

Estimasi Sumber Daya Endapan Nikel Laterit Menggunakan Metode Idw Berdasarkan Data Bor dan Data Assay Pada Blok X di Daerah Morowali Utara, Sulawesi Tengah

Praba Padma Arsyada¹, Al Hussein Flowers Rizqi², Winarti³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Geologi Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : alhussein@itny.ac.id.

ABSTRAK

Daerah penelitian berada di blok X PT. Paku Bumi Inti Mineral, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah yang merupakan bagian dari jalur ofiolit Sulawesi dengan kondisi geologi yang kompleks dan tektonik yang masih aktif. Daerah penelitian berada di Lengan Timur Sulawesi masih memiliki potensi endapan nikel laterit yang cukup besar. Melimpahnya potensi nikel laterit tersebut tentunya cukup penting untuk diimbangi dengan kegiatan eksplorasi yang sistematis. Berdasarkan hal tersebut diperlukan adanya perhitungan estimasi pada sumber daya endapan nikel laterit untuk mengetahui sebaran endapan nikel laterit di daerah penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan korelasi data pengeboran di 19 titik dengan jarak antar titik bor 100x100 meter dan dilanjutkan 50x50 meter. Hasil pengeboran menunjukkan Persebaran endapan nikel laterit pada daerah penelitian memiliki karakteristik mengikuti arah punggung yang menebal pada morfologi landai dan menipis pada morfologi lereng. Karakteristik tersebut diinterpretasikan akibat faktor utama yang berupa kondisi morfologi dan struktur geologi, hal tersebut nampak pada visualisasi sebaran nikel laterit pada daerah penelitian. Permodelan endapan nikel laterit pada daerah penelitian menggunakan software GEOVIA Surpac dan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW) didapatkan perhitungan bahwa estimasi sumberdaya nikel laterit memiliki total volume 86.750 m³, total tonase sebesar 130.125 ton dengan rata-rata kadar 1.08%.

Kata kunci: Endapan nikel laterit, Inverse Distance Weighting, Morowali Utara, Permodelan, Pengeboran.

ABSTRACT

The research area is in block X PT. Paku Bumi Inti Mineral, North Morowali Regency, Central Sulawesi Province, which is part of the Sulawesi ophiolite pathway with complex geological and tectonic conditions that are still active. The research area is located in the East Arm of Sulawesi which still has a large potential for nickel laterite deposits. The abundant potential of nickel laterite is certainly important enough to be balanced with systematic exploration activities. Based on this, it is necessary to calculate the estimated laterite nickel deposit resources to determine the distribution of lateritic nickel deposits in the study area. This research was conducted by correlating drilling data at 19 points with a distance between drill points of 100x100 meters and then 50x50 meters. Drilling results show that the distribution of nickel laterite deposits in the study area has the characteristics of following the direction of the ridge, namely thickening on the morphology of the slope and thinning on the morphology of the slope. These characteristics are interpreted because of the main factors in the form of morphological conditions and geological structure, this can be seen in the visualization of the distribution of nickel laterite in the study area. Modelling of nickel laterite deposits in the study area using GEOVIA Surpac software and the Inverse Distance Weighting (IDW) method was obtained from the estimation of nickel laterite resources with a total volume of 86,750 m³, a total tonnage of 130,125 tons with an average grade of 1.08%.

Keywords: Nickel laterite deposits, Inverse Distance Weighting, North Morowali, Modeling, Drilling.

PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi memiliki tektonik yang cukup kompleks Berdasarkan kondisi geologi, tataan stratigrafi Sulawesi Tenggara terdiri dari fragmen benua, kompleks ofiolit dan molasa Sulawesi. Kompleks ofiolit Sulawesi Tenggara adalah kompleks batuan ultramafik, yang tersusun atas dunit, harzburgit, werhilit, lertzolit, websterit, serpentinit dan piroksinit (Surono dan Hartono, 2013). Menurut Sudrajat (1999) Nikel terbentuk dari batuan yang berkemposisi kimia basa atau dikenal juga sebagai batuan peridotit. Berdasarkan teori tektonik lempeng, daerah yang banyak batuan peridotit terutama di zona tumbukan lempeng benua dan samudera.

Daerah penelitian secara administrasi terletak pada Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah (lokasi secara rinci tidak dapat ditampilkan) yang berada pada Teluk Tomori dan sekitarnya,



ISSN: 1907-5995

merupakan salah satu daerah yang menyimpan cadangan endapan nikel laterit yang cukup besar dan berpotensi untuk dieksploitasi lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Daerah penelitian dapat ditempuh dari kota Yogyakarta melalui perjalanan udara yaitu melalui rute penerbangan kota Yogyakarta menuju kota Makassar (Ujung Pandang) selama ± 90 menit dan kemudian dilanjutkan dengan rute penerbangan kota Makassar – Kabupaten Kendari selama ± 45 menit. Perjalanan kemudian dapat diteruskan melalui rute perjalanan darat yaitu menggunakan kendaraan roda empat melalui jalan provinsi menuju Kabupaten Morowali Utara selama ± 12 jam.



Gambar 1. Peta lokasi dan kesampaian daerah penelitian.

Berdasarkan tahapannya, metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap persiapan, pengambilan data lapangan, pengolahan dan analisis data (analisis studio dan analisis laboratorium) dan hasil penelitian

Tahapan Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahapan awal yang dilakukan pada penelitian (masalah khusus) yang meliputi kegiatan pendahuluan seperti pengajuan proposal kegiatan kerja praktek, presentasi rencana kegiatan kerja praktek hingga pengurusan izin penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari literatur dan pustaka yang relevan dengan kondisi geologi yang ada di daerah penelitian baik berupa buku-buku pedoman, jurnal, laporan penelitian, peta geologi regional hingga *standart operational procedure* (SOP) yang digunakan dalam kegiatan perusahaan.

Tahapan Pengambilan Data

Tahapan pengambilan data lapangan merupakan tahap dilakukannya kegiatan pengambilan data geologi yang dibutuhkan guna menyelesaikan permasalahan khusus atau penelitian yang ada pada daerah penelitian. Tahapan ini meliputi observasi geomorfologi dan kondisi geologi permukaan daerah penelitian, pengambilan data subsurface melalui kegiatan pengeboran, pengambilan sampel inti batuan hasil pengeboran hingga dokumentasi kegiatan lapangan serta pembuatan database data geologi yang telah didapatkan.

Tahapan Pengolahan dan Analisis Data

Tahap pengolahan dan analisis data merupakan tahapan yang dilakukan pasca pengambilan data yaitu dengan melakukan analisis studio dan analisis laboratorium dari data yang telah diperoleh. Tahap analisis laboratorium dilakukan dengan melakukan analisis atau uji kimia terhadap sampel inti batuan yang telah didapatkan pada proses pengeboran sehingga didapatkan data kadar dari sampel tersebut dan kemudian

disebut sebagai data (*assay*) pasca proses evaluasi data. Pada tahapan analisis studio, tahap ini dimulai dengan melakukan kegiatan identifikasi data pengeboran yaitu dengan melakukan evaluasi data pengeboran (*logging*) yang sebelumnya telah didapatkan, hal ini bertujuan untuk memastikan kevalidan data dan mengurangi risiko kesalahan data geologi yang ada.

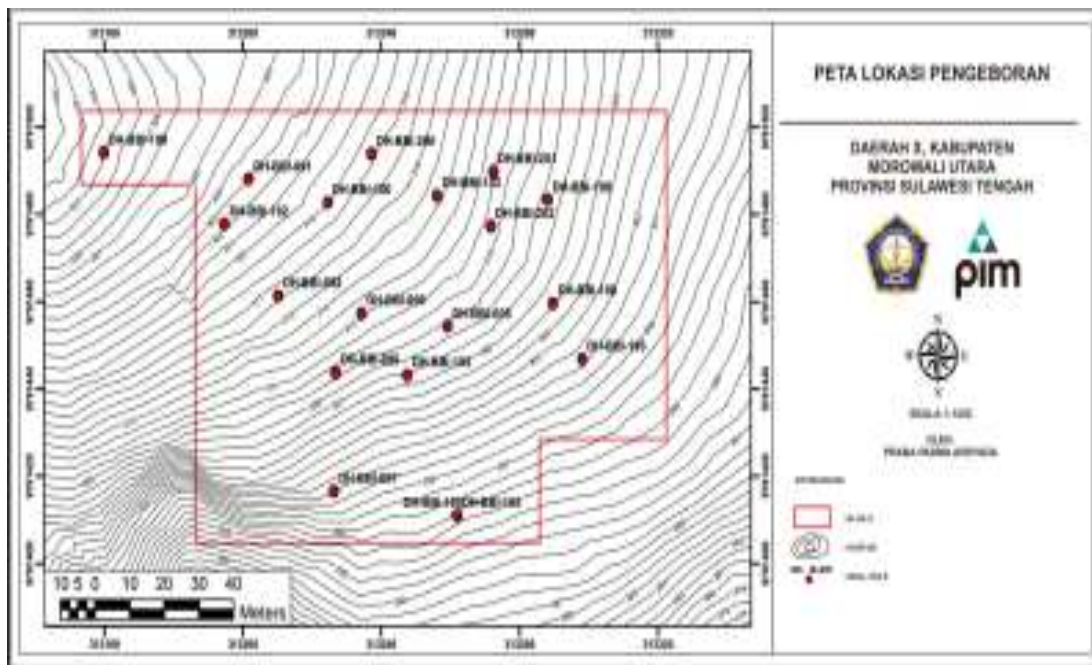
Hasil Penelitian

Hasil penelitian merupakan korelasi data geologi yang telah didapatkan baik meliputi hasil observasi data lapangan hingga data analisis studio maupun hasil analisis laboratorium. Data hasil observasi lapangan tersebut meliputi kondisi geomorfologi hingga struktur geologi regional yang berperan dalam pembentukan endapan nikel laterit pada daerah penelitian. Hasil observasi lapangan tersebut kemudian ditunjang oleh korelasi data pengeboran yang telah didapatkan pada 19 titik bor (*drill hole*) di lokasi penelitian. Hasil analisis studio dan laboratorium tersebut kemudian digunakan sebagai database dalam pembuatan visualisasi dan model sebaran endapan nikel laterit pada daerah penelitian yang berupa peta lokasi pengeboran.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil penelitian terkait pemodelan sebaran endapan nikel laterit yang ada pada daerah X, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah didapatkan data bahwa daerah penelitian tersusun atas 1 kelompok batuan utama yaitu kompleks ultramafik (MTosu) berupa batuan-batuan ultramafik seperti harzburgite, lezornite, werlite, websterite, dunite, pyroxenite hingga serpentinite yang diinterpretasikan telah mengalami beberapa kali pengarah tempatan sejak Kapur hingga Miosen Tengah sehingga kondisi batuan telah cukup terdeformasi dengan kuat sehingga menjadi batuan asal pembentukan endapan nikel laterit pada daerah penelitian.

Kegiatan pengeboran endapan nikel laterit pada daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan metode grid. Metode grid tersebut dilakukan dengan jarak/spasi antar lubang pengeboran sejauh 100 x 100 meter dan kemudian dilanjutkan dengan spasi/jarak 50 x 50 meter pada tahap yang lebih. Hasil kegiatan pengeboran yang telah dilakukan di daerah penelitian diperoleh total titik pengeboran (*drill hole*) sebanyak 19 titik. 19 titik pengeboran tersebut tersebar secara merata di daerah penelitian yang mempunyai total luasan sekitar 15 hektar



Gambar 2. Peta drill holle 19 titik.

**Tabel 1.** Data korelasi titik pengeboran 1

Deslot ID	From	To	Zona
DBL-BBL001	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL003	1,00	3,70	Lim
DBL-BBL005	3,70	4,00	Sapr
DBL-BBL007	4,00	13,00	Sapr
DBL-BBL009	13,00	18,00	Btk
DBL-BBL091	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL091	1,00	6,00	Lim
DBL-BBL091	6,00	18,70	Sapr
DBL-BBL091	18,70	17,00	Btk
DBL-BBL092	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL092	1,00	9,00	Lim
DBL-BBL092	9,00	11,00	Sapr
DBL-BBL092	11,00	16,00	Btk
DBL-BBL087	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL087	1,00	3,00	Lim
DBL-BBL087	3,00	12,00	Sapr
DBL-BBL087	12,00	13,00	Btk
DBL-BBL088	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL088	1,00	4,00	Lim
DBL-BBL088	4,00	6,00	Sapr
DBL-BBL088	6,00	8,00	Btk
DBL-BBL089	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL089	1,00	3,00	Lim
DBL-BBL089	3,00	11,00	Sapr
DBL-BBL089	11,00	13,50	Btk
DBL-BBL088	0,00	1,00	Ts
DBL-BBL090	1,00	8,00	Lim
DBL-BBL090	8,00	20,35	Sapr
DBL-BBL090	20,35	23,50	Btk

DRI-BBL-103	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-103	1,00	3,00	Lim
DRI-BBL-103	5,00	17,30	Sepa
DRI-BBL-103	17,30	24,00	Btk
DRI-BBL-105	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-105	1,00	8,00	Lim
DRI-BBL-105	9,00	14,00	Sepa
DRI-BBL-105	14,00	13,30	Btk
DRI-BBL-106	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-106	1,00	3,00	Lim
DRI-BBL-106	5,00	17,70	Sepa
DRI-BBL-106	17,70	19,00	Btk
DRI-BBL-108	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-108	1,00	8,00	Lim
DRI-BBL-108	9,00	13,00	Sepa
DRI-BBL-108	13,00	17,30	Btk

DRI-BBL-109	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-109	1,00	12,40	Lim
DRI-BBL-109	12,40	29,00	Sepa
DRI-BBL-109	29,00	31,00	Btk
DRI-BBL-192	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-192	1,00	7,00	Lim
DRI-BBL-192	7,00	9,00	Sepa
DRI-BBL-192	9,00	18,00	Btk
DRI-BBL-195	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-195	1,00	18,35	Lim
DRI-BBL-195	18,35	18,00	Sepa
DRI-BBL-195	18,00	28,00	Btk
DRI-BBL-193	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-193	1,00	4,00	Limo
DRI-BBL-193	4,00	7,00	Sepa
DRI-BBL-193	7,00	9,00	Btk
DRI-BBL-199	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-199	1,00	3,00	Limo
DRI-BBL-199	3,00	18,00	Sepa
DRI-BBL-199	18,00	19,00	Btk

DRI-BBL-200	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-200	1,00	3,00	Lim
DRI-BBL-200	3,00	13,00	Sepa
DRI-BBL-200	13,00	18,00	Btk
DRI-BBL-201	0,00	1,00	Ts
DRI-BBL-201	1,00	3,00	Lim
DRI-BBL-201	3,00	8,00	Sepa
DRI-BBL-201	8,00	11,30	Btk



DAL-001-202	0,00	1,00	1,5
DAL-001-202	1,00	11,00	Limo
DAL-001-202	11,00	12,70	Saprolite
DAL-001-202	12,70	13,00	Bedrock

Pengolahan data yang telah dilakukan terhadap hasil kegiatan pengeboran (Tabel 1) di daerah penelitian didapatkan interpretasi bahwa zona endapan nikel laterit yang ada terdiri dari 4 zona meliputi zona topsoil, zona limonite, zona saprolite dan zona bedrock (batuan asal) (Gambar 4). Interpretasi zona endapan nikel laterit tersebut didasarkan pada kenampakan fisik setiap pada zona, ciri warna, kelompok mineral utama penyusun batuan hingga kehadiran beberapa mineral penciri pada setiap zona tersebut. Interpretasi tersebut kemudian akan dievaluasi kembali melalui hasil analisis laboratorium terhadap sampel inti batuan yang telah didapatkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar unsur Ni dan persentase mineral penyusun yang ada pada setiap zona tersebut sehingga memudahkan pada proses pemodelan.

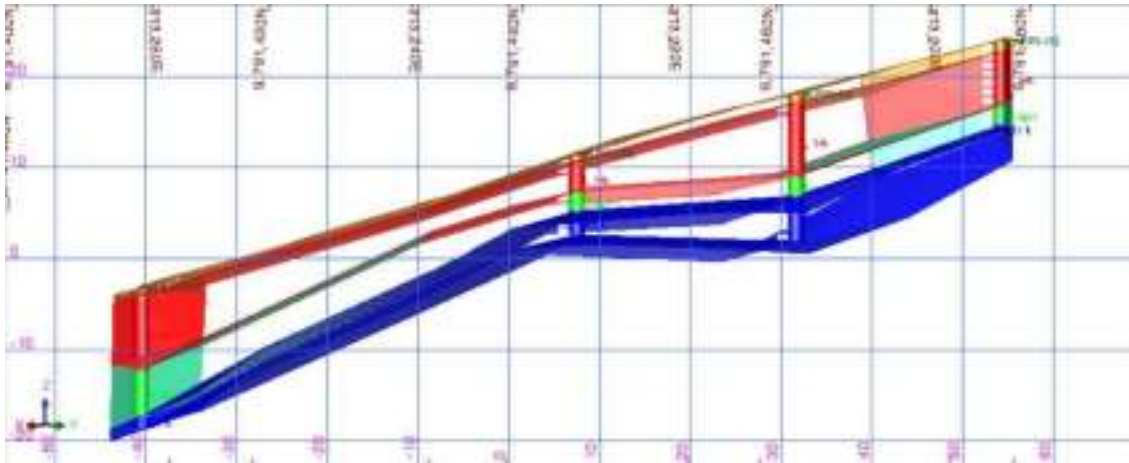


Gambar 3. Kenampakan zona topsoil, zona limonite pada corebox, zona saprolite dan zona bedrock.

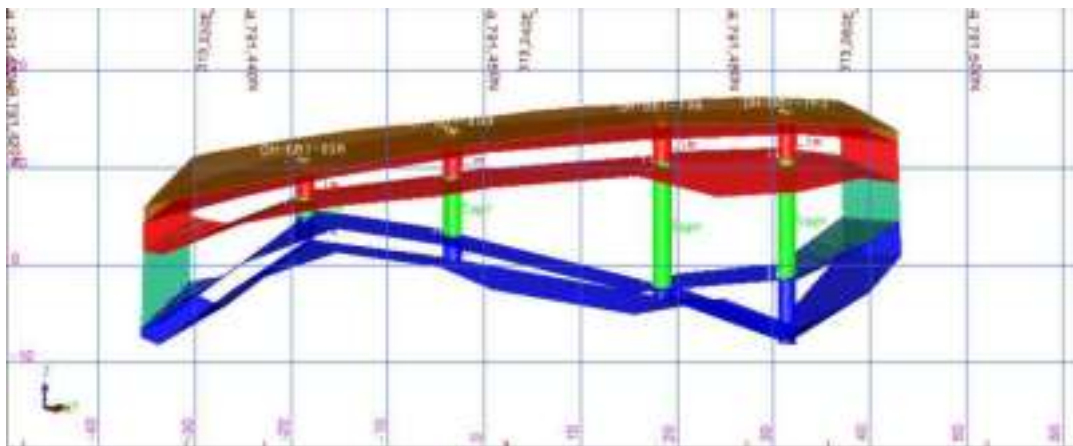
Korelasi data pengeboran pada zona ini menunjukkan bahwa zona bedrock tersebar secara menyeluruh pada daerah penelitian. Zona ini berfungsi sebagai lapisan dasar endapan nikel laterit sekaligus sebagai batuan asal endapan nikel laterit, sehingga kehadiran zona ini digunakan sebagai dasar interpretasi bahwa pada kedalaman tersebut belum terganggu dan tidak terjadi proses pengkayaan unsur Ni. Kedalaman dari zona ini cukup bervariasi yaitu berkisar antara 4 meter - <10 meter pada daerah lembah atau lereng bukit hingga kedalaman 10 - >26 meter pada daerah punggung bukit. Pada standart operational procedure eksplorasi nikel laterit PT. Pakubumi Inti Mineral, kegiatan pengeboran akan dianggap cukup dan selesai bila zona bedrock telah mencapai total ketebalan 1,5 hingga > 2 meter. Hasil uji laboratorium yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa zona ini relatif miskin kandungan unsur Ni (<0,6%), sehingga umumnya zona ini diabaikan dan tidak dieksplotasi lebih lanjut pada proses penambangan.

Sebaran dan karakteristik endapan nikel laterit pada daerah penelitian berdasarkan visualisasi dan korelasi data pengeboran, memperlihatkan adanya ketidakmenerusan dan tidak meratanya sebaran endapan laterit tersebut secara lateral. Ketidakmenerusan sebaran endapan nikel laterit tersebut, peneliti interpretasikan sebagai akibat dari kontrol utama yang berupa kondisi morfologi dan kondisi hidrogeologi di daerah penelitian. Hal ini selaras dengan konsep proses pembentukan nikel laterit menurut Ahmad (2008) yang dikontrol oleh peran air permukaan dan air tanah, dimana pada kondisi morfologi yang curam air akan cenderung bergerak menuju daerah yang lebih rendah dengan lebih cepat.

Untuk mengetahui sebaran dan karakteristik endapan nikel laterit, dilakukan pembuatan sayatan (*cross section*) korelasi titik bor di daerah penelitian yang berjumlah 11 sayatan. Sayatan penampang tersebut terbagi menjadi 2 arah korelasi yaitu penampang berarah barat – timur dan penampang berarah utara – selatan. Adanya perbedaan arah korelasi tersebut didasarkan pada kondisi morfologi daerah penelitian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui korelasi antar titik pengeboran di daerah penelitian, sehingga dapat diketahui bahwa profil nikel laterit terbagi menjadi zona topsoil, zona limonite, zona saprolite dan zona bedrock (Gambar 5. dan Gambar 6.). Korelasi ini didasarkan pada konsep pembentukan nikel laterit yang dipengaruhi oleh faktor morfologi serta faktor lain seperti iklim, air tanah, kondisi struktur geologi serta beberapa faktor lainnya.



Gambar 5 Penampang DH-BBI-192 sampai DH-BBI-105.

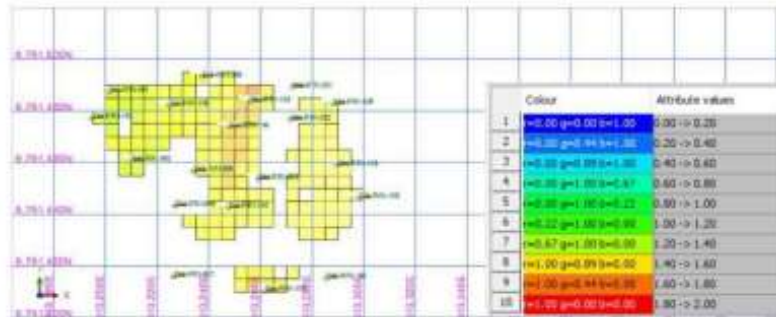


Gambar 6. Penampang DH-BBI-098 sampai DH-BBI-103.

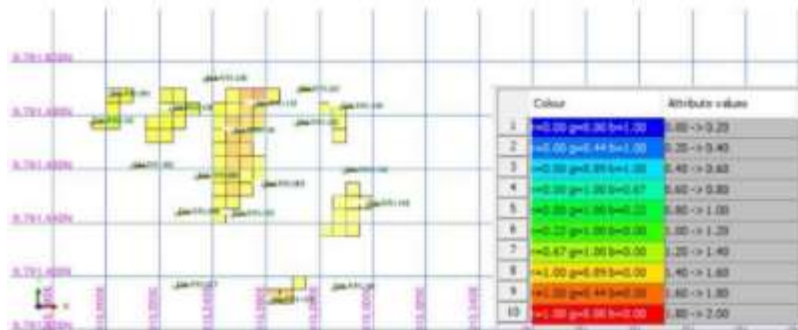
Untuk mengetahui persebaran ketebalan zona/lapisan nikel laterit yang ada pada daerah penelitian secara tampak atas perlu dilakukan pengolahan data menggunakan software GEOVIA Surpac sehingga didapatkan visualisasi berupa peta sebaran lapisan nikel laterit berdasarkan kadar Ni secara 3 dimensi/ (block model) (Gambar 7), (Gambar 8) dan (Gambar 9). Pada pengolahannya, metode yang digunakan untuk mengetahui sebaran zona endapan nikel laterit pada daerah penelitian mengacu pada metode Inverse Distance Weighting (IDW). Metode tersebut memperhitungkan nilai matematik dimana titik terdekat dari titik yang ingin diinterpolasi akan mempengaruhi nilai dari titik yang ingin ditaksir,



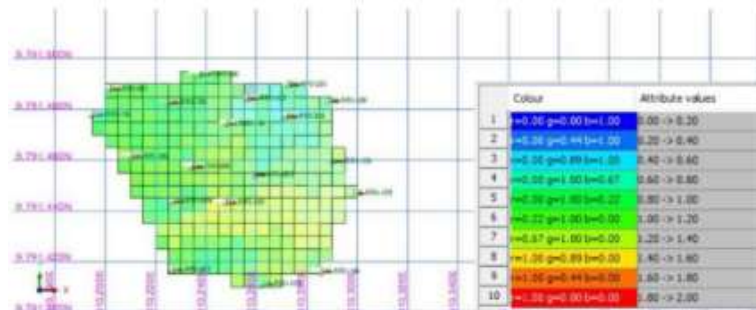
sehingga semakin jauh titik yang ingin kita gunakan sebagai titik interpolasi maka akan semakin rendah pengaruhnya terhadap titik yang ingin diinterpolasi



Gambar 7. Permodelan sebaran kadar nikel >1.



Gambar 8. Permodelan sebaran kadar nikel >1,5.



Gambar 9. Permodelan sebaran kadar nikel keseluruhan.

Pada penelitian ini, *Cut of Grade* (COG) yang digunakan dalam perhitungan estimasi sumberdaya nikel laterit di daerah penelitian mengikuti dari standart operational procedure PT. Pakubumi Inti Mineral yaitu kadar Ni $\geq 1.6\%$ dengan densitas 1.4 kg/m³ untuk sumber daya pada zona saprolite dan kadar Ni $\geq 1.5\%$ dengan densitas 1.4 kg/m³ kadar (COG) sumber daya endapan nikel laterit pada zona limonite tersebut diperlukan karena nantinya lapisan ini akan digunakan sebagai material campuran pada saat proses blending material di kegiatan produksi nikel laterit. Berikut adalah perhitungan estimasi sumber daya endapan nikel laterit yang telah peneliti lakukan pada daerah penelitian (Tabel 2).

Tabel 2. Estimasi sumber daya endapan nikel laterit pada keseluruhan.

Ni %	Volume(m ³)	Tonnes (ton)	Ni %
0.3-0.4	450	675	0.34
0.4-0.5	3400	5100	0.46
0.5-0.6	5150	7725	0.56
0.6-0.7	5150	77225	0.64
0.7-0.8	2450	3675	0.76
0.8-0.9	6450	9675	0.84
0.9-1.0	8150	12225	0.95
1.0-1.1	12000	18000	1.04
1.1-1.2	13100	19650	1.14
1.2-1.3	7400	11100	1.24
1.3-1.4	8100	12150	1.34
1.4-1.5	6850	10275	1.43
1.5-1.6	3500	5250	1.54
1.6-1.7	2150	3225	1.64
1.7-1.8	1450	2175	1.75
1.8-1.9	9800	1200	1.82
1.9-2.0	100	150	1.98
2.0-2.1	100	150	2.03
Grand total	86750	130125	1.08

KESIMPULAN

Faktor pengontrol sebaran nikel laterit yang cenderung tidak merata tersebut diinterpretasikan akibat faktor utama yang berupa morfologi. Kondisi morfologi inilah yang mengontrol bagaimana proses dan kecepatan air permukaan dan tanah dapat meresap sehingga dapat terjadinya proses pengkayaan supergene yang akan meningkatkan kelimpahan unsur Ni. Selain kondisi morfologinya, faktor lain yang berperan adalah struktur geologi karena daerah penelitian berada pada jalur ofiolit yang secara tektonik akan sangat aktif proses pengangkatan dan deformasi yang terjadi sehingga dapat memungkinkan terbentuknya banyak cebakan atau daerah rendahan untuk kemudian menghasilkan suatu endapan nikel laterit yang cukup tebal dibandingkan dengan area sekitarnya. Sebaran zona nikel laterit yang ada pada daerah penelitian, khususnya pada zona limonite dan zona saprolite terlihat bahwa persebarannya memiliki orientasi utara-selatan pada punggung bukit bagian barat dan orientasi barat-timur hingga ke arah tenggara pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian. Pada daerah tersebut juga terlihat bahwa proses pengkayaan unsur Ni terjadi secara maksimal sehingga dapat menghasilkan kadar yang relatif tinggi. Hal ini dapat dilihat pada visualisasi sebaran endapan nikel laterit pada daerah penelitian secara tiga dimensi. Hasil perhitungan estimasi sumberdaya nikel laterit yang telah dilakukan pada 19 titik bor menunjukkan bahwa cadangan sumber daya endapan nikel laterit yang ada pada daerah penelitian dapat dikatakan medium-low dengan total volume mencapai 86750 dan tonnase sebesar 130125 ton. Daerah prospek dari sebaran endapan nikel laterit di daerah penelitian secara umum terkonsentrasi pada daerah punggung bukit yang landai dimana pada daerah tersebut memiliki kadar Ni yang cukup sedang-tinggi dan ketebalan zona limonite dan saprolite yang lebih tebal jika dibandingkan dengan daerah lembah atau lereng bukit yang ada pada daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan ucapan terima kasih banyak kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta sebagai institusi penulis berasal. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Pakubumi Inti Mineral yang telah memfasilitasi dan mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian terkait Estimasi Sumberdaya Nikel Laterit Pada Daerah X Kabupaten Morowali Utara Provinsi Sulawesi Tengah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, W. 2008. Nickel Laterites: Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation and Exploration. Soroako, South Sulawesi. Property of PT. INCO for Laterite Ore Manual, Unpublished.
- [2] Almasi, A., A. Jalalia., N. Toomanian. 2014. Using OK and IDW Methods for Prediction the Spatial Variability of a Horizon Depth and OM in Soils of Shahrekord, Iran. *Journal of Environment and Earth Science*, Vol.4, No 15.
- [3] Boldt, J. R., 1979. *The Winning of Nickel its Geology, Mining and Extractive Metalurgy*. Toronto.
- [4] Burger, P. A., 1996. Origins and Characteristic of Lateritic Deposits. *Proseding nickel'96* PP 179 – 183 the australisian institute of mining and metallurgy. Meulbourne.
- [5] Butt, C. R., & Cluzel, D. (2013). Nickel laterite ore deposits: weathered serpentinites. *Elements*, 9(2), 123-128.
- [6] Cahit, H., Selahattin, K., Necip G, Tolga Q, Ibrahim G, Hasan S, Osman P. 2017. Mineralogy and genesis of the lateritic regolith related Ni-Co deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey. *Canadian Journal of Earth Science*.
- [7] Elias, M. 2002. Nickel laterite deposits – a geological overview, resources and exploitation. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, Hobart, Special Publication 4, 205-220p.
- [8] Golightly, J. P., 1979. Nickeliferous Laterite Deposits, *Economic Geology 75th Anniversary Volume*, 710-735.
- [9] Hopson, P., Wilkinson, I., & Woods, M. (2008). A stratigraphical framework for the Lower Cretaceous of England. British Geological Survey.
- [10] Kessler, H., Mathers, S., & Sobisch, H. G. (2009). The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & geosciences*, 35(6), 1311- 1321.
- [11] Kurniadi, A., Rosana, F. M., Yuningsih, T. E., Pambudi, L., 2017. Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 1(2).
- [12] Kurniadi, A., Rosana, M.F., Yuningsih, E.T., Pambudi, L.H. 2018. Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit di Daerah Madang dan Serakaman Tengah. *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol. 2 no.3.
- [13] Le bas, M.J., Lemaitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B, 1986, A Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram. *Journal of Petrology* 27(3): 745-750.
- [14] Rangin, C., Jolivet, L., & Pubellier, M. A. N. U. E. L. (1990). A simple model for the tectonic evolution of southeast Asia and Indonesia region for the past 43 my. *Bulletin de la Société géologique de France*, 6(6), 889-905.
- [15] Rose, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S. 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Edisi Kedua. Academic Press, London.
- [16] Rusmana, E. dan Sukarna, D., 1985. Tinjauan stratigrafi Lengan Tenggara Sulawesi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. *Proceeding of Indonesia Association Geologists (IAGI), 14th Annual Convention*, h. 61-70.
- [17] Rusmana, E., Sukido, Sukarna, D., Haryono, E., Simandjuntak, T.O., 1993. Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [18] Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., Surono, Supandjono, J.B. 2007. Peta Geologi, Lembar Malili, Sulawesi skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [19] Simandjuntak, T.O., Surono, Supandjono, J.B. 1997. Peta Geologi Lembar Poso Sulawesi skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [20] Sudrajat, A. 1999. *Teknologi dan Manajemen Sumberdaya Mineral*. Bandung: ITB.
- [21] Sundari dan Woro., 2012, Analisis Data Eksplorasi Bijih Nikel Laterit Untuk Estimasi Cadangan dan Perancangan PIT pada PT. Timah Eksplorasi Di Desa Baliara Kecamatan Kabaena Barat Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- [22] Sundari dan Woro., 2012, Analisis Data Eksplorasi Bijih Nikel Laterit Untuk Estimasi Cadangan dan Perancangan PIT pada PT. Timah Eksplorasi Di Desa Baliara Kecamatan Kabaena Barat Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara, Universitas Nusa Cendana: Kupang.
- [23] Surono dan Hartono, U., 2013, "Geologi Sulawesi", Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, LIPI Press., Jakarta, 352 p.

-
- [24] Surono, 1998. Geology and origin of the Southeast Sulawesi Continental Terrane, Eastern Indonesia. *Media Teknik XX* (3), h. 33-42.
- [25] Surono. 2010. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Publikasi Khusus, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 161h.
- [26] Syafrizal, 2011. Karakterisasi Mineralogy Endapan Nikel Laterit di daerah Tinanggea Kabupaten Palangga Provinsi Sulawesi Tenggara. *JTM. XVIII* (4/2011).
- [27] Syafrizal, Anggayana, K., Guntoro, D. 2011. Karakterisasi Mineralogi Endapan Nikel Laterit di daerah Tinanggea Kabupaten Palangga Provinsi Sulawesi Tenggara. *JTM. XVIII* (4/2011).
- [28] Syahrul, Dermawan, A. 2020. Penyebaran Nikel Laterit Menggunakan Korelasi Lapisan Pada PT Vale Indonesia Site Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geomine*, Volume 8, Nomor 1: April 2020, Hal. 44 – 50
- [29] Tonggiroh, A., Mustafa, M., Suharto, 2012. Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Pallangga Kabupaten Palangga Sulawesi Tenggara.
- [30] van Bemmelen, R. W., 1949, *General Geology of Indoneia and Adjacent Archipelagoes.*, Martinus Nijhoff, Thehaque.
- [31] Waheed, A., 2002. *Nickel Laterites-A Short Course: Chemistry, Mineralogy and Formation of Nickel Laterites* (Tidak dipublikasikan).212h.
- [32] Waheed, A., 2008. *Nickel Laterites Fundamentals of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation, and Exploration*. VALE Inco.
- [33] Wilson, M.E.J., & Moss, S.J., 1999, “Cenozoic paleogeographic evolution of Sulawesi and Borneo”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 145, 303–337.
- [34] Yuwono, Y.S., Bellon, H., Soeria-Atmadja, R., and Maury, R.C., 1988., “Neogene and Pleistocene Volcanism in South Sulawesi”, *Proceeding PIT XIV Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, Jakarta, 169-179.