

ESTIMASI SUMBER DAYA NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN METODE INVERSE DISTANCE WEIGHT (IDW) PADA PT X, MALUKU UTARA

Juan D E Nanlohy¹, Irfan Marwanza², Taat Tri Purwiyono³

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teoknologi Kebumian dan Energi, Universitas Trisakti, Jakarta, Indonesia ^{1,2,3}

Email: Irfanm@trisakti.ac.id

Informasi

Abstract

Volume : 3
Nomor : 8
Bulan : Agustus
Tahun : 2026
E-ISSN : 3062-9624

Mineral resource estimation is a fundamental stage in mine planning that determines the economic viability of a deposit. This study aims to estimate laterite nickel resources using the Inverse Distance Weighting (IDW) method at a deposit in PT X, North Maluku, through an integrated approach encompassing variogram analysis, strict geological domain separation, and quantitative validation. The data consist of secondary exploration drilling data from 42 drill holes, including collar, survey, assay (Ni, Fe, SiO₂), and lithology. Data processing was carried out using Leapfrog for wireframe geological modeling, Snowden Supervisor for statistical and variography analysis, and Isatis.neo for compositing, block modeling, and IDW estimation. Limonite and saprolite domains were separated using hard boundary. Estimation results show a total nickel resource of 9,878.87 tonnes, comprising 3,469.31 tonnes in the limonite zone (Ni grade 1.11%) and 6,409.56 tonnes in the saprolite zone (Ni grade 1.90%). Cross-validation yielded IDW correlation coefficients ranging from 0.69 to 0.76, with Ni Root Mean Square Error (RMSE) of 0.24 for limonite and 0.50 for saprolite. The resulting IDW block model realistically represents grade distribution in accordance with laterite genesis principles and can serve as a reference for subsequent mine planning.

Keyword: Resource Estimation, Inverse Distance Weighting, Laterite Nickel, Isatis.neo

Abstrak

Estimasi sumber daya mineral merupakan tahap fundamental dalam perencanaan tambang yang menentukan kelayakan ekonomi suatu deposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi sumber daya nikel laterit menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) pada deposit di PT X, Maluku Utara, dengan pendekatan terintegrasi yang mencakup analisis variogram, pemisahan domain geologi secara ketat, dan validasi kuantitatif. Data yang digunakan berupa data sekunder dari 42 lubang bor mencakup collar, survey, assay (Ni, Fe, SiO₂), dan litologi. Pengolahan data dilakukan menggunakan Leapfrog untuk pemodelan geologi wireframe, Snowden Supervisor untuk analisis statistik dan variografi, serta Isatis.neo untuk kompositing, pemodelan blok, dan eksekusi estimasi IDW. Pemisahan domain limonit dan saprolit diterapkan secara hard boundary. Hasil estimasi menunjukkan total sumber daya nikel sebesar 9.878,87 ton, terdiri dari 3.469,31 ton pada zona limonit (kadar Ni 1,11%) dan 6.409,56 ton pada zona saprolit (kadar Ni 1,90%). Validasi silang menghasilkan koefisien korelasi IDW pada rentang 0,69 hingga 0,76, dengan Root Mean Square Error (RMSE) Ni sebesar 0,24 untuk limonit dan 0,50 untuk saprolit. Model IDW yang dihasilkan mampu merepresentasikan sebaran kadar secara realistis dan selaras dengan prinsip genesa endapan laterit, sehingga dapat dijadikan acuan untuk perencanaan tambang lanjutan.

Kata Kunci: Estimasi Sumber Daya, Inverse Distance Weighting, Nikel Laterit, Isatis.neo

A. PENDAHULUAN

Permintaan global terhadap komoditas nikel terus mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan masifnya transisi energi global, khususnya untuk memenuhi kebutuhan bahan baku baterai kendaraan listrik. Indonesia, sebagai negara dengan cadangan nikel laterit terbesar di dunia, memegang peranan strategis dalam rantai pasok ini. Wilayah Maluku Utara, khususnya Pulau Gebe, merupakan salah satu area deposit utama yang terbentuk akibat proses tektonik kompleks. Batuan ultrabasa di kawasan tersebut merupakan produk dari tumbukan lempeng yang oleh Hall dan Wilson (2000) diidentifikasi sebagai Molucca Sea Collision Complex.

Dalam industri pertambangan, estimasi sumber daya merupakan tahapan krusial untuk menentukan kelayakan ekonomi suatu endapan sebelum dilakukan penambangan. Keputusan strategis, mulai dari penyusunan studi kelayakan, desain tambang, hingga analisis investasi, sangat bergantung pada akurasi penaksiran tonase dan kadar mineral (Asy'ari, 2012). Tingkat kesalahan yang tinggi dalam estimasi dapat berdampak fatal terhadap proyeksi finansial dan umur tambang.

Metode Inverse Distance Weighting (IDW) merupakan salah satu pendekatan penaksiran interpolasi deterministik yang umum diaplikasikan dalam pemodelan endapan laterit. Metode yang diformulasikan oleh Shepard (1968) ini didasarkan pada prinsip bahwa nilai sampel yang berada lebih dekat dengan titik yang ditaksir memiliki pengaruh (bobot) yang lebih besar dibandingkan sampel yang berada lebih jauh. Pendekatan ini relatif efisien dan tidak memerlukan asumsi distribusi statistik yang kompleks, sehingga sering dijadikan standar dalam estimasi sumber daya nikel laterit di Indonesia (Bakri et al., 2023; Saputra et al., 2023; Ardi & Jafar, 2024).

Meskipun penggunaan IDW telah meluas, tantangan utama dalam penerapannya pada endapan nikel laterit adalah sifat geokimia deposit yang sangat bervariasi secara vertikal. Zona limonit dan saprolit memiliki karakteristik komposisi yang saling bertolak belakang (Harahap & Novitasari, 2022). Oleh karena itu, penggabungan kedua domain ini dalam satu parameter estimasi tanpa adanya pemisahan batas yang tegas (hard boundary) berpotensi menghasilkan model distribusi kadar yang tidak akurat. Selain itu, parameter orientasi pencarian (search ellipsoid) sering kali hanya didasarkan pada asumsi geometris tanpa analisis variogram kuantitatif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi sumber daya nikel laterit dengan metode IDW pada deposit di PT X, Maluku Utara, melalui pendekatan yang lebih komprehensif.

Pendekatan tersebut mencakup integrasi analisis variogram untuk menentukan dimensi search ellipsoid, penerapan pemisahan domain secara hard boundary antara zona limonit dan saprolit, serta uji akurasi model menggunakan Root Mean Square Error (RMSE). Diharapkan, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan metodologis yang aplikatif bagi kegiatan eksplorasi endapan nikel dengan karakteristik geologi serupa di kawasan Indonesia timur.

B. METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari kegiatan pemboran eksplorasi pada Blok 60 dan Blok 61 di Pulau Gebe, Halmahera, Maluku Utara. Secara geologi regional, kawasan ini tersusun oleh batuan ultrabasa yang bertindak sebagai batuan induk (bedrock) endapan laterit (Hall & Wilson, 2000). Basis data yang digunakan terdiri dari 42 titik lubang bor vertikal yang mencakup empat tabel utama: data collar (X, Y, Z), data survey, data assay (kadar Ni, Fe, dan SiO₂), serta data geologi yang mengklasifikasikan litologi menjadi limonit (LIM), saprolit (SAP), dan batuan dasar (BRK).

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pembangunan dan validasi basis data. Seluruh informasi pemboran diimpor ke dalam perangkat lunak Leapfrog untuk dilakukan verifikasi konsistensi spasial, guna memastikan tidak terdapat anomali seperti titik collar yang berada di bawah permukaan topografi.

Tahap kedua difokuskan pada pemodelan geologi tiga dimensi (wireframing). Korelasi spasial antar lubang bor dibangun berdasarkan profil litologi dan perubahan kadar (assay). Pemodelan ini menghasilkan batas domain yang tegas (hard boundary) untuk memisahkan zona limonit yang menempati profil atas dan zona saprolit di profil bawah, mengingat kedua zona tersebut memiliki populasi statistik geokimia yang berbeda secara fundamental.

Tahap ketiga meliputi analisis statistik dan variografi menggunakan Snowden Supervisor. Analisis variogram dilakukan pada setiap domain secara terpisah untuk mengkuantifikasi kemenerusan spasial unsur Ni, Fe, dan SiO₂. Jarak jangkauan (range) maksimum pada sumbu mayor (U), semi-mayor (V), dan minor (W) yang dihasilkan dari variogram ini diadaptasi langsung sebagai dimensi search ellipsoid anisotropik pada proses estimasi.

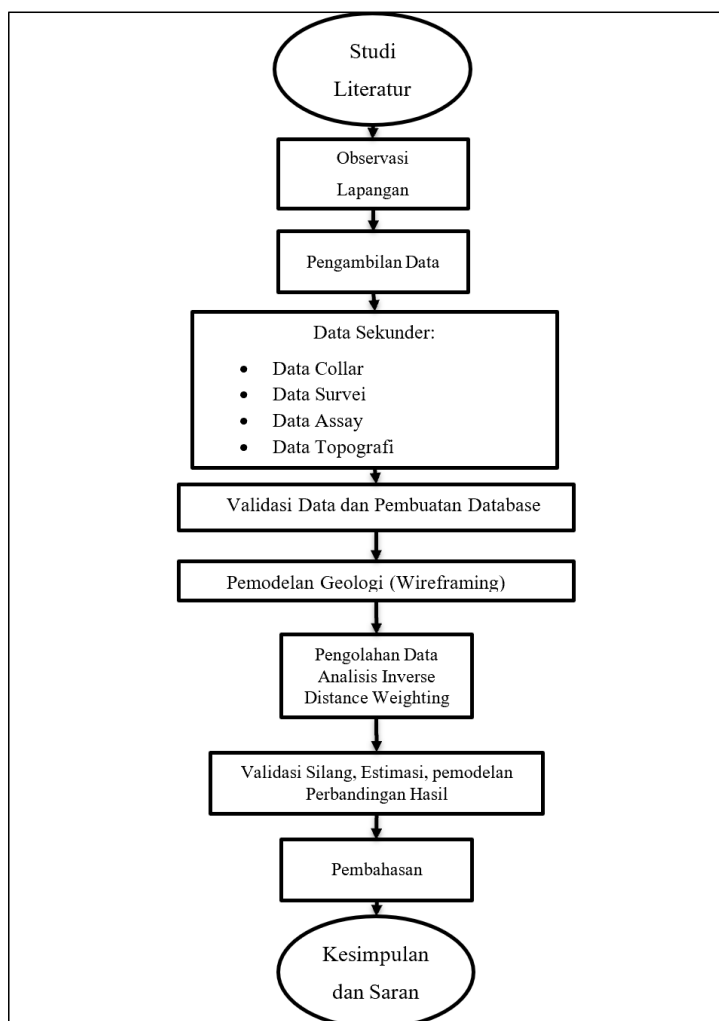
Tahap keempat adalah proses estimasi sumber daya. Penaksiran dilakukan menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW) dengan pangkat pembobot (power factor) bernilai 2 di dalam perangkat lunak Isatis.neo. Model blok dibangun dengan dimensi 12,5 m x 12,5 m x 1 m, yang merepresentasikan setengah dari spasi pemboran aktual. Estimasi dieksekusi secara terpisah antara domain limonit dan saprolit (hard boundary aktif) untuk mencegah pelumatan

kadar (grade smearing) antar zona.

Tahap kelima merupakan validasi dan pengujian keandalan model. Pengujian dilakukan melalui teknik leave-one-out cross-validation, di mana setiap titik komposit diestimasi ulang secara bergiliran menggunakan parameter IDW yang telah ditentukan. Selisih antara nilai taksiran dan nilai aktual dikuantifikasi menggunakan metrik Root Mean Square Error (RMSE) dengan persamaan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - \hat{Z}(x_i))^2}$$

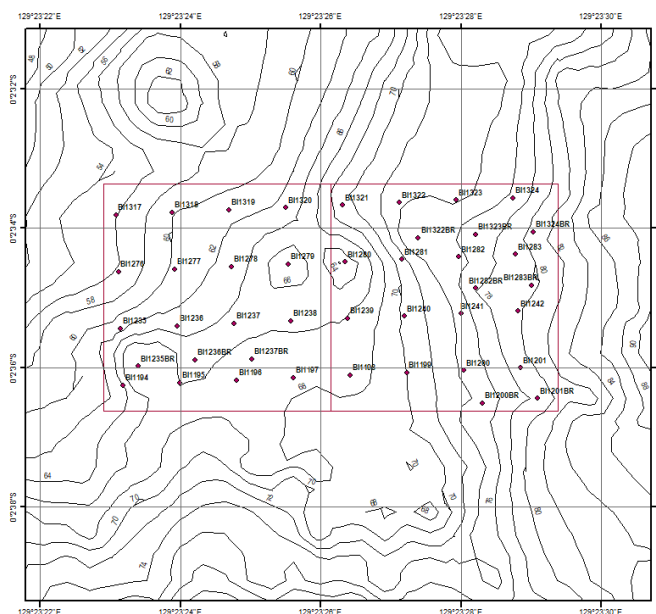
dengan $Z(x_i)$ merupakan kadar aktual sampel, $\hat{Z}(x_i)$ merupakan nilai estimasi, dan n adalah jumlah total data. Inspeksi visual juga dilakukan pada penampang model blok untuk memastikan keselarasan distribusi kadar dengan prinsip genesa pelapukan laterit.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

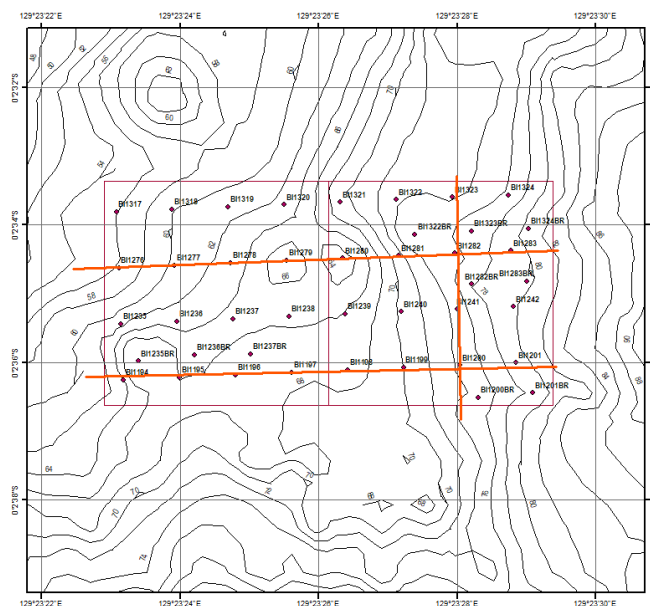
Berdasarkan integrasi data dari 42 titik lubang bor di Blok 60 dan Blok 61, penelitian ini berhasil merekonstruksi penyebaran endapan nikel laterit di bawah permukaan.



Gambar 2. Peta Sebaran Lubang Bor

Sebelum dimulai, Leapfrog dipakai untuk verifikasi data dimana melihat apakah semua titik bor memotong atau tidak mengenai topografi. Setelah memasukan data kedalam leapfrog, softwarenya akan melakukan proses validasi dan perbaikan data. Dan hasilnya akan bersih tidak ada lubang bor yang menembus permukaan.

Langkah berikutnya adalah membangun wireframe tiga dimensi. Dari korelasi antar lubang bor litologi, elevasi, kadar terbentuklah model yang memperlihatkan dua zona dengan batas tegas: limonit di atas, saprolit di bawah. Tiga penampang melintang utama diambil: BI1283 ke BI1276, BI1201 ke BI1194, dan BI1323 ke BI1200. Batas antar zona dibuat hard boundary.



Gambar 3. Peta Garis Penampang

Sebelum pelaksanaan pemodelan sumber daya, analisis statistik deskriptif dilakukan untuk memahami karakteristik distribusi data kadar pada endapan. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada Tabel 1.

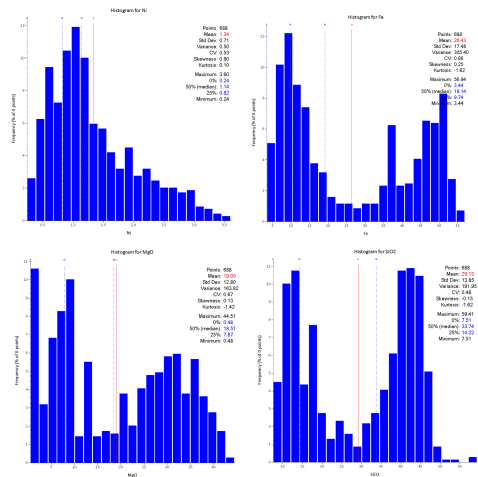
Berdasarkan Tabel 1, unsur Ni memiliki nilai rata-rata (mean) sebesar 1,34% dengan median 1,14%. Terdapatnya selisih antara nilai mean dan median yang disertai nilai skewness positif (0,90) mengindikasikan bahwa distribusi kadar Ni cenderung menceng ke kanan (positive skewness). Hal ini menunjukkan karakteristik endapan bijih pada umumnya, di mana populasi didominasi oleh kadar rendah-menengah, sementara sebagian kecil sampel dengan kadar sangat tinggi menarik nilai rata-rata ke atas.

Tabel 1. Hasil Statistik Deskriptif

Parameter	Ni (%)	Fe (%)	SiO2 (%)
Mean	1,34	26,43	29,13
Median	1,14	19,14	33,74
Standar Deviasi	0,71	17,48	13,85
CoV	0,52	0,66	0,48
Varians	0,50	305,40	191,95
Skewness	0,90	0,25	-0,15

Karakteristik yang lebih spesifik terlihat pada distribusi unsur penyerta, yaitu Fe dan SiO₂. Berdasarkan histogram distribusi data Gambar 4, distribusi kedua unsur tersebut bersifat bimodal (memiliki dua puncak populasi). Pola bimodal ini merupakan representasi langsung dari perbedaan karakter geokimia dua domain laterit: populasi dengan Fe tinggi dan SiO₂ rendah mewakili zona limonit, sedangkan populasi dengan Fe rendah dan SiO₂ tinggi

merepresentasikan zona saprolit (Harahap & Novitasari, 2022). Fakta statistik ini memperkuat justifikasi penggunaan hard boundary dalam proses pemodelan geologi, karena pencampuran data dari dua populasi yang berbeda akan menghasilkan tingkat galat yang tinggi saat estimasi.



Gambar 4. Grafik Histogram

Analisis kesinambungan spasial (variogram) dilakukan secara terpisah untuk masing-masing domain. Parameter jarak jangkauan (range) yang diperoleh dari pemodelan variogram dirangkum pada Tabel 2 dan diimplementasikan langsung sebagai batas pencarian (search ellipsoid) dalam algoritma IDW.

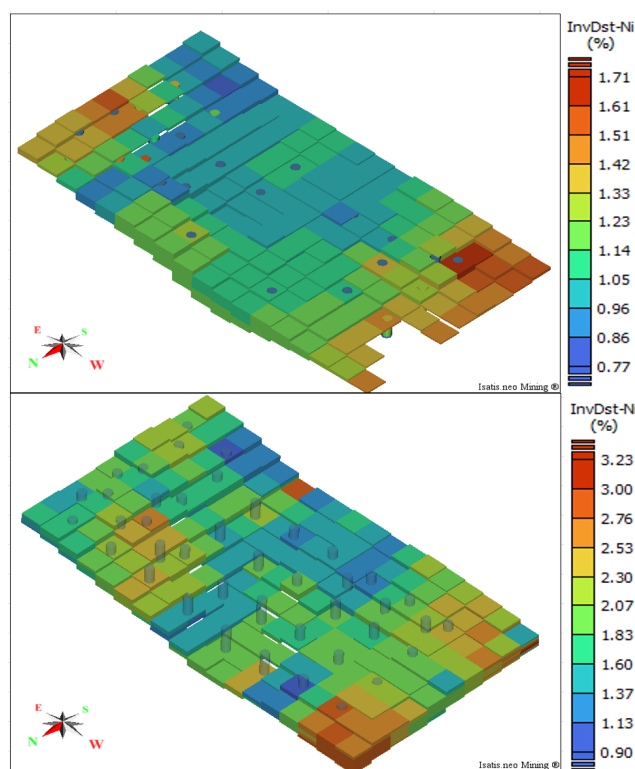
Berdasarkan Tabel 2, terdapat perbedaan mencolok pada kemenerusan spasial antar zona. Zona limonit memiliki range horizontal (U) untuk Ni sejauh 117 m, yang secara geologi mencerminkan proses pelapukan tingkat lanjut yang menyebar relatif homogen secara lateral di bagian atas profil. Sebaliknya, zona saprolit memiliki jangkauan horizontal yang lebih pendek (35 m untuk Ni), mengindikasikan bahwa proses pengayaan supergen di zona ini terkonsentrasi secara lokal dan sangat dikontrol oleh struktur batuan dasar (bedrock) yang tidak beraturan.

Tabel 2. Parameter Range Variogram untuk Search Ellipsoid Estimasi IDW

Domain	Unsur	Range U (m)	Range V (m)	Range W (m)
Limonit	Ni	117	44	30
Limonit	Fe	159	34	60
Limonit	SiO2	159	44	17
Saprolit	Ni	35	35	7
Saprolit	Fe	159	40	3
Saprolit	SiO2	159	36	7

Model blok 12,5 m x 12,5 m x 1 m, power factor 2, hard boundary aktif. Isatis.neo mengeksekusi estimasi pada masing-masing domain secara independen. Penggunaan nilai

power factor 2 dipilih karena mampu memberikan pembobotan yang seimbang; nilai ini cukup kuat untuk melokalisasi pengaruh sampel terdekat sehingga mempertahankan variabilitas lokal, namun tetap menghasilkan gradasi yang moderat.



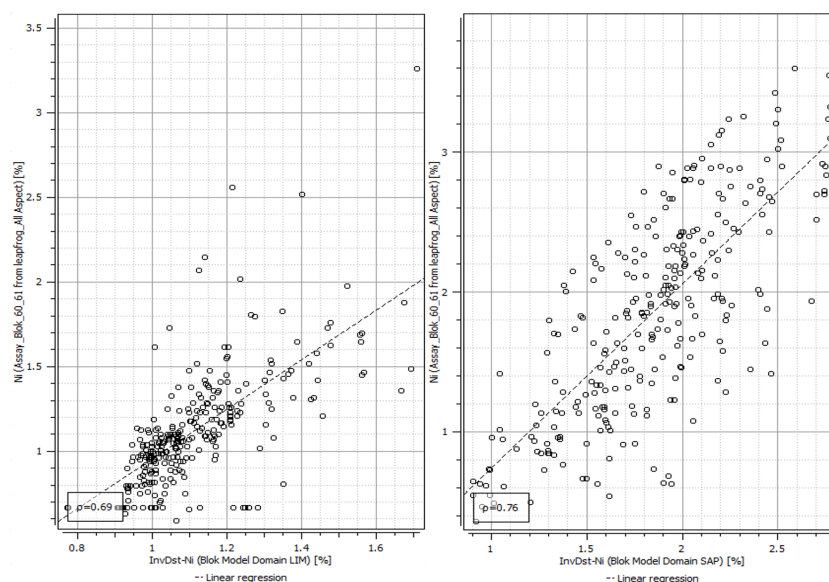
Gambar 5. Hasil Estimasi IDW Limonit dan Saprolit Nikel

Berdasarkan Tabel 3, hasil estimasi IDW melaporkan total sumber daya nikel sebesar 9.878,87 ton. Meskipun zona saprolit memiliki batas ketebalan yang lebih fluktuatif, zona ini menyimpan mayoritas sumber daya dengan kontribusi sebesar 6.409,56 ton pada kadar rata-rata Ni 1,90%. Sementara itu, zona limonit menyumbang 3.469,31 ton dengan kadar Ni 1,11%. Distribusi kadar spasial yang dihasilkan oleh pemodelan IDW menunjukkan tingkat konsistensi yang tinggi dengan prinsip genesa pelapukan laterit, di mana zona limonit teridentifikasi miskin nikel namun sangat kaya akan besi (Fe 45,06%), dan nikel mengalami proses pencucian (leaching) ke bawah memperkaya zona saprolit.

Tabel 3. Hasil Estimasi Sumber Daya Menggunakan Metode IDW

Litologi	Kadar	Grade (%)	Tonase (Ton)
Limonit	Ni	1,11	3.469,31
Limonit	Fe	45,06	140.576,34
Limonit	SiO ₂	14,40	44.912,58
Saprolit	Ni	1,90	6.409,56
Saprolit	Fe	14,80	50.188,90
Saprolit	SiO ₂	38,74	131.480,73

Untuk menguji tingkat keandalan model taksiran, validasi silang (cross-validation) dilakukan. Hasil plot sebar (scatter plot) validasi silang menghasilkan nilai korelasi Pearson antara nilai aktual komposit bor dengan estimasi blok berada pada rentang 0,69 (untuk limonit) hingga 0,76 (untuk saprolit). Nilai korelasi moderat ini merupakan karakteristik wajar dari metode interpolator deterministik seperti IDW, yang secara inheren menghasilkan efek penghalusan (smoothing effect) terhadap nilai-nilai data ekstrem lokal.



Gambar 6. Cross-Validation IDW Limonit dan Saprolit Ni

Berdasarkan Tabel 4, performa akurasi estimasi Ni pada zona limonit (RMSE = 0,24) menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan pada zona saprolit (RMSE = 0,50). Perbedaan metrik kesalahan ini merepresentasikan realitas geologi bahwa distribusi mineral di zona saprolit memiliki variabilitas spasial yang jauh lebih kompleks dan tidak teratur akibat intensitas pelapukan supergen pada rekahan batuan dasar. Secara keseluruhan, nilai RMSE ini menunjukkan batas toleransi kesalahan yang dapat diterima untuk keperluan pelaporan eksplorasi sumber daya tahap awal, membuktikan bahwa integrasi hard boundary dan search ellipsoid berbasis variogram berhasil mengoptimalkan keandalan IDW.

Tabel 4. Hasil Perhitungan RMSE Model IDW

Litologi	Unsur	RMSE
Limonit	Ni	0,24
Limonit	Fe	4,94
Limonit	SiO ₂	3,41
Saprolit	Ni	0,50
Saprolit	Fe	5,28
Saprolit	SiO ₂	4,86

Mengenai hard boundary. Data statistik yang menunjukkan distribusi bimodal pada Fe dan SiO₂ secara langsung membuktikan bahwa limonit dan saprolit adalah dua entitas geokimia yang berbeda. Mencampurkan mereka dalam satu search neighborhood tanpa hard boundary akan menghasilkan estimasi yang tidak mencerminkan realitas. Temuan ini menegaskan kembali apa yang sudah diingatkan oleh Sulistyana Bargawa dan Purnomo (2012): domain separation adalah langkah non-negosiasi dalam estimasi laterit.

peran variogram. Parameter range yang berbeda drastis antara limonit (Ni, U=117 m) dan saprolit (Ni, U=35 m) adalah bukti bahwa kemenerusan spasial di setiap zona tidak bisa diasumsikan seragam. Menggunakan search ellipsoid yang dikalibrasi variogram per domain adalah pendekatan yang lebih bertanggung jawab secara teknis.

tentang smoothing. Korelasi validasi silang IDW yang moderat (0,69-0,76) sebenarnya bukan kelemahan melainkan karakteristik. IDW tidak menduplikasi data seperti exact interpolator; ia melakukan interpolasi sesungguhnya, menghasilkan permukaan kadar yang halus. Untuk pelaporan sumber daya, ini justru lebih jujur secara geologi.

Akurasi RMSE 0,24-0,50 untuk Ni berada dalam rentang yang wajar untuk tahap eksplorasi. Sebagai pembandingan, Ramadhan et al. (2022) melaporkan rentang RMSE yang sebanding untuk estimasi sumber daya tahap awal. Yang penting adalah memahami bahwa error yang lebih tinggi di saprolit bukan berarti modelnya gagal melainkan mencerminkan realitas geologi bahwa zona ini memang lebih variabel.

D. KESIMPULAN

Metode Inverse Distance Weighting (IDW) dengan penerapan pangkat pembobot atau Power factor 2 ($p=2$), orientasi anisotropik berbasis variogram, dan pemisahan domain secara hard boundary terbukti efektif dalam memodelkan sebaran endapan laterit secara realistis. Berdasarkan estimasi model blok pada PT X di Maluku Utara, diperoleh total sumber daya nikel sebesar 9.878,87 ton. Zona saprolit merupakan target dominan dengan tonase sebesar 6.409,56 ton pada kadar Ni 1,90%, sedangkan zona limonit menghasilkan tonase sebesar 3.469,31 ton dengan kadar Ni 1,11%. Pengujian validasi silang (cross-validation) menunjukkan koefisien korelasi yang stabil pada rentang 0,69–0,76. Perbedaan metrik kesalahan RMSE unsur Ni antara limonit (0,24) dan saprolit (0,50) secara langsung mencerminkan derajat variabilitas dan homogenitas alamiah yang berbeda antara kedua domain geologi tersebut.

Beberapa rekomendasi teknis untuk pengembangan penelitian selanjutnya antara lain: (1) penambahan kerapatan (infill drilling) lubang bor eksplorasi di area yang memiliki

variabilitas saprolit tinggi sangat disarankan guna menurunkan nilai RMSE; dan (2) disarankan untuk melakukan studi lanjutan dengan mengaplikasikan metode geostatistik stokastik, seperti Ordinary Kriging, sebagai pembanding untuk mengevaluasi signifikansi peningkatan akurasi dan mitigasi efek smoothing pada estimasi kadar nikel, khususnya di zona saprolit yang fluktuatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada manajemen PT X atas dukungan logistik eksplorasi dan penyediaan data primer yang menjadi dasar penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada segenap rekan sejawat di Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Trisakti atas diskusi akademis dan dukungan penuhnya sehingga penyusunan artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

E. DAFTAR PUSTAKA

- Ardi, M., & Jafar, N. (2024). Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit Menggunakan Metode Inverse Distance Weighting (IDW) di PT Premlog Offshore Indonesia, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine*.
- Asy'ari, M. F. (2012). Analisa Perbandingan Kadar Nikel Menggunakan Metode Penaksiran Kadar Inverse Distance Weighting (IDW) dan Nearest Neighbor Polygon (NNP) Di PT Vale Indonesia. *Jurnal Ilmiah MTG*.
- Bakri, H., Nur, I., & Maulana, A. (2023). Resource Estimation of Nickel Laterite Using Inverse Distance Weighting Method at PT Mahkota Semesta Nikelindo. *Journal of Earth and Marine Technology*.
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Haluk, G. S. (2025). Perbandingan Metode Inverse Distance Weighting dan Nearest Neighbor Polygon untuk Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit di PT X, Maluku Utara. Skripsi, Universitas Trisakti.
- Harahap, A. Y., & Novitasari, U. (2022). Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit Berdasarkan Domain Geologi. *Jurnal Teknik Pertambangan*.
- Imalianda, N., Rosana, M. F., & Yuningsih, E. T. (2025). Karakteristik Endapan Nikel Laterit Daerah X, Maluku Utara. *Jurnal Geosains dan Teknologi*.
- Ramadhan, R., Waterman, S. B., & Febrianto, M. (2022). Pemodelan Endapan Nikel Laterit Menggunakan Metode Ordinary Kriging. *Jurnal Teknologi Pertambangan*.

- Saputra, H., Widodo, S., & Jafar, N. (2023). Pemodelan dan Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit Menggunakan Metode Inverse Distance Weighting pada Blok A5 PT Jagad Rayatama, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine*.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*.
- Sulistiyana Bargawa, W. (2015). Perbandingan Metode Estimasi Cadangan: NNP, IDW, dan Ordinary Kriging. *Jurnal Teknologi Pertambangan*.
- Sulistiyana Bargawa, W., & Purnomo, H. (2012). Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit Menggunakan Metode Geostatistik. *Prosiding Seminar Nasional kebumian*.
- Zibuka, M. A., Sumarya, & Santi, N. S. (2016). Perbandingan Metode NNP dan IDW untuk Estimasi Nikel Laterit. *Jurnal Teknik Pertambangan*.