

PERHITUNGAN CADANGAN NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHTING

Muh. Adib Hadriawan¹, Rafiuddin², Syamsuddin³

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Republik Indonesia, Indonesia

muhammadadibhadriawan@gmail.com¹

Kata Kunci:

Cadangan, idw, laterit, nikel, surpac

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan sebaran sumberdaya nikel laterit serta menghitung cadangan pada Blok 8A CV. Sentosa Abadi di Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali. Penelitian ini memberikan informasi penting bagi perencanaan tambang dengan mengidentifikasi variasi kadar serta menentukan bagian endapan yang layak ditambang secara ekonomis. Data pemboran yang digunakan meliputi assay, collar, survey, dan geologi, kemudian diolah dengan perangkat lunak Surpac 6.3.2. Estimasi kadar dilakukan menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) pada block model berukuran $5 \times 5 \times 1$ meter. Perhitungan cadangan menerapkan cut off grade 1,1% Ni serta density 1,5 ton/m³. Hasil penelitian menunjukkan kadar nikel lebih tinggi berada pada zona saprolit. Estimasi sumberdaya mencapai 436,406 m³ atau 654,609 ton, sedangkan cadangan di atas cut off grade berjumlah 359,653 m³ atau 539,480 ton dengan kadar rata-rata 2,08% Ni.

Abstract

This study aims to describe the spatial distribution of nickel laterite resources and to calculate the reserves in Block 8A of CV. Sentosa Abadi, Bahodopi District, Morowali Regency. The research provides important information for mine planning by identifying grade variations and determining the portion of the deposit that meets economic extraction criteria. Drilling data, including assay, collar, survey, and geology, were processed using Surpac 6.3.2. Grade estimation was performed using the Inverse Distance Weighting (IDW) method with a $5 \times 5 \times 1$ meter block model. A cut-off grade of 1.1% Ni and a density of 1.5 ton/m³ were applied in reserve calculation. The results show that higher nickel grades occur mainly in the saprolite zone. Estimated resources reached 436,406 m³ or 654,609 tons, while reserves above the cut-off grade totaled 359,653 m³ or 539,480 tons with an average grade of 2.08% Ni.

Key Word:

Idw, laterite, laterite, nickel, reserve, surpac

Copyright © xxxx

This work is licensed under an **Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya nikel laterit terbesar di dunia yang berperan penting dalam mendukung kebutuhan industri baja tahan karat dan baterai kendaraan listrik. Dalam kegiatan pertambangan, informasi mengenai sebaran kadar dan jumlah cadangan merupakan dasar utama dalam penyusunan perencanaan tambang, penjadwalan produksi, serta evaluasi kelayakan ekonomi suatu endapan. Oleh karena itu, data eksplorasi yang diperoleh dari kegiatan pengeboran perlu diolah menjadi model yang mampu merepresentasikan kondisi bawah permukaan secara akurat sehingga dapat menghasilkan estimasi cadangan yang lebih andal (Azhim et al., 2022).

Perkembangan perangkat lunak pemodelan geologi dan tambang memungkinkan data pemboran diolah dalam bentuk model tiga dimensi yang mampu menggambarkan distribusi kadar secara spasial. Salah satu

metode interpolasi yang banyak digunakan dalam estimasi sumber daya dan cadangan adalah Inverse Distance Weighting (IDW), yaitu metode yang memberikan bobot lebih besar pada data yang memiliki jarak lebih dekat terhadap titik estimasi. Metode ini dinilai sederhana, efisien, dan mampu menghasilkan model distribusi kadar yang representatif pada endapan nikel laterit (Syahrul dan Paremisa, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode IDW untuk mengestimasi sumber daya nikel laterit berdasarkan data pemboran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode tersebut mampu menggambarkan pola penyebaran kadar dan ketebalan endapan secara baik. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada estimasi sumber daya dan belum banyak membahas perhitungan cadangan yang mempertimbangkan batas kadar ekonomi (cut-off grade) sebagai dasar penentuan material yang layak ditambang. Selain itu, karakteristik geologi yang berbeda pada setiap wilayah menyebabkan hasil estimasi tidak dapat diterapkan secara langsung pada lokasi lain sehingga diperlukan kajian pada area yang lebih spesifik (Syahrul dan Paremisa, 2023).

Blok 8A CV. Sentosa Abadi di Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, merupakan salah satu area yang telah memiliki data hasil pemboran berupa data assay, collar, survey, dan geologi, namun belum dilakukan pemodelan cadangan secara terintegrasi menggunakan metode IDW. Kondisi tersebut menyebabkan informasi mengenai distribusi kadar dan jumlah cadangan yang memenuhi kriteria ekonomi belum tersedia secara rinci sebagai dasar pengambilan keputusan penambangan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode Inverse Distance Weighting (IDW) pada perangkat lunak Surpac 6.3.2 untuk membangun model blok tiga dimensi dan menghitung cadangan nikel laterit pada Blok 8A CV. Sentosa Abadi. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode IDW untuk estimasi cadangan nikel laterit pada area Blok 8A dengan menggunakan block model berukuran $5 \times 5 \times 1$ meter serta penerapan cut-off grade 1,1% Ni sebagai dasar penentuan cadangan yang layak ditambang.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sebaran sumber daya nikel laterit dan menghitung jumlah cadangan yang memenuhi batas kadar ekonomi pada Blok 8A CV. Sentosa Abadi, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih akurat dalam mendukung perencanaan dan pengelolaan kegiatan penambangan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengestimasi cadangan nikel laterit pada Blok 8A CV. Sentosa Abadi, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2025 dengan memanfaatkan data hasil kegiatan eksplorasi yang telah dilakukan perusahaan. Data yang digunakan berupa data pemboran yang terdiri atas data collar, survey, geology, dan assay, serta data pendukung berupa topografi, densitas material, dan nilai cut-off grade (COG) yang diterapkan perusahaan.

Tahap penelitian diawali dengan pengumpulan dan validasi data pemboran untuk memastikan konsistensi koordinat, kedalaman, litologi, dan kadar nikel. Data yang telah tervalidasi kemudian diinput ke dalam perangkat lunak Surpac 6.3.2 untuk membangun basis data pemboran (drillhole database). Selanjutnya dilakukan pemodelan topografi dan interpretasi geologi berdasarkan informasi litologi serta zonasi laterit yang diperoleh dari data pemboran. Hasil interpretasi tersebut digunakan untuk membentuk model tiga dimensi (solid model) sebagai representasi geometri endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

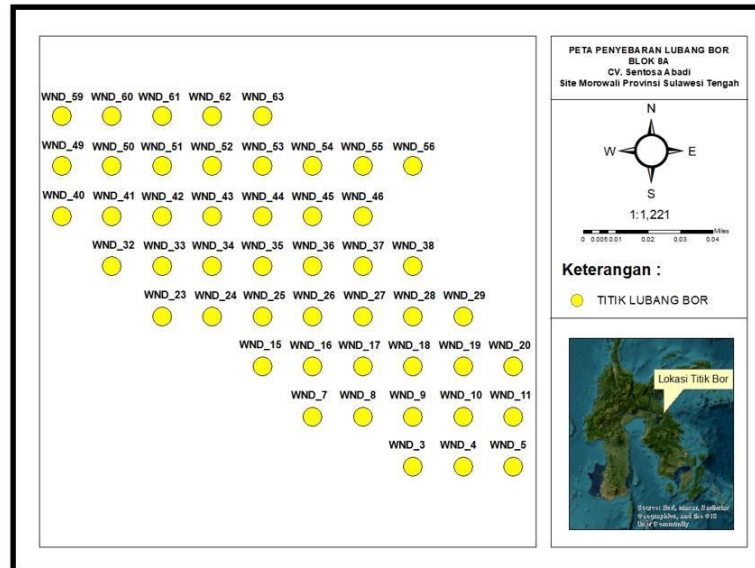
Estimasi kadar dilakukan menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) pada Surpac 6.3.2. Metode ini memperhitungkan pengaruh jarak antar sampel terhadap nilai estimasi, dimana sampel yang berada lebih dekat memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan sampel yang berada lebih jauh. Hasil interpolasi kadar kemudian digunakan untuk membangun block model yang merepresentasikan distribusi kadar nikel pada daerah penelitian.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan cadangan berdasarkan nilai cut-off grade yang diterapkan perusahaan. Blok yang memiliki kadar sama atau lebih besar dari nilai cut-off grade diklasifikasikan sebagai bijih (ore), sedangkan blok dengan kadar di bawah batas tersebut dikategorikan sebagai material non-ekonomis. Volume cadangan diperoleh dari akumulasi volume blok yang memenuhi kriteria kadar, kemudian dikonversi menjadi tonase dengan menggunakan nilai densitas material yang berlaku pada daerah penelitian.

Hasil estimasi selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh informasi mengenai distribusi kadar, volume, dan tonase cadangan nikel laterit. Hasil analisis disajikan dalam bentuk model tiga dimensi, tabel, dan grafik sebagai dasar evaluasi potensi cadangan pada Blok 8A CV. Sentosa Abadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pengeboran dilakukan dengan spasi yang tidak beraturan dengan jumlah seluruh lubang pengeboran sebanyak 48 titik dengan kedalaman bervariasi hingga mencapai 23 meter dari permukaan tanah. Dari hasil pengeboran ini menghasilkan data assay, collar, geology dan survey.



Gambar 1. Peta Penyebaran Titik Pengeboran Pada Blok 8A

Luas Area dan Rata – Rata Ketebalan Zona Laterit

Luas Area

Area penelitian pada blok 8A yang dianalisis memiliki luas sebesar 2,52 hektar atau setara dengan 25.200 m². Luas area tersebut diperoleh berdasarkan hasil boundary dan perhitungan area menggunakan perangkat lunak Surpac 6.3.2. Luas area penelitian digunakan sebagai dasar dalam proses estimasi sumber daya dan analisis sebaran laterit nikel pada lokasi penelitian.

Tabel 1. Luas Area Blok 8A

Keterangan	Nilai
Luas Area (Ha)	2,52
Luas Area (m ²)	25.200

Rata – Rata Ketebalan Lapisan Limonit

Berdasarkan hasil pengolahan data pengeboran pada area penelitian, diperoleh ketebalan lapisan limonit yang bervariasi pada setiap lubang bor. Lapisan limonit umumnya berada pada bagian atas profil laterit dengan rata-rata kedalaman sebesar 4,76 meter dan rata-rata ketebalan sebesar 6,02 meter.

Tabel 2. Rata – Rata Ketebalan Lapisan Limonit

Hole ID	Rata-rata Kedalaman (m)	Ketebalan Limonit (m)	Lithology
WND_3	10.57	7	Limonit
WND_4	1.5	2	Limonit
WND_5	2	1	Limonit

WND_7	11.96	10.6	Limonit
WND_8	4.33	3	Limonit
WND_9	5	5	Limonit
WND_10	7	11	Limonit
WND_11	1.5	2	Limonit
WND_15	5	9	Limonit
WND_16	2	3	Limonit
WND_17	3.5	6	Limonit
WND_18	3	5	Limonit
WND_19	6.8	5	Limonit
WND_20	6.89	9	Limonit
WND_23	4.29	7	Limonit
WND_24	7.83	12	Limonit
WND_25	5	9	Limonit
WND_26	4.83	6	Limonit
WND_27	5.67	9	Limonit
WND_28	2.5	4	Limonit
WND_29	5.6	5	Limonit
WND_32	8.5	12	Limonit
WND_33	3.74	4	Limonit
WND_34	1	1	Limonit
WND_35	1.5	2	Limonit
WND_36	6.2	10	Limonit
WND_37	1	1	Limonit
WND_38	4.5	2	Limonit
WND_40	0	0	Limonit
WND_41	5.88	8	Limonit
WND_42	4	6	Limonit
WND_43	4.5	6	Limonit
WND_44	5.14	7	Limonit
WND_45	5	9	Limonit
WND_46	1	1	Limonit
WND_49	3.5	4	Limonit
WND_50	3.83	6	Limonit
WND_51	2.5	4	Limonit
WND_52	4.5	8	Limonit
WND_53	6.67	12	Limonit
WND_54	4.2	5	Limonit
WND_55	7.17	12	Limonit
WND_56	1.5	2	Limonit
WND_59	6.27	11	Limonit
WND_60	6.5	10	Limonit
WND_61	6.36	11	Limonit
WND_62	4.5	2	Limonit
WND_63	6	4	Limonit
Grand Total / Rata-rata	4.76	6.02	Limonit

Rata – Rata Ketebalan Lapisan Saprolit

Berdasarkan hasil pengolahan data pemboran, lapisan saprolit menunjukkan ketebalan yang relatif lebih besar dibandingkan lapisan limonit. Rata-rata kedalaman lapisan saprolit sebesar 9,73 meter dengan rata-rata ketebalan mencapai 8,42 meter.

Tabel 3. Rata – Rata Ketebalan Lapisan Saprolit

Hole ID	Rata - Rata Kedalaman (m)	Ketebalan Saprolit (m)	Lithology
WND_3	11.16	13.2	Saprolit
WND_4	7	9	Saprolit
WND_5	10.26	17.4	Saprolit
WND_7	3.79	6	Saprolit
WND_8	10.52	14.8	Saprolit
WND_9	6.83	6	Saprolit
WND_10	13.43	7	Saprolit
WND_11	6.5	8	Saprolit
WND_15	11.5	4	Saprolit
WND_16	10.5	14	Saprolit
WND_17	9	5	Saprolit
WND_18	9	7	Saprolit
WND_19	8.6	10	Saprolit
WND_20	8.6	5	Saprolit
WND_23	11.53	9	Saprolit
WND_24	14.5	8	Saprolit
WND_25	11.5	4	Saprolit
WND_26	8.17	6	Saprolit
WND_27	10	4	Saprolit
WND_28	6.5	4	Saprolit
WND_29	7.81	7.5	Saprolit
WND_32	14.33	9	Saprolit
WND_33	6.2	5	Saprolit
WND_34	6.5	10	Saprolit
WND_35	6.73	9	Saprolit
WND_36	13	7	Saprolit
WND_37	5.04	7	Saprolit
WND_38	8	12	Saprolit
WND_40	5.5	10	Saprolit
WND_41	9.58	5.5	Saprolit
WND_42	12.95	10.4	Saprolit
WND_43	7	4	Saprolit
WND_44	15	16	Saprolit
WND_45	13.5	8	Saprolit
WND_46	12.5	22	Saprolit
WND_49	8.56	9	Saprolit
WND_50	8.6	5	Saprolit
WND_51	7	5	Saprolit
WND_52	12.5	8	Saprolit
WND_53	14	4	Saprolit
WND_54	8.14	7	Saprolit
WND_55	17.27	11	Saprolit
WND_56	6.5	8	Saprolit

WND_59	13.4	5	Saprolit
WND_60	15.09	11	Saprolit
WND_61	12.5	4	Saprolit
WND_62	8	12	Saprolit
WND_63	12.18	17	Saprolit
Grand Total / Rata-rata	9.73	8.42	Saprolit

Data Collar

Data collar menunjukkan posisi koordinat dan elevasi titik awal pengeboran. Berdasarkan hasil pengolahan, elevasi terendah tercatat pada hole WND_59 dengan tinggi 195,85 meter, sehingga menjadi titik collar paling rendah di lokasi penelitian. Sementara itu, kedalaman pemboran terbesar terdapat pada hole WND_44, yang mencapai 23 meter.

Data Geologi

Data geologi merupakan data yang berisi informasi mengenai lapisan zona (Limonit, Saprolit, dan Bedrock). Unsur Ni pada lapisan atas mempunyai kadar yang rendah dan biasanya mengalami peningkatan sesuai kedalaman sampai pada zona saprolit kemudian turun pada zona bedrock.

Data Survey

Data survey menunjukkan orientasi dan kedalaman setiap titik pengeboran di area blok8A. Seluruh hole tercatat memiliki dip -90° dan azimuth 0° , yang menandakan bahwa seluruh pengeboran dilakukan secara vertikal lurus ke bawah. Berdasarkan hasil pengolahan data, kedalaman pemboran terbesar tercatat pada hole WND_3 dengan kedalaman 20,2 meter, menjadikannya lubang bor terdalam dalam dataset ini. Sementara itu, kedalaman pemboran paling dangkal terdapat pada hole WND_4 dengan kedalaman 11 meter. Informasi ini menjadi dasar penting dalam interpretasi geologi dan pemodelan bawah permukaan.

Cut Off Grade

Cut off grade adalah batas kadar minimum untuk menentukan apakah suatu material digolongkan sebagai ore atau waste. Pada penelitian ini digunakan cut off grade 1.1% Ni sesuai standar perusahaan. Material dengan kadar $\geq 1.1\%$ Ni dihitung sebagai ore dan dimasukkan dalam estimasi cadangan.

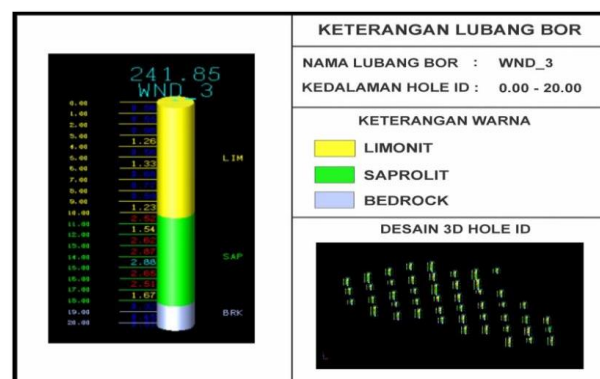
Density

Density adalah massa jenis material yang digunakan untuk mengonversi volume menjadi tonase. Perusahaan menetapkan density sebesar 1,5 ton/m³, dan nilai ini digunakan dalam seluruh perhitungan tonase cadangan pada blok yang memenuhi kriteria ore.

Tampilan 3D Lubang Bor di Surpac 6.3.2

Lubang bor WND_3 divisualisasikan menggunakan Surpac 6.3.2 dan menunjukkan susunan litologi yang terdiri atas limonit di bagian atas, saprolit pada zona tengah, serta bedrock sebagai batas bawah profil laterit. Kedalaman total lubang bor mencapai 20 meter dengan interval sampel yang telah disesuaikan dengan data assay perusahaan.

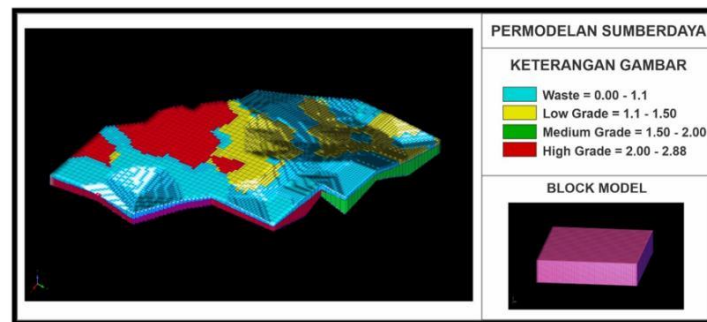
Distribusi kadar pada tiap interval ditampilkan langsung pada model lubang bor, sehingga hubungan antara litologi dan nilai kadar dapat terlihat jelas. Informasi litologi dan assay dari WND_3 ini digunakan sebagai dasar pemodelan 3D dan menjadi input dalam proses estimasi sumberdaya menggunakan metode IDW.



Gambar 2. Display 3D Hole ID

Estimasi Sumberdaya

Dalam penelitian ini data sumberdaya didapatkan dari data eksplorasi dan diolah menggunakan surpac 6.3.2 dan digunakan metode inverse distance weighting (IDW) dalam bentuk blok model dengan pola blok 5x5x1. Berdasarkan klasifikasi sumberdaya mineral maka dari hasil estimasi sumberdaya mineral termasuk dalam sumberdaya mineral terukur dimana data sumberdaya merupakan data eksplorasi detail (pengeboran) dengan jarak spasi 25 m.



Gambar 3. Model Penyebaran Sumberdaya

Block model yang diklasifikasikan berdasarkan rentang kadar nikel. Blok berwarna biru menunjukkan waste dengan kadar 0.00–1.1%, blok kuning menggambarkan low grade 1.1–1.5%, blok hijau mewakili medium grade 1.5–2.00%, sedangkan blok merah menunjukkan high grade 2.00–2.88%. Sebaran tiap kategori terlihat jelas pada model sehingga zona dengan potensi ekonomi lebih tinggi dapat diidentifikasi dan ketebalan rata-rata sumberdaya totalnya sekitar 17,23 meter.

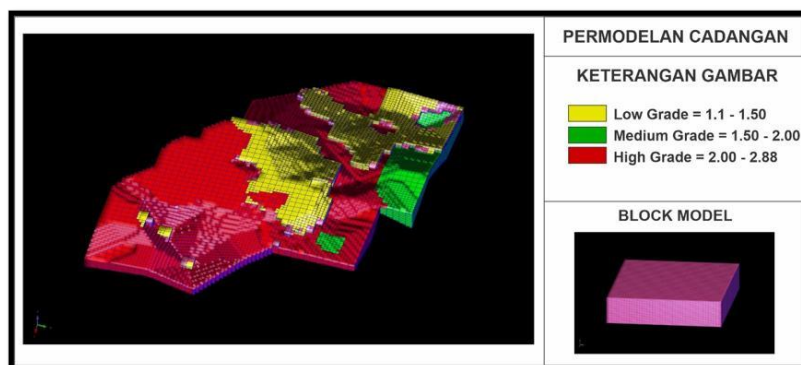
Tabel 4. Total Sumberdaya Blok 8A

Range Kadar Ni (%)	Volume (m ³)	Tonnes (ton)	Rata-Rata Kadar Ni (%)
0.0 → 1.1	76753	115130	1
1.1 → 1.5	40909	61364	1.18
1.5 → 2.0	58819	88228	1.86
2.0 → 2.88	259925	389888	2.45
Grand Total	436406	654609	2

Berdasarkan hasil perhitungan sumberdaya pada Blok 8A, total volume sumberdaya mencapai 436,406 m³ dengan total tonase sebesar 654,609 ton. Dari keseluruhan rentang kadar, diperoleh rata-rata kadar nikel sebesar 2% Ni.

Estimasi Cadangan

Berdasarkan model sumberdaya yang telah dihasilkan, dilakukan perhitungan cadangan yang disusun sesuai bentuk permodelan dan mengacu pada data analisis kadar. Parameter utama yang digunakan meliputi kadar (grade) dan massa jenis (density). Tahap pemodelan cadangan ini merupakan lanjutan dari pemodelan sumberdaya dengan penerapan cut-off grade sebesar 1.1%.



Gambar 4. Model Penyebaran Cadangan Ni

Block model yang telah diklasifikasikan berdasarkan rentang atau range kadar nikel. Blok berwarna kuning mewakili low grade (1.1–1.50% Ni), blok hijau menunjukkan medium grade (1.50–2.00% Ni), dan blok merah menggambarkan high grade (2.00–2.88% Ni). Sebaran masing-masing kategori tampak jelas pada model sehingga zona dengan kadar lebih tinggi dapat dengan mudah diidentifikasi dan ketebalan rata-rata cadangan total sekitar 14,26 meter.

Tabel 5. Total Cadangan Blok 8A COG 1.1%

Range Kadar Ni (%)	Volume (m ³)	Tonnes (ton)	Rata-Rata Kadar Ni (%)
1.10 → 1.50	40953	61430	1.25
1.50 → 2.00	58775	88163	1.84
2.00 → 2.88	259925	389888	2.43
Grand Total	359653	539480	2.08

Dari hasil pemodelan blok diperoleh total volume 359,653 m³, total tonase 539,480 ton, dan rata-rata kadar 2.08% Ni. Sebagian besar tonase berada pada rentang kadar 2.00–2.88% Ni.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan blok (block model) pada Blok 8A, sumberdaya nikel dikelompokkan menjadi empat kategori kadar, yaitu waste dengan kadar 0,00–1,10% Ni, low grade dengan kadar 1,10–1,50% Ni, medium grade dengan kadar 1,50–2,00% Ni, dan high grade dengan kadar 2,00–2,88% Ni. Hasil estimasi menunjukkan bahwa total sumberdaya yang terdapat pada Blok 8A memiliki volume sebesar 436.406 m³ dengan tonase sebesar 654.609 ton.

Berdasarkan penerapan cut off grade (COG) 1,1% Ni, material yang termasuk kategori ore memiliki total volume sebesar 359.653 m³ atau setara dengan 539.480 ton. Cadangan tersebut terdiri atas zona low grade, medium grade, dan high grade dengan kadar rata-rata keseluruhan sebesar 2,08% Ni. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar cadangan pada Blok 8A berada pada kategori high grade sehingga berpotensi memberikan nilai ekonomis yang baik untuk kegiatan penambangan.

DAFTAR REFERENSI

- Akisa, D. M., & Mireku-Gyimah, D. (2015). Application of Surpac and Whittle software in open pit optimisation and design. *Ghana Mining Journal*, 15(1), 35–43.
- Amedzrovi, P., & Agyei, G. (2022). Cut-off grade optimisation considering dilution and waste material reclamation costs. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 246–258.
- Arifin, M. (2016). Karakteristik endapan nikel laterit pada Blok X PT Bintangdelapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine*, 1(1). <https://doi.org/10.33536/jg.v1i1.7>
- Arifin, M., & Widodo, S. A. (2015). Karakteristik endapan nikel laterit pada Bintangdelapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali. *Jurnal Geomine*, 1, 37–45.
- Asdar, M. F., Okto, A., & Ngkoimani, L. (2022). Karakteristik batuan ultramafik Daerah Tamainusi, Kecamatan Soyo Jaya, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 4(2), 57–66. <https://doi.org/10.56099/ophiolite.v4i2.28635>
- Asrim. (2022). Genesa endapan nikel laterit di Kabaena Barat. *Jurnal Akademika*, 1(3), 17–34.
- Asy'ari, M. A. (2012). Geologi dan estimasi sumberdaya nikel laterit dengan metode inverse distance weighting (IDW) dan kriging pada daerah Bahodopi Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal INTEKNA*, 12(1), 17–22.
- Azhim, M. F., Widiastawan, I. M. D., Soraya, N., Dewi, T. S., & Semedie, T. (2022). Karakteristik geokimia dan fisik endapan nikel-kobalt laterit di Pulau Maniang, Kolaka, Sulawesi Tenggara. *Proceedings PIT IAGI 2022*.

- Bye, A. (2007). The application of multi-parametric block models to the mining process. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107(1), 51–58.
- Choi, Y., Lee, I., & Moon, I. (2021). Geochemical and mineralogical characteristics of garnierite from the Morowali lateritic nickel deposit, Sulawesi, Indonesia. *Frontiers in Earth Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.761748>
- Elias, M. (2002). Nickel laterite deposits: Geological overview, resources and exploitation. CODES Special Publication No. 4, Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania.
- Jayaputra, H. A. (2021). Pemodelan urutan penambangan nikel laterit berdasarkan total cadangan pada Blok 5A Pit Bonus menggunakan Surpac 6.3.2 di PT Bintang Delapan Mineral, Kecamatan Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah. *Journal of Earth and Marine Technology*, 2(1), 77–83. <https://doi.org/10.31284/j.jemt.2021.v2i1.1725>
- Masri, M., Mili, M. Z., Awaliah, W. R., Tugo, L. J., & Rifai, L. A. (2023). Mineralogi dan properti keteknikan endapan nikel laterit Daerah Tobimeita-Langgikima, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geosapta*, 9(2), 117–125. <https://doi.org/10.20527/jg.v9i2.14860>
- Syahrul, & Paremisa, E. S. (2023). Estimasi sumberdaya dan sebaran nikel laterit menggunakan metode inverse distance weighting (IDW) Daerah Langgikima, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine*, 11(2), 165–173.
- Thamsi, A. B., Jafar, N., & Fauzie, A. (2021). Analisis pengaruh morfologi pada pembentukan nikel laterit PT Prima Sentosa Alam Lestari Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosapta*, 7(2), 75–82. <https://doi.org/10.20527/jg.v7i2.9114>