



PEMETAAN SUMBER DAYA NIKEL LATERIT BERDASARKAN DATA TEST PIT DI DESA SUBAIM, MALUKU UTARA

MAPPING OF LATERITE NICKEL RESOURCES BASED ON THE TEST PIT DATA IN SUBAIM VILLAGE, NORTH MALUKU

W. AK. Conoras¹, Yanny*², F. Saleh³, J. Rasai⁴

¹⁻⁴Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara

¹⁻⁴Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 100 Kel. Sasa, Kota Ternate

e-mail: ¹wawanakconoras@gmail.com, ²yanny.st@gmail.com, ³faisalsaleh141@gmail.com, ⁴Julhija_rasai@gmail.com

ABSTRAK

Pemetaan sumber daya mineral membantu dalam perencanaan penambangan yang berkelanjutan, pemanfaatan yang optimal, dan mengurangi dampak lingkungan. Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Wasile Desa Subaim dan bertujuan untuk mengetahui sebaran kadar Ni dan ketebalannya menggunakan metode estimasi *inverse distance square* (IDS) dari data test pit dan menentukan distribusi kadar Ni berdasarkan kadar minimum nikel yang ekonomis untuk ditambang (*cut off grade*). Hasil pengolahan data pada zona *overburden* menunjukkan nilai kadar Ni <0,90% ditandai dengan area berwarna hijau dengan luas total 1,95 hektar dan rata-rata ketebalannya 2,81 meter. Kadar Ni >0,90% ditandai dengan warna merah, dengan luas 26,14 hektar dan rata-rata ketebalannya 3,51 meter. Zona saprolit terbagi dalam lima kelas, yaitu Ni $\geq 1,50 - < 1,60\%$ hanya tersebar di TP02, luasnya 0,15 hektar dan ketebalan rata-rata 2,06 meter. Kadar Ni $\geq 1,60 - < 1,80\%$ hanya tersebar di sekitar TP02 dan TP03X dengan luas 1,23 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,07 meter. Kadar Ni $\geq 1,80 - < 2,00\%$ tersebar di timur laut TP02, bagian barat TP03X dan sekitar TP06 dengan luas 3,84 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,43 meter. Ni $\geq 2,00 - < 2,50$ tersebar di area seluas 19,60 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,1 meter. Ni $\geq 2,50$ dengan luas 2,29 hektar di sebelah selatan sekitar SC_EXTP, TP01 dan TP05. Berdasarkan hasil estimasi sebaran kadar dan ketebalan Ni maka diperoleh kuantitas dan kualitas endapan. Luas total *overburden* 280.913,76 m² dengan volume *overburden* 973.627,35 m³. Sedangkan total volume sumber daya nikel laterit sebesar 729.116,96 m³ dengan tonase bijih sebesar 1.020.763,74 ton dan kadar rata-rata sebesar 2,21%.

Kata kunci: *inverse distance square*, nikel laterit, sumber daya, *test pit*

ABSTRACT

Minerals resource mapping helps in sustainable mining planning, optimal utilization, and reducing environmental impacts. This study was located in Wasile District, Subaim Village and aims to determine the distribution of Ni content and its thickness using the *inverse distance square* (IDS) estimation method from test pit data and determine the distribution of Ni content based on the minimum nickel content that is economical to mine (*Cut off Grade*). The results of data processing in the *overburden* zone show that the Ni content value <0,90% is marked with a green area with a total area of 1,95 hectares and the average thickness is 2,81 meters. Ni content > 0,90% is marked in red, with an area of 26,14 hectares and the average thickness is 3,51 meters. The saprolite zone is divided into five classes, namely Ni $\geq 1,50 - < 1,60\%$ only spread in TP02, with an area of 0,15 hectares and an average thickness of 2,06 meters. Ni content $\geq 1,60 - < 1,80\%$ is only spread around TP02 and TP03X with an area of 1,23 hectares with an average thickness of 2,07 meters. Ni content $\geq 1,80 - < 2,00\%$ is spread in the northeast of TP02, the western part of TP03X and around TP06 with an area of 3.84 hectares with an average thickness of 2,43 meters. Ni $\geq 2,00 - < 2,50$ is spread over an area of 19,60 hectares with an average thickness of 2,71 meters. Ni $\geq 2,50$ with an area of 2,29 hectares in the south around SC_EXTP, TP01 and TP05. The results of the estimation of the distribution of Ni content and thickness obtained the quantity and quality of deposits, the total area of the *overburden* layer is 280.913,76 m² with an *overburden* volume of 973.627,35 m³. Meanwhile, the total volume of nickel laterite resources is 729.116,96 m³, with a tonnage of 1.020.763,74 tons and an average grade of 2,21%.

Keywords: *inverse distance square*, laterite nickel, resources, *test pit*

PENDAHULUAN

Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Selain itu Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah khatulistiwa yang beriklim tropis. Keberadaan endapan nikel laterit di Indonesia pada daerah ekuator berkaitan dengan sebaran lintasan tektonik ofiolit yang terangkat ke permukaan akibat proses tektonik yang disebabkan interaksi lempeng benua Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Samudera Pasifik. Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lebih lanjut pada batuan ultrabasa yang mengandung Ni-Silikat.

Berdasarkan pemetaan Badan Geologi pada Juli 2020, Indonesia memiliki sumber daya bijih nikel sebesar 11,46 juta ton. Sementara itu, total sumber daya logam mencapai 174 juta ton dan cadangan logam sebesar 68 juta ton. Wilayah Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, dan Maluku Utara memiliki potensi terbesar di Indonesia hingga saat ini [1].

Pulau Halmahera di Maluku Utara memiliki potensi nikel laterit yang tersebar di Mandala Halmahera Timur, meliputi lengan timur laut, lengan tenggara, dan beberapa pulau kecil di bagian timur Pulau Halmahera [2]. Morfologi Mandala ini berupa pegunungan dengan lereng terjal dan sayatan sungai dalam, dan sebagian bermorfologi karst. Daerah ini memiliki pegunungan terjal dengan titik tertinggi di Bukit Saolat yang mencapai 1.508 meter di atas permukaan laut. Dataran hanya terdapat di muara sungai seperti muara Sungai Sangaji dan dataran di sekitar pantai. Batuan dasar daerah ini merupakan kompleks ofiolit dan sedimen laut dalam berumur Mesozoikum, yang diimbriksi oleh sedimen Paleogen, dan pada bagian atasnya diendapkan oleh sedimen klastik dan karbonat Neogen. Kondisi tatanan tektonik, geologi, iklim, dan curah hujan sangat mempengaruhi laju pelapukan batuan ultrabasa [3,4]. Formasi batuan ultramafik berupa batuan peridotite harzburgit dan dunit yang kaya akan mineral olivin sebagai pembawa Ni [5,6].

Beberapa penelitian mengenai nikel laterit di Halmahera timur pernah dilakukan. Menurut penelitian Rinawan dkk (2014) [7] yang dilakukan di Pulau Pakal, Halmahera Timur mengungkapkan bahwa metode yang baik untuk pemodelan 3D adalah IDW karena tingkat ketelitian $\leq 1\%$. Kadar nikel di Pulau Halmahera Timur berkisar 2,20 % seperti yang dilaporkan pada tahun 2019 oleh Jenius dkk [8], Rinawan dkk (2018) [6] mengemukakan bahwa pola penyusunan laterit nikel berkaitan dengan keberadaan unsur major (Fe, SiO₂, MgO, Al₂O₃) dan unsur minor (Co, MnO, Cr₂O₃). Sedangkan menurut Putrananda dkk (2024) [9] melaporkan bahwa horison laterit di Pulau Wasile berupa lapisan limonit, zona transisi, saprolit, dan batuan dasar (lerzolit dan serpentin). Pada lapisan saaprolit

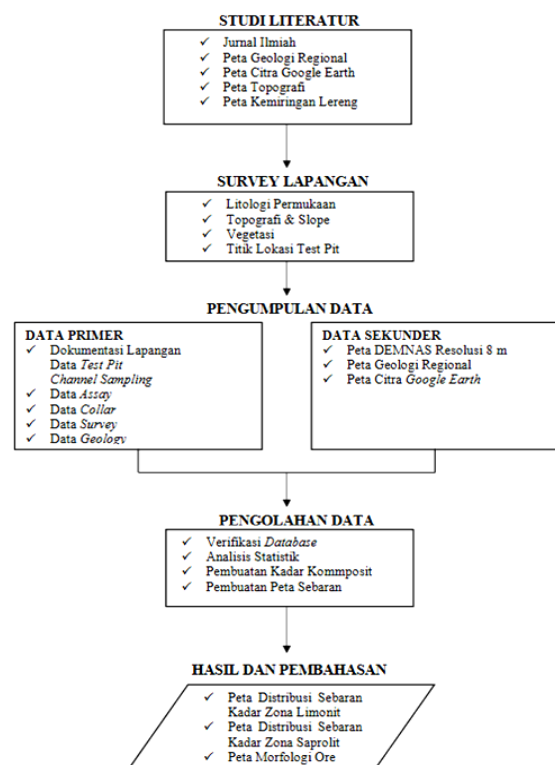
terjadi peningkatan skandium dan unsur tanah jarang (UTJ). Dari beberapa penelitian terdahulu hanya melaporkan kadar nikel rata-rata di daerah tersebut tanpa ada klasterisasi secara detail berdasarkan nilai *Cut Off Grade* (COG). Sedangkan hal tersebut sangat penting untuk menentukan zona ekonomis yang dapat dieksplorasi lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan menentukan sebaran potensi awal kadar nikel laterit, ketebalan endapan, dan morfologi tubuh bijih nikel laterit menggunakan metode *estimasi inverse distance square* (IDS) dari data Test Pit dan melokalisasi daerah sebaran kadar Ni serta menghitung jumlah potensi sumber daya berdasarkan klasifikasi COG di daerah penelitian. Hasil penelitian ini sangat penting karena dapat memberikan gambaran awal tentang estimasi geometri arah sebaran potensi endapan Nikel laterit di daerah penelitian [10], serta dapat digunakan sebagai bahan evaluasi prospek dan pedoman dalam menentukan arah sasaran pemboran dalam perencanaan kegiatan eksplorasi detail dan meminimalisir kerusakan lingkungan.

METODE PENELITIAN

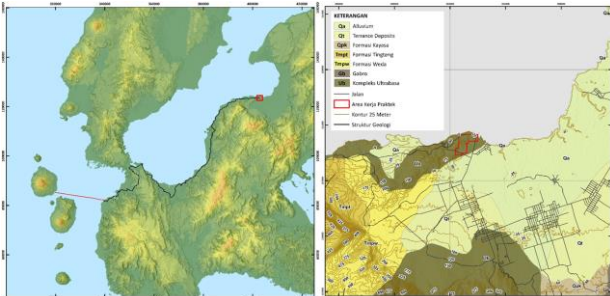
Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian pustaka, lalu dilanjutkan dengan pengambilan data lapangan baik data primer maupun sekunder, selanjutnya pengolahan data dan analisis data (Gambar 1).



Gambar 1. Tahapan penelitian

Secara administratif lokasi penelitian berada di Desa Subaim, Kecamatan Wasile, Kabupaten Halmahera, Provinsi Maluku Utara. Luas wilayah penelitian adalah 74,18 hektar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta lokasi dan geologi daerah penelitian

Secara geografis daerah penelitian dibatasi oleh Laut Halmahera pada bagian utara, sebelah selatan dibatasi oleh jalan lintas Halmahera Timur, sebelah timur dibatasi oleh pemukiman dan jalan pelabuhan penyeberangan Subaim, dan sebelah barat dibatasi oleh hutan dan perkebunan masyarakat Subaim. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara yang diterbitkan oleh Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi [11], lokasi penelitian memiliki formasi batuan sebagai berikut: Batuan Beku Ultrabasa berupa serpentinit, piroksenit, dan dunit, berwarna hitam, sebagian besar pecah, setempat terbreksi mengandung asbes dan garnierit; Batuan beku gabro yang terbreksi dan sebagian terkloritkan; Formasi Weda merupakan batuan sedimen yang terdiri dari batupasir, batulempung, batulanau; Formasi Tingteng terdiri dari batuan sedimen berupa batugamping, batupasir kalkareus, dan napal; Formasi Kayasa merupakan batuan vulkanik yang terdiri dari lava dan breksi yang tersusun dari andesit dan basal; Endapan *Terrance* merupakan batuan sedimen berupa endapan berundak. Batuan sedimen aluvium berupa kerikil, pasir, lempung, dan bongkahan.

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data *test pit* kemudian dilakukan analisis statistik data dan perhitungan data komposit Ni serta estimasi potensi sebaran laterit Nikel, estimasi luasan ketebalan, dan estimasi morfologi tubuh bijih dengan menggunakan pendekatan metode estimasi IDS. Metode Estimasi IDS merupakan metode estimasi yang telah memperhitungkan hubungan antar letak spasial (jarak) dan merupakan gabungan linier atau nilai rata-rata tertimbang (*weighting average*) dari titik-titik sampel yang berada di sekitarnya [12]. Metode estimasi IDS dapat dirumuskan dengan Pers. (1) berikut [13]:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}} \quad \rightarrow \quad g = \frac{\frac{g_1}{d_1^2} + \frac{g_2}{d_2^2} + \frac{g_3}{d_3^2} + \dots + \frac{g_n}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d_3^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} \quad (1)$$

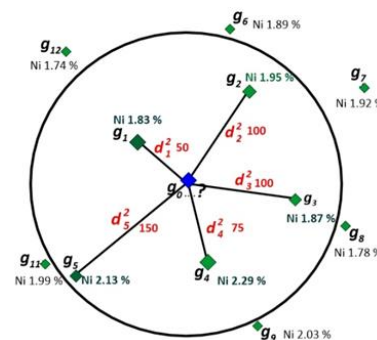
Dimana:

g : Nilai pada titik yang dicari

g_i : Nilai pada titik sampel di sekitar area pencarian data

d_i : Jarak dari titik sampel di sekitar area pencarian ke titik estimasi

Berikut ini adalah pola estimasi dengan menggunakan metode *Inverse Distance Square* (IDS) dalam memperkirakan nilai titik estimasi terhadap nilai titik sampel di sekitarnya dengan radius pencarian data yang terbatas [14] (Gambar 3).



Gambar 3. Contoh distribusi data sampel Ni dalam estimasi IDS

Pada penelitian ini, basis data nilai kadar Ni sebelum dan sesudah estimasi serta tabulasi data hasil perhitungan berdasarkan nilai *cut off grade*, dapat disajikan dalam bentuk analisis deskripsi statistik [15]. Sebelum dilakukan estimasi, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai komposit data kadar pit uji dengan pendekatan rumus berikut [16]:

$$\hat{g} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

Sedangkan perhitungan total kadar rata-rata pada tabulasi sumber daya dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan rumus berikut [12]:

$$\hat{g} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (3)$$

Dimana:

\hat{g} : Nilai rata-rata

g : Contoh nilai (untuk perhitungan komposit) dan nilai estimasi (untuk perhitungan sumber daya)

t_i : Ketebalan sampel (meter)

v_i : Volume lapangan (m³)

Perhitungan volume dan tonase kadar sumber daya dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan rumus berikut:

$$\text{Volume} = \text{Luas Kontur Kemiringan} \times \text{Perkiraan Ketebalan Rata-rata} \quad (4)$$

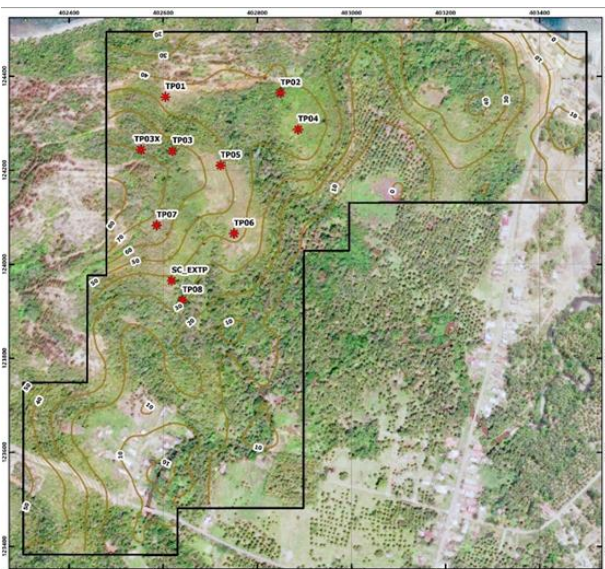
$$\text{Tonase} = \text{Volume} \times \text{Kepadatan} \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan di lapangan diawali dengan melakukan survei lapangan untuk menentukan lokasi *test pit* (Gambar 4), kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *test pit*, setelah itu dilakukan pengambilan sampel dengan metode *channel sampling* (saluran) seperti yang terlihat pada Gambar 5. Dilanjutkan dengan pengelolaan dan penyimpanan sampel untuk kemudian dikirim ke laboratorium untuk dianalisa.

Basis data hasil *test pit*

Basis data merupakan seluruh data yang diperoleh dari kegiatan eksplorasi dan data kadar dari hasil analisis laboratorium dari sampel *test pit*. Data tersebut terdiri dari nama *test pit* (hole id), koordinat (easting, northing, elevasi), kedalaman maksimum *test pit*, kedalaman *from-to*, litologi, kemiringan *test pit*, dan kadar Ni. Basis data akan dibagi menjadi 4 (empat) yaitu *collar*, *survey*, geologi, dan *assay*.



Gambar 4. Peta lokasi pengambilan sampel (*test pit*)



Gambar 5. Kegiatan pengambilan sampel di lokasi penelitian

Analisis statistik sebelum estimasi

Analisis statistik dilakukan pada data uji yang diklasifikasikan berdasarkan domain geologi. Analisis ini berfungsi untuk menentukan karakteristik data.

Tabel 1. Statistik deskriptif kadar Ni sebelum estimasi

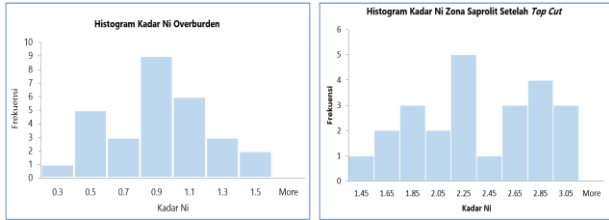
Parameter	Overburden	Saprolit
Data	29	25
Max	1,40	4,38
Min	0,30	1,45
Mean	0,83	2,34
Median	0,84	2,25
Variance	0,09	0,43
Standard Deviation	0,30	0,65
Coefficient	0,36	0,28

Analisis statistik pada Tabel 1 menunjukkan bahwa zona *overburden* memiliki koefisien variansi (CV) sebesar 0,36 dan zona *saprolit* memiliki nilai CV sebesar 0,28. Data zona *overburden* dan *saprolit* bernilai kurang dari 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa kedua sampel sama-sama baik (homogen).

Berdasarkan hasil histogram data pengujian zona *overburden*, terlihat bahwa data tersebut memiliki satu puncak atau satu populasi. Puncak data tersebut berada pada frekuensi sekitar 0,84% kadar Ni. Hasil ini tidak lagi memerlukan penanganan statistik karena hasilnya tidak bimodal (memiliki satu populasi).

Histogram data uji zona *saprolit* menunjukkan tren positif. Data telah mencapai puncak pada frekuensi sekitar 2,25% kadar Ni. Selain itu, terdapat *outlier* pada kisaran 4,45%, hal ini perlu dilakukan secara statistik

yaitu *top cut* agar hasilnya tidak bimodal (memiliki satu populasi). Berikut visualisasi histogram data uji zona saprolit setelah *top cut* (Gambar 6).

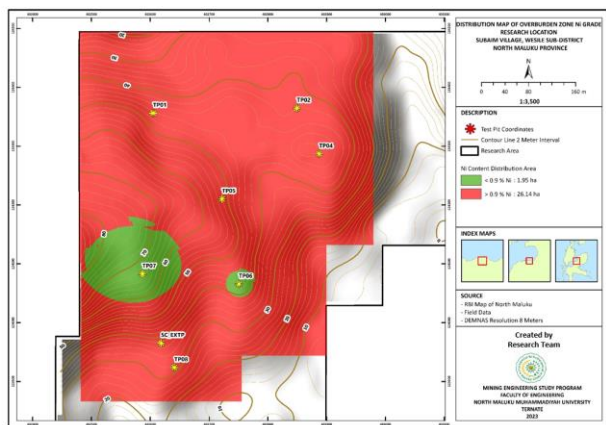


Gambar 6. Histogram zona *overburden* dan zona saprolit

Distribusi kadar Ni dari hasil estimasi IDS

Zona Limonit memiliki variasi kadar Ni yang rendah dan dapat dikategorikan sebagai *overburden* dan dibagi menjadi beberapa kelas yaitu (Gambar 7):

- a. Ni kadar < 0,90%, ditunjukkan dengan adanya area hijau yang tersebar di sekitar TP07 dan TP06 dengan luas total 1,95 hektar.
- b. Kadar Ni > 0,90% ditandai dengan daerah berwarna merah yang tersebar pada areal seluas 26,14 Ha.



Gambar 7. Peta sebaran zona *overburden*

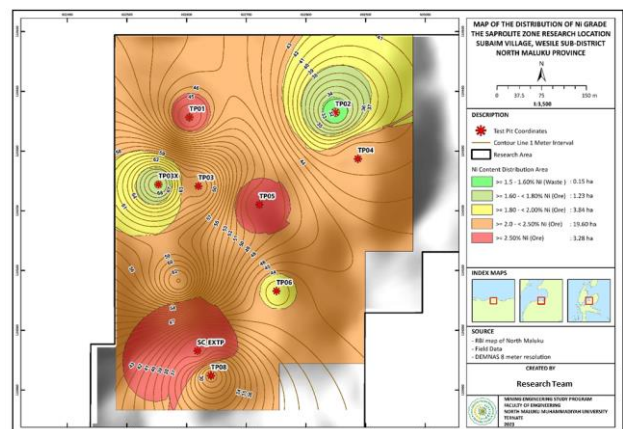
Hasil estimasi statistik zona *overburden* yang diklasifikasikan menjadi dua kelas menunjukkan kadar Ni < 90% mempunyai nilai *mean* 0,83, *median* 0,84, *modus* 0,88, *sample variance* 0,001, *range* 0,12, nilai minimum 0,76, nilai maksimum 0,88, dan total data 3.576. Sedangkan untuk kadar Ni ≥ 0,90% mempunyai nilai *mean* 1,03, *median* 1,04, *modus* 0,98, *sample variance* 0,004, *range* 0,31, nilai minimum 0,90, nilai maksimum 1,20, dan total data 65.050. Berikut ini adalah tabel analisis statistik data estimasi (Tabel 2) dan peta sebaran kadar Ni di zona *overburden* (Gambar 7).

Tabel 2. Statistik hasil estimasi kadar Ni pada zona *overburden*

Parameter Statistik	Kadar Ni	
	< 0,90 %	≥ 0,90 %
<i>Mean</i>	0,83	1,03
<i>Min</i>	0,76	0,9
<i>Max</i>	0,88	1,2
<i>Median</i>	0,84	1,04
<i>Mode</i>	0,88	0,98
<i>Sample variance</i>	0,001	0,004
<i>Range</i>	0,12	0,31
<i>Data</i>	3.576	65.050

Zona Saprolit merupakan zona yang memiliki kadar nikel yang memenuhi standar COG dan dikategorikan sebagai bijih ekonomis. Dari hasil estimasi, zonasi dibagi menjadi lima kelas (Gambar 8), yaitu:

- a. Kadar Ni ≥ 1,50 – < 1,60% ditunjukkan dengan adanya daerah berwarna hijau terang yang hanya tersebar di sekitar TP02 dengan luas 0,15 Ha.
- b. Kadar Ni ≥ 1,60 – < 1,80% ditunjukkan dengan adanya daerah berwarna abu-abu hijau yang tersebar hanya di sekitar TP02 dan TP03X dengan luas 1,23 hektar.
- c. Kadar Ni ≥ 1,80 – < 2,00% ditunjukkan dengan adanya daerah berwarna kuning yang tersebar di wilayah timur laut TP02, barat TP03X dan sekitar TP06 dengan luas 3,84 Ha.
- d. Kadar Ni ≥ 2,00 – < 2,50%, ditunjukkan dengan adanya daerah berwarna jingga yang tersebar hampir di seluruh areal dengan luas 19,60 Ha.
- e. Kadar Ni ≥ 2,50 %, ditandai dengan daerah berwarna merah yang tersebar pada SC_EXTP ke arah selatan dan sekitar TP01 serta TP05 dengan luas 3,28 Ha.



Gambar 8. Peta sebaran kadar Ni pada zona saprolit

Tabel 3. Statistik deskriptif hasil estimasi kadar Ni zona saprolit berdasarkan klasifikasi COG

Parameter Statistik	Kadar Ni				
	≥ 1,5 - < 1,6	≥ 1,6 - < 1,8	≥ 1,8 - < 2,0	≥ 2,0 - < 2,5	≥ 2,5
Mean	1,56	1,71	1,91	2,24	2,60
Min	1,53	1,60	1,80	2,00	2,50
Max	1,59	1,79	1,99	2,49	2,90
Median	1,56	1,72	1,91	2,23	2,57
Mode	1,58	1,76	1,96	2,17	2,50
Sample variance	0,0003	0,0028	0,0029	0,0156	0,0085
Range	0,06	0,20	0,20	0,50	0,40
Data	377	3.032	9.710	48.774	7.792

Berdasarkan analisis statistik dari data estimasi, data kadar Ni diklasifikasikan menjadi lima kelas, kadar Ni yang mempunyai jumlah tertinggi yaitu $\geq 2,0 - < 2,5$ dari 48.777 data (Tabel 3).

Kadar Ni zona saprolit dari hasil estimasi (Tabel 3), menunjukkan bahwa untuk rentang kadar Ni $\geq 1,50 - < 1,60\%$, sebaran data tertinggi terdapat pada interval kadar 1,58; 1,56; 1,59; dan 1,55. Sementara itu, untuk rentang kadar Ni $\geq 1,60 - < 1,80\%$, sebaran data tertinggi terdapat pada interval 1,79; 1,74; 1,69; dan 1,64.

Nilai $\geq 1,8 - < 2,0$ sebanyak 9.710, nilai $\geq 2,5$ sebanyak 7.792, kadar $\geq 1,6 - < 1,8$ sebanyak 3.032 dan kadar terendah adalah $\geq 1,5 - < 1,6$ dengan jumlah 337.

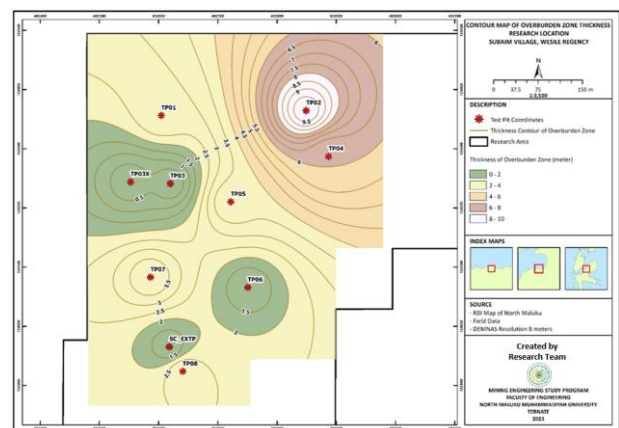
Kadar Ni $\geq 1,80 - < 2,00\%$ memiliki sebaran data tertinggi pada interval kadar 1,94; 1,99 dan 1,84. Untuk rentang kadar Ni $\geq 2,00 - < 2,50\%$ memiliki sebaran data tertinggi pada interval kadar 2,24; 2,37; 2,49, dan 2,12. Sementara itu, rentang kadar Ni $\geq 2,50\%$ memiliki sebaran data tertinggi pada interval 2,60; 2,70; 2,80; dan 2,90.

Ketebalan zona

Ketebalan zona *overburden* diperoleh dari data geologi masing-masing *test pit*, kemudian data ketebalan tersebut diinterpolasi untuk melihat sebaran ketebalan zona *overburden* (Gambar 9). Data ketebalan diekstraksi berdasarkan luas (poligon) sebaran kadar Nikel pada zona *overburden*, sehingga diklasifikasikan menjadi dua yaitu: kadar Ni $< 0,90\%$ dan Ni $\geq 0,90\%$ (Tabel 4).

Tabel 4. Statistik deskriptif hasil estimasi ketebalan lapisan bijih Ni di zona *overburden*

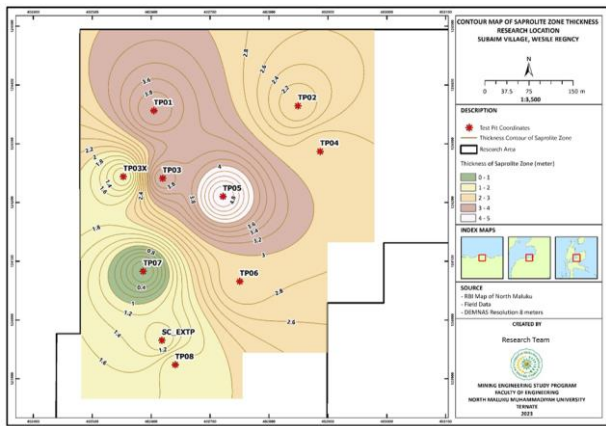
Parameter Statistik	Kadar Ni	
	< 0,90 %	≥ 0,90 %
Area M ²	19.544,43	261.369,33
Mean	2,81	3,51
Min	1,00	0
Max	4,00	10,00
Median	2,92	2,79
Mode	2,84	2,33
Sample variance	0,53	4,04
Range	3,00	10,00
Data	4.885	65.049



Gambar 9. Peta kontur ketebalan *overburden*

Ketebalan zona saprolit diperoleh dari data geologi masing-masing *test pit*, kemudian dilakukan interpolasi data ketebalan untuk melihat sebaran ketebalan zona saprolit (Gambar 10).

Data ketebalan diekstraksi berdasarkan luasan (poligon) sebaran kadar Nikel di zona saprolit sehingga diklasifikasikan menjadi lima kelas (Tabel 5).



Gambar 10. Peta kontur ketebalan zona saprolit

Tabel 5. Statistik deskriptif hasil estimasi ketebalan lapisan bijih Ni di zona saprolit

Parameter Statistik	Kadar Ni				
	≥1,5 -1,6	≥ 1,6 - < 1,8	≥ 1,8- <2,0	≥ 2 -2,5	≥ 2,5
Area M ²	1.51 2,90	12.259,5 8	38.380, 65	196.013	32.84 5
Mean	2,06	2,07	2,43	2,71	2,29
Min	2,00	1,00	1,58	0	0,62
Max	2,12	2,48	3,00	4,20	5,00
Median	2,06	2,26	2,56	2,90	1,58
Mode	2,04	2,38	2,59	2,96	1,43
Sample	0	0,18	0,12	0,57	1,82
Range	0,12	1,48	1,42	4,20	4,38
Data	377	3.062	9.603	48.999	8.208

Ketebalan, Luas, dan Volume Overburden

Berdasarkan data hasil estimasi sebaran kadar dan ketebalan Ni diperoleh hasil kuantitas dan kualitas sedimen. Zona *overburden* hanya dihitung data kuantitas karena kualitas kadar Ni dari zona ini rendah. Yang dilakukan perhitungan kuantitas dan kualitas yaitu pada zona saprolit. Dapat dilihat pada Tabel 6, total luas *overburden* sebesar 280.913,76 dengan volume *overburden* sebesar 973.627,35 m³.

Tabel 6. Hasil perhitungan volume overburden

COG Ni	Luas m ²	Ketebalan Rata-rata	Volume m ³
<0,90%	19.544,43	2,81	54.963,26
≥ 0,90	261.369,33	3,51	918.664,09
Total	280.913,76		973.627,35

Zona saprolit sendiri terbagi menjadi lima kelas yang dapat dilihat pada Tabel 7. Kelas bijih memiliki volume dan tonase yang besar, yaitu kadar Ni ≥ 2,0 - < 2,5% dengan volume 531.885,03 m³ dan tonase 744.639,04 ton dengan kadar rata-rata 2,24%. Kelas kadar Ni ≥ 1,8 - <2,0% dengan volume 93.357,71 m³ dan tonase 130.700,80 ton dengan kadar rata-rata 1,90%. Kelas kadar Ni ≥ 2.5% dengan volume 75.345,03 m³ dan tonase 105.483,05 ton dengan kadar rata-rata 2,60%. Kelas kadar Ni ≥ 1,6 - < 1,8% dengan volume 25.417,78 m³ dan tonase 35.584,90 ton dengan kadar rata-rata 1,71%. Kelas kadar Ni ≥ 1,5 - < 1,6% dengan volume 3.111,40 m³ dan tonase 4.355,96 ton dengan kadar rata-rata 1,56%. Sehingga total volume sumber daya sebesar 729.116,96 m³, tonase bijih sebesar 1.020.763,74 ton, dengan kadar rata-rata 2,21% (Tabel 7).

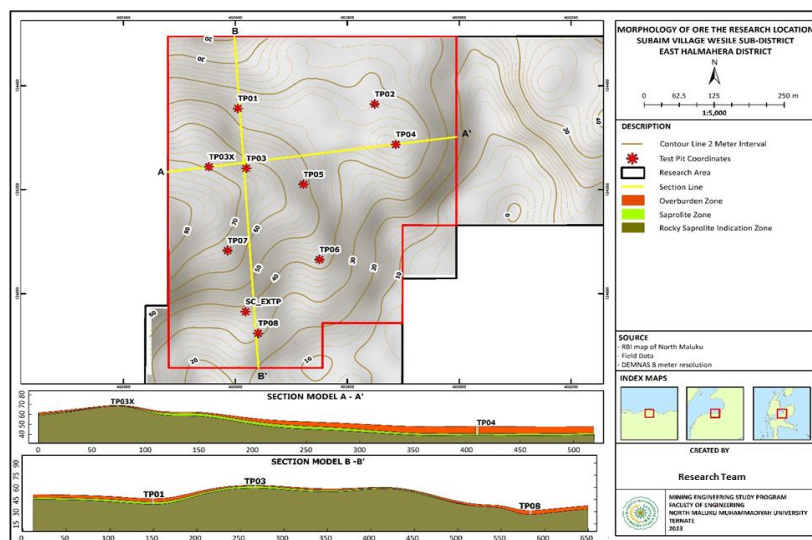
Morfologi Tubuh Bijih dan Korelasi antara Kadar dan Ketebalan

Untuk melihat tubuh bijih lokasi penelitian secara spasial (Gambar 11), dibuat penampang A dan A' dengan arah barat-timur untuk memvisualisasikan ketebalan zona lapisan penutup dan saprolit. Terlihat bahwa ketebalan zona saprolit cenderung berarah relatif ke arah timur diikuti oleh ketebalan zona *overburden*. Hal ini dipengaruhi oleh topografi yang landai jika semakin ke arah timur sehingga terjadi akumulasi sedimentasi dan infiltrasi yang baik. Sementara itu pada penampang B sampai B' yang berarah selatan-utara, ketebalan zona saprolit terdapat pada TP01 sebesar 4 meter diikuti oleh ketebalan zona *overburden* sebesar 3 meter yang secara morfologi berada pada daerah landai, sedangkan pada TP03 terdapat pada morfologi punggung bukit yang memiliki ketebalan zona saprolit sebesar 4 meter.

Sementara itu semakin ke arah selatan, zona saprolit semakin menipis dan diikuti oleh ketebalan zona *overburden* yang semakin tebal. Garis penampang tersebut memotong lubang uji TP08 yang mempunyai ketebalan zona saprolit dua (2) meter dan zona *overburden* tiga (3) meter.

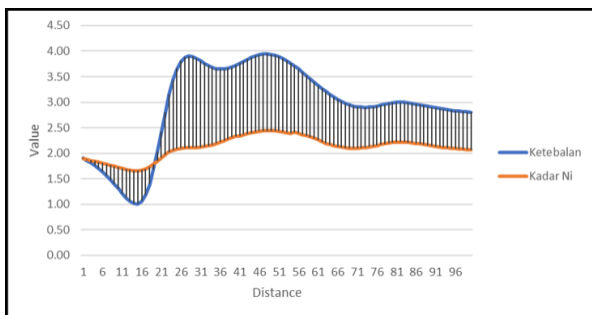
Tabel 7. Hasil perhitungan sumber daya nikel laterit

COG Ni	Area m ²	Density	Ketebalan rata-rata	Volume m ³	Tonase Bijih	Rata-rata kadar Ni
≥ 1,5 - < 1,6	1.512,90	1,4	2,06	3.111,40	4.355,96	1,56
≥ 1,6 - < 1,8	12.259,58	1,4	2,07	25.417,78	35.584,90	1,71
≥ 1,8 - < 2,0	38.380,65	1,4	2,43	93.357,71	130.700,80	1,90
≥ 2,0 - < 2,5	196.013,67	1,4	2,71	531.885,03	744.639,04	2,24
≥ 2,5	32.845,20	1,4	2,29	75.345,03	105.483,05	2,60
Total	281.012,00			729.116,95	1.020.763,75	2,21



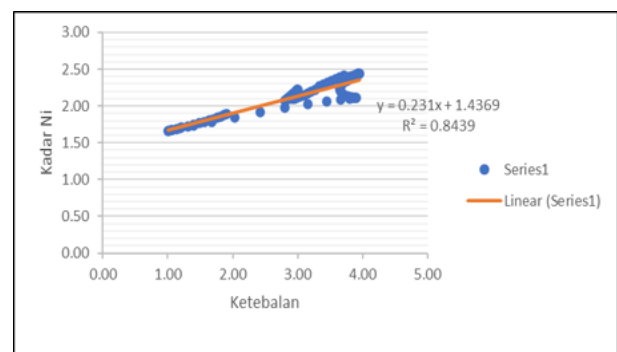
Gambar 11. Peta morfologi tubuh bijih lokasi penelitian

Selanjutnya dari kedua penampang tersebut dibuat grafik untuk melihat korelasi antara ketebalan bijih dengan kadar Ni. Pada penampang A sampai A' yang berarah barat ke timur, ketebalan bijih dan kadar Ni awalnya bernilai rendah, namun semakin ke tengah nilai ketebalan dan kadarnya semakin tinggi, dan semakin ke timur nilai ketebalan dan kadarnya semakin menurun (Gambar 12).



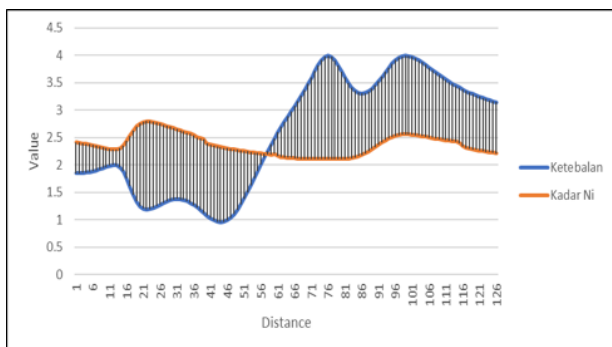
Gambar 12. Grafik hubungan antara tingkat dan ketebalan penampang A ke A'

Sementara itu, diagram sebar menunjukkan bahwa secara umum terdapat korelasi, yaitu peningkatan kadar Ni diikuti oleh ketebalan bijih. Artinya, semakin tinggi nilai kadar Ni, semakin tebal atau tinggi ketebalan bijih ke arah timur blok (Gambar 13).

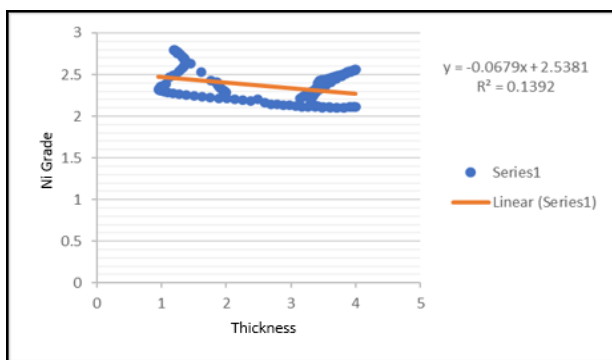


Gambar 13. Hubungan antara kadar Ni dan tebal penampang A ke A'.

Potongan melintang B ke B' yang berarah utara ke selatan (Gambar 14) menunjukkan ketebalan bijih di utara memiliki nilai yang lebih tinggi dengan kadar Ni yang juga tinggi. Namun ke arah tengah nilai ketebalannya meningkat sedangkan nilai kadarnya tidak meningkat, semakin ke arah selatan nilai kadar naik akan tetapi ketebalannya menurun secara konstan (Gambar 15). Sementara itu, *scatter plot* menunjukkan bahwa secara umum peningkatan kadar Ni tidak diikuti oleh ketebalan bijih. Artinya semakin tinggi nilai kadar Ni, maka ketebalan bijih semakin tipis atau rendah.



Gambar 14. Grafik hubungan antara tingkat dan ketebalan penampang B terhadap B'



Gambar 15. Hubungan antara kadar Ni dan ketebalan penampang B ke B' pada *scatter plot*

KESIMPULAN

Ketebalan rata-rata *overburden* 3,51meter dengan luas total *overburden* 280.913,76 m² dan volume *overburden* sebesar 973.627,35 m³.

Sebaran kadar Ni dan ketebalan zona saprolit dibagi menjadi lima kelas, yaitu kadar Ni $\geq 1,50 - < 1,60\%$ ditandai dengan area berwarna hijau terang yang hanya tersebar di sekitar TP02 dengan luas 0,15 hektar, dengan ketebalan rata-rata 2,06 meter. Kadar Ni $\geq 1,60 - < 1,80\%$ ditandai dengan area berwarna hijau keabu-abuan yang hanya tersebar di sekitar TP02 dan TP03X dengan

luas 1,23 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,07 meter. Kadar Ni $\geq 1,80 - < 2,00\%$ ditandai dengan area berwarna kuning yang tersebar di timur laut pada TP02, barat pada TP03X, dan sekitar TP06 dengan luas 3,84 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,43 meter. Kadar Ni $\geq 2,00 - < 2,50\%$ ditunjukkan dengan area berwarna jingga yang menyebar hampir di seluruh area dengan luas 19,60 hektar dengan ketebalan rata-rata 2,71 meter. Kadar Ni $\geq 2,50\%$, ditunjukkan dengan area berwarna merah yang menyebar ke arah selatan pada SC_EXTP, dan di sekitar TP01 dan TP05 dengan luas 2,29 hektar. Sedangkan total volume potensi sumber daya nikel laterit sebesar 729.116,96 m³, tonase bijih sebesar 1.020.763,74 ton, dengan kadar Ni rata-rata sebesar 2,21%.

Kadar Ni yang tinggi dan berkorelasi positif dengan ketebalan berarah barat ke timur, akan tetapi peningkatan nilai kadar dan ketebalan berkorelasi negatif berarah utara – selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhang, Y., Qie, J., Wang, XF., Cui, K., Fu T., Wang, J., and Qi, Y., (2020). Mineralogical Characteristics of the Nickel Laterite, Southeast Ophiolite Belt, Sulawesi Island, Indonesia, *Mining, Metall. Explor.*, 37(1), 79–91.
- [2] Konopka, G., Szamałek, K., and Zglinicki, K., (2022). Ni-Co Bearing Laterites from Halmahera Island (Indonesia). *Applied Sciences*, 12(15).
- [3] Maulana, A., Imai, A., Leeuwen, V., Watanabe, K., Yonezu, K., Nakano., T., Boyce., A., Page., L., and Schersten A., (2016). Origin and Geodynamic Setting of Late Cenozoic Granitoids in Sulawesi, Indonesia, *J. Asian Earth Sci.*, 124, 102-125.
- [4] Santoro, L., Putzolu, F., Mondillo, N., Boni, M., and Herrington, R., (2022). Trace element geochemistry of iron-(oxy)-hydroxides in Ni(Co)-laterites: Review, new data and implications for ore forming processes. *Ore Geol. Rev.*, 140 (no March), 104501, 2022.
- [5] Yanny, Ibrahim, MMHi., Jaya, A., Maulana, A., and Muliadi, (2021). Textural and mineralogical study of lava from Mount Gamalama, North Maluku, Indonesia. *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, 16(10), 1013–1018.
- [6] Rinawan, FI., Rosana, MF., Heriawan, MN., (2018). Keterkaitan Kelimpahan Unsur Major dan Minor dengan Zonasi Laterit Nikel Blok HZ (Harzburgit) dan Dunit (DN) Daerah Pulau Pakal, Halmahera Timur,” *Buletin Sumber Daya Geologi*, 13, 155–175.
- [7] Rinawan, FI., Nugroho, H., and Wibawa, RR., (2018). Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Potensi Laterit Nikel Studi Kasus: Pulau Pakal, Halmahera Timur, Maluku Utara, *J. Iternas*



Rekayasa, 18(1), 56-65.

- [8] Jenius, Gingga, F., Bargawa, WS., (2019). Analisis Perbedaan Kadar Endapan Bijih Nikel Saprolit antara Hasil Eksplorasi dengan Realisasi Penambangan pada Blok GC Pulau Gee Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara, *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan I (SEMITAN) Tahun 2019*, Surabaya: Fakultas Teknik.
- [9] Putrananda, AF., Rosana, MF., and Yuningsih, ET., (2024). Asosiasi Skandium dan Potensi Keberadaan Unsur Tanah Jarang pada Profil Laterit Nikel pada Daerah Wasile, Halmahera Timur, Maluku Utara. *Jurnal Geologi dan Sumber daya Mineral*, 25(4), 235–247.
- [10] Choi, Y., Lee, I., and Moon, I., (2021). Geochemical and Mineralogical Characteristics of Garnierite From the Morowali Ni-Laterite Deposit in Sulawesi, Indonesia, *Front. Earth Sci.*, 9, 761748.
- [11] Supriatna, S., (1980). Geologic map of the Morotai quadrangle, North Maluku 1:250,000, Bandung, 1980.
- [12] Conoras, WAK., Rasai, J., and Djin, A., (2020). Pemodelan Litologi dan Estimasi Sumberdaya Au Epithermal Daerah Loloda, Halmahera Barat Dengan Pendekatan Metoda Estimasi Inverse Distance Weight, *Jurnal Dintek*, 13(1), 28–38.
- [13] Bargawa, WS., (2018). *Perencanaan Tambang, Kedelapan*. Yogyakarta, Kilau Book.
- [14] Conoras, WAK. and Tabaika, (2019). Pemodelan Dan Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Site Pulau Pakal PT. Antam (Persero) Tbk Ubp Nickel Maluku Utara Menggunakan Metode Inverse Distance Weight Dan Ordinary Kriging, *J. Dintek*, 12(1), 19–28.
- [15] Conoras, WAK., and Djin, A., (2021). Pemodelan Estimasi Sumberdaya Endapan Emas (Au) Daerah Loloda Menggunakan Metode Inverse Distance Cube (ID3) Dan Ordinary Kriging (OK), *J. Dintek*, 14(2), 82–95.
- [16] Welmer, FW., Dalheimer, M., (1986). *Economic Evaluations in Exploration*, Second. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- [17] Sinclair, AJ. and Blackwell, GH, (2009). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press.