumpulkan mempunyai relasi yang kuat sehingga cukup untuk mengkonfirmasi kemenerusan geologi dan/atau kadar.

Hubungan umum antara hasil eksplorasi sumberdaya mineral dan cadangan mineral dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hubungan umum antara hasil eksplorasi, sumberdaya mineral dan cadangan mineral (KCMI, 2017)

2.4 Estimasi Sumberdaya Mineral

Estimasi sumberdaya adalah estimasi potensi dari endapan mineral bijih yang terletak di permukaan bumi untuk mengetahui apakah endapan tersebut layak untuk dilanjutkan ke proses penambangan selanjutnya atau tidak. Ada beberapa jenis dari metode estimasi yang dirancang dengan tujuan yang berbeda-beda. Tujuan yang paling penting yaitu untuk memprediksi kadar dan tonase dari material yang akan ditambang (Dominy *et al*, 2002).

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan estimasi sumberdaya salah satunya adalah bahwa sampel yang digunakan dalam pengestimasi harus diambil dari volume endapan yang representatif. Representatif artinya setiap sampel mewakili area serupa di dalam tubuh bijih yang diinginkan. Jika sampel tidak representatif, maka terjadi kesalahan yang akan membiaskan perkiraan sumberdaya pada tahap akhir (Rossi, 2014). Jenis bahan galian mineral, tipe dan desain eksplorasi merupakan faktor yang dijadikan pertimbangan dalam memilih metode mana yang akan digunakan. Pemilihan cara estimasi yang tepat dan berhasil harus dilakukan agar hasilnya mempunyai tingkat kepercayaan yang tinggi sehingga kelayakan ekonominya dapat diperhitungkan dengan lebih tepat. Pengestimasi sumberdaya mineral biasanya digunakan

berbagai metode seperti metode Poligon, metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), metode *Ordinary Kriging* dan lainnya (Sinclair, 2005).

1. Metode Segitiga (*Triangular grouping*)

Metode segitiga (*triangular grouping*) adalah metode yang dilakukan dengan cara membagi masing-masing titik batas material pada lubang bor membentuk sebuah segitiga sehingga dari gabungan segitiga dihasilkan *seam* berupa prisma segitiga yang terdiri dari dua buah segitiga yang sejajar (Haris, 2005).

2. Metode *Isoline*

Metode *isoline* dilakukan untuk menghitung volume dengan memanfaatkan kontur (tempat kedudukan yang mempunyai nilai sama). Metode *isoline* dilakukan dengan menghitung luasan masing-masing area kontur *roof* dan *floor* (Buana, 2014). Metode *isoline* sebaiknya hanya digunakan pada endapan yang teratur dan hanya bervariasi pada ketebalan dan kadar saja, terutama yang mempunyai ketebalan dan kadar yang membesar ke arah tengah.

3. Metode *Ordinary Kriging*

Interpolasi *kriging* dapat digolongkan dalam interpolasi stokastik. Interpolasi stokastik menawarkan penilaian kesalahan dengan nilai prediksi mengamsumsikan kesalahan acak. Metode *kriging* menonjolkan metode khusus dalam *moving average* terbobot yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi. Asumsi dari metode ini adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial. Hasil prediksi *kriging* lebih akurat daripada metode regresi. Sebab, metode ini mampu membaca *error* yang berkorelasi, sehingga dapat diketahui nilai kedekatannya (Kleijnen and Van Beers, 2004).

4. Metode Poligon

Metode poligon merupakan metode perhitungan yang konvensional dibandingkan dengan metode lainnya, karena metode ini tidak begitu memperhatikan data-data dari titik bor disekitarnya. Kadar pada suatu luasan di dalam poligon ditaksir dengan nilai conto yang berada di tengah-tengah poligon sehingga metode ini sering disebut dengan metode poligon daerah pengaruh (*area of influence*). Batas daerah pengaruh terluar dari poligon ini bisa hanya sampai pada titik bor terluar saja (*included area*) atau diekstensikan

sampai sejauh setengah jarak (*extended area*). Estimasi sumberdaya dengan metode poligon dapat dilakukan dengan (Hartman, 1992):

- a. Setiap lubang bor ditentukan dengan batas daerah pengaruh yang dibentuk oleh garis-garis antara titik-titik terdekat di sekitarnya.
- b. Masing-masing daerah atau blok diperlakukan sebagai suatu poligon yang mempunyai kadar dan ketebalan yang konstan yaitu sama dengan kadar dan ketebalan titik bor di dalam poligon tersebut.
- c. Sumberdaya endapan diperoleh dengan menjumlahkan seluruh tonase tiap blok/poligon, sedangkan kadar rata-ratanya dihitung memakai pembobotan tonase.

5. Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Inverse Distance Weighting merupakan satu teknik interpolasi permukaan (*surface interpolation*) dengan prinsip titik inputnya dapat berupa titik pusat plot yang tersebar secara acak maupun tersebar merata. Metode bobot *inverse distance* atau jarak terbalik (IDW) memperkirakan nilai atribut pada titik-titik yang tidak disampel menggunakan kombinasi linier dari nilai-nilai sampel tersebut dan dibobotkan oleh fungsi terbalik dari jarak antar titik (NCGIA, 2007).

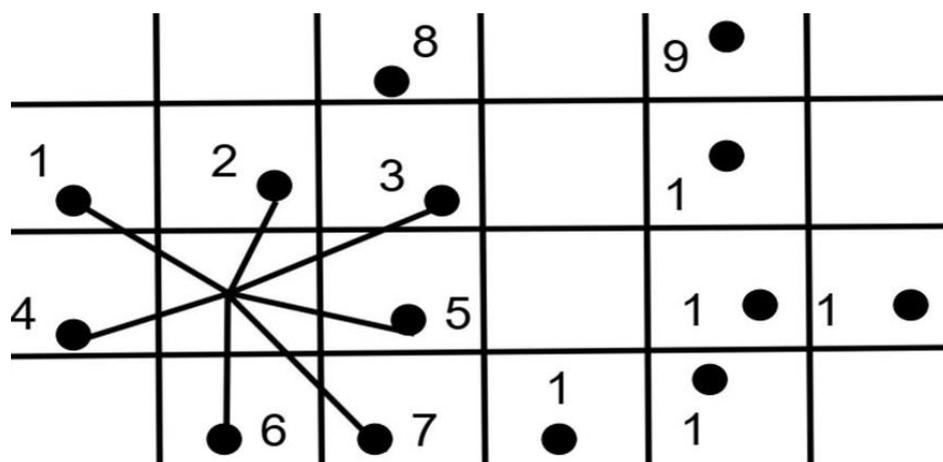
6. Metode *Nearest Neighbour Point*

Metode NNP (*Nearest Neighbour Point*) atau biasa juga disebut sebagai metode poligon conto terdekat, dimana pengambilan nilai estimasi berdasarkan pada pengaruh masing-masing titik mengikuti titik terdekat. Metode ini umumnya digunakan pada endapan yang relatif homogen dan mempunyai geometri yang sederhana. Kerangka blok model, dikenal jenis penaksiran poligon dengan jarak titik terdekat (*rule of nearest point*), yaitu nilai hasil penaksiran hanya dipengaruhi oleh nilai conto yang terdekat atau dengan kata lain titik terdekat memberikan nilai pembobotan satu untuk titik yang ditaksir sedangkan titik yang lebih jauh memberikan nilai pembobotan nol atau tidak mempunyai pengaruh (Hartman, 1992).

2.4.1 Metode Estimasi *Inverse Distance Weighting*

Metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Suatu cara penaksiran dimana nilai rata-rata suatu blok merupakan nilai rata-rata pembobotan (*weighting average*) dari data lubang bor di sekitar blok tersebut (Bankes, 2003). Penaksiran data kadar dilakukan dengan membagi kadar pada blok-blok terdekat dengan jarak tertentu untuk tiap titik pengambilan sampel seperti pada Gambar 9 dibawah. Dalam penaksiran data kadar dilakukan teknik-teknik pembobotan yang pada umumnya didasarkan pada (Purnomo, 2018):

1. Letak grid atau blok yang akan ditaksir terhadap letak data sampel.
2. Kecenderungan penyebaran kualitas data.
3. Orientasi setiap sampel yang menunjukkan hubungan letak ruang antar sampel.
4. Untuk mendapatkan efek penghalusan (pemerataan) data, dilakukan faktor pangkat. Pilihan dari pangkat yang umum digunakan (titik bor 1, titik bor 2, titik bor 3, dst) yang berpengaruh terhadap hasil taksiran (Yasrebi dkk, 2009).
5. Dalam metode ini, komputer memeriksa jarak antara sampel dari kumpulan blok dan menolak data yang berada diluar radius tertentu.

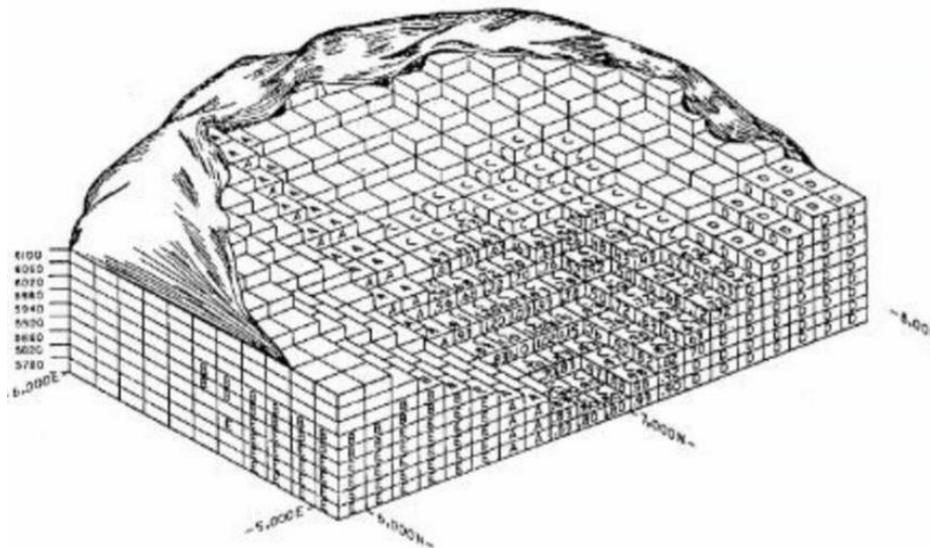


Gambar 9 Estimasi sumberdaya dengan metode IDW (Idrus, 2007)

Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak

merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan (Pramono, 2008). Secara garis besar metode ini adalah sebagai berikut (Latif, 2008):

- a. Suatu cara penaksiran dimana nilai rata-rata titik yang ditaksir merupakan kombinasi linear atau harga rata-rata terbobot (*weighted average*) dari data-data lubang bor disekitar titik tersebut. Data di dekat titik yang ditaksir memperoleh bobot yang lebih besar, sedangkan data yang jauh dari titik yang ditaksir bobotnya lebih kecil. Bobot ini berbanding terbalik dengan jarak data dari titik yang ditaksir.
- b. Pilihan dari pangkat yang digunakan (ID1, ID2, ID3, ...) berpengaruh terhadap hasil taksiran. Semakin tinggi pangkat yang digunakan, hasilnya akan semakin mendekati hasil yang lebih baik (NCGIA, 2007).



Gambar 10 Hasil penaksiran dengan blok model

Dalam hasil penaksiran dengan blok model pada Gambar 10, komputer memeriksa jarak antara sampel dari kumpulan blok dan menolak data yang berada diluar radius tertentu dan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Annels, 1991):

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}} \quad (1)$$

$$\text{Kadar blok} = \frac{\text{kadar hasil taksiran} + \text{kadar pada blok}}{2} \quad (2)$$

Dimana,

Z = Kadar taksiran (%)

n = Jumlah data

i = Kadar ke- i (%)

d_i = Spasi antar titik taksiran dengan titik ke- i yang ditaksir (m)

k = Pangkat (*script*)

Z_i = Kadar awal (%)

Pangkat “ k ” biasanya bervariasi antara 1, 2, 3 dan seterusnya. Metode ini hanya berlaku ketika sampel dalam area pencarian tertentu dan dilakukan secara berulang-ulang dan biasanya dilakukan dengan komputerisasi (Annels, 1991). Metode ini hanya memperlihatkan jarak dan belum memperlihatkan efek pengelompokan data, sehingga data dengan jarak yang sama namun mempunyai sebaran yang berbeda masih akan memberikan hasil yang sama sehingga tidak memberikan korelasi ruang antara titik data dengan titik data yang lain.

Kelebihan dari metode IDW adalah interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Titik yang terletak jauh dari titik sampel dan yang diperkirakan memiliki korelasi spasial yang kecil atau bahkan tidak memiliki korelasi spasial dapat dihapus dari perhitungan. Kekurangan dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini (Watson & Philip, 1985).

2.4.2 Metode Estimasi *Nearest Neighbour Point*

Metode *Nearest Neighbour Point* merupakan metode dimana titik terdekat dari blok yang ditaksir memiliki pengaruh sepenuhnya terhadap blok tersebut, jadi titik-titik lain di dalam *search* radius selain titik terdekat tidak ada pengaruh terhadap blok yang ditaksir (Bargawa, 2018). Apabila terdapat 2 atau lebih titik data yang jaraknya sama maka dapat digunakan kadar rata-rata untuk menaksir nilai kadarnya. Sementara apabila titik tersebut terletak diluar daerah pengaruh maka kadarnya sama dengan nol. Adapun rumus yang digunakan dalam pengestimasi menggunakan metode NNP yaitu:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n G_i / D_i}{\sum_{i=1}^n 1 / D_i} \quad (3)$$

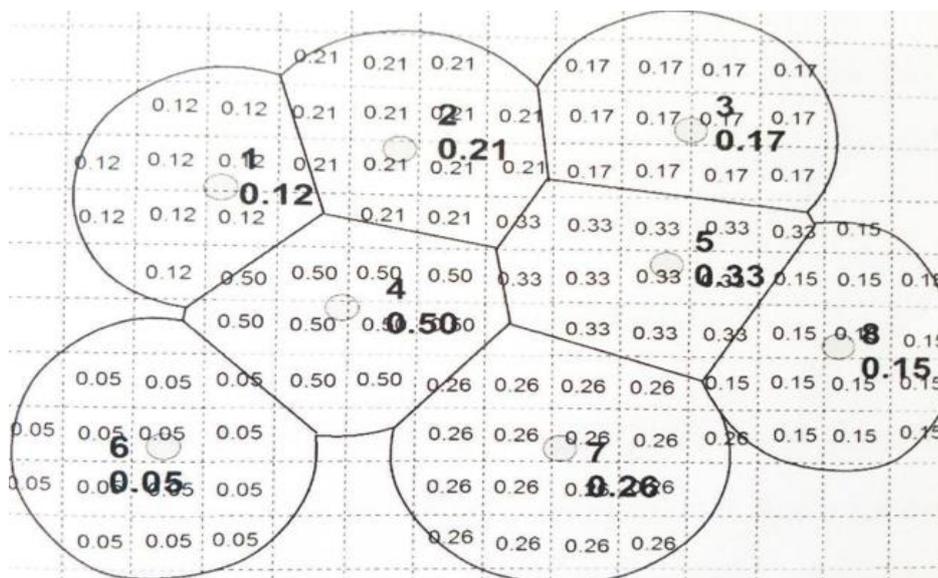
Dimana,

G = Kadar taksiran (%)

G_i = Kadar titik pada jarak sejauh D (%)

D_i = Jarak dari titik yang diinginkan (m)

Luas yang mengelilingi lubang bor didefinisikan dengan cara yang sedemikian rupa sehingga batas pinggirnya selalu berjarak sama dengan titik terdekat. Walaupun demikian, hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan jarak tetap (teratur). Nilai titik pengamatan dipertimbangkan tetap atau sama dengan titik didekatnya. Oleh karena itu, perlu dihitung jarak dari pusat – pusat blok ke lokasi yang kadarnya diketahui disekelilingnya dengan membagikan kadar itu pada blok kadar yang paling dekat. Bila jarak tersebut lebih besar dari jarak pengaruh maka kadarnya tidak dibagi. Dalam beberapa hal, pusat blok dapat berjarak sama dari satu atau lebih kadar – kadar yang sudah diketahui. Kadar pada suatu titik hanya ditentukan dengan kadar yang terdekat atau tidak sama sekali. Dapat dilihat pada Gambar 11 bahwa kadar sampel terdekat menentukan kadar sampel setiap blok yang ada didekatnya. Metode ini akan mendekati metode poligonal jika ukuran blok tidak lebih dari 25% dari rata-rata jarak titik bor (Hartman,1992).



Gambar 11 Estimasi sumberdaya dengan metode NNP (Hatman, 1992)