

Pemodelan dan Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit Berdasarkan Kandungan Ni dan Fe dengan Menggunakan Metode Kriging di Desa Tambale Kecamatan Mamosaloto, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah

T Wahyu Rizfaldi, Noor Fauzi Isniarno *, Indra Karna Wijaksana

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

wahyurizfaldi@gmail.com, noor.fauzi.isniarno@gmail.com, indrakwijaksana@gmail.com

Abstract. Resources are a concentration or formation of materials that have a selling value that is in the earth's crust or on the bui crust with quality, shape and quantity that have reasonable prospects and can then be extracted economically (KCMI, 2017).887 million tons with ore reserves of 4,346 million tons. An estimate is needed to calculate the resources before the mining process is carried out. On this basis, research was carried out on exploration activities that aimed to determine the amount of laterite nickel deposit resources using the kriging method. The resource estimation method used is the kriging method. The basis for determining resources is to talk about the level of confidence. Thus, the selection of the kriging method is because this method is the best linear unbiased estimator, many parameters are considered in the kriging method, one of which is the variogram model. The variogram model is a spatial statistical analysis (geostatistical), or statistical analysis by considering the location of the sample point, so that information related to the relationship of one point to another point is obtained expressed in the range or radius of the information point that still has a spatial relationship. It was found that the average level in block 1 was 0.36 and block 2 was 0.33. The value of Ni levels at the research site, namely in Block 1 and Block 2, showed the direction of homogeneity towards quadrant 1 and quadrant 3. In Block 1, the volume of limonite/saprolite was recorded at 26,074 m³ with a nickel content of 0.65%, SG 1.3, and a tonnage of 33,896 tons. Meanwhile, the bedrock in Block 1 has a volume of 569,297 m³, a nickel content of 0.35%, SG 2, and a tonnage of 1,138,594 tons. In Block 2, the volume of limonite/saprolite is 3,516 m³ with a nickel content of 0.44%, SG 1.3, and a tonnage of 4,571 tons. Bedrock in Block 2 has a volume of 1,516,934 m³, nickel content of 0.30%, SG 2, and a tonnage of 3,033,868 tons.

Keywords: *Resources, Lower Limit Terms, Estimates, Nickel laterite, Ni, Kriging.*

Abstrak. Sumberdaya adalah sebuah konsentrasi atau keterbentukan material yang memiliki nilai jual yang berada di kerak bumi atau di atas kerak bui dengan kualitas, bentuk dan kuantitas yang mempunyai keprospekan yang beralasan kemudian dapat di ekstrak secara ekonomis (KCMI,2017).887 juta ton dengan Cadangan bijih sebesar 4.346 juta ton. diperlukan estimasi untuk menghitung sumberdaya sebelum dilakukannya proses penambangan. Atas dasar hal tersebut maka dilakukanlah penelitian mengenai kegiatan eksplorasi yang bertujuan untuk mengetahui jumlah sumberdaya endapan nikel laterit menggunakan metode kriging. Metode estimasi sumberdaya yang digunakan adalah metode kriging. Dasar dalam penentuan sumberdaya adalah berbicara terkait tingkat keyakinan. Dengan demikian, pemilihan metode kriging dikarenakan metode ini merupakan best linear unbiased estimator, banyak parameter yang diperhatikan dalam metode kriging salah satunya adalah model variogram. Model variogram merupakan analisis statistik spasial (geostatistik), atau analisis statistik dengan mempertimbangkan lokasi titik sampel, sehingga didapatkan informasi terkait hubungan satu titik dengan titik yang lainnya yang dinyatakan dalam range atau radius titik informasi yang masih memiliki hubungan secara spasial. didapatkan bahwa rata-rata kadar pada block 1 adalah sebesar 0.36 dan block 2 sebesar 0.33. nilai kadar Ni di lokasi penelitian, yaitu di Blok 1 dan Blok 2, menunjukkan arah homogenitas ke arah kuadran 1 dan kuadran 3. hasil pada Blok 1, volume limonit/saprolit tercatat sebanyak 26.074 m³ dengan kadar nikel 0,65%, SG 1,3, dan tonase 33.896 ton. Sementara itu, bedrock di Blok 1 memiliki volume 569.297 m³, kadar nikel 0,35%, SG 2, dan tonase 1.138.594 ton. Di Blok 2, volume limonit/saprolit adalah 3.516 m³ dengan kadar nikel 0,44%, SG 1,3, dan tonase 4.571 ton. Bedrock di Blok 2 memiliki volume 1.516.934 m³, kadar nikel 0,30%, SG 2, dan tonase 3.033.868 ton.

Kata Kunci: *Sumberdaya, Batas Bawah Syarat, Estimasi, Nikel laterit, Ni, Kriging.*

A. Pendahuluan

Sumberdaya adalah sebuah konsentrasi atau keterbentukan material yang memiliki nilai jual yang berada di kerak bumi atau di atas kerak bumi dengan kualitas, bentuk dan kuantitas yang mempunyai keprospekkan yang beralasan kemudian dapat di ekstrak secara ekonomis (KCMI,2017). Indonesia memiliki sumberdaya bijih nikel sebesar 11.887 juta ton dengan Cadangan bijih sebesar 4.346 juta ton, berdasarkan pemetaan Badan Geologi (PSDMBP,2021).

Dalam penambangan nikel laterit, diperlukan estimasi untuk menghitung sumberdaya sebelum dilakukannya proses penambangan. Estimasi sumberdaya berperan penting dalam menentukan kualitas dan kuantitas dari suatu endapan. Sebab dari hasil estimasi yang baik dan akurat yang sesuai dengan keberadaannya di lapangan dapat menentukan investasi yang akan di tanam oleh investor sebagai penanaman modal dalam usaha penambangan, sistem penambangan yang akan dilakukan dan dalam memperkirakan waktu yang akan di butuhkan oleh Perusahaan dalam melakukan usaha penambangannya sehingga dapat menekan biaya serta memberikan keuntungan bagi Perusahaan itu sendiri dalam proses selanjutnya.

Penambangan nikel laterit juga umumnya dilakukan dengan sistem tambang terbuka (open cast). Nikel adalah endapan bahan galian dengan distribusi kadar tidak merata (heterogeny), pada tempat tertentu bijih nikel di umpai dengan kadar yang kebanyakan tinggi sedangkan pada tempat lain dijumpai bijih nikel dengan kadar yang relative rendah. Atas dasar hal tersebut maka dilakukanlah penelitian mengenai kegiatan eksplorasi yang bertujuan untuk mengetahui jumlah sumberdaya endapan nikel laterit menggunakan metode kriging. Estimasi sumberdaya dilakukan berdasarkan data-data pemboran eksplorasi di blok 1 dan 2 pada CV Tiga Utama.

B. Metode

Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder yang meliputi:

1. Data primer: data survey, data collar, data litologi dan data assay serta topografi lokal
2. Data sekunder: Peta topografi, peta geologi regional, data curah hujan dan handbook

Teknik Pengolahan Data

Data hasil kegiatan eksplorasi rinci dimuat dalam suatu database yang akan dipergunakan untuk mengestimasi sumberdaya seperti data survey, data collar, data geologi, data assay, dan data topografi. Sebelum di olah database tersebut dilakukan verifikasi dan validasi data. Data litologi hasil pengamatan secara megaskopis di lapangan di validasi dengan metode crossplot curve logbor terhadap data assay dengan mempertimbangkan nilai kadar Ni dan Fe berdasarkan konsep supergene enrichment, sehingga akan terlihat perpotongan yang merupakan batas antara setiap zonasi seperti limonit, saprolite dan bedrock. Selanjutnya data collar, data survey di validasi terhadap topografi (elevasi). kemudian dilakukan interpretasi data dengan analisis statistik dan analisis geostatistik. Analisis statistik untuk mendapatkan distribusi data sebagai penentuan jenis kriging yang akan digunakan. Data hasil uji laboratorium atau data assay kemudian dilakukan composite setiap 1 meter (dengan pertimbangan tinggi blok model yang akan dibuat), kemudian data yang telah dilakukan composite dilakukan cut outlier, pemotongan penciran tersebut dilakukan untuk menghindari underestimate dan overestimate pada saat pembuatan model variogram. Sebelum memodelkan variogram, terlebih dahulu membuat variogram map, yaitu bertujuan untuk mendapatkan arah yang memiliki nilai yang stasioner sehingga mendapatkan output variogram eksperimental, kemudian pemodelan variogram dilakukan untuk mendapatkan parameter sebagai input dalam mengestimasi sumber daya, setelah didapatkan model variogram, kemudian model variogram tersebut terlebih dahulu di validasi terhadap grade (raw data). Pemodelan geologi dilakukan sebagai tahap dalam estimasi kadar Ni dengan menginterpretasi data litologi hasil pengeboran agar mendapat informasi distribusi kadar nikel laterit. Sebelum mengestimasi sumber daya, terlebih dahulu membuat blok-blok yang akan di estimasi, kemudian dilakukan limitasi dan estimasi sumberdaya dengan memasukkan parameter hasil dari model variogram hingga mendapatkan klasifikasi sumberdaya. Setelah itu dapat dibuat blok sumberdaya berdasarkan distribusi kadar Ni dan Fe agar memudahkan dalam kegiatan penambangan sehingga didapatkan nilai sumberdaya nikel yang memenuhi memenuhi.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan metode analisis statistik yaitu analisis univariate Hasil analisis tersebut berupa nilai variance yang akan menjadi input untuk itting variogram dan distribusi data digunakan untuk menentukan metode kriging yang akan digunakan untuk memodelkan sumberdaya, sehingga setelah melewati proses estimasi kriging, jenis sumberdaya bisa didapatkan dengan menghitung nilai RKSD

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Deskripsi Sample

Deskripsi dilakukan terhadap sampel pada kedua blok sebanyak 24 lubang bor yang hasilnya berupa log bor . deskripsi dilakukan secara megaskopis terhadap sampel pemboran pada saat kegiatan pemboran berlangsung. Hasil deskripsi megaskopis dari sampel hasil pengeboran Blok 1. Dari hasil mendeskripsi inti batuan (core) pada setiap kedalaman pengeboran tertentu maka diperoleh data-data: jenis batuan, kedalaman dan ketebalan maupun batuan lainnya di bawah permukaan.

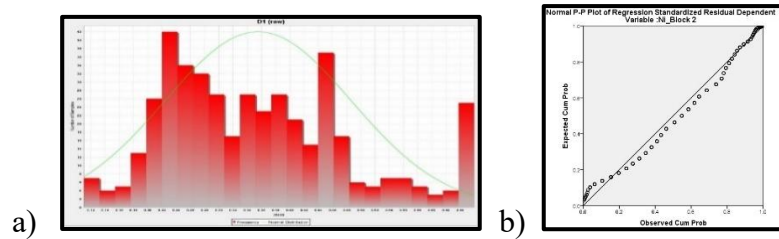
LOG BOR																											
Nama Proyek : Pemboran Nilot												Koordinat : 8° 01' 35.54" S, 102° 58' 37.1" E, Elevasi : m															
GP : CV TIGA UTAMA												Tinggi Kulkas : 50 meter															
Kelas : CV Paralel, Maritim, North Maritim, Central Sulawesi												Jenis pemboran : Full Core															
No. Titik Bor : 112-02												Kondisi : CV KANCA SATU (1) / ABA															
Kondisi/Keterangan : 0'												Mati															
Start Casing : H2												Mula uji : 14 November 2022															
Mula Mula : JUNE 202												Selesai uji : 17 November 2022															
Bore Hole : No												Jenis Bor : Any															
Hole ID	DEPTH (m)	SAMPLE ID	Profile Site	Recovery Length	Material Code	Rock Code	Grain Size	Serpent	Weathering	Color	Structure				Mineral				Assay								Note
											Prim.	Sec.	Primary	Sec.	Tertiary	S-0.5 %	S-0.5-1.25 %	S-1.25-0.48 %	S-0.48-0.5 %	S-0.5-1.2 %	S-1.2-0.48 %	S-0.48 %					
1				1.00	TPS-SAP	LM-SAP	M6	NL	1	BBN-GRT				FX	LIB												
2				1.00	BBN	PST	CS	LOW	3	GRT-BLK		FX		FX		SIR											
3				1.00	BBN	PST	CS	LOW	3	GRT-BLK		FX		FX		SIR-HMT											
4				1.00	BBN	PST	CS	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR-SL-HMT											
5				1.00	BBN	PST	CS	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR-SL-HMT											
6				1.00	BBN	PST	VCS	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX													
7				1.00	BBN	PST	VCS	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX		SIR											
8				1.00	BBN	PST	VCS	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX													
9				1.00	BBN	PST	VCS	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR											
10				1.00	BBN	PST	VCS	LOW	3	GRT-BLK						SIR											
11				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR											
12				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR											
13				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT-BLK	VEN	FX		FX		SIR											
14				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT-BLK		FX		FX		SIR											
15				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT-BLK		FX		FX		SIR											
16				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX		SIR											
17				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX													
18				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX													
19				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX													
20				1.00	BBN	PST	FG	LOW	3	GRT	VEN	FX		FX													

Gambar 1. Log Bor

Analisis Statistik

Studi ini melakukan dua analisis statistik: analisis univariate dan analisis bivariate. Selain itu, uji normalitas visual dilakukan melalui Histogram dan PP-Plot. Untuk kadar Ni, analisis deskriptif menemukan nilai koefisien variasi sebesar 0.412627 di Blok 1 dan 0.333788 di Blok 2. Jika dibandingkan dengan nilai koefisien variasi pada berbagai tipe endapan mineral di seluruh dunia, koefisien variasi endapan besi pada daerah penelitian lebih sering mendekati nilai 0,27, yang menunjukkan bahwa penyebaran kadar Ni di lokasi penelitian relatif rendah. homogenitas.

Kemudian, jika dilihat dari Plot Kemungkinan, titik-titik tidak tersebar searah garis linear yang ada. Sebaliknya, mereka memiliki arah penyebaran yang relatif searah, yang menunjukkan bahwa distribusi data tidak normal. Sama seperti hasil histogram, dapat disimpulkan bahwa distribusi kadar Ni di lokasi penelitian memiliki tingkat homogenitas yang relatif rendah. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa distribusi data kadar Ni tidak normal. Oleh karena itu, metode yang akan digunakan adalah kriging biasa (Ordinary Kriging).

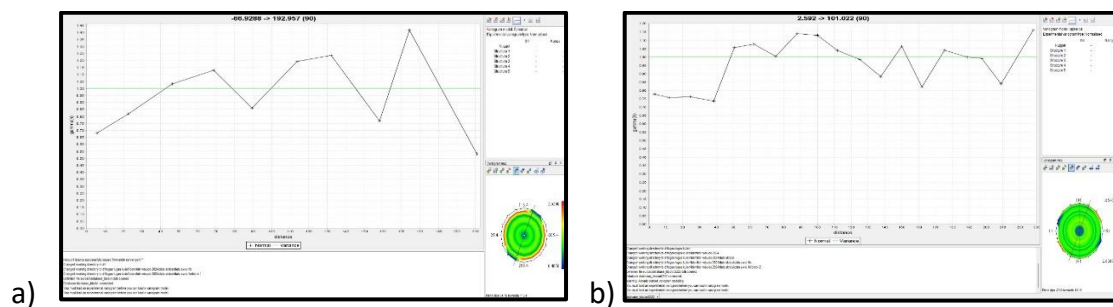


Gambar 2. Histogram Kadar Ni Blok 1 (a) dan *Probability Plot* Kadar Ni Blok North (b)

Jika dilihat pada histogram, distribusi data kadar Ni menunjukkan distribusi skewness positif, hal tersebut mengartikan bahwa distribusi kadar Ni di lokasi tingkat homogenitasnya relatif rendah. Jadi dapat disimpulkan bahwa kadar Ni memiliki distribusi data tidak normal sehingga metode yang akan digunakan adalah ordinary kriging.

Variogram

Variogram adalah alat yang digunakan untuk mengukur variabilitas atau tingkat kemiripan antara data nilai sampel berdasarkan jarak antara keduanya. Variogram eksperimental harus dibuat terlebih dahulu sebelum menentukan variogram yang sesuai berdasarkan kondisi data. Variogram eksperimental dibuat ke segala arah, sehingga menjadi variogram eksperimental. Untuk mempermudah proses fitting untuk mendapatkan variogram model, perlu mempertimbangkan parameter penyusun variogram. Dalam penelitian ini, kadar Ni laterit dibuat melalui pembuatan variogram dalam arah homogenitas dan kontinuitas (directional).



Gambar 3. Variogram Eksperimental dan Variogram Map Kadar Ni (a) Blok 1 (b) Blok 2

Hasil dari perhitungan semivariogram dan proses fitting variogram model teoritis dari kadar Ni pada nikel laterit ditunjukkan, yaitu parameter variogram untuk menjadi input pada proses estimasi dengan Kriging. variogram model untuk data nilai kadar Ni yaitu model spherical, data menunjukkan linear pada titik awal yang menyatakan bahwa data memiliki kontinuitas yang relative rendah, pernyataan tersebut juga dapat dilihat dari koefisien variasi di Blok 1 yaitu senilai 0,412627 dan di Blok 2 memiliki koefisien variasi 0,333788.

Dengan nilai parameter yang telah didapatkan dari hasil fitting variogram di atas menunjukkan bahwa di Blok 1 dan 2 memiliki semivariogram yang tidak bernilai 0 pada jarak lag mendekati 0, hal tersebut salah satunya dapat disebabkan oleh kesalahan dalam penentuan titik sampel, akan tetapi hal tersebut bukan suatu alasan yang kongkrit, karena setiap distribusi suatu nilai dalam ruang memiliki nilai nugget dan ada yang tidak. Kemudian untuk nilai sill pada kedua blok jika dilihat pada model variogram, keduanya memiliki nilai yang mendekati pada nilai variance pada kedua blok, karena secara definisi sill merupakan nilai semivariogram yang konstan pada setiap perubahan lag dan pada umumnya nilai sill akan mendekati nilai variance. Adapun untuk nilai range pada masing-masing blok dapat didefinisikan sebagai jarak lag hingga nilai semivariogram konstan atau jarak maksimum antara titik-titik yang masih memiliki korelasi secara spasial, sehingga nilai range ini dapat menunjukkan daerah pengaruh antara titik-titik sampel. Dari hasil model variogram, di Blok 1 memiliki range 56,691 meter, yang berarti kadar Ni di Blok 1 dengan radius 56,691 meter masih memiliki hubungan spasial. Adapun di Blok 2 memiliki range 57,608 meter, yang berarti kadar Ni di Blok 2 dengan radius 57,608 meter masih memiliki hubungan spasial.

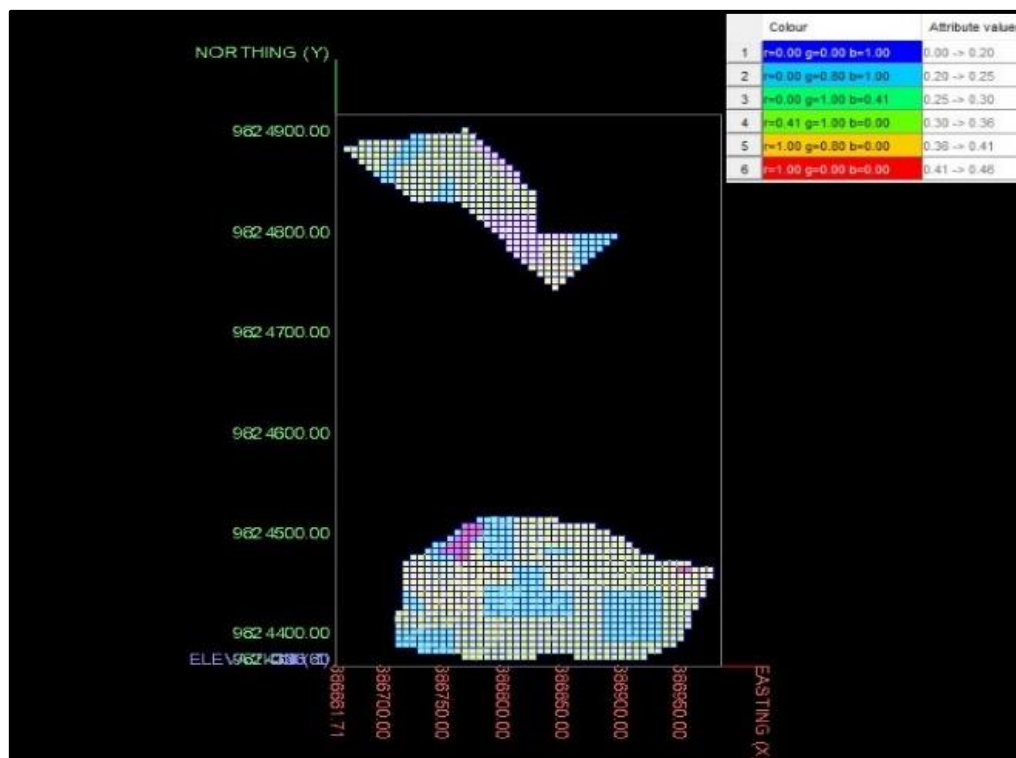
Blok Model dan Estimasi Kriging

Estimasi merupakan penaksiran pada suatu nilai, penaksiran nilai kadar ini dilakukan pada blok-blok yang telah ditentukan dengan menggunakan metode geostatistik yaitu kriging dan jenis yang dipakai adalah ordinary kriging. Proses estimasi dengan kriging bertujuan untuk mendapatkan nilai taksiran kadar Ni dan Fe, penaksiran ini dengan bantuan software. Pada program ini membutuhkan parameter variogram dan blok-blok berdasarkan jumlah dan jarak lubang bor. Luas pencarian taksiran dinyatakan sebagai 3D search ellipsoid

Model blok secara keseluruhan akan ditaksir sumberdaya dengan metode kriging dengan parameter sebagai berikut: Jumlah blok disesuaikan berdasarkan jarak antara sampel (lubang bor) yang tersebar; Dimensi blok dibuat 5 m x 5 m x 1 m yang didasari oleh ukuran blok penambangan pada lokasi penelitian; Koordinat awal sistem program merupakan koordinat minimum pada titik bor.

Adapun search ellipsoid dinyatakan dengan parameter sebagai berikut: Parameter sumbu (axis) di mana sumbu major (rmax) menyatakan sumbu X, sumbu medium (rmed) menyatakan sumbu Y dan sumbu minor (rmin) menyatakan sumbu Z, di mana ketiga sumbu tersebut merupakan sumbu dari kartesian; Parameter sudut digunakan untuk menyatakan posisi dari ellipsoid secara tiga dimensi yaitu meliputi sudut α yang menyatakan arah pencarian atau azimuth, sudut β yang menyatakan kemiringan suatu bidang pencarian atau dip dan sudut θ yang menyatakan sebagai sudut penunjaman dari garis atau arah pencarian data atau plunge.

Perhitungan cadangan yang dilakukan diarea CV. Tiga Utama adalah cadangan terukur, karena kegiatan eksplorasi yang dilakukan di area CV. Tiga Utama memenuhi persyaratan untuk eksplorasi rinci. Perhitungan cadangan nikel laterit dilakukan di area blok 1 dan blok 2 yang merupakan area dimana dilakukan kegiatan eksplorasi sebelumnya. Area tersebut dijadikan asumsi sebagai blok prospek. Dari hasil perhitungan cadangan yang dilakukan di area blok 1 cadangan nikel sebesar 33.896 Ton, dengan Cut of Grade (COG) 0.65 %. Dan di blok 2 sebesar 4.570 Ton, dengan (COG) 0.44 %



Gambar 4. Blok Model Kriging Kadar Ni Blok 1 dan Blok 2

D. Kesimpulan

Dari hasil penyelidikan dan analisa data-data; kenampakan dilapangan dan hasil analisa laboratorium maka dapat diambil kesimpulan:

1. Dari hasil penelitian ini, didapatkan bahwa rata-rata kadar pada block 1 adalah sebesar 0.365511705 dan pada block 2 sebesar 0.334678499. Hasil ini menunjukkan bahwa block 1 memiliki kadar yang lebih tinggi dibandingkan dengan block 2. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk memahami faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan ini dan implikasinya terhadap penelitian yang dilakukan..
2. Dalam penelitian ini, nilai kadar Ni di lokasi penelitian, yaitu di Blok 1 dan Blok 2, menunjukkan arah homogenitas ke arah kuadran 1 dan kuadran 3. Hal ini berarti bahwa kadar Ni cenderung serupa dan menunjukkan pola kontinuitas yang signifikan dalam arah tersebut. Dengan kata lain, distribusi nilai Ni lebih seragam dan teratur ketika diukur dalam arah kuadran 1 (timur laut) dan kuadran 3 (barat daya). Penemuan ini sangat penting karena memberikan wawasan tentang bagaimana nikel tersebar di dalam blok-blok tersebut, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keputusan eksplorasi dan penambangan. Pengetahuan tentang arah homogenitas dan kontinuitas ini memungkinkan para peneliti dan praktisi industri untuk merancang strategi pengambilan sampel dan eksplorasi yang lebih efektif, mengoptimalkan proses ekstraksi, serta meminimalkan ketidakpastian dalam estimasi cadangan mineral. Dengan demikian, peta variogram dan variogram eksperimental tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai panduan praktis dalam manajemen sumber daya dan perencanaan operasi penambangan..
3. Pada penelitian ini didapatkan hasil pada Blok 1, volume limonit/saprolit tercatat sebanyak 26.074 m³ dengan kadar nikel 0,65%, SG 1,3, dan tonase 33.896 ton. Sementara itu, bedrock di Blok 1 memiliki volume 569.297 m³, kadar nikel 0,35%, SG 2, dan tonase 1.138.594 ton. Di Blok 2, volume limonit/saprolit adalah 3.516 m³ dengan kadar nikel 0,44%, SG 1,3, dan tonase 4.571 ton. Bedrock di Blok 2 memiliki volume 1.516.934 m³, kadar nikel 0,30%, SG 2, dan tonase 3.033.868 ton.

Ucapan Terimakasih

Dari penelitian ini, penulis banyak mengucapkan banyak terimakasih telah membantu dan menyelesaikan penelitian ini kepada:

1. Keluarga
Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada keluargaku, Ibu Raihana dan Ayah T Raja Domet serta kakak saya Cut Adelia Rizfani dan Abang Saya T Ahmad Rizfandi yang telah memberikan kasih sayang, secara dukungan, ridho, dan cinta kasih yang tiada terhingga. Selalu membuat saya termotivasi dan selalu menyirami kasih sayang, selalu mendoakan saya, selalu menasehati saya serta selalu meridhoi saya melakukan hal yang lebih baik, terimakasih selama ini sudah memeberikan segala bentuk dukungan untuk menyelesaikan Skripsi ini.
2. Keluarga Teknik Pertambangan Angkatan 2019
Teman-teman Tambang UNISBA 2019 yang tidak bisa di sebutkan satu persatu. Terima kasih banyak untuk bantuan dan kerja samanya selama ini yg sudah membantu selama penyelesaian Skripsi ini
3. Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Unisba
Penyusun mempersembahkan penelitian ini untuk dosen-dosen Unisba yang sangat penyusun banggakan yaitu Bapak Noor Fauzi Isniarno, S.SI., M.T. selaku pembimbing, Indra Karna Wijaksana, S.T., M.T. selaku Co-pembimbing, Ibu Elfida Moralista, S.Si., M.T , Bapak Iswandaru, S.T., M.T., Bapak Ir. Zaenal, M.T, S.Si., M.T., Ibu Sriyanti, S.T., M.T., dan Bapak Dr., Ir. Yunus Ashari, M.T. yang senantiasa memberikan arahan serta ilmu pengetahuan, dan semangat terhadap penyusun untuk menyelesaikan perkuliahan dan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Adit Kurniawan, Dudi Nasrudin, & Rully Nurhasan. (2021). Rancangan Teknis Penambangan Bijih Nikel pada Daerah Blok C PT XYZ Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1(2), 101–106. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v1i2.394>
- Andi Maulana Yusuf, Yuliadi, & Elfida Moralista. (2024). Perencanaan dan Pentahapan Penambangan Nikel PT. Hillconjaya Sakti Site Indrabakti Mustika. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 133–142. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5215>
- Embun Alicia Amoret, Yunus Ashari, & Dono Guntoro. (2024). Evaluasi K3 dengan Metode Analytic Hierarchy Process pada PT. Silva Andia Utama. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 116–124. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5213>
- Faza Nugraha, Yunus Ashari, & Khorniawan, W. B. (2022). Estimasi Sumberdaya Bauksit Menggunakan Metode Geostatistik di PT. XYZ Kabupaten Mempawah. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 91–98. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1141>
- Ruslan Loilatu, & Iswandaru. (2022a). Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 15–23. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.782>
- Ruslan Loilatu, & Iswandaru. (2022b). Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 15–23. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i1.782>
- Anonim, 2011. “Pemuthakiran Neraca Sumberdaya Mineral” Tahun 2011. Badan Geologi. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Ashray A. Doshi, Adam J. Postula. 2015. “Development of micro-UAV with integrated motion planning for open-cut mining surveillance”. *Microprocessors and Microsystems*, Volume 39, Issue 8, November 2015, Pages 829-835.
- Azizi, Masagus Ahmad. 2019. Prediksi “Volume Longsor Tambang Terbuka Nikel Menggunakan Metode Keseimbangan Batas 3 Dimensi”. *Indonesian Mining Professionals Journal*, Volume 1, Nomor 1, Bulan Desember 2019. ISSN : 2714- 8823
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tengah, Tahun 2022. “Kabupaten Morowali Utara Dalam Angka 2022”, Sulawesi Tengah.
- Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology Of Indonesia vol.II*, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Burger, P. A., 1996. “Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. Prosiding nickel’96 PP 179 – 183” the australisian institute of mining and metallurgy. Meulbourne.
- Cahit, H., Selahattin, K., Necip G, Tolga Q, Ibrahim G, Hasan S, Osman P., 2017. “Mineralogy and genesis of the lateritic regolith related NiCo deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey”. *Canadian Journal of Earth Science*.
- Calvert, S. J. & Hall, R., 2003, “The Cenozoic Geology Of The Lariang And Karama Regions, Western Sulawesi: New Insight Into The Evolution Of The Makassar Straits Region”, *Proceeding 29th, Indonesian Petroleum Association*.

Darijanto, T., 2000. "Ganesa Bijih Nikel Lateritik Gebe". Jurnal Teknologi Mineral ITB. VII(2), 95-108.

Fraser, T.H., Jackson, B. A., Barber, P. M., Baillie, P., Keith, M., 2003, "The West Sulawesi Fold Belt and Other New Plays Within the North Makassar Straits a Prospectivity Review", Proceeding 29th, Indonesian Petroleum Association.