TANAH GOYANG
JURNAL GEOSAINS
e-ISSN: 3026-3263
Volume 1, Nomor 2 | November 2023

Aplikasi Direct Principal Component Analysis untuk Analisis Sebaran Deposit Nikel Laterit di Kabupaten Seram Bagian Barat-Provinsi Maluku

Direct Principal Component Analysis Application for Analysis of The Distribution of Nickel Laterite Deposits in West Seram Regency-Maluku Province

Erfin Elly [1*], Sanny Virginia Aponno[1]

[1]Program Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka Ambon

erfin.elly@fatek.unpatti.ac.id

Diterima: 15 Agustus 2023; Disetujui: 28 Oktober 2023
DOI: 10.30598/tanahgoyang.1.2.106-117

Kata Kunci:
Topografi
Bukit
Pemodelan
3D

Abstrak

Pemetaan mineral alterasi hidrotermal dengan metode penginderaan jauh pada daerah bervegetasi seringkali mendapat gangguan dalam mendeteksi keberadaan endapan mineral, hal ini dikarenakan adanya kemiripan kurva spectral vegetasi dengan kelompok mineral pada citra, yang berakibat kurang akurasi pemetaan. Dari penelitian ini Kerapatan vegetasi yang didapatkan melalui citra satelit pada wilayah penelitian memiliki indeks antara 0,09 – 0,70. Berdasarkan rentan nilai tersebut kondisi kerapatan vegetasi dibagi menjadi tiga kelas yaitu, rendah (< 0,30), sedang (0,30 – 0,60) dan tinggi (> 0,60). menggunakan *defoliant technique* yaitu metode yang digunakan untuk meningkatkan respon spektral dari mineral permukaan yang didasarkan pada reflektansi (pantulan cahaya) respon spektral mineral dengan vegetasi. Untuk mineral *hematite* dan *goethite* digunakan rasio saluran 1:2 dan 4:3 di mana respon spektral masing-masing mineral pada panjang gelombang 0,4 – 2,5 µm Hasilnya diperoleh bahwa indikasi kehadiran deposit nikel laterit berasosiasi variable fisik sebagai berikut: batuan induk berupa batuan Ultramafik dan Kompleks Taunusa (batuan metamorf), kerapatan vegetasi rendah (NDVI < 0,3), Untuk memperoleh akurasi ekstraksi area sampel (*training area*) sebagai acuan piksel yang mengandung mineral permukaan. Ketiga, klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) citra hasil olahan, sehingga dapat diperoleh peta zona mineral permukaan.

Keywords:
Topography
Hills
Modelling
3D

Abstract

The mapping of the hydrothermal alteration of minerals by means of deep imaging methods in the vegetation is often impaired in detecting mineral deposits, due to the similarity of the spectral vegetation curve with the mineral group in the image, resulting in insufficient mapping accuracy. From this study, the density of vegetation obtained through satellite images of the research area has an index of 0.09 - 0.70. Based on the vulnerable value of these values vegetation is divided into three classes low (< 0.30), moderate (0.30-0.60), and high (> 0.60). Using defoliant signatures, which is a method used to increase the spectral response of the surface minerals based on reflection (light reflection) of the mineral spectral response with vegetation. For the value of hematite and goethite, the ratio of channels 1 : 2 and 4 : 3 where spectral responses of each mineral at a wavelength of 0.4 - 2.5 centimeters (0.4 - 2.5 m) are obtained that indicate the presence of a laterite nickel deposit is unequaled by the following variable variables: Stem stones of ultraphyous rock and the taunusa (metamorph rock), low vegetation density (ndvi < 0.3), for accurate extraction of sample areas (training areas) as surface mineral reference. Third, a

guided classification (classification) image is processed, so it can be acquired a map of the surface mineral zone.

1. PENDAHULUAN

Secara geologi wilayah Seram Bagian Barat merupakan salah satu wilayah Maluku yang kaya akan kandungan nikel laterit dalam jumlah besar. Hal ini didukung oleh bentukan geologi yang terdiri atas volcano plutonic arc, methamorphic belt, ophiolite belt, serta pemekaran dasar laut saat pembentukan pulau Seram dan pulau Ambon. Selain itu, kondisi ini juga tidak terlepas oleh iklim, reaksi kimia, struktur, dan topografi Kab. Seram Bagian Barat yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit. Endapan nikel laterit di Kab. Seram Bagian Barat terbentuk karena proses pelapukan dari batuan ultramafik yang terbentang dalam suatu singkapan yang cukup besar (Elly, 2014,Patria dkk, 2018).

Selama ini eksplorasi terhadap nikel laterit dilakukan dengan mencari singkapan batuan ultramafik, pemetaan lapangan, pengeboran, dan analisa laboratorium untuk mengetahui kandungan mineral dan kimiawi nikel. Namun salah satu hambatan besar dari kegiatan tersebut adalah pada tahap pemetaan lapangan yang membutuhkan waktu yang lama dan berbiaya besar, terutama untuk daerah baru, sehingga seringkali sulit untuk dilakukan pada wilayah luas. Namun seiring berkembangnya teknologi dalam bidang pemetaan, keterbatasan tersebut kini dapat diatasi dengan menggunakan aplikasi dari teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh (Rajesh, 2004).

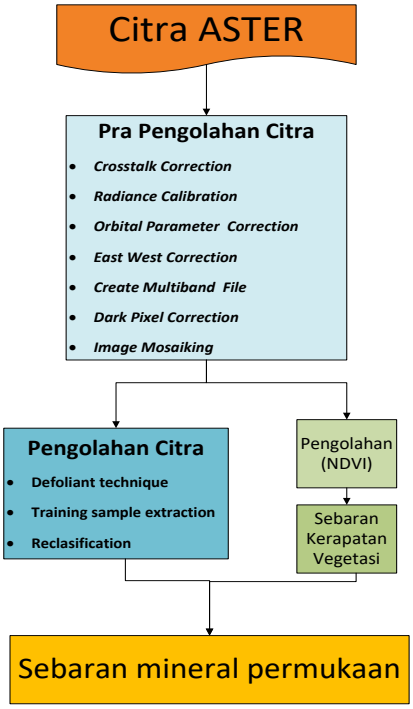
Perkembangan aplikasi SIG dan penginderaan jauh dalam pemetaan wilayah potensi dilakukan dengan mengintegrasikan berbagai jenis data spasial, kemudian menentukan model yang tepat untuk mengetahui wilayah potensi mineral tersebut Sensor yang digunakan untuk mengidentifikasi deposit mineral adalah Advanced Spacebome Thermal Emission Radiometer (ASTER). Salah satu kelebihan citra ASTER dalam memetakan sebaran mineral permukaan adalah ketersediaan saluran (band) yang lebih banyak (VNIR saluran 1-3, SWIR saluran 4-9 dan TIR saluran 10-14) dengan resolusi spasial yang lebih baik dibandingkan citra sejenis, seperti Landsat. Oleh karena itu, ASTER cocok dalam memetakan berbagai jenis batuan dan mineral. Kelebihan lainnya yaitu harga citra ASTER yang jauh lebih murah dibandingkan menggunakan satelit hyperspectral ataupun pemetaan udara. Kelebihan-kelebihan ini menjadikan ASTER menarik untuk digunakan lebih jauh. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan kemampuan ASTER yang baik dalam pemetaan geologi.

Penelitian yang berlokasi di daerah Kabupaten Seram Bagian Barat (SBB) pada Gambar 1 dibawah ini, bertujuan untuk ; (1) mengetahui kemampuan citra ASTER untuk pemetaan potensi mineral nikel laterit di Kabupaten Seram Bagian Barat-Provinsi Maluku; (2) mengetahui sebaran deposit nikel laterit dengan Direct Principal Component Analysis di Kabupaten Seram Bagian Barat-Provinsi Maluku.

Untuk mendapatkan sampel antara daerah yang mengandung dan tidak mengandung nikel laterit yang merupakan hasil residual (pelapukan) yang terjadi pada batuan ultrabasa dilakukan ekstraksi training sample piksel yang sudah diketahui memiliki deposit nikel laterit, yaitu berasal dari data pengeboran. Hal ini bertujan agar dapat diketahui probabilitas setiap piksel secara statistik apakah akan digolongkan ke dalam mineral atau non mineral. Metode statistik yang digunakan adalah klasifikasi terbimbing dengan pendekatan maximum likelihood yang merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mencari titik tertentu untuk memaksimumkan sebuah fungsi, dimana dari nilai terukur diperoleh dengan melakukan ‘plot’. Dimisalkan f(x) ialah suatu fungsi, dan kita memasukkan nilai dari x, dan peluang dikatakan nilai x fungsi variabel random (acak) (Carranza, 2001; Rojas, 2003).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan pengerjaan dimana sejumlah data yang diperoleh dari data citra ASTER dikaji lebih lanjut sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan pengerjaan dimana sejumlah data yang diperoleh dari data citra ASTER dikaji lebih lanjut sesuai dengan diagram alir penelitian pada Gambar 1.

2.1. Tahap Pra Pengolahan Citra

Pra Pengolahan dilakukan sebelum citra Level 1B diolah lebih lanjut. Tahap ini bertujuan memperbaiki kerusakan yang diakibatkan oleh satelit dan atmosfer dengan delapan tahapan sebagai berikut :

2.1.1. Crosstalk Correction

Crosstalk merupakan efek negatif pada citra ASTER karena terjadi kebocoran sinyal *photon* pada saluran 4, sehingga mempengaruhi subsistem SWIR pada ASTER, terutama pada saluran 5 dan 9.

2.1.2. Radiance Calibration

Radiance Calibration adalah proses memaksimalkan rentang dinamik data dan skala ulang (rescale) nilai brightness agar diperoleh nilai pancaran radiasi atmosfer tertinggi dari nilai dijital data mentah (raw) level 1B. Skala ulang sinyal sensor sangat penting, hal ini terkait keterbatasan grafis komputer yang hanya mampu mengolah hingga 8 bit, selain untuk mengurangi informasi yang hilang. Data hasil radiance akan memiliki satuan Watts/m^2/stereoradian/µm.

2.1.3. Orbital Parameter Correction

Proses ini diperlukan untuk memperbaiki parameter orbital yang diperlukan dalam koreksi geometris citra, dimana citra yang masih mengacu kepada orientasi satelit (swath orientation) diatur agar sesuai dengan permukaan bumi. Citra yang telah dirotasi akan menggunakan proyeksi UTM dengan datum WGS 1984.

2.1.4. East-West Offset of SWIR Bands

Perbaikan citra akibat dari pengaruh *crosstalk correction* dan menurunnya kedudukan satelit ASTER dari orbit garis edarnya . Akibat dari kondisi ini terlihat bahwa batas Barat dan Timur dari saluran SWIR tidak ter-*overlay* dengan sempurna, sehingga karena SWIR memiliki resolusi spasial 30 meter, maka terdapat penyimpangan hingga 20 piksel atau 600 meter.

2.1.4. Layer Stacking

Membuat *file* multi saluran baru dari saluran VNIR, SWIR, dan TIR yang telah terkoreksi. Hal ini diperlukan karena masing-masing subsistem memiliki resolusi spasial yang berbeda. Sehingga resolusi spasial ketiga tipe saluran akan disamakan ukurannya, sesuai dengan kebutuhan pengguna.

2.1.5. Dark Pixel Correction

Koreksi piksel gelap merupakan metode sederhana yang digunakan untuk menghilangkan efek atmosfer saat *image radiance*. Efek ini terkait dengan kontribusi hamburan aditif (*additive scaterring*) dari atmosfer dan efek dari transmisi multiplikatif energi melalui atmosfer.

2.1.6. Mosaicking Images

Proses *mosaicking* adalah proses penyatuan citra agar menjadi satu kesatuan wilayah tertentu. *Mosaicking* umumnya dilakukan karena luasnya wilayah kajian, sehingga dibutuhkan *scene* tambahan pada citra untuk dapat mencakup keseluruhan wilayah. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses ini adalah kedua citra harus memiliki datum dan proyeksi yang sama agar dapat disatukan secara berdampingan.

2.1.7. Cloud Masking

Awan dan bayangannya dapat menjadi masalah besar bagi citra, antara lain mengaburkan kondisi permukaan bumi, dan efek dari terang serta gelap respon Albedo menghasilkan anomali yang salah dalam pengolahan citra. *Masking* awan dan bayangannya dilakukan dengan menggunakan saluran 10 dan 3 (Hewson et al., 2004)

2.2. Tahap Pengolahan Citra dan Analisa Data

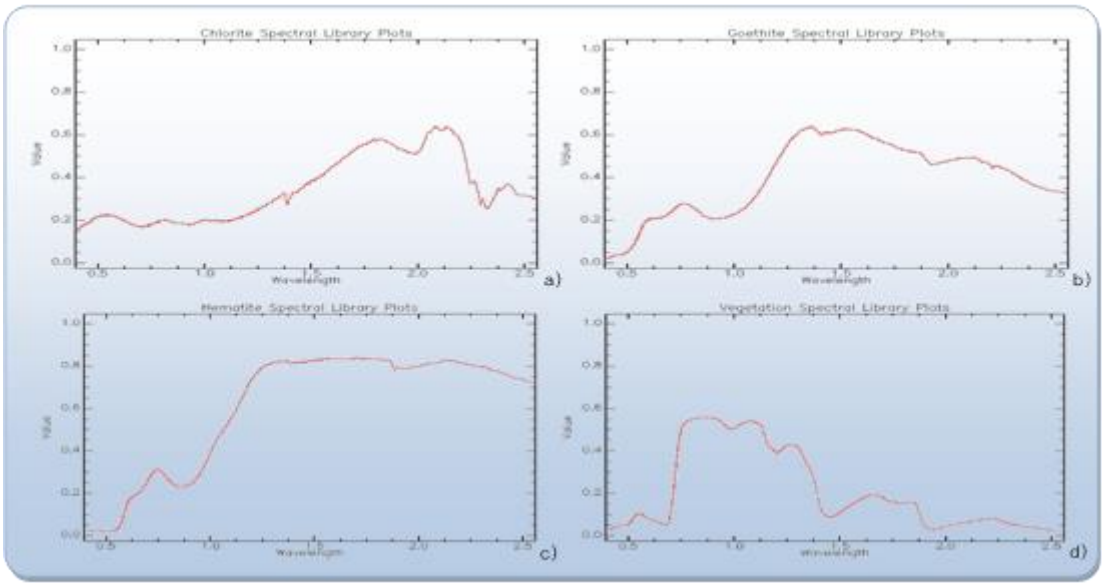
Tahap pengolahan citra untuk pemetaan mineral permukaan di daerah bervegetasi terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama menggunakan *defoliant technique* yaitu metode yang digunakan untuk meningkatkan respon spektral dari mineral permukaan yang didasarkan pada reflektansi (pantulan cahaya) respon spektral mineral dengan vegetasi. Kedua, ekstraksi area sampel (*training area*) sebagai acuan piksel yang mengandung mineral permukaan. Ketiga, klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) citra hasil olahan, sehingga dapat diperoleh peta zona mineral permukaan.

Penerapaan *defoliant technique* untuk mengetahui deposit mineral permukaan membutuhkan pemahaman terhadap karakteristik mineral permukaan dan kondisi fisik yang terdapat di wilayah kajian. Pada kasus deposit nikel laterit, mineral permukaan yang berasosiasi dengan deposit nikel laterit di wilayah penelitian adalah *hematite*, *goethite*, dan *chlorite* di mana respon spektral masing-masing mineral pada panjang gelombang 0,4 – 2,5 μm adalah seperti terlihat di Gambar 2.

Agar didapatkan respon spektral mineral optimum di daerah yang bervegetasi, diperlukan dua rasio saluran untuk meminimalisir efek vegetasi (Carranza dan Hale, 2002). Dalam hal ini kedua rasio saluran nilai rasio mineral yang dituju harus lebih tinggi dibandingkan dengan vegetasi atau lebih rendah (negatif). Selain itu dalam input rasio saluran tidak ada kombinasi rasio yang digunakan dua kali untuk setiap mineral. Kemudian karena kemiripan karakteristik spektral antara mineral *hematite* dan *goethite*, mengakibatkan sensor ASTER sulit membedakan keberadaan mineral tersebut. Oleh karena itu pada kasus ini kedua mineral digabungkan di dalam satu input rasio saluran.

Tabel 1. Rasio Saluran Optimum Untuk Mempertajam Respon Spektral Mineral Permukaan Alterasi Hidrothermal Nikel Laterit

Jenis Mineral	Input Rasio Saluran Software Defoliant Technique
Hematite & Goethite	1/2 dan 3/4
Chlorite	4/2 dan 3/6



Gambar 2. Reflektansi spektral mineral a) *Chlorite*, b) *Goethite*, c) *Hematite*, d) Vegetasi pada panjang gelombang 0,4 – 2,5 µm (USGS Spectral Library, 2007)

2.3 Sebaran Kerapatan Vegetasi

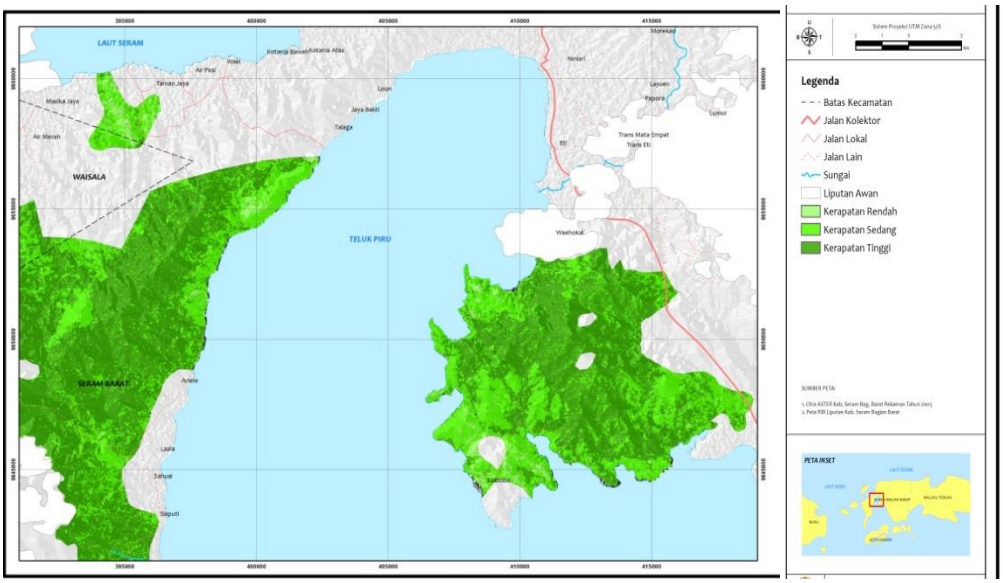
Kerapatan vegetasi yang didapatkan melalui citra satelit pada wilayah penelitian memiliki indeks antara 0,09 – 0,70. Berdasarkan rentan nilai tersebut kondisi kerapatan vegetasi dibagi menjadi tiga kelas yaitu, rendah (< 0,30), sedang (0,30 – 0,60) dan tinggi (> 0,60). Kelas tutupan lahan rendah berupa padang rumput, sedangkan semakin menuju kelas tertinggi (nilai mendekati 1), tutupan lahannya berupa vegetasi dengan kerapatan tinggi (*dense vegetation*).

Kerapatan vegetasi pada wilayah penelitian memiliki distribusi yang cukup merata dari sisi luas wilayah, terkecuali di kondisi vegetasi rendah. Kerapatan vegetasi terbesar terdapat pada kelas kerapatan rapat, yaitu 93,7 km^2 atau 62,37 % dari total luas wilayah penelitian, kemudian diikuti oleh kelas kerapatan sedang (52,80

km^2) dan rendah (3,75 km^2). Sebaran dari kerapatan vegetasi sedang sebagian besar terdapat di tepi wilayah laut, meliputi sisi selatan dan utara, meliputi wilayah selatan laut Seram (bukit Waisala) dan wilayah utara memanjang dari bukit Talaga sampai bukit Katapang (lihat Gambar 4).

Kelas kerapatan vegetasi sedang tersebar pada bagian tengah wilayah Seram Barat, luas wilayahnya hanya 52,80 km^2 atau 35,14% dari keseluruhan. Sebagian besar tipe kerapatan ini terdapat di tengah pulau Seram, seperti bukit Aryate, Piru dan Eti. Beberapa wilayah pinggiran sisi barat yaitu bukit Lokki dan sebagian bukit Kaibobu pada bagian barat juga bervegetasi rapat.

Seperti terlihat pada Gambar 3, dari hasil citraan terungkap bahwa pola sebaran kerapatan vegetasi yang terbentuk, yaitu semakin ke arah tengah, kerapatan semakin rapat. Terbentuknya pola tersebut dikarenakan pada bagian tengah dari pulau Seram umumnya berbentuk geomorfologi yang berbukit-bukit dan tropis, sedangkan pada sisi pinggir merupakan areal yang landai merupakan punggung pegunungan berupa padang rumput.



Gambar 3. Kerapatan Vegetasi



Gambar 4. Kondisi kerapatan vegetasi rendah di Bukit Tinggi (*kiri*) dan rapat di sekitar Bukit Talaga (*kanan*)

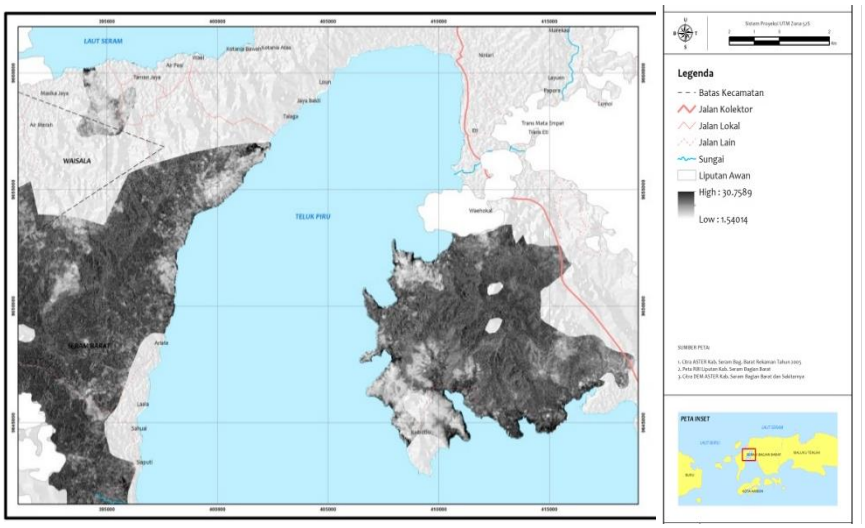
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *defoliant technique* atau DPC dalam pemetaan mineral permukaan yang berasosiasi dengan deposit nikel laterit dilakukan dengan mengidentifikasi keberadaan mineral mineral permukaan, yaitu *hematite*,

goethite, dan *chlorite*. Untuk mineral *hematite* dan *goethite* digunakan rasio saluran 1:2 dan 4:3, seperti yang terdapat pada tabel 2. Nilai DPC2 memperlihatkan perbedaan antara zona yang mengandung *hematite* dan *goethite* dengan vegetasi. Sedangkan DPC1 menggambarkan zona di mana respon spektral antara vegetasi, *hematite*, dan *goethite* tidak dapat dibedakan, hal tersebut dapat dilihat dari nilai positif di kedua input nilai saluran. Oleh karena itu DPC1 yang akan digunakan untuk memetakan zona kejadian *hematite* dan *goethite* (Gambar 4).

Tabel 2. Analisis *Directed Principal Component* dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral *hematite* dan *goethite* melalui *Software Defoliant Technique*.

Principal Components	**Eigenvector**	
	Band 2 : Band 1	**Band 3 : Band 4**
DPC 1	- 0,04094	0,99916
DPC 2	0,99916	0,04094



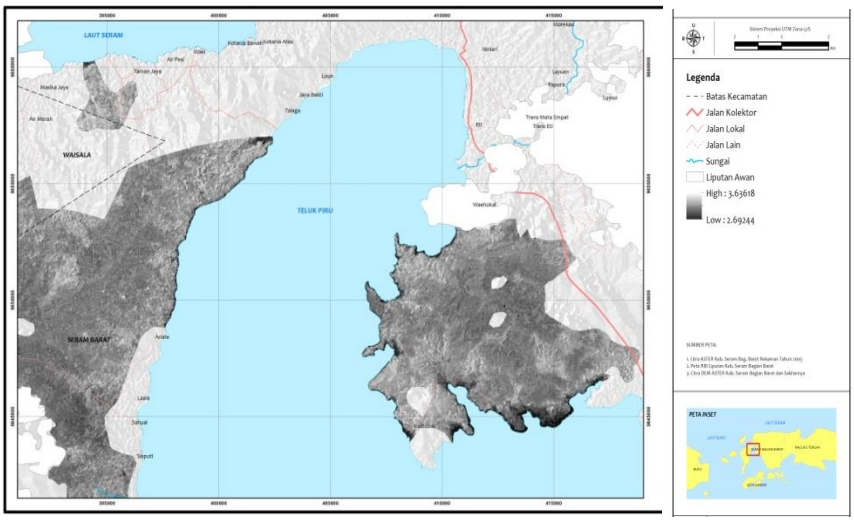
Gambar 5. DPC1 untuk mineral *hematite* dan *goethite*

Sedangkan mineral *chlorite* menggunakan rasio 4:2 dan 3:6 (tabel 3). Nilai positif di kedua rasio saluran pada DPC1 mengindikasikan bahwa pada rasio saluran tersebut, respon spektral antara vegetasi dengan mineral *chlorite* tidak dapat dibedakan dengan baik. Akan tetapi berbeda dengan DPC2, nilai rasio saluran yang kontradiktif (positif dan negatif) antara rasio 4:2 dan 3:6 menggambarkan bahwa respon spektral antara vegetasi dan mineral dapat dibedakan.

Tabel 3. Analisis Directed Principal Component dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral *chlorite* melalui software defoliant technique.

Principal Components	**Eigenvector**

	Band 4 : Band 2	Band 3 : Band 6
DPC 1	0,00224	1,00000
DPC 2	1,00000	-0,00224



Gambar 6. DPC2 untuk mineral *chlorite*

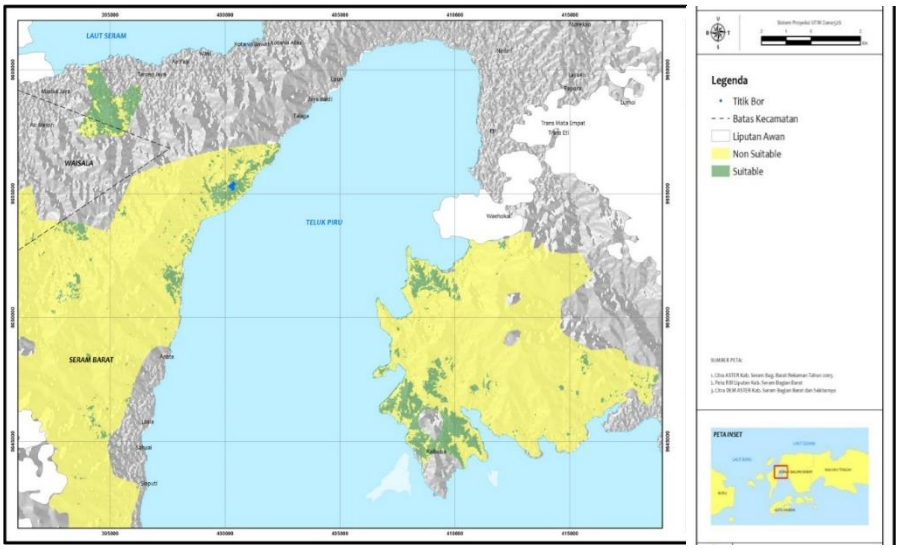
Secara keseluruhan total wilayah yang teridentifikasi mengandung mineral *hematite* dan *goethite* yang merupakan mineral yang dihasilkan dari pelapukan batuan beku ultrabasa yaitu 599,32 hektar, sedangkan *chlorite* adalah jenis mineral yang berasosiasi dengan magnesium dan besi yang pada penelitian ini digunakan karena merupakan menunjukan tipe nikel laterit dari daerah penelitian ini, memiliki luasan sekitar 11.771,25 hektar. Hasil analisis klasifikasi mineral pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Analisis klasifikasi mineral pada lokasi penelitian

Nama Kelas	Jumlah Sampel		
	Piksel	**Meter^2**	**%**
Goetithe & Hematite	1060	238500	0.02
Non Goetithe & Non Hematitte	64297	14466825	1.41
Chlorite	263	59175	0.01
Non Chlorite	40596	9134100	0.89

Selain itu perbedaan jumlah mineral *hematite* dan *goethite* dibandingkan dengan *chlorite* di permukaan, berdasarkan hasil interpretasi, memiliki kesesuaian dengan kondisi lapangan dan beberapa literatur sebelumnya, bahwa memang mineral *chlorite* (*clay*) di wilayah penelitian relatif lebih sedikit dipengaruhi oleh iklim dan curah hujan. Hal ini terjadi karena karakteristik deposit nikel laterit di Pulau Seram merupakan tipe *oxide*, berbeda dengan wilayah Australia yang bertipe clay (Golightly, 1979; Elias, 2001; Kadarusman dkk., 2004 Elly, 2014). Perbedaan ini tidak terlepas dari faktor pembentukannya. Letak Pulau Seram di wilayah tropis, di mana peran air sangat besar dalam proses pelapukan kimiawi batuan. Sehingga pada saat pelapukan kimiawi berlangsung, mineral *chlorite* yang bersifat tidak stabil akan larut dan berpindah. Akan

tetapi berbeda dengan Australia yang memiliki curah hujan lebih rendah, unsur *chlorite* tidak akan terlarutkan, melainkan mengendap.



Gambar 7. Peta indikasi sebaran potensial nikel laterit dengan indikasi alterasi *chlorite* dengan mineral *hematite* dan *goethite*, dilakukan tranining sampel dengan titik pengeboran (titik biru).

Selain itu, dari hasil penelitian ini sudah dapat diketahui bahwa daerah tersebut terdapat kandungan atau potensi mineral *chlorite* dengan kandungan 0,01 % yang mengindikasi adanya mineral magnesium silikat hidrat. Terindikasi pula sebaran non mineral *goethite* dan *hematite* sebesar 1,41 % serta non mineral *chlorite* sebesar 0,89% pada lokasi penelitian. Hal ini sangat membantu dalam membuat rencana untuk melakukan pemetaan lapangan lanjut.

4. KESIMPULAN

Analisis *defoliant technique* Analisis *defoliant technique* atau DPC dalam pemetaan mineral permukaan yang berasosiasi dengan deposit nikel laterit dilakukan dengan mengidentifikasi keberadaan mineral mineral permukaan, yaitu *hematite*, *goethite*, dan *chlorite*. Untuk mineral *hematite* dan *goethite* digunakan rasio saluran 1:2 dan 4:3, seperti yang terdapat pada tabel 2. Nilai DPC2 memperlihatkan perbedaan antara zona yang mengandung *hematite* dan *goethite* dengan vegetasi. Sedangkan DPC1 menggambarkan zona di mana respon spektral antara vegetasi, *hematite*, dan *goethite* tidak dapat dibedakan, hal tersebut dapat dilihat dari nilai positif di kedua input nilai saluran dengan nilai 0,99. Oleh karena itu DPC1 yang akan digunakan untuk memetakan zona kejadian *hematite* dan *goethite* Sedangkan mineral *chlorite* menggunakan rasio 4:2 dan 3:6 dengan nilai 1. Nilai positif di kedua rasio saluran pada DPC1 mengindikasikan bahwa pada rasio saluran tersebut, respon spektral antara vegetasi dengan mineral *chlorite* tidak dapat dibedakan dengan baik. Akan tetapi berbeda dengan DPC2, nilai rasio saluran yang kontradiktif (positif dan negatif) antara rasio 4:2 dan 3:6 menggambarkan bahwa respon spektral antara vegetasi dan mineral dapat dibedakan. Di lapangan, satuan laterit disusun oleh pelapukan batuan peridotit, dengan penyebaran di daerah Gunung Tinggi, Gunung Kobar, Gunung Ariate dengan luas wilayah 235 km^2. Kenampakan laterit di permukaan berwarna coklat kemerahan, merah tua, dan seringkali masih ditemukan adanya bongkahan batuan peridotit lapuk. Adapun sebagian besar distribusi dari mineral *hematite* dan *goethite*, dan *chlorite*, dikarenakan pada wilayah tersebut umumnya belum ada penambangan sehingga keberadaan mineral-mineral penciri relatif lebih mudah ditemukan dibandingkan di bagian tengah karena faktor kerapatan vegetasi

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada LPPM Universitas Pattimura yang telah memberikan kesempatan dalam melaksanakan salah satu tridharma yaitu penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abrams, M. and Hook, S., 2002, *ASTER User Handbook Version 2*, NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena., p13-14.

Ahadjie, J., 2003. *Spatial Data Integration for Classification of Stream Sediment Geochemical Anomalies in Masbate Island, the Philippines*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation : Enschede, The Netherlands, p160.

Ahmad, W., 2005. *Laterite : Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes and Laterit Information*. PT. International Nickel Indonesia : Sorowako, South Sulawesi.

Ahmad, W., 2006. *Laterit : Mine Geology at PT. International Nickel Indonesia*. PT. International Nickel Indonesia :Sorowako, South Sulawesi

Alam, P., 2008., *Aplikasi Penginderaan Jauh dalam Pemetaan Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterite Di Kab. Seram Bagian Barat, Sulawesi Selatan*, Departemen Geografi, Universitas Indonesia. Skripsi tidak dipublikasikan.

ASTER Science Team, 2001, *ASTER User's Guide*, Earth Remote Sensing Data

ASTER DEM (*Digital Elevation Model*) *http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/*

Arifin,M.Widodo,& Anshariah (2015). Karakteristik Endapan Nikel Laterit Pada Blok X PT.BIntang Delapan Mineral Kecamatan Bahodopi Kabupaten Marowali Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine 1(1)*,37-45. https://doi.org/10.33536/jg.vlil.7

Carranza, E.J.M., and Hale, M. 2000. *Geologically Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Philippines*. Delft, The Netherland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Applied Earth Science Vol 111, issue 2 pB100 6p.

Carranza. E. J. M., and Hale. M., 2002. *Mineral Imaging with Landsat TM Data for Hydrothermal Alteration Mapping in Heavily Vegetated Terrane*. International Journal of Remote Sensing : London vol 23 p4827-4852, 26p.

Danoedoro,P. (2012). Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Dasuka Paras Yenny,dkk. (2016). Analisis sebaran jenis vegetasi hutan alami menggunakan sistem penginderaan jauh. *Jurnal Geodesi Undip* 5(2).

Elias, M. 2002. *Nickel Laterite Deposits – Geological Overview, Resources and Exploitation*. CSA Australia : Australia p24.

Elly, E. 2014. Integrasi SIG (Sistem Informasi Geografis) dan Citra ASTER untuk Analisis Sebaran Deposit Nikel Laterit (Studi Kasus pada Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku). Tesis. S2 Magister Geologi Pertambangan UGM.

Klopmaker,J.,O.,Hoek, G.,Bloemsma, L.D., Gehring, U., Strak,M., Wijga, A.H., & Jansesen , N.A. (2018). Green space definition affects associations of green space with overweight and physical activity. *Enviromental research*, 160, 531-540.

Kose,S. (2010). Hydrometallurgical Processing of Lateritical Nickel Ores.Master Thesis,Middle East Techincal University.

Kyle,J. (2010). Nickel Laterite Processing Technologies-Where To Next? In *ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference*, 24-27 May,Perth,Western Australia.

Laporan Survey Dasar Logam Dan Non Logam didaerah Kecamatan Huamual Belakang dan Kecamatan Kairatu 2008. oleh *Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi Maluku*

Lillesand, M.T. Kiefer, R.W., and Chipman, W.J. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition)*, John Wiley, New York.

Mulyana, A. K. 2006. *Model Aplikasi Remote Sensing dan Sistem Informasi Geografis, Wilayah Delta Berau Kalimantan Timur : Pengaruh Statistics Enchancement Terhadap Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan dari Band VNIR Citra ASTER*, Badan Koordinasi Survey Dan Pemataan Nasional, Cibinong.

Murai, S., 1993. *Remote sensing Note.,* Japan Assosiation on Remote Sensing (JARS) IIS., University of Tokyo, Tokyo, Japan

Prijono, A., 1977. *Potential of the lateritic-nickel deposit in Indonesia and their succesesfull development much depends on the rights proccesing method on the Indonesian minning industry, it's present and future.* The Indonesian Minning Assosiation. Jakarta 184-250 p.

Patria,A., Hall,R. (2018). Oblique Intraplate convergence of the Seram Trough, Indonesia. *Bulletin of the Marine Geology*, 33, 41-58.

Puspita R., Ninasafitri, & Ente, M.R., (2022). Karakteristik batuan Nikel Laterit Pada Daerah Siuna Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geocelebes 6(1)*, 93-107. http://journal.unhas.ac.id/index.php/geocelebes.

Rajesh, H.M., 2004. *Aplication of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping – an Overview.* Australia: University of Quensland.

Raines, G.L, and Canney, F.C, 1998. *Remote Sensing in Geology*. New York: John Wiley & Sons

Rojas, S.A, 2003. *Prediction Mapping af Massive Sulphide Potensial in Western Part of the Escamby Terrain, Cuba*. Enschede, Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

Rokhmatuloh, 2007. *Bahan Ajar Aplikasi Sistem Informasi Geografis 2: Aplikasi Penginderaan Jauh untuk Geologi/Mineral dan Pemetaan Vegetasi*. Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Sutanto. (1986). Penginderaan Jauh Untuk Penggunaan Lahan. Yogyakarta: Puspics.Fakultas Geografi Bakosurtand Universitas Gajah Mada.

Tjokro Sapoetro,S, Buhitrisna,T.(1982). Geology and Tectonics of The Northern Banda Arc. *Buletin of the Indonesian Geological Research and Develompment Center, 6*, 1-17.

Tjokro Sapoetro,S., Achdan. A., Suwitodiradjo,S.,Rusmana, E., Abidin, G.Z. (1993). Pemetaan Geologi Lembar Masohi Skala 1 : 250.000. Pusat Penyelidikan dan Pengembangan Geologi,Bandung.

Wibowo,L.A., Sholichin, M., Rispiningtati, & Asmaranto,R. (2013). Penggunaan Citra ASTER dalam Identifikasi Peruntukan Lahan Pada Sub DAS Lesti (Kabupaten Malang).*Jurnal Teknik Pengairan ,* 39 - 46. https://jurnalpengairan.ub.ac.id