

POTENSI NIKEL LATERIT PADA PROSPEK PUU NUNU, KECAMATAN KABAENA SELATAN, KABUPATEN BOMBANA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA

NICKEL LATERITE POTENTIAL OF THE PUU NUNU PROSPECT, SOUTH KABAENA DISTRICT, BOMBANA REGENCY, SOUTHEAST SULAWESI PROVINC

Dava Saliham Qoyyib^{1*}, Oky Sugarbo², Hill Gendoet Hartono³

^{1,2,3} Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta Jl. Babarsari, Sleman, Yogyakarta,
Indonesia. 55281, Indonesia

*Email corresponding: 4100210045@student.itny.ac.id

Email: okysugarbo@itny.ac.id

Email: hilghartono@itny.ac.id

Cara sitasi: D. S. Qoyyib, O. Sugarbo, dan H. G. Hartono, "Potensi Nikel Laterit pada Prospek Puumunu, Kecamatan Kabaena Selatan, Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara," *Kurvatek*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, 2026. doi: [10.33579/krvtek.v11i1.5807](https://doi.org/10.33579/krvtek.v11i1.5807) [Online].

Abstrak — Keterdapatan nikel di Indonesia umumnya sebagai endapan nikel laterit silika hasil pelapukan residual batuan dasar Komplek Ofiolit atau Ultramafik, Pulau Sulawesi dan pulau - pulau kecil di sekitarnya mempunyai potensi nikel yang cukup besar. Hal tersebut diakibatkan oleh kondisi geologi yang kompleks, sehingga perlu dilakukan kajian geologi untuk mengetahui potensi nikel (Ni) dengan melakukan pemetaan permukaan. Daerah penelitian berada pada Sulawesi Tenggara dan masuk izin usaha pertambangan (IUP) PT. Tambang Bumi Sulawesi. Penelitian ini bermaksud untuk melakukan pemetaan geologi permukaan, sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi meliputi data geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi dan estimasi cadangan dari daerah yang memiliki potensi nikel laterit. Hasil penelitian diketahui satuan geomorfologi bergelombang kuat-perbukitan denudasional dan bergelombang lemah-kuat denudasional. Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda meliputi lherzolit dan hornblende piroksenit Kompleks Ultramafik, kemudian berada tidak selaras di atasnya sekis mika dan marmer Kompleks Pompangeo. Struktur geologi berupa sesar mendatar mengiri dengan arah umum baratlaut-tenggara. Estimasi cadangan dengan menggunakan metode ordinary kriging daerah potensi laterit didapatkan total jumlah volume sumber daya terukur sebesar 518.855 m³ dengan jumlah tonase sebesar 778.283 ton.

Kata kunci: nikel, geologi, sumber daya

Abstract — Nickel occurrences in Indonesia are generally found as lateritic nickel deposits derived from the residual weathering of bedrock from ophiolite or ultramafic complexes. Sulawesi Island and the surrounding smaller islands possess significant nickel potential due to their complex geological setting. Therefore, a geological study is necessary to assess this potential by conducting surface mapping. The study area is located in Southeast Sulawesi and falls within the mining business license (IUP) area of PT. Tambang Bumi Sulawesi. This research aims to carry out surface geological mapping, with the objective of identifying geological conditions, including geomorphology, stratigraphy, geological structures, and resource estimation in areas with lateritic nickel potential. The results of the study indicate that the geomorphological units consist of strongly undulating-denudational hills and weakly to strongly undulating-denudational areas. The stratigraphy of the study area, from oldest to youngest, comprises lherzolite and hornblende pyroxenite of the Ultramafic Complex, which are unconformably overlain by mica schist and marble of the Pompangeo Complex. The geological structure is characterized by a sinistral (left-lateral) left slip fault trending northwest-southeast. Resource estimation using the ordinary kriging method yielded a total measured resource volume of 518,855 m³, with an estimated tonnage of 778,283 tons in the lateritic potential area..

Keywords: nickel, geology, laterite, resource estimation

I. PENDAHULUAN

Keterdapatn nikel di Indonesia umumnya sebagai endapan nikel laterit silika hasil pelapukan residual batuan dasar Komplek Ofiolit atau Ultramafik, terakumulasi pada batuan peridotit, serpentinit dan harsburgit [1], proses laterisasi akan membentuk suatu profil laterit yang terus mengalami proses pelapukan fisik dan erosi, sehingga dapat terbentuk dengan ketebalan tertentu hingga terakhir yaitu pada zona limonit [2].

Pulau Sulawesi dan pulau - pulau kecil di sekitarnya mempunyai potensi nikel yang cukup besar, hal tersebut diakibatkan oleh kondisi geologi yang kompleks [3]. Kawasan Pulau Sulawesi merupakan tempat kumpulan aktif dari tiga lempeng yaitu Lempeng Hindia Australia yang bergerak relatif ke arah utara, Lempeng Samudera Pasifik bergerak relatif ke barat, dan Lempeng Benua Eurasia yang relatif diam [4].

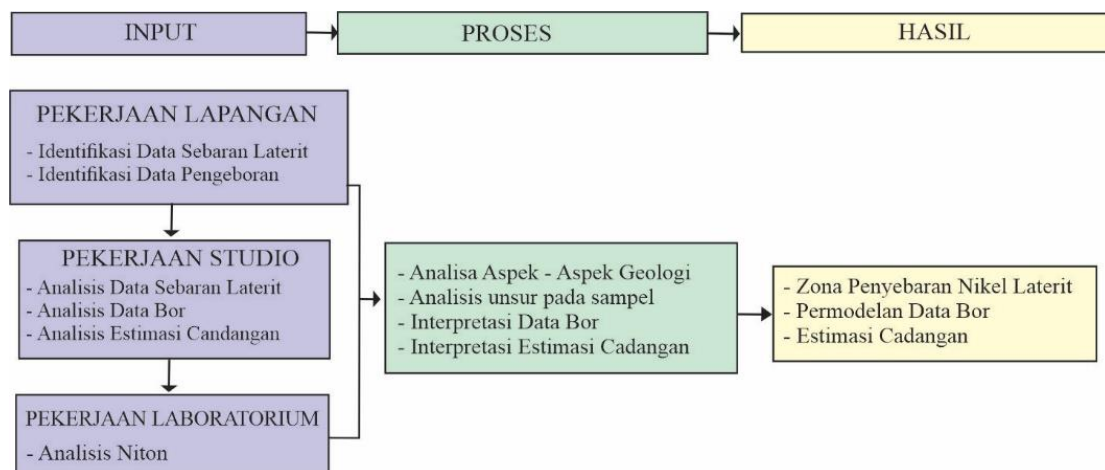
Kepingan Benua Sulawesi Tenggara umumnya membentuk pegunungan dengan kemiringan sedang hingga terjal [5]. Rangkaian sesar naik banyak tersebar di sekitar sulawesi tenggara, seperti sesar naik Labengke dinamai oleh [6], memanjang dari Tinobu sampai sekitar Danau Towuti. Pada ujung selatan sesar naik, ofiolit ter-sesar naikkan ke atas Formasi Tampakura, yang merupakan bagian atas dari Kepingan Benua Sulawesi Tenggara.

Pemetaan geologi merupakan salah satu metode untuk mendapatkan data-data geologi yang beragam, keberagaman tersebut menjadi sumber dari banyak data dan perspektif yang berbeda [7], hal tersebut dapat membantu memecahkan permasalahan pada kajian geologi seperti dalam penentuan daerah yang memiliki prospek nikel laterit. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menggambarkan permukaan bumi berdasarkan informasi geologi yang didapatkan, sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk peta dan permodelan estimasi cadangan.

Daerah penelitian yang berada pada Sulawesi Tenggara dan masuk izin usaha pertambangan (IUP) PT. Tambang Bumi Sulawesi dan masuk peta lembar Kolaka, Sulawesi skala 1 : 250.000 [8]. Kompleks Ofiolit tersebar luas di bagian Lengan Timur hingga Lengan Tenggara Sulawesi dan beberapa pulau di sekitarnya [9]. Ofiolit di bagian Sulawesi Timur berumur Kapur Akhir-Eosen yang teralih tempatkan selama Oligosen [10] yang terdiri atas batuan basa dan ultramafik yang ditutupi oleh sedimen laut dalam. Batuan basa dan ultramafik ini terdiri atas peridotit, mikrogabro, dan basal. Peridotit didominasi oleh dunit, harsburgit, lertzolit dan piroksenit, sedangkan mikrogabro dan basal hanya dijumpai setempat di beberapa lokasi [10]

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang baik dapat membuat penelitian menjadi lebih teratur dan berjalan sesuai dengan rencana, metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan pada **(Gambar 1)**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Input

Tahapan awal dari penelitian setelah dilakukannya studi literatur dilanjutkan dengan pekerjaan lapangan berupa pekerjaan lapangan yang mengidentifikasi sebaran daerah yang memiliki nikel laterit dan dilanjutkan dengan eksplorasi lanjut berupa pengeboran untuk diketahui data ketebalan profil laterit.

Pekerjaan studio dilakukan ketika data hasil pemetaan sebaran laterit dan data hasil pengeboran telah didapatkan, dari hasil sebaran laterit, didapati area yang memiliki potensi laterit pada IUP PT. Tambang Bumi Sulawesi pada propek Puu Nunu, sehingga pada area tersebut di lakukan eksplorasi lanjut berupa pengeboran dan ditemukan hasil ketebalan dari profil laterit memiliki total ketebalan 59 meter.

Dilakukan pengambilan sampel dari hasil data log pengeboran untuk pekerjaan laboratorium berupa analisis niton, dimana fungsi dari analisis tersebut adalah untuk mengetahui presentase kadar yang menjadi komoditi utama yaitu nikel (Ni).

B. Proses

Hasil input yang telah didapati, dilanjutkan dengan tahapan proses, dimana dari data lapangan yang didapatkan hasil dari eksplorasi awal berupa pemetaan sebaran laterit, didapati pula satuan batuan dari area prospek nikel laterit, satuan batuan tersebut akan berpengaruh pula pada kandungan nikel yang dihasilkan dari laterisasi.

Interpretasi data bor dilakukan ketika hasil dari masing masing titik bor telah selesai dilakukan, dimana log pengeboran dimasukkan kedalam data base excel dengan terdapat beberapa file berupa collar, assay, survey, geology dan Topography, data tersesebut diubah formatnya menjadi comma delimited (CSV) agar dapat dilakukan permodelan data bor dalam aplikasi surpac.

Selain dari data permodelan data pengeboran, dilanjutkan perhitungan estimasi cadangan dengan menggunakan metode ordinary kriging (OK), dimana software surpac akan membaca hasil estimasi cadangan berdasarkan block ore model dengan ukuran x,y,z (1,1,1) dalam satuan meter, sehingga dapat diketahui cadangan terukurnya.

C. Hasil

Hasil akhir dari penelitian ini berupa zona prospek sebaran laterit yang telah didapatkan dari hasil pemetaan permukaan, kemudian permodelan data bor untuk mengetahui model 3 dimensi dari block ore yang diketahui dari hasil pengeboran profil laterit dan estimasi cadangan terukur dari hasil pengolahan software surpac.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Analisis Data sebaran laterit

Hasil akhir dari penelitian ini berupa zona prospek sebaran laterit yang telah didapatkan dari hasil pemetaan permukaan, dimana hasil dari pemetaan permukaan didapati beberapa satuan batuan meliputi:

1. Satuan Lherzolit Kompleks Ultramafik

Satuan Lherzolit Kompleks Ultramafik terletak pada bagian selatan pada daerah penelitian, kenampakan megaskopis memiliki warna segar hijau gelap dengan warna lapuk coklat kekuningan, tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik kasar, dengan bentuk kristal subhedral, dengan kemas inequigranular, struktur masif, dengan komposisi olivin dan piroksen (**Gambar 2**).

Pengamatan mikroskopis batuan dilakukan pada perbesaran total 40x, dimana lensa objektif 4x dan lensa okuler 10x. Secara umum sayatan batuan menunjukkan tekstur umum meliputi derajat kristalisasi berupa holokristalin, granularitas fanerik sedang-halus, dengan kemas meliputi bentuk mineral anhedral-subhedral, dan relasi equigranular (panidiomorfik). Struktur masif secara kenampakan singkapan. Komposisi tersusun oleh berupa Olivin (47%), Orthopiroksen (32%), dan Klinopiroksen (21%).



Gambar 2. Singkapan lherzolit

Hubungan stratigrafi satuan Lherzolit Kompleks Ultramafik dengan satuan dibawahnya tidak diketahui dikarenakan tidak adanya batuan atau tidak tersingkap batuan yang lebih tua dari satuan ini pada lokasi penelitian dan juga tidak selaras terhadap batuan diatasnya dikarenakan memiliki jenis batuan yang berbeda yaitu antara batuan beku dan batuan metamorf

2. Satuan Hornblende Piroksenit Kompleks Ultramafik

Satuan Hornblende Piroksenit Kompleks Ultramafik terletak pada bagian utara pada daerah penelitian, memiliki warna segar hitam keabuan dengan warna lapuk coklat kekuningan, tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik kasar, dengan bentuk kristal subhedral, dengan kemas inequigranular, struktur masif, dengan komposisi hornblende dan piroksen (**Gambar 3**).

Pengamatan mikroskopis batuan dilakukan pada perbesaran total 40x, dimana lensa objektif 4x dan lensa okuler 10x. Secara umum sayatan batuan menunjukkan tekstur umum meliputi derajat kristalisasi berupa holokristalin, granularitas fanerik sedang-kasar, dengan kemas meliputi bentuk mineral anhedra-subhedral, dan relasi equigranular (panidiomorfik). Struktur masif secara kenampakan singkapan dengan Komposisi tersusun oleh berupa Olivin (1%), Piroksen (52%), Kuarsa (9%), dan Hornblende (38%).



Gambar 3. Singkapan Hornblende Piroksenit

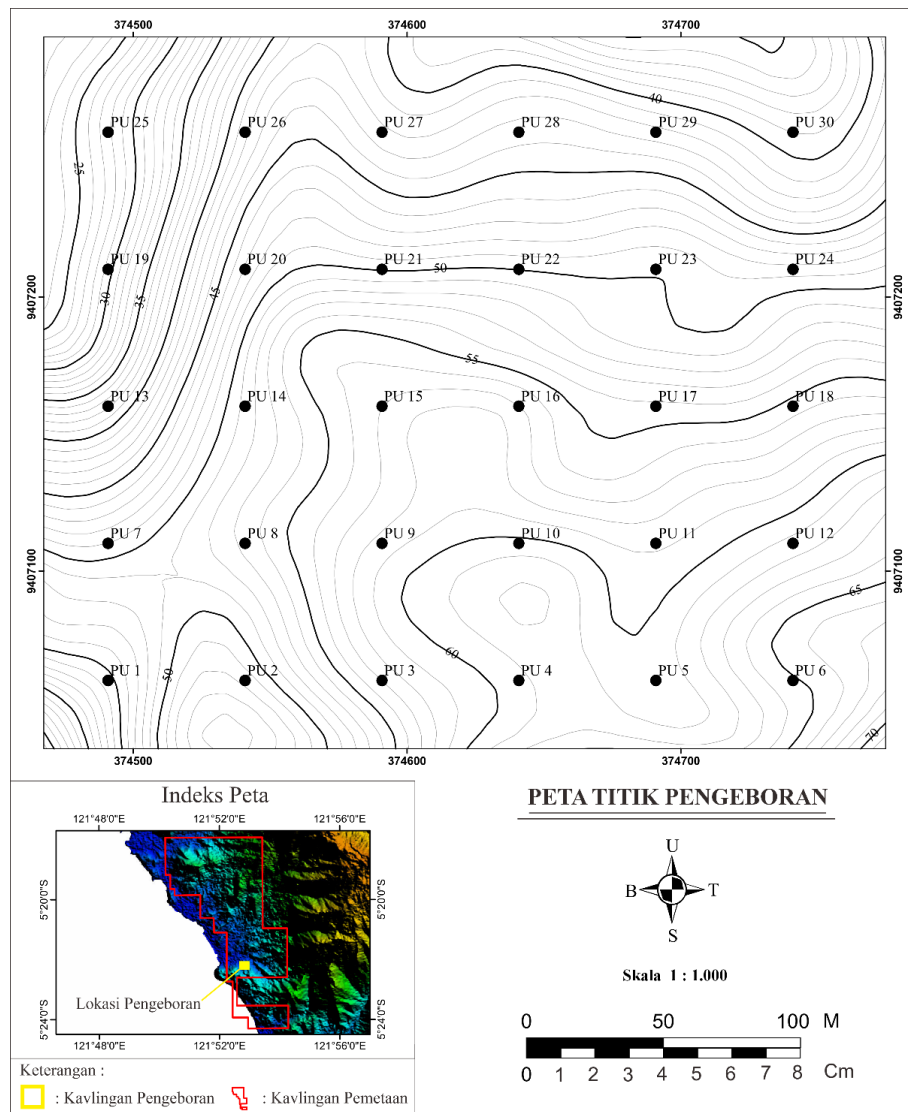
Hubungan stratigrafi satuan Hornblende Piroksenit Kompleks Ultramafik dengan satuan dibawahnya tidak diketahui (**Gambar 4**), dikarenakan tidak adanya batuan atau tidak tersingkap batuan yang lebih tua dari satuan ini dan juga tidak selaras terhadap batuan diatasnya dikarenakan memiliki jenis batuan yang berbeda yaitu antara batuan beku dan batuan metamorf pada lokasi penelitian.

Simbol Litologi	Struktur Batuan	Pemerian
		Satuan Sekis Mika Kompleks Pompango
		<p>Satuan Lherzolit Kompleks Ultramafik : Satuan ini terletak pada bagian selatan pada daerah penelitian, memiliki warna segar hijau gelap dengan warna lapuk coklat kekuningan, tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik kasar, dengan bentuk kristal subhedral, dengan kemas inequigranular, struktur masif, dengan komposisi olivin dan piroksen.</p> <p>Satuan Hornblende Piroksenit Kompleks Ultramafik : Satuan ini terletak pada bagian utara pada daerah penelitian, memiliki warna segar hitam keabuan dengan warna lapuk coklat kekuningan, tekstur kristalinitas holokristalin, granularitas fanerik kasar, dengan bentuk kristal subhedral, dengan kemas inequigranular, struktur masif, dengan komposisi hornblende dan piroksen.</p>

Gambar 4. Hubungan Stratigrafi Satuan Batuan Daerah Penelitian

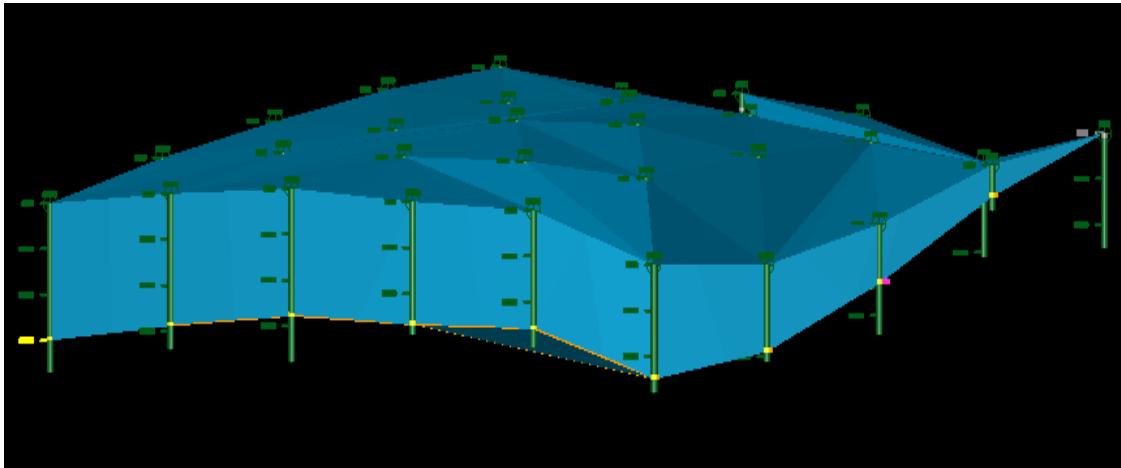
Berdasarkan data penyebaran laterit dapat dilakukan penentuan daerah yang akan digunakan sebagai prospek dalam eksplorasi lanjut. Eksplorasi lanjut dilakukan pada daerah prospek sebaran laterit dengan melakukan pengeboran, penentuan data titik bor menjadi informasi dasar yang diperoleh dari pengeboran, hasilnya berupa data kedalaman titik bor, konsentrasi nikel pada masing-masing titik bor. Berdasarkan hasil pemetaan permukaan yang dilakukan pada IUP PT. Tambang Bumi Sulawesi, didapati 2 lokasi sebaran laterit pada daerah Batuawu dan Puu Nunu, dimana hasil analisis laboratorium yang dilakukan dari sampel soil sebaran laterit tersebut, daerah yang memiliki kadar nikel tertinggi berada pada daerah Puu Nunu. Oleh sebab itu dilakukan perincian kavlingan pada daerah tersebut untuk eksplorasi lanjut berupa pengeboran untuk diketahui estimasi cadangannya dan kadar terukur kandungan nikel dari profil saprolit dan limonit hasil pengeboran.

Tahapan eksplorasi lanjut dilakukan dengan pembuatan kavlingan daerah Puu Nunu dari daerah potensi nikel laterit dan penentuan titik bor dengan spasi jarak 50 meter antar titik bor ditandai kode bor PU pada (**Gambar 4**), pengeboran dilakukan dengan tujuan mendapatkan data lebih detail terkait nilai kadar dan tonase terukur, data-data tersebut kemudian dimasukkan pada satu tabel data berupa tabel data Spreadsheets yang selanjutnya diolah dengan bantuan excel. Kemudian dilakukan pengecekan dan koreksi data untuk memastikan data tersebut dalam keadaan valid, dan reliable dengan menggunakan aplikasi surpac. Pengecekan data meliputi pemeriksaan keseluruhan data logging bor, data pengeboran lokasi penelitian yang meliputi data collar, assay, survey, dan geology. Jika data yang digunakan sudah valid, maka selanjutnya dapat di olah untuk dapat mengetahui sumber daya nikel laterit.



Gambar 5. Peta Titik Bor

kemudian permodelan data bor untuk mengetahui model 3 dimensi dari block ore yang diketahui dari hasil pengeboran profil laterit dan estimasi cadangan terukur dari hasil pengolahan software surpac. Tujuan pemodelan geologi adalah untuk mengumpulkan informasi terkait sumber daya terukur atau cadangan bijih nikel. Model geologi ini juga dapat menunjukkan bentuk geometri bijih nikel, letak atau posisi, kedalaman, kemiringan, dan penyebaran. Proses pemodelan geologi ini bersumber dari data lubang bor yang dimasukkan menggunakan perangkat lunak surpac. Pemodelan sebaran nikel laterit dilakukan berdasarkan hasil validasi pada geologi database yang terbagi menjadi dua layer yaitu limonit atas dan saprolit bawah. Berdasarkan model tiga dimensi untuk tiap domain dijadikan dalam satu *block ore*. Model endapan nikel laterit dibuat dalam bentuk solid Digital Terrain Model (DTM) ditunjukkan pada (**Gambar 5**).



Gambar 6. Permodelan Block ore dan model bor nikel laterit

B. Hasil Estimasi Sumberdaya

Berdasarkan hasil eksplorasi awal berupa pemetaan permukaan sebaran laterit yang di temukan, daerah Puu Nunu memiliki kadar nikel paling baik pada sampel soil laterit, dikarenakan memiliki geomorfologi relief topografi bergelombang kuat-perbukitan sehingga tidak banyak pengotor, didukung pada daerah potensi tersebut tersusun oleh litologi lherzolit dengan komposisi mineral olivin yang cukup dominan sebagai sumber mineral pembawa unsur nikel, kemudian dari potensi tersebut dilakukan eksplorasi lanjut berupa pengeboran, agar diketahui kadar pada profil laterit serta volume dan tonase terukur yang dapat ditambang, sehingga dapat diketahui nilai ekonomisnya. Estimasi sumber daya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak surpac dalam bentuk model tiga dimensi yang mewakili geometri nikel laterit di wilayah titik bor. Blok model mencakup koordinat dan memberikan informasi seperti volume, nilai densitas, tonase, litologi, dan kadar rata-rata dari setiap blok. Ukuran model blok 1m x 1m (x, y) digunakan sesuai dengan jarak horizontal antara titik pemboran, sedangkan 1m (z) adalah jarak vertikal untuk setiap sampel, dimana rata-rata jarak horizontal antar titik bor tersebut adalah 50 meter dan jarak vertikal setiap pengambilan sampel adalah per-1 meter. Dimana dalam perhitungannya digunakan nilai densitas yang berbeda antara zona limonit sebesar 1,50 ton/m³ dan zona saprolit sebesar 1,5 ton/m³. Berkaitan dengan hasil estimasi model blok sumber daya terukur menggunakan Software Surpac menggunakan metode Ordinary Kriging (OK) didapatkan total jumlah volume sumber daya terukur sebesar 518.855 m³ dengan jumlah tonase sebesar 778.283 ton, Hasil dari estimasi model blok sumber daya terukur pada Pit Puu nunu PT. Tambang Bumi Sulawesi secara rinci dapat dilihat pada (**Gambar 7**)

Ni (%)	Z (m)	Volume (m ³)	Tonnes
0.0 – 1.6	34.0 – 39.0	0	0
	39.0 – 44.0	0	0
	44.0 – 49.0	401	602
	49.0 – 54.0	1510	2265
	54.0 – 59.0	1627	2441
Subtotal		3538	5307
1.6 – 1.9	34.0 – 39.0	4500	6750
	39.0 – 44.0	999	1499
	44.0 – 49.0	6528	9792
	49.0 – 54.0	14144	21216
	54.0 – 59.0	15284	22926
Subtotal		41455	62183
>1.9	34.0 – 39.0	114588	171882
	39.0 – 44.0	127211	190817
	44.0 – 49.0	113198	169797
	49.0 – 54.0	81532	122298
	54.0 – 59.0	37333	56000
Subtotal		473862	710793
Grand Total		518855	778283

Gambar 7. Hubungan Stratigrafi Satuan Batuan Daerah Penelitian

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Litologi pada daerah penelitian tersusun atas jenis batuan yang berbeda meliputi batuan beku dan metamorf yang dibagi menjadi 3 satuan meliputi satuan Lherzolit Kompleks Ultramafik yang memiliki komposisi olivin dan piroksen dengan penyebaran pada bagian selatan, satuan Hornblende Piroksenit Kompleks Ultramafik memiliki komposisi hornblende dan piroksen dengan penyebaran pada bagian utara, berada tidak selaras di atasnya terdapat satuan Sekis Mika Kompleks Pompangeo, satuan yang memiliki kadar nikel terbaik berada pada Lherzolit Kompleks Ultramafik dengan nilai lebih dari 1,9 ppm.

Berdasarkan hasil eksplorasi lanjut potensi nikel pada daerah potensi laterit sebesar 1,5 ton/m³ pada saprolit. Berkaitan dengan hasil estimasi model blok sumber daya terukur menggunakan software surpac menggunakan metode Ordinary Kriging (OK) didapatkan total jumlah volume sumber daya terukur sebesar 518.855 m³ dengan jumlah tonase sebesar 778.283 ton. Daerah kavlingan memiliki potensi cadangan nikel yang tinggi dengan kadar terbanyak lebih dari 1,9 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (LPPMI), Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) atas dukungan dan fasilitas yang diberikan dalam proses pengunggahan dan publikasi karya ilmiah. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dr. Ir. Hill Gendoet Hartono, S.T., M.T., IPM. serta kepada Bapak Ir. Oky Sugarbo, S.T., M.Eng. atas bimbingan dan diskusi selama pembuatan karya ilmiah. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Zulkifli Suleman, S.T. atas bantuannya dalam menyediakan fasilitas yang diperlukan untuk menjalankan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. I. Smirnov, *Geology Of Mineral Deposits*. Chapter 11, Deposits of Weathering, Moscow, 1976. p. 364.
- [2] W. Ahmad, *Nikel Laterit*, VALE Inco – VITSL. Jakarta, 2008.
- [3] R. Hall dan M. E. J. Wilson, "Neogene Sutures in Eastern Indonesia," *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 18, no. 6, pp. 781- 808, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00040-7)

- [4] C. S. Hutchison, *Geological Evolution of Southeast Asia*. Oxford Monograph on Geology and Geophysics no. 13, 1989, p. 368.
- [5] E. A. Silver, R. McCaffrey, dan R. B. Smith, "Collision, Rotation and the Initiation of Subduction in the Evolution of Sulawesi, Indonesia," *Journal of Geophysics Research*, vol. 88, no. B11, pp.9407-9418. DOI: <https://doi.org/10.1029/JB088iB11p09407>.
- [6] Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI). 2023. *Sandi Stratigrafi Indonesia: Edisi 2023*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Jakarta, IAGI.
- [7] R. Simandjuntak, T. O. Surono, dan Sukido, *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
- [8] A. Kadarusman, S. Miyashita, S.i Maruyama, C. D. Parkinson, and A. Ishikawa, "Petrology, Geochemistry and Paleogeographic Reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia," *Tectonophysics*, vol. 392, no. 1-4, pp. 55 – 83, 8 November 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.04.008>
- [9] C. Parkinson, "Emplacement of the East Sulawesi Ophiolite: Evidence from Subophiolite Metamorphic Rocks," *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 13-28, 16 April 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(97\)00039-1](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(97)00039-1)
- [10] Surono, *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, 2nd ed., Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral: Bandung, 2013.



©2026. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).