

Deteksi Potensi Mineral Nikel dengan Data Penginderaan Jauh

Detection of Nickel Mines Potential Using Remote Sensing

Atriyon Julzarika

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

E-mail: verbhakov@yahoo.com

ABSTRAK - Survei pendahuluan untuk menentukan potensi mineral dapat dideteksi dengan data penginderaan jauh. Potensi mineral didekati oleh berbagai parameter geologi seperti struktur geologi, model tinggi, alterasi hidrotermal, gravitasi, medan magnet, dan densitas. Dalam penelitian ini, mineral nikel yang dikaji terletak di pulau-pulau kecil, Maluku Utara. Nikel sangat membantu dalam membentuk perangkat *stainless steel*. Kondisi ini dapat terjadi jika nikel dikombinasikan dengan besi, krom, dan logam lainnya. Data penginderaan jauh yang digunakan adalah X- SAR, SRTM, ALOS PALSAR, Landsat, dan satelit Geodesi. Semua parameter geologi berasal dari data tersebut. Model tinggi dibuat dengan menggunakan integrasi X SAR, SRTM, dan ALOS PALSAR. Citra Landsat digunakan untuk mengidentifikasi lahan tambang dan alterasi hidrotermal. Gravitasi, medan magnet dan densitas diekstraksi dari satelit Geodesi. Struktur geologi berasal dari ekstraksi integrasi model tinggi dengan metode *dip and strike*. Struktur geologi didekati dengan ekstraksi kelurusan secara otomatis. Semua parameter geologi digabungkan untuk mengetahui lokasi yang memiliki potensi nikel (sesuai dengan nilai densitas nikel). Hasil ini dapat diterapkan untuk deteksi potensi mineral lain dan di lokasi yang berbeda. Survei pendahuluan dengan metode ini dapat lebih efisien dalam biaya dan efektif dalam waktu. Wilayah pertambangan pada pulau-pulau kecil yang telah terdeteksi dapat digunakan untuk manajemen dan perencanaan ruang maritim.

Kata kunci: Nikel, parameter geologi, Maluku Utara, Penginderaan Jauh

ABSTRACT - Preliminary survey to determine the mineral potential can be detected by remote sensing data. The mineral potential is approached by various geologic parameters such as geological structure, height models, hydrothermal alteration, gravity, magnetic fields, and density. In this study, Nickel minerals studied is located in small islands of North Maluku. Nickel is very helpful in shaping stainless steel hardware. This condition can occur if Nickel combined with iron, chrome, and other metals. Remote sensing data used are X-SAR, SRTM, ALOS PALSAR, Landsat, and Satellite Geodesy. All geologic parameters are derived from these data. Height model is made using integration of X SAR, SRTM, and ALOS PALSAR. Landsat image is used to identify land mines and hydrothermal alteration. Gravity, magnetic field and density derived from Geodesy satellite. The geological structure is derived from the height model integration. The geological structure is approached with the extraction of straightness automatically. All geologic parameters are combined in order to know the location that has the potential Nickel (accordance with Nickel density values). These results can be applied to the detection of other mineral potential and in different locations. Preliminary survey by this method can be more efficient in cost and effective in time. Mining region that has been detected can be used for management and planning of maritime space

Keywords: Nickel, small islands, North Maluku, Remote Sensing

1. PENDAHULUAN

Peningkatan pengembangan industri nasional dan regional akan membutuhkan persediaan dan penelitian untuk menemukan sumber daya baru. Hal ini menjadi persyaratan yang harus dipenuhi sebagai bahan baku dan pengembangan industri. Ketersediaan sumber daya mineral dapat dibudidayakan dan digunakan oleh pemerintah dan penduduk setempat sebagai sumber pendapatan daerah dengan potensi untuk menciptakan peluang bisnis dan dapat menciptakan lapangan kerja. Kondisi ini merupakan cara yang strategis untuk bertindak sebagai pusat-pusat pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kehidupan sosial-ekonomi daerah (Abrams dkk., 1988). Sumber daya energi dan mineral potensial yang tidak terbarukan harus dimanfaatkan dan digunakan secara bijak, sehingga ketika potensi habis, hasil dari investasi masih memiliki dorongan yang kuat untuk pengembangan (Allen dkk., 2010). Penginderaan jauh menggunakan lima jenis data utama, yaitu optik, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *microwave*, LIDAR, dan data sonar. Data optik memiliki kelebihan sesuai dengan kondisi nyata tetapi tidak bebas efek awan (Harris dkk., 2011). Sedangkan data SAR, *microwave*, dan sonar memiliki keuntungan dalam efek bebas awan tetapi memerlukan keahlian khusus untuk

pengolahan data. Data ini dapat digunakan untuk pemanfaatan di bidang geologi dan pertambangan (energi dan mineral).

Sebagian besar Halmahera Utara daerah pegunungan didominasi oleh formasi batuan vulkanik (andesit dan batuan beku basaltik). Daerah pegunungan berupa pemandangan dengan puncak yang tajam dan curam serta dengan lereng sangat curam (sekitar 40% dari tanah). Pulau Halmahera di Semenanjung Utara adalah deretan gunung berapi aktif dan non-aktif dengan bentuk dan struktur sangat khas. Dalam hal ini bagian dari dataran aluvial tidak ditemukan, namun memasuki Kao ditemukan dataran aluvial yang luas di daerah pedalaman, dataran vulkanik bergelombang dan memiliki dataran aluvial lokal. Pulau Morotai memiliki banyak kesamaan dengan bagian utara pulau Halmahera ditandai dengan tumbuh pegunungan batuan sedimen dan batuan beku basa.

Nikel adalah unsur kimia logam dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28 (Basile dkk., 2010). Nikel memiliki sifat tahan karat, lembut jika dalam kondisi murni. Jika dikombinasikan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat dibentuk *stainless steel* (Zevgolis dkk., 2010). Baja ini diterapkan untuk banyak peralatan dapur, rumah dan bangunan ornamen, serta komponen industry (Beaton dkk., 2011).

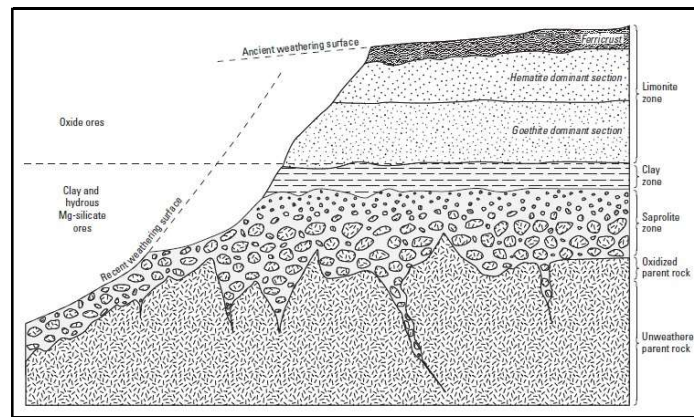
Nikel juga ditemukan dalam meteorit dan menjadi ciri komponen yang membedakan meteorit dari mineral lainnya. Siderit atau besi meteorit dapat mengandung zat besi dan paduan nikel hasil 5- 25% (Berger dkk., 2011). Sekitar 30% dari kebutuhan nikel dunia yang diperoleh dari pentlandit dan pirhotit di daerah Amerika bagian utara.



Gambar 1. Lahan tambang nikel di Halmahera Utara

Unsur nikel yang terkait dengan batu alkali (*Norit*) (Chang dkk., 1983). Nikel ditemukan pada mineral *pentlandit* dalam bentuk piring halus dan butiran kecil bersama-sama *pyrhotin* dan *kalkopirit* (Clark dkk., 2007). Nikel biasanya ditemukan di dalam tanah yang terletak di atas batu alkaline (Wells dkk., 2011). Nikel ditemukan pada asosiasi khusus dengan batuan peridotit. Logam ini tidak ditemukan di peridotit, melainkan sebagai akibat dari batuan peridotite (Cudahy dkk., 2009). Mineral Nikel adalah Garnierit. Nikel ditemukan oleh AF Cronstedt pada 1751. Nikel adalah logam berwarna putih perak mengkilap, keras, dan termasuk pada logam transisi, alam tidak mengubahnya pada saat terkena udara, tahan terhadap oksidasi dan kemampuan untuk mempertahankan sifat sejati di bawah suhu ekstrim (Cudahy dkk., 2009). Nikel digunakan dalam banyak aplikasi komersial dan industri seperti baja pelindung (*stainless steel*), tembaga pelindung, baterai industri, elektronik, aplikasi ruang angkasa, industri tekstil, gas turbin pembangkit listrik, pembuat magnet kuat, membuat perangkat laboratorium (nikrom), kawat dari lampu listrik, katalis lemak, pupuk pertanian, dan berbagai fungsi lainnya (de Vletter, 1978).

Tambang nikel di Indonesia yang berlokasi di Kalimantan Barat, Maluku, Papua, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara. Proses penambangan nikel dimulai dengan mengupas permukaan tanah (10-20 m) dan kemudian dibuang ke suatu tempat atau digunakan untuk menutup situs pasca tambang tertentu. Lapisan tanah yang mengandung nikel tingkat tinggi kemudian diambil dengan menggunakan mekanik atau non-mekanik dan diangkut untuk diproses di pabrik dan sebagian ditimbun di sekitar wilayah pesisir untuk diekspor dari Indonesia. Nikel dibentuk bersama-sama dengan sulfur dalam *millerite* (NiS), dengan penggalan arsenik dinikolit (NIAS), dan dengan arsenik dan belerang pada *nickel glance* (Dill, 2010).



Gambar 2. Pemotongan ke samping (*cross section*) nikel laterit

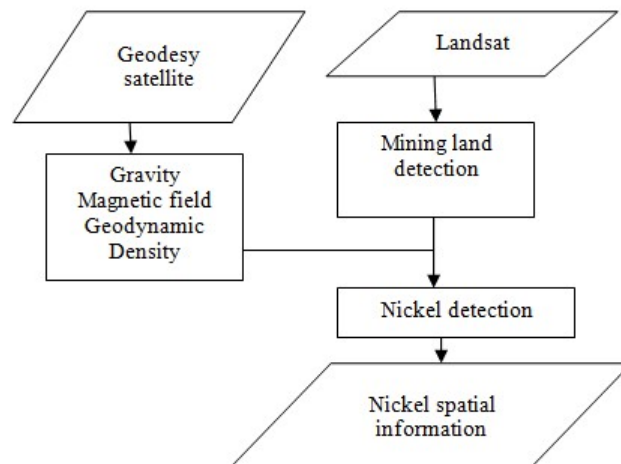
Nikel juga dibentuk bersama-sama dengan kromium dan platinum dalam batuan ultrabasa (Wells dkk., 2011). Ada dua jenis endapan nikel yaitu sebagai akibat dari konsentrasi residu silika dan pelapukan proses ultra- batuan basa beku serta pengendapan sulfida nikel-tembaga, yang biasanya dikaitkan dengan *pirit*, *pirhotit*, dan *Calco pirit* (Dill, 2010). Pada perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid (Van der Meer dkk., 2000). Garam nikel seperti *nickel ammonium sulfate*, *nickel nitrate*, dan *nickel chloride* larut dalam air (Ramachandran dkk., 2011). Dalam kondisi aerob dan $\text{pH} < 9$, nikel membentuk senyawa kompleks dengan hidroksida, karbonat, dan sulfat akan menjalani presipitasi. Dalam kondisi anaerobik, nikel tidak larut (Derkmann dkk., 1986). Pada muara sungai, menunjukkan peningkatan konsentrasi nikel dalam kekeruhan (Freedden dkk., 2010). Peningkatan konsentrasi nikel terlarut pada tingkat kekeruhan tinggi terjadi karena *desorpsi* partikel yang ada di muara dan proses resuspensi (Giovenazzo dkk., 1989).

Sumber daya nikel dunia terdiri dari 70% nikel laterit dan 30% nikel sulfida, sedangkan 60% dari produksi dunia berasal dari sulfida nikel dan 40% nikel laterit (Riaza dkk., 2011). Endapan Nikel laterit di Indonesia menyusul penyebaran batuan dasar dan ultrabasa, ditemukan di Meratus dan Pulau Laut di Kalimantan, timur Pulau Sulawesi. Selain itu, ada di pulau Obi, Pulau Gebe, dan Halmahera di Maluku Utara, juga Pulau Gag, Pulau Waigeo, Pegunungan *Cyclops*, dan Pegunungan Tengah Papua. Total sumber bijih nikel laterit di Indonesia berdasarkan Badan Geologi, pada tahun 2012 adalah 3.398.269.997 ton, dan jumlah cadangan sebesar 18.723.558 ton. Rata-rata *cut-off grade* bijih nikel yang ditambang adalah $\pm 0,8\%$. Tingkat tertinggi nikel bisa mencapai diatas 10%. Potensi bijih nikel yang terbesar di Indonesia berada di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara, dengan total sumber daya sebesar 27.421.301ton dan 11.674.940 ton dari total cadangan. Kabupaten Halmahera memiliki sumber daya total 11.890.645 ton dan total cadangan 7.048.618 ton. Endapan nikel laterit di Papua juga tersebar Kepulauan Waigeo dan Pegunungan *Cyclops* dengan area total 10.313.056 ton, sedangkan dalam data sumber daya bijih nikel Kalimantan ini diperoleh di Gunung Nuih sebesar 608.400ton.



Gambar 3. Lahan tambang Nikel di pulau kecil Halmahera Utara

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi lahan tambang potensial di pulau-pulau kecil di Maluku Utara menggunakan data penginderaan jauh. Aplikasi remote sensing untuk geologi dan pertambangan di Indonesia memiliki Undang-Undang peraturan Nomor 4 Tahun 2009 tentang mineral dan batubara dan Kepmentamben ada 1519.K / 20 / MPE / 1999 (KESDM, 1999; KESDM, 2009).



Gambar 4. Diagram alir penelitian

2. METODE

Mineral yang digunakan dalam kehidupan manusia adalah tidak semua ada di Indonesia. Saat ini hanya 30% atau 30 jenis mineral utama yang ditemukan di Indonesia. Mineral ini adalah emas, perak, tembaga, tanah jarang, nikel, timah, timbal, aluminium, besi, mangan, krom, yodium, garam, berbagai mineral industri (asbestos, bentonit, zeolit, belerang, fosfat, kapur, dan lain-lain), batu mulia, termasuk berlian, dan bahan bangunan. Logam Tanah Jarang masih belum banyak diketahui di Indonesia, serta uranium, sampai saat ini belum tersedia data rinci tentang hal ini (Freedon dkk., 2010). Beberapa mineral telah menjadi andalan sektor pertambangan di Indonesia. Produksi dan cadangan juga cukup besar. Bijih Timah, misalnya, menghasilkan sekitar 15% dari produksi dunia, sedangkan cadangan sekitar 8% dari cadangan dunia (Rajendran dkk., 2012). Cadangan nikel mencapai 15% dari cadangan dunia, tetapi produksi hanya mencapai 10% dari produksi dunia. Pendeteksian nikel ini menggunakan parameter geologi densitas, gravitasi, dan geodinamika. Metode yang digunakan didasarkan pada geodesi fisis. Lokasi lahan tambang dapat dideteksi dengan menggunakan metode pengurangan indeks vegetasi (*vegetation index differencing*) yaitu NDVI dan VIDN.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik pemantulan kelas litologi individu (misalnya, batu atau jenis tanah) terutama fungsi dari kehadiran dan proporsi relatif dari mineral komponen. Litologi batuan ini dapat dibedakan untuk daerah studi berdasarkan kekhasan relatif dari spektrum reflektansi dari masing-masing kelas. Pada spektrum reflektansi mineral, fitur penyerapan individu yang berada dalam kisaran $\sim 0,4 - 1,0 \mu\text{m}$ terutama terkait dengan transisi elektronik yang disebabkan oleh adanya logam transisi (misalnya, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni, Cr), sedangkan fitur penyerapan dalam kisaran ~ 1 sampai $3 \mu\text{m}$ yang didominasi terkait dengan transisi getaran yang disebabkan oleh adanya konstituen anionik umum seperti karbonat, hidroksil, dan fosfat (Naldrett, 2011).

Pada kenyataannya, potensi terbesar untuk diskriminasi kelas litologi menggunakan radiasi refleksi matahari pada dalam kisaran antara $\sim 0,7$ dan $3 \mu\text{m}$, di mana variasi antara spektrum reflektansi biasanya terbesar. Sifat pemantulan batuan sebagian besar dibatasi oleh sifat fisik dan kimia dari atas beberapa ratus mikrometer dari permukaan batu atau bijih. Pelapukan kimia telah signifikan, spektrum reflektansi dari material geologi dapat dikendalikan oleh alterasi perubahan permukaan bukan oleh mineralogi internal yang dinyatakan dalam menentukan jenis material (de Vletter, 1978).

Variasi spasial dalam derajat dan sifat pelapukan permukaan, serta perbedaan dalam sifat vegetatif atau penutup lainnya, dapat mempersulit potensi diskriminasi kelas litologi individu. Karakteristik spektral citra Landsat tetap unggul daripada sebagian besar citra multispektral lainnya. Citra Landsat telah digunakan dengan sukses untuk memetakan unit batuan beku dan metamorf, serta klastik, karbonat, dan satuan batuan evaporitic. Citra Landsat telah diterapkan dengan beberapa keberhasilan dalam pemetaan zona alterasi hidrotermal mineral seperti yang ditandai dengan adanya oksida berlimpah dan hidroksida. Pada umumnya, potensi diskriminasi satuan batuan adalah terbesar dalam rentang inframerah dekat dan infrared tengah, Landsat band 3 ($0,63-0,69 \mu\text{m}$), 4 ($0,76-0,90 \mu\text{m}$), 5 ($1,55-1,75 \mu\text{m}$), dan 7 ($2,080-2,35 \mu\text{m}$) telah terbukti sangat berguna dalam pekerjaan geologi dan tambang.

Metode geofisika modern yang digunakan di berbagai skala dapat berguna selama eksplorasi untuk Ni-Co deposit laterit. Pada skala regional, aeromagnetik, radiometrik, gaya berat, dan penginderaan jauh optik

memberikan wawasan ke dalam kerangka kerak yang luas di mana Ni-Co deposito laterit dapat ditemukan (Thompson dkk., 1999). Metode ini efektif untuk pemetaan ultrabasa dan batu serpentine. Selain itu, gravitasi, medan magnet dapat digunakan untuk memetakan zona sesar (Taranik dkk., 2009). Interpretasi datanya bersifat non unik dan dibatasi dengan informasi yang independen, seperti pemetaan geologi dan pengeboran, atau beberapa teknik geofisika.

Data aeromagnetik memberikan informasi tentang distribusi mineral magnetik, terutama magnetit. Properti magnetik dari batu yang diukur dengan kerentanan magnet. Secara umum, batuan dengan konsentrasi yang lebih besar dari magnetit memiliki kerentanan magnet yang tinggi dan menghasilkan tertinggi anomali magnetik jika dibandingkan dengan batu dengan kerentanan magnetik rendah. Mafik dan batuan beku ultrabasa cenderung memiliki kerentanan magnetik yang lebih tinggi dan menghasilkan anomali magnetik tertinggi dibandingkan dengan batuan beku *felsic* (Tangestani dkk., 2012). Secara umum, teknik magnetik dapat menjadi alat penting untuk eksplorasi Ni-Co karena batuan ultrabasa kecil yang telah terserpentinisasi dapat dibedakan dari satuan batuan lain dengan tanda magnetit terkait dengan serpentinisasi. Zona *olivine* inti nikel pada aliran *komatiitic* cenderung anomali karena alasan yang sama.

Table 1. Sifat fisik batuan yang terkait dengan nikel-kobalt laterit

Rock type	Magnetic susceptibility (SI*10 ⁻³)	Density (g/cm ³)	Radioelement			Conductivity ¹ (mS/m)
			Potassium (%)	Uranium (ppm)	Thorium (ppm)	
Limestone	0.3	2.6	0.3	2	1.3	0.01-1
Dolomite	0.1	2.7				0.01-1
Laterite crust			0.4	1.9	3.4	
Saprolite (mafic volcanic rocks, schist)						50-500
Saprolite (felsic volcanic rocks, granite, gneiss)						
Felsic igneous rocks	8	2.6	3.4	4.5	25.7	
Mafic igneous rocks	25	2.8	0.8	0.8	2.3	
Basalt	70	3.0	0.7	0.8	2.2	0.2
Gabbro	70	3.0	0.4	1.4	1.7	0.0
Hornblende gabbro		3.1				
Peridotite	250	3.2				1.7
Pyroxenite	125	3.2				
Serpentinite	3-17	2.8	0.4	1.7	2.3	8

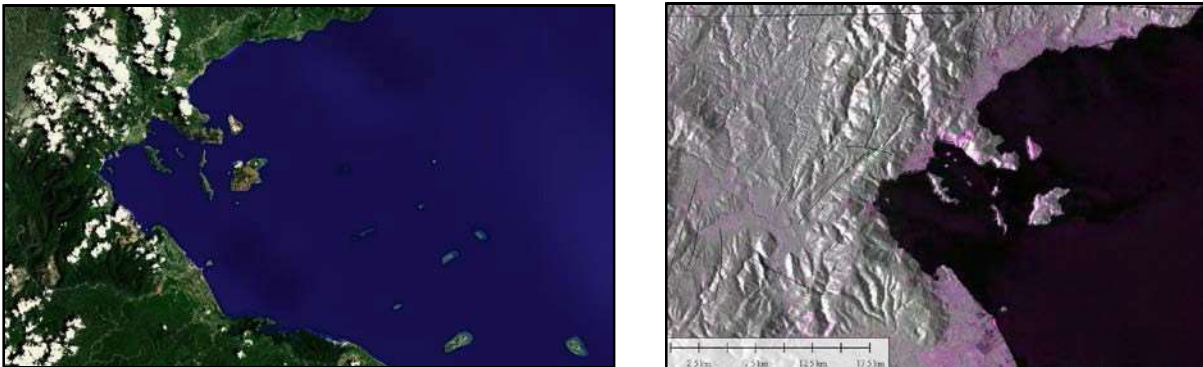
Pola peta anomali aeromagnetik dapat digunakan untuk menyimpulkan distribusi unit geologi dan sangat berguna di mana batuan dasar tersembunyi oleh bahan yang tidak dikonsolidasi atau vegetasi. Deposit Ni-Co laterit umumnya ditemukan pada iklim tropis, di mana vegetasi berlimpah (Sicoli Seoane dkk., 2009). Deposit Ni-Co laterit terbentuk sebagai hasil pelapukan kompleks terserpentinisasi mafik dan ultramafik batu. Selama serpentinisasi, batuan ultrabasa yang terhidrasi dan teroksidasi. Proses tersebut umumnya menghasilkan pembentukan magnetit. Jika bentuk magnetit memiliki konsentrasi yang cukup tinggi, anomali magnetik positif akan diproduksi, meskipun membedakan anomali seperti dari yang dihasilkan oleh batuan ultrabasa di dekatnya. Proses geologi berikutnya dapat menghancurkan magnetit, dan serpentin yang dapat direpresentasikan sebagai posisi terendah anomali magnetik. Oleh karena itu, interpretasi anomali magnetik diasosiasikan dengan batu serpentine.

Ophiolit secara tektonik berada di bebatuan sedimen gunung berapi. Urutan *ofiolit* khas merupakan *peridotite* serpentinisasi oleh *gabbros*. Pada skala regional, perbandingan geologi dan peta anomali magnetik menunjukkan anomali magnetik positif terkuat yang terkait dengan batu ofiolit tebal, dan anomali negatif yang dikaitkan dengan batuan gunung berapi-sedimen dan daerah di mana ubahan hidrotermal terjadi pada sabuk ophiolitik (Van der Meer dkk., 1997). Tiga dimensi inversi dari data medan magnet dibatasi oleh pengukuran susceptibilitas magnetik dan dipetakan geology tersedia perkiraan ketebalan untuk batu ofiolit dan satuan batuan gunung berapi-sedimen di wilayah yang berada pada lapisan tipis peridotites terserpentinisasi (Van der Meer dkk., 2000).

Tinggi anomali magnetik dikaitkan dengan bagian batuan ultramafik yang lebih tebal. Deposit *laterit* Ni-Co yang diketahui berkorelasi dengan titik terendah anomali magnetik dan tubuh serpentin yang lebih tipis di daerah terpencil dari ophiolite massif atau tektonik, dimana erosi telah melepaskan unit *gabbroik* di atasnya. Data gravitasi mengukur variasi medan gravitasi yang dihasilkan dari kerapatan material dasar yang berbeda. Secara umum, batuan beku memiliki kerapatan yang lebih tinggi daripada batuan sedimen, dan batuan beku mafik cenderung memiliki kerapatan yang lebih tinggi daripada batuan felsik. Selama serpentinisasi, sejumlah besar air diserap ke dalam bebatuan. Proses ini meningkatkan volume batuan dan menurunkan kerapatan dari 3,3 menjadi 2,7 gram per sentimeter kubik (gr/cm³). Kepadatan kontras ini berpotensi dicitrakan dalam survei gravitasi resolusi tinggi dan dengan demikian membantu eksplorasi secara langsung. Pemodelan *forward* menggunakan gravitasi dan data magnetik yang dibatasi oleh nilai properti fisik dan geologi yang diketahui

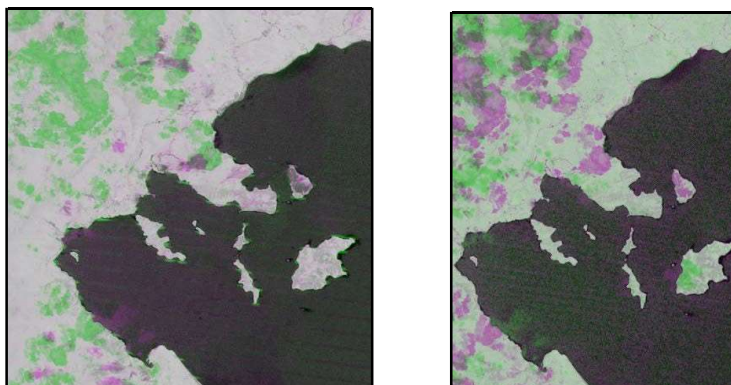
dapat membantu menentukan ketebalan profil yang lapuk dan membantu membangun area yang menguntungkan untuk eksplorasi.

Secara umum, karena batuan ultrabasa menyebabkan anomali radiometrik negatif. Penelitian deteksi nikel dilakukan di daerah timur pulau Halmahera. Data yang digunakan adalah Landsat, ALOS PALSAR, X SAR, SRTM, dan geodesi satelit.



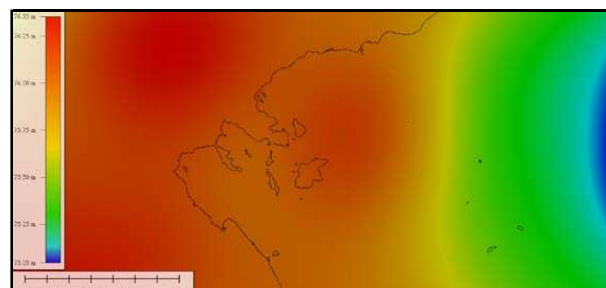
Gambar 5. Landsat (kiri) and ALOS Palsar (kanan)

Lokasi pertambangan nikel dan perubahan dapat dimonitor menggunakan citra multiyear. Citra Landsat yang dapat digunakan untuk mendarat perubahan lahan tambang nikel. Citra Landsat yang digunakan adalah pada tahun 1990, 2005 dan 2015. Perubahan lahan tambang dapat dideteksi dengan *differencing* nilai indeks vegetasi, yaitu NDVI. Pertambangan lahan yang akan dipantau adalah tahun 1990-2005 dan 2005-2015, lihat **Gambar 4.**



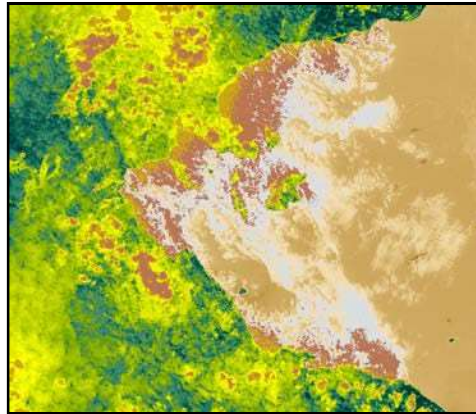
Gambar 6. Pemantauan lahan tambang Nikel dan deteksi antara tahun 1990-2005 (kiri) dan 2005-2015 (kanan) menggunakan formula perbedaan NVI. Lahan tambang berwarna ungu.

Deteksi potensi nikel dapat dilakukan dengan beberapa parameter geologi, seperti gravitasi, geodinamika, densitas. Parameter geologi dapat dideteksi dengan data satelit geodesi. Analisis gravitasi bumi, medan magnet, dan geodinamika menggunakan pendekatan geodesi fisik. Analisis di lempeng tektonik dan deteksi deformasi (utara-selatan dan barat-timur) daerah penelitian. Kepadatan nikel dapat dideteksi oleh data *microwave* (satelit geodesi). Nilai densitas nikel terletak di sekitar $\rho = 8800 \text{ kg/m}^3$ dan *Specific Gravity* ($S-G = 8,9$). Kondisi ini berlaku untuk $S-G = \rho_{\text{substance}} / \rho_{\text{H}_2\text{O}}$ mana $\rho_{\text{H}_2\text{O}} 4^\circ \text{C}$ dari 1000 kg/m^3 (KESDM, 2009).



Gambar 7. Gaya berat bumi dan geodinamika

Semua parameter geologi harus berkorelasi untuk mendapatkan potensi daerah nikel. Parameter geologi yang paling dominan adalah deteksi densitas dan identifikasi lahan tambang. Hasil deteksi potensi nikel dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Deteksi potensi nikel (warna kuning)

Akurasi potensi daerah nikel lebih dari 3σ (90%). Pemantauan daerah potensial nikel menggunakan penginderaan jauh akan efektif dalam waktu dan biaya rendah, dan lebih presisi, tapi akurasi menengah.

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa data penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi nikel. Potensi nikel dapat dideteksi oleh banyak parameter geologi seperti struktur geologi, model tinggi, deformasi, geodinamika, medan magnet, dan densitas. Pulau-pulau kecil Halmahera Utara adalah salah satu daerah yang memiliki potensi nikel di Indonesia.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih banyak kepada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN sehingga tulisan ini bisa dipublikasikan pada seminar nasional ini

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, M.J., Rothery, D.A., dan Pontual. (1988). A. *Mapping in the Oman ophiolite using enhanced Landsat Thematic Mapper images*. *Tectonophysics*, 151, 387-401.
- Allen, C.S., dan Krekeler, M.P.S. (2010). *Reflectance spectra of crude oils and refined petroleum products on a variety of common substrates*, in *Gilbreath, C.G., and Hawley, G.T., eds., Active and passive signatures*. Proceedings of the International Society for Optics and Photonics, v. 7687.
- Basile., Andrew., Hughes., Jeffrey., McFarlane., A.J., dan Bhargava, S.K. (2010). Development of a model for serpentine quantification in nickel laterite minerals by infrared spectroscopy: *Minerals Engineering*, v. 23, no. 5, p. 407-412.
- Beaton, D.W., Kryski, K.M., dan Srivastava, R.M. (2011). 43-101 *Technical report on the central Moa nickel laterite operation in Eastern Cuba*. Prepared for Sherritt International Corporation,
- Berger, V.I., Singer, D.A., Bliss, J.D., dan Moring, B.C. (2011). *Ni-Co laterite deposits of the world— Database and grade and tonnage models*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1058.
- Chang, S.H., Collins, dan William. (1983). Confirmation of the airborne biogeophysical mineral exploration technique using laboratory methods. *Economic Geology*, v. 78, no. 4, p. 723-736.
- Clark, R. N G. A. Swayze, R. Wise, K. E. Livo, T. M. Hoefen, R. F. Kokaly, dan S. J. Sutley. (2007). *USGS Digital Spectral Library splib06a*. US Geology Survey, Denver.
- Cudahy, T., Hewson, R., Caccetta, M., Roache, A., Whitbourn, L., Connor, P., Coward, D., Mason, P., Yang, K., Huntington, J., dan Quigley, M. (2009). Drill core logging of plagioclase feldspar composition and other minerals associated with Archean gold mineralization at Kambalda, Western Australia, using a bidirectional thermal infrared reflectance system. *Reviews in Economic Geology*, v. 16, p. 223-235.
- De Vletter, D.R. (1978). Criteria and problems in estimating the global laterite nickel resources. *Mathematical Geology*, v. 10, no. 5, p. 533-542.

- Derkmann, K., dan Jung, R. (1986). Assessing the potential of Burundi's nickel laterites. *Engineering and Mining Journal*, v. 187, p. 8–9.
- Dill, H.G. (2010). The “chessboard” classification scheme of mineral deposits—Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth Science Reviews*, v. 100, no. 1, p. 1–420.
- Freedon, W., Nashed, M. Z., dan Sonar, T. (2010). *Handbook of Geomathematic*. Springer
- Giovenazzo, D., Picard, C., dan Guha, J. (1989). *Tectonic setting of Ni-Cu-PGE deposits in the central part of the Cape Smith Belt*. *Geosci. Can.*, 16, 134-136.
- Harris, J.R., Wickert, L., Lynds, T., Behnia, P., Rainbird, R., Grunsky, E., McGregor, R., dan Schetselaar, E. (2011). *Remote predictive mapping 3*. Optical remote sensing—A review for remote predictive geological mapping in northern Canada. *Geosci. Can*, 38, 49-83.
- KESDM. (1999). *Kepmentamben no 1519.K/20/MPE/1999*. Kementerian ESDM, Jakarta.
- KESDM. (2009). *UU Minerba No.4 tahun 2009*. Kementerian ESDM, Jakarta.
- Naldrett, A.J. (2011). Fundamentals of magmatic sulfide deposits, in Li, C., and Ripley, M., eds., *Magmatic Ni-Cu and PGE deposits—Geology, geochemistry, and genesis*. *Reviews in Economic Geology*, v. 17, p. 1–50.
- Noomen, M.F., Smith, K.L., Colls, J.J., Steven, M.D., Skidmore, A.K., dan Van Der Meer, F.D. (2008). Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, no. 20, p. 5987–6008.
- Rajendran, S., al-Khribash, S., Pracejus, B., Nasir, S.; Al-Abri, A.H., Kusky, T.M., dan Ghulam. (2012). ASTER detection of chromite bearing mineralized zones in Semail Ophiolite Massifs of the northern Oman Mountains. *Exploration strategy*. *Ore Geol. Rev.*, 44,121-135.
- Ramachandran, B., Justice, C.O., dan Abrams, M.J. (2011). Eds.; *Remote Sensing and Digital Image Processing 11*, Springer Science and Business Media. Berlin, Germany, pp. 807-834.
- Riaza, A., Buzzi, J., Garcia-Meléndez, E., Carrère, V., dan Müller. (2011). Monitoring the extent of contamination from acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt (SW Spain) using hyperspectral imagery. *Remote Sensing*, 3, 2166-2186.
- Seigel. (1995). *A guide to high precision land gravimeter surveys*. Scintrex Limited 222 Snidercroft Road Concord, Ontario, Canada.
- Sícoli Seoane, J.C., Castro, N.A., Osako, L.S., dan Baars, F.J. (2009). Multispectral imagery applied to nickel laterite exploration: The Conceição do Araguaia discovery. *Reviews in Economic Geology*, v. 16, p. 109–122.
- Tangestani, M.H., dan Moore, F. (2012). Porphyry copper alteration mapping at the Meiduk area, Iran. *International Journal Remote Sensing*, 23, 4815-4825.
- Taranik, J.V., dan Aslett, Z.L. (2009). Development of hyperspectral imaging for mineral exploration. *Reviews in Economic Geology*, v. 16, p. 83–95.
- Thompson, A.J.B., Hauff, P.L., dan Robitaille, A.J. (1999). *Alteration mapping in exploration: Application of short-wave infrared (SWIR) Spectroscopy*. Society of Economic Geologists, SEG Newsletter, no. 39, p. 1, p. 16–27. Reprinted here as p. 11–23.
- Van der Meer, F.D., Vazquez-Torres, M., dan Van Dijk, P.M. (1997). Spectral characterization of ophiolite lithologies in the Troodos Ophiolite complex of Cyprus and its potential in prospecting for massive sulphide deposits. *International Journal Remote Sensing*, 18,1245-1257.
- Van der Meer, F., dan de Jong, S.M. (2000). Improving the results of spectral unmixing of Landsat Thematic Mapper imagery by enhancing the orthogonality of end-members. *Int. J. Remote Sensing*, 21, 2781-2797.
- Wells, M.A., dan Chia, J. (2011). Quantification of Ni laterite mineralogy and composition—A new approach. *Australian Journal of Earth Sciences* v. 58, no. 7, p. 711–724.
- Zevgolis, E., Zografidis, C., dan Halikia, I. (2010). The reducibility of Greek nickeliferous laterites— A review. *Mineral Processing and Extractive Metallu*