

**SEBARAN POTENSI DEPOSIT NIKEL LATERIT DI
SOROWAKO, SULAWESI SELATAN
(STUDI KASUS AREAL EKSPLORASI TAMBANG
PT. INTERNATIONAL NICKEL INDONESIA, TBK)**

SKRIPSI

**ALAM PRIMANDA
0305060057**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
DEPOK
DESEMBER 2008**

**SEBARAN POTENSI DEPOSIT NIKEL LATERIT DI
SOROWAKO, SULAWESI SELATAN
(STUDI KASUS AREAL EKSPLORASI TAMBANG
PT. INTERNATIONAL NICKEL INDONESIA, TBK)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

**ALAM PRIMANDA
0305060057**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
DEPOK
DESEMBER 2008**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya lakukan dengan benar.

Nama : Alam Primanda

NPM : 0305060057

Tanda Tangan :



Tanggal : 30 Desember, 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

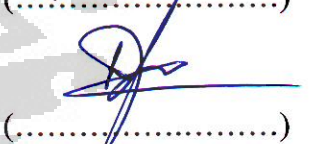
Nama : Alam Primanda
 NPM : 0305060057
 Program Studi : Geografi
 Judul Skripsi : Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit
 di Sorowako, Sulawesi Selatan
 (Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT. International
 Nickel Indonesia, Tbk)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelas Sarjana Sains pada Program Studi Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

PANITIA PENGUJI

Ketua Sidang : Dra. M.H. Dewi Susilowati, MS 

Sekretaris : Dr. Raldi Hendro Koestoer, M.Sc, APU 


Anggota : 1. Dr. Rokhmatuloh, S.Si, M.Eng 

2. Dra. Ratna Saraswati, MS 

3. Drs. Frans Sitanala M.Si 

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Selasa, 30 Desember 2008



Jangan menganggap tugas belajarmu sebagai sebuah kewajiban, namun pandanglah itu sebagai sebuah kesempatan yang patut dibuat iri. Sebuah kesempatan untuk menikmati betapa indahnya dunia ilmu pengetahuan, kepuasan hati yang diberikannya, serta manfaat yang diterima oleh masyarakat bila jerih payahmu berhasil

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Belumlah pantas berpuas diri atas apa yang telah penulis kerjakan, namun sembah sujud senantiasa penulis panjatkan kepadamu wahai penguasa alam semesta, Allah SWT beserta para Rosul akan segala rahmat dan hidayahnya. Sungguh begitu banyak pengalaman yang diperoleh selama mengerjakan penelitian ini, bermula dari ide kecil di kamar hingga berujung di kota kecil sisi Selatan danau Matano.

Begitu berbahagia ketika diberi kesempatan untuk menulis bagian ini, salah satunya karena penelitian yang penulis kerjakan sudah sampai pada satu tahap yang lebih baik dan disinilah penulis dapat mengungkapkan rasa terima kasih kepada orang-orang disekitar yang senantiasa memberikan begitu banyak bantuan, semangat, mimpi, dan dorongan. Jadi langkah kecil ini sesungguhnya keberhasilan besar untuk keluarga, sahabat, kekasih, teman, dan saudaraku. Kelak disuatu hari nanti besar harapan untuk membalas segala kebaikan yang telah diberikan.

1. Penulis awali ucapan terima kasih ini kepada PT. International Nickel Indonesia, Tbk., khususnya kepada para pembimbing di *Exploration and Mine Development Department*, Bapak Arif Hendarman, Robby Rafianto, Suharto, Sudarmin, dan Ibu Selvi Yuminiti. Tim *Project Development*, Bapak Marpaung Parulian, Ibu Shinta Idriyanti, dan Ermita Mustafa atas segala kesempatan, kepercayaan, dan bimbingan yang begitu besar hingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Dosen pembimbing Dr. Raldi Hendro Koestoer, M.Sc, APU dan Dr. Rokhmatulloh, S.Si, M.Eng yang telah mengarahkan dan membantu penulis dengan penuh kesabaran.
3. Kepada Drs. Cholifah Bahaudin, Mba selaku pembimbing akademik, Hafid Setiadi, S.Si, MT, Drs. Sobirin, M.Si, Dra. Ratna Saraswati, MS, Drs. Frans Sitanala, M.Si, dan Dra. M.H. Dewi Susilowati, MS yang senantiasa memberikan motivasi serta dukungan, penulis juga menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya.
4. Ketua Departemen Geografi FMIPA Universitas Indonesia, Dr. rer. nat. Eko Kusratmoko, MS beserta para dosen dan staf.
5. Dr. Ade Komara Mulyana dan Dr. Adi Junjuna Mustafa di BAKOSURTANAL

6. Kepada Suharso Hadisaputro, Sinto Rustini, Bangsawan Arief, Bunga Aulia Maharani atas segala kasih sayang, dukungan moral dan materil yang tidak terputus hingga saat ini.
7. Mufidah Muslim Nasution yang senantiasa memberikan kehangatan dan perhatian yang berbeda kepada penulis baik dikala suka maupun duka.
8. Untuk sahabat-sahabat ajaib penulis Rias Idawanti, Ardityo Hadi, Amanda Rhut Arviyanti, R.A Arini Diah, Ade Panca, Intan Kurnia Sari, Amelia Kristina, Mayrisna Sari, Hendri Majedi, Indra Stevanus yang selalu memberikan informasi, ide-ide kreatif, semangat, kepada penulis disaat senang ataupun selalu senang.
9. Partner belajar abadi (Yuni Asril Sani), teman-teman karib penulis (Bibit, Riwandi, Sukma, Abdullah Rizky, Ringga, Rahma Hijrisanitri), seluruh Panitia Kuliah Kerja Lapang 3 Pacitan 2008, teman-teman Geografi UI 2001 (Kusuma Bambang Wijanarko), 2002, 2003, 2004 (Weling, Iqbal, Agung, Diana, dan Ranum), 2005, 2006 (Noni Oktriani), 2007 (Devina, Sinta, dan Tiara).
10. Saudara-saudaraku di Teknik Pertambangan ITB (Jerry Anwar Halim dan Aditya Renus Simanjuntak), Teknik Lingkungan ITB (Cristhina Ni Nyoman dan Indresvari Debora Napitupulu), Mikrobiologi ITB (Muhamad Rizal Anshori dan Tina Kusumaningrum), Teknik Mesin ITB (Alvian), Sistem Informasi ITS (Kiki Ahmad), Ilmu Tanah IPB (Yesi dan Desi), Teknik Kimia UII (Wahyu dan Heri), dan Fatwa di Wasuponda.
11. Sahabat penelitian penulis, Casmito. Ini bukan akhir dari perjalanan, tapi awal dari petualangan baru kita.
12. Untuk keluarga Mustajar Arifin di Makassar dan Sorimuda Pulungan sungguh besar jasa kalian bagi penulis untuk mewujudkan impiannya berkelana di dunia pertambangan, semoga Allah senantiasa memberikan rahmat dan karunianya.

Tak ada gading yang tak retak, itulah jika penulis menggambarkan penelitian ini. Saran dan kritik yang membangun senantiasa diharapkan demi kemajuan dan perkembangan penulis dan pembaca. Mohon maaf kepada pihak-pihak yang belum disebutkan karena kekhilafan penulis.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Sorowako dan Jakarta
28 Juli dan 23 Desember 2008

Alam Primanda

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Alam Primanda
NPM : 0305060057
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako, Sulawesi Selatan (Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT.INCO, Tbk)** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

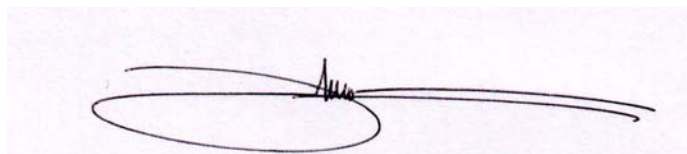
Dengan hak bebas royalti eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Desember, 2008

Yang menyatakan



(Alam Primanda)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Alam Primanda
Program Studi : Geografi
Judul : Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako,
Sulawesi Selatan
(Studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT. International
Nickel Indonesia, Tbk)

Eksplorasi mineral merupakan salah satu kegiatan penting untuk mendapatkan informasi dimana lokasi mineral berada, namun selama ini proses tersebut membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar terutama jika dilakukan pada daerah yang luas. Untuk itu dalam penelitian ini penulis akan menyajikan aplikasi dari Sistem Informasi Geografis dan penginderaan jauh dalam pemetaan sebaran potensi deposit nikel laterit. Dengan menggunakan metode *weight of evidence* dan *defoliant technique*, akan ditunjukkan bagaimana pemetaan potensi deposit mineral pada wilayah tropis yang selama ini sulit untuk dilakukan. Sorowako merupakan contoh menarik untuk dikaji, wilayahnya yang merupakan bagian dari singkapan ultramafik terbesar di dunia disertai lingkungan mendukung menjadikan Sorowako kaya akan deposit nikel laterit.

Kata kunci : Eksplorasi mineral, *Weight of Evidence*, *Defoliant technique*

ABSTRACT

Name : Alam Primanda
Program Studi : Geography
Judul : Potential Distribution of Nickel Laterite Deposit in Sorowako,
South Sulawesi
(Study Case of PT. International Nickel Indonesia, Tbk
Mine Exploration)

Mineral exploration is one of the primary goals in finding information on where minerals are located, although it requires a lengthy and costly process when done in a large wide area. In this research the writer presents an applied approach of mineral finding through Remote Sensing and Geographic Information System in mapping the potential deposit distribution of nickel laterite. By applying the weight of evidence and defoliant technique, it evidently shows the difficulty on how mapping mineral deposits in the tropics have always been. Sorowako is an interesting place to be studied, as its region is one of the largest ultramafic faults in the world which includes the environment that supports it as a highly potential Nickel Laterite deposit.

Key Words : Mineral Exploration, *Weight of Evidence*, *Defoliant technique*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR PETA.....	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Sasaran	5
1.5 Definisi Operasional dan Batasan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Nikel Laterit	8
2.1.1 Proses Pembentukan	9
2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit.....	10
2.2 Penginderaan Jauh.....	12
2.2.1 <i>Advanced Spaceborne Thermal Emission Radiometer</i>	13
2.2.2 Kerapatan Vegetasi	15
2.2.3 <i>Defoliant Technique</i>	16
2.3 Model <i>Weight of Evidence</i>	18
2.4. PT. International Nickel Indonesia, Tbk	21
2.4.1 Sejarah Perusahaan	21

2.4.2 Kontrak Karya.....	22
2.5 Kegiatan Pertambangan.....	23
2.5.1 Eksplorasi.....	23
2.5.2 Eksploitasi dan Pengolahan.....	25
3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Sumber Data.....	27
3.2 Pengolahan Data.....	28
3.2.1 Data Penginderaan Jauh.....	28
3.2.1.1 Citra ASTER.....	28
3.2.1.1 Foto Udara.....	33
3.2.2 Data Deposit Mineral.....	33
3.2.3 Batuan Induk.....	33
3.2.4 Wilayah Lereng.....	34
3.3 Analisa Data.....	34
3.3.1 Tingkat Akurasi Pencitraan ASTER.....	34
3.3.2 Asosiasi Antara Variabel Fisik dengan Deposit Nikel Laterit.....	35
3.3.3 Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit.....	36
3.4 Survey Lapang.....	37
4. KONDISI UMUM WILAYAH PENELITIAN	38
4.1 Wilayah Penelitian.....	38
4.2 Kondisi Geologi.....	41
4.2.1 Geologi Regional Sulawesi.....	41
4.2.2 Geologi Sorowako.....	42
4.2.3 Deposit Nikel Laterit Sorowako.....	43
5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	45
5.1 Kerapatan Vegetasi.....	45
5.2 Sebaran Mineral Permukaan Nikel Laterit.....	47
5.3 Asosiasi Antara Batuan Induk dengan Deposit Nikel Laterit.....	54
5.4 Asosiasi Antara Struktur Geologi dengan Deposit Nikel Laterit.....	56

5.5 Asosiasi Antara Lereng dengan deposit Nikel Laterit	59
5.6 Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit	62
6. PENUTUP	68
6.1 Kesimpulan.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pelapukan	10
Gambar 2.2. Hubungan Antara Topografi dengan Proses Laterisasi.....	12
Gambar 2.3. Karakteristik gelombang pada sensor ASTER.....	14
Gambar 2.4. Jenis mineral yang dapat teridentifikasi oleh sensor ASTER.....	16
Gambar 2.5. Ilustrasi diagram venn kalkulasi model <i>weight of evidence</i>	21
Gambar 4.1. Topografi perbukitan di sekitar wilayah Sorowako	40
Gambar 4.2. Garis Besar Geologi Pulau Sulawesi	42
Gambar 4.3. Profil Endapan Nikel Laterit di Sorowako.....	44
Gambar 5.1. Kondisi Kerapatan Vegetasi Sangat Jarang dan Rapat	46
Gambar 5.2. Daerah yang Mengandung dan Tidak Mengandung Mineral Hematite, Goethite, dan Chlorite	53
Gambar 5.3. Wilayah Berpotensi Nikel Laterit Tinggi dan Sedang	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Metodologi Penelitian.....	27
Tabel 3.2. Rasio Saluran Optimum untuk Mempertajam Respon Spektral Mineral Permukaan Nikel Laterit.....	32
Tabel 5.1. Analisis Directed Principal Component dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral Hematite dan goethite melalui Software Defoliant Technique.....	48
Tabel 5.2. Analisis Directed Principal Component dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral Chlorite melalui Software Defoliant Technique.	48
Tabel 5.3. Analisis Statistik Kappa untuk Mengetahui Tingkat Akurasi dari Klasifikasi Mineral Hematite dan Goethite melalui Software Defoliant Technique.	49
Tabel 5.4. Analisis Statistik Kappa untuk Mengetahui Tingkat Akurasi dari Klasifikasi Mineral Chlorite melalui Software Defoliant Technique.	49
Tabel 5.5. Hubungan Antara Citra ASTER dengan Titik Bor	52
Tabel 5.6. Asosiasi Antara Batuan Induk dengan Deposit Nikel Laterit.....	54
Tabel 5.7. Asosiasi Antara Struktur Geologi dengan Deposit Nikel Laterit	57
Tabel 5.8. Asosiasi Antara Lereng dengan Deposit Nikel Laterit	59
Tabel 5.9. Matriks Potensi Deposit Nikel Laterit	62

DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1. Kerapatan Vegetasi Wilayah Penelitian	45
Grafik 5.2. Luas Mineral Permukaan Hematite, Goethite, dan Chlorite di Wilayah Penelitian	53
Grafik 5.3. Hubungan antara Citra ASTER dengan Deposit Nikel Laterit	53
Grafik 5.4. Asosiasi batuan Induk dengan Deposit Nikel Laterit	55
Grafik 5.5. Asosiasi Struktur Geologi dengan Deposit Nikel Laterit	58
Grafik 5.6. Asosiasi Lereng dengan Deposit Nikel Laterit.....	60
Grafik 5.7. Luas Potensi Deposit Nikel Laterit.....	64
Grafik 5.9. Hubungan Antara Kerapatan Vegetasi dengan Deposit Nikel Laterit	66

DAFTAR PETA

Peta 2.1. Kontrak Karya PT. International Nickel Indonesia.....	23
Peta 4.1. Wilayah Penelitian	39
Peta 4.2. Wilayah Ketinggian	40
Peta 4.3. Batuan Induk dan Struktur Geologi Sorowako	43
Peta 5.1. Kerapatan Vegetasi	47
Peta 2.1. Kontrak Karya PT. International Nickel Indonesia.....	23
Peta 5.2. Sebaran Mineral Hematite dan Goethite	51
Peta 5.3. Sebaran Mineral Chlorite	52
Peta 5.4. Asosiasi Batuan Induk Terhadap Deposit Nikel Laterit	55
Peta 5.5. Asosiasi Struktur Geologi Terhadap Deposit Nikel Laterit	57
Peta 5.6. Asosiasi Lereng Terhadap Deposit Nikel Laterit.....	60
Peta 5.7. Wilayah Lereng	61
Peta 5.8. Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit	63

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel merupakan salah satu barang tambang penting di dunia. Manfaatnya yang begitu besar bagi kehidupan sehari-hari, seperti pembuatan logam anti karat, campuran pada pembuatan *stainless steel*, baterai *nickel-metal hybride*, dan berbagai jenis barang lainnya. Keserbagunaan ini pula yang menjadikan nikel sangat berharga dan memiliki nilai jual tinggi di pasaran dunia. Setidaknya sejak 1950 permintaan akan nikel rata-rata mengalami kenaikan 4% tiap tahun, dan diperkirakan sepuluh tahun mendatang terus mengalami peningkatan (Dalvi, Bacon, dan Osborn, 2004).

Bijih nikel diperoleh dari endapan nikel laterit yang terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik yang mengandung nikel 0,2 – 0,4 % (Golightly, 1981). Jenis-jenis batuan tersebut antara lain olivine, piroksin, dan amphibole (Rajesh, 2004). Nikel laterit umumnya ditemukan pada daerah tropis, dikarenakan iklim yang mendukung terjadinya pelapukan, selain topografi, drainase, tenaga tektonik, batuan induk, dan struktur geologi (Elias, 2001).

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

Aplikasi SIG dan penginderaan jauh untuk eksplorasi mineral memiliki banyak keuntungan, antara lain cakupan wilayah yang luas, hemat biaya, data mudah diperbaharui (*up date*) dan memungkinkan penggunaan berbagai jenis data

lainnya; seperti geofisika, geokimia, *Digital Elevation Model* (DEM), dan sebagainya. Sehingga proses analisa semakin efisien, cepat, disertai akurasi yang meningkat.

Dalam perkembangannya aplikasi SIG dan penginderaan jauh dalam pemetaan wilayah potensi dilakukan dengan mengintegrasikan dengan berbagai jenis data spasial, dan kemudian menentukan model yang tepat untuk mengetahui wilayah yang berpotensi mineral. Pada penelitian berikut untuk mendapatkan wilayah potensi mineral, digunakan model *weight of evidence*. Model ini merupakan salah satu metode kuantitatif untuk mengetahui potensi deposit mineral dan asosiasi antara deposit mineral dengan karakteristik fisik. Mengetahui besarnya asosiasi antara variabel fisik dengan deposit mineral secara kuantitatif sangat penting dalam eksplorasi mineral, hal ini dikarenakan kondisi fisik merupakan indikator utama untuk mengetahui keberadaan deposit mineral. Walaupun pada dasarnya pengetahuan kualitatif mengenai hubungan antara deposit mineral dengan perbedaan karakteristik fisik merupakan prinsip dari eksplorasi mineral. Akan tetapi untuk kegiatan pencarian deposit mineral baru, pengetahuan kualitatif tidaklah cukup. Oleh sebab itu kajian kuantitatif hubungan antara deposit mineral dengan karakteristik fisik sangatlah diperlukan (Carranza dan Hale, 2000; Rojas, 2003; Carranza, 2004). Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *Weight of Evidence* mampu mengintegrasikan berbagai data spasial dan mengetahui seberapa besar hubungan antara deposit mineral dengan kondisi fisik, seperti yang diterapkan oleh Wang, Cai, dan Cheng di pegunungan batholit Nova Scotia, Kanada (2002) dan pemetaan probabilitas potensi emas di kawasan Baguio, Filipina oleh Carranza (2000 dan 2002).

Variabel yang digunakan untuk mendapatkan peta potensi mineral meliputi faktor-faktor fisik yang mempengaruhi terbentuknya deposit nikel laterit, yaitu batuan induk, struktur geologi, dan kemiringan tanah (lereng) (Ahmad, 2006). Kemudian untuk meningkatkan akurasi pemetaan digunakan juga variabel sebaran mineral permukaan nikel laterit yang bersumber dari data penginderaan jauh.

Penggunaan penginderaan jauh dalam eksplorasi mineral telah lama digunakan dan sudah berkembang luas, akan tetapi pada wilayah tropis metode ini sulit dilakukan karena pengaruh kondisi vegetasi, untuk itu dalam penelitian ini

akan ditunjukkan juga bagaimana eksplorasi mineral dengan penginderaan jauh dapat dilakukan pada wilayah yang bervegetasi. Adapun identifikasi sebaran mineral permukaan menggunakan pendekatan alterasi, yaitu dengan memetakan mineral permukaan hasil lapukan batuan ultramafik pada lapisan limonite, yaitu mineral goethite, hematite dan chlorite. Metode yang digunakan untuk mendeteksi mineral tersebut adalah aplikasi *Defoliant Technique*. Pemilihan metode didasarkan pada karakteristik wilayah tropis yang bervegetasi rapat, sehingga menjadi hambatan tersendiri dalam mendeteksi deposit mineral. Oleh sebab itu metode yang mampu meminimalisir pengaruh vegetasi, seperti aplikasi *Defoliant Technique* sangat cocok untuk digunakan (Rojas, 2003; Carranza, 2002; Carranza dan Hale, 2002). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi *Defoliant Technique* mampu mengidentifikasi keberadaan alterasi hidrothermal di daerah bervegetasi, seperti yang dilakukan oleh Carranza dan Hale (2002) di wilayah Baugio, Filipina.

Sensor yang digunakan untuk mengidentifikasi deposit mineral adalah *Advanced Spaceborne 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) dan resolusi spasial yang lebih baik dibandingkan citra sejenis, seperti Landsat, oleh karena itu ASTER cocok dalam memetakan berbagai jenis batuan dan mineral. Kemudian harga citra ASTER yang jauh lebih murah dibandingkan menggunakan satelit *hyperspectral* ataupun pemetaan udara menjadikan ASTER menarik untuk digunakan lebih jauh. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan kemampuan ASTER yang baik dalam pemetaan geologi, seperti yang dilakukan oleh Rowan Simpson, dan Mars (2005) dalam pemetaan *lithologic* kompleks ultramafik di Australia serta Debgani dan Gingerich (2005) untuk ekstrasi mineral di Iran.

Sorowako merupakan salah satu wilayah Sulawesi yang kaya akan kandungan deposit nikel laterit dalam jumlah besar. Hal ini didukung oleh bentukan geologi yang terdiri atas *volcano plutonic arc*, *methamorphic belt*, *ophiolite belt*, banggai-sula dan tukang besi disisi Barat dan Utara, Tengah, Timur, serta beberapa pecahan fragmen di Timur dan Tenggara. Selain itu kondisi

ini juga tidak terlepas oleh iklim, reaksi kimia, struktur, dan topografi Sulawesi yang cocok terhadap pembentukan nikel laterit. Deposit nikel laterit di Sorowako terbentuk karena proses pelapukan dari batuan ultramafik yang terbentang dalam suatu singkapan tunggal terbesar di dunia seluas lebih dari 120 km x 60 km, dimana sejumlah endapan lainnya tersebar di provinsi Sulawesi Tengah dan Tenggara (Ahmad, 2005).

Salah satu perusahaan yang melakukan eksplorasi dan penambangan nikel laterit di beberapa wilayah Sulawesi bagian Tengah, Tenggara dan Selatan adalah PT. International Nickel Indonesia, Tbk (PT INCO). Perusahaan multinasional yang diakuisisi sahamnya sejak tahun 2007 oleh *Companhia Vale do Rio Doce* (CVRD) yang kini bernama Vale, dan berubah menjadi Vale Inco, Ltd; telah beroperasi sejak tahun 1968, terutama di wilayah Sorowako. Nikel laterit PT INCO diperoleh dengan mengambil mineral dari endapan nikel laterit yang mengandung unsur nikel dalam jumlah besar, antara lain *limonite* dan *saprolite*, kemudian diolah secara *pyrometallurgical* atau *hydrometallurgical* dan menghasilkan nikel dalam bentuk *matte*.

1.2 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana sebaran potensi deposit nikel laterit di areal eksplorasi tambang PT INCO berdasarkan interpretasi citra satelit dan variabel fisik batuan induk, struktur geologi, dan lereng?
- 2) Bagaimana asosiasi antara variabel fisik batuan induk, struktur geologi, dan lereng terhadap deposit nikel laterit di areal eksplorasi tambang PT INCO?

1.3 Tujuan

Hasil penelitian diharapkan dapat menyediakan informasi sebaran potensi nikel laterit secara spasial dengan metode yang lebih cepat dan efisien, mempermudah dalam pemetaan awal geologi dan mineral (*reconnaissance mapping*) pada daerah yang luas, serta sebagai *decision maker support system* bagi kepentingan PT INCO dalam melakukan eksplorasi tambang nikel laterit.

1.4 Sasaran

Adapun sasaran dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola sebaran potensi deposit nikel laterit berdasarkan interpretasi citra satelit dan variabel fisik (batuan induk, struktur geologi, dan lereng), serta asosiasi antara variabel fisik terhadap deposit nikel laterit di areal eksplorasi tambang PT INCO.

1.5 Definisi Operasional dan Batasan

- 1) Nikel laterit merupakan produk hasil pelapukan secara kimiawi dari batuan ultramafik dengan kandungan nikel dalam jumlah besar (Golightly, 1981). Adapun batuan ultramafik merupakan batuan yang kaya akan mineral ferromagnesian, dimana mineral penyusunnya sebagian besar adalah mineral olivine, pyroxine, hornblenda, dan mika (Ahmad, 2005).
- 2) Asosiasi merupakan hubungan saling ketergantungan atau kedekatan suatu objek dengan objek lainnya, seperti deposit nikel laterit berasosiasi dengan batuan ultramafik dan struktur geologi.
Dalam penelitian berikut nilai asosiasi didasarkan pada perhitungan model *weight of evidence* yang ditunjukkan melalui *contrast*.
- 3) Potensi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah wilayah yang berdasarkan hasil survey tinjau diperkirakan mengandung deposit mineral. Faktor-faktor terkait dengan tingkat ekonomis dari deposit tidak dimasukkan ke dalam definisi berikut, hal ini dikarenakan data yang digunakan belum cukup untuk menentukan ukuran dan kualitas (*grade*) dari deposit mineral.

Batasan dari potensi mineral dalam penelitian didasarkan pada dua faktor, yaitu keuntungan (*favourability*) dan kebenaran (*validity*). Keuntungan ditentukan oleh integrasi berbagai variabel yang dianggap penting bagi terjadinya deposit mineral. Sedangkan kebenaran ditentukan oleh sejauh mana kebenaran hasil dari deliniasi pemodelan terhadap data deposit mineral yang telah diketahui. Faktor tersebut sangat penting untuk melihat sejauh mana ketepatan dari metode yang diterapkan.

- 4) Survey tinjau merupakan tahap eksplorasi yang berfungsi untuk mengidentifikasi wilayah berpotensi bagi ketersediaan mineral pada skala regional terutama berdasarkan hasil studi geologi regional, mencakup pemetaan geologi regional, pemotretan udara, dan metode tidak langsung lainnya, serta inspeksi lapangan pendahuluan yang penarikannya kesimpulannya berdasarkan ekstrapolasi (Standarisasi Nasional Indonesia, 1998).
- 5) Areal eksplorasi adalah wilayah usaha efektif untuk mencari endapan mineral yang bernilai ekonomis dengan cara mengetahui keadaan permukaan maupun bawah permukaan.
- 6) Interpretasi Citra Satelit merupakan kegiatan mengkaji citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek yang tergambar dalam citra, dan menilai arti pentingnya objek tersebut (Purwadhi, 2001).
Dalam Penelitian, interpretasi dilakukan melalui dua cara, yaitu manual dan digital. Manual dengan mendasarkan pada pengenalan ciri (karakteristik) objek secara keruangan (spasial). Sedangkan digital dengan mengevaluasi secara kuantitatif informasi spektral yang disajikan pada citra melalui pengenalan pola spektral.
- 7) Aplikasi *Defoliant Technique* pada dasarnya merupakan pengembangan dari teknik penajaman citra secara *Defoliant Technique* yang dilakukan dengan mengkalkulasi rasio saluran dan *principal component analysis* atau analisis dua rasio saluran citra melalui *Directed Principal Component* (DPC) (Fraser dan Green, 1987 dalam Carranza, 2002).
Metode ini meliputi (1) pengembangan analisis *Directed Principal Component* (DPC) dari rasio citra untuk mempertajam respon spektral dari mineral, (2) penerapan dari SIG untuk mengekstrak area sampel yang mengandung deposit mineral, dan (3) klasifikasi terbimbing untuk mendapatkan sebaran mineral permukaan.
- 8) *Pyrometallurgical* dan *hydrometallurgical* merupakan proses pengolahan nikel laterit dengan cara dipanaskan (*dried*). *Pyrometallurgical* dilakukan apabila karakteristik deposit bijih yang dominan terdapat pada saprolite.

Sedangkan *hydrometallurgical* jika karakteristik deposit bijih yang dominan terdapat pada lapisan limonite (Dalvi, Bacon, dan Osborn, 2004).



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memetakan sebaran potensi deposit nikel laterit, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik dari mineral terkait dan konsep metode yang akan diterapkan. Oleh karena itu pada bab berikut akan dijelaskan studi literatur mengenai nikel laterit, yang mencakup gambaran umum proses, pembentukan, dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Dalam kaitannya dengan metodologi, akan dijabarkan mengenai prinsip kerja penginderaan jauh, sensor ASTER, konsep *defoliant technique*, bagaimana kerapatan vegetasi dapat menjadi penciri keberadaan deposit mineral, dasar-dasar integrasi data spasial, dan profil singkat PT. International Nickel Indonesia, Tbk. beserta proses kegiatan penambangan dari tahap eksplorasi hingga pengolahan di bagian akhir.

2.1 Nikel Laterit

Laterit berasal dari bahasa latin yaitu *later*, yang artinya bata (membentuk bongkah – bongkah yang tersusun seperti bata yang berwarna merah bata). Hal ini dikarenakan tanah laterit tersusun oleh fragmen-fragmen batuan yang mengambang diantara matriks, seperti bata diantara semen, namun ada juga yang mengartikan nikel laterit sebagai endapan lapukan yang mengandung nikel dan secara ekonomis dapat di tambang.

Batuan induk dari endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa dengan kandungan mineral ferromagnesian (olivine, piroksin, dan amphibole) dalam jumlah besar yang berasosiasi dengan struktur geologi yang terbentuk pada masa Precambrian hingga Tersier (Ahmad, 2006). Batuan ultrabasa wilayah Sorowako sendiri tersusun dari batuan peridotite yang dapat dibagi menjadi empat satuan batuan, yang merupakan batuan induk pembawa nikel dengan kadar sekitar 2%. Batuan-batuan sejenis peridotite antara lain :

- 1) Dunite, yang mengandung olivine lebih dari 90% dan piroksen sekitar 5%.

- 2) *High Serpentinized*, yang mengandung olivine 85% dan piroksen 15%.
- 3) *Low Serpentinized*, yang mengandung olivine 65% dan piroksen 35%.
- 4) Serpentinite, merupakan hasil perubahan dari batuan peridotite oleh proses serpentinisasi akibat hidrothermal.

Bijih nikel yang terdapat di daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis laterit nikel dan bijih nikel silikat (garnerit). Bijih nikel tersebut terbentuk akibat pelapukan dan pelindihan (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinite dari rombakan batuan ultrabasa.

2.1.1 Proses Pembentukan

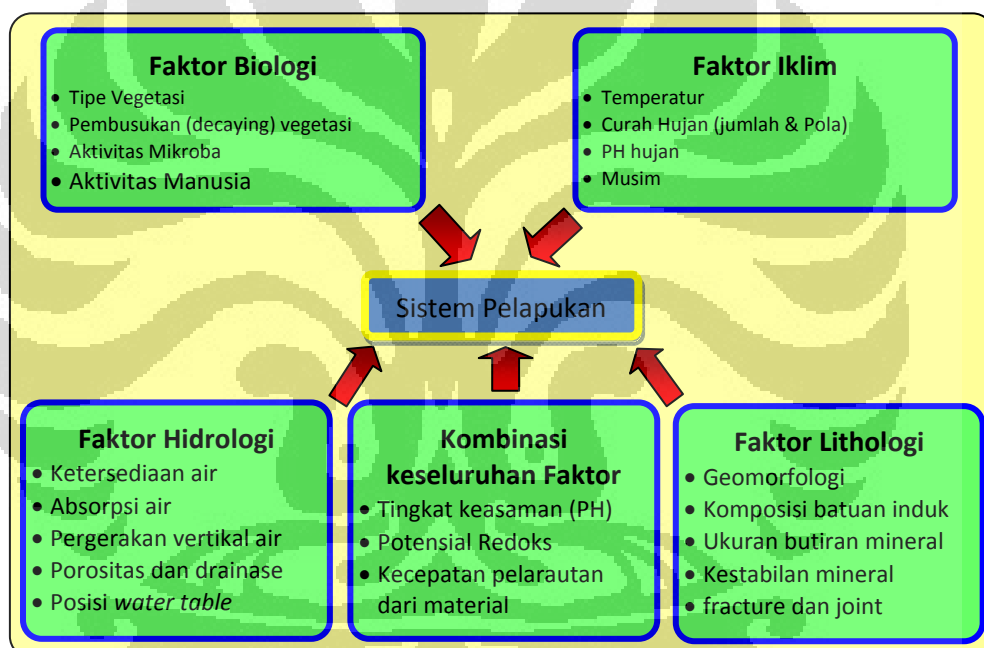
Pembentukan nikel laterit secara kimia terkait dengan proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotite akibat pengaruh larutan *hydrothermal* yang akan merubah batuan peridotite menjadi batuan serpentinite atau batuan serpentinite peridotite. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu (berkelanjutan), menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah kaya akan CO₂ yang berasal dari udara dan pembusukan tumbuh-tumbuhan akan menguraikan mineral-mineral yang tidak stabil (olivine dan piroksin) pada batuan ultrabasa, kemudian menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut dan Si yang cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika sangat halus. Di dalam larutan, Fe teroksidasi dan mengendap sebagai ferri-hidroksida, akhirnya membentuk mineral-mineral seperti goethite, limonite, dan hematite dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur cobalt dalam jumlah kecil.

Larutan yang mengandung Mg, Ni, dan Si terus menerus mengalir ke bawah tanah selama larutannya bersifat asam, hingga pada suatu kondisi dimana suasana cukup netral akibat adanya kontak dengan tanah dan batuan, maka ada kecenderungan untuk membentuk endapan hidrosilikat. Nikel yang terkandung dalam rantai silikat atau hidrosilikat dengan komposisi bervariasi tersebut akan mengendap pada celah-celah atau rekahan-rekahan yang dikenal dengan urat-urat

garnierite dan krisopras. Sedangkan larutan residunya akan membentuk suatu senyawa yang disebut saprolite yang berwarna coklat kuning kemerahan. Unsur-unsur lainnya seperti Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terbawa ke bawah sampai batas pelapukan dan akan diendapkan sebagai dolomite, magnesite yang biasa mengisi celah-celah atau rekahan-rekahan pada batuan induk. Di lapangan urat-urat ini dikenal sebagai batas petunjuk antara zona pelapukan dengan zona batuan segar yang disebut dengan akar pelapukan (*root of weathering*).

2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Nikel Laterit



Gambar 2.1. Skema faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pelapukan (Ahmad, 2006)

Menurut Ahmad (2006) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan deposit nikel laterit, antara lain :

1) Batuan Induk

Adanya batuan induk merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan induknya adalah batuan ultrabasa. Dalam hal ini pada batuan ultra basa tersebut:

- Terdapat elemen Ni yang paling banyak diantara batuan lainnya
- Mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil seperti olivine dan piroksine
- Memiliki komponen-komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel

2) Iklim

Pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, yaitu akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3) Reagen-reagen kimia dan vegetasi.

Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO_2 memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat merubah PH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi wilayah. dalam hal ini vegetasi akan mengakibatkan penetrasi air dapat lebih dalam dan mudah dengan mengikuti jalur akar pepohonan serta akumulasi air hujan bertambah banyak.

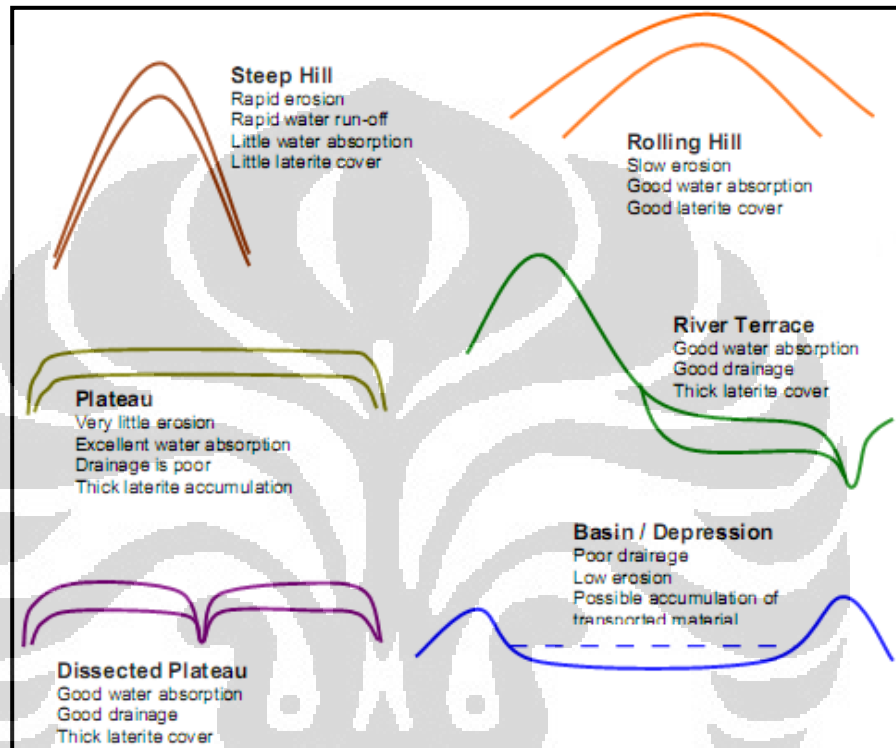
4) Struktur

Struktur yang sangat dominan adalah kekar (*joint*) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan menjadi lebih intensif.

5) Topografi

Keadaan topografi setempat sangat mempengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan (lihat

gambar 2.2). Akumulasi endapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap, sehingga dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.



Gambar 2.2. Hubungan antara topografi dengan proses laterisasi (Ahmad, 2006)

6) Waktu

Waktu yang cukup lama mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena memiliki akumulasi unsur nikel dalam jumlah yang besar.

2.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji (Lillesand, Kiefer, dan Chipman, 2004). Pengumpulan data

penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan alat pengindera atau alat pengumpul data yang disebut sensor (Purwadhi, 2001).

Sistem penginderaan jauh berdasarkan sumber tenaganya dibagi menjadi pasif dan aktif. Sistem penginderaan jauh pasif menerima tenaga yang dipantulkan dan atau dipancarkan kenampakan bumi. Sedangkan aktif, sumber tenaganya dapat diatur. Kedua sistem penginderaan jauh tersebut, baik pasif maupun aktif memerlukan sumber tenaga, dapat berupa sumber tenaga alamiah maupun sumber tenaga buatan. Spektrum elektromagnetik merupakan berkas tenaga elektromagnetik yang meliputi spektra kosmis, Gamma, X, ultraviolet, tampak, inframerah, gelombang mikro, dan gelombang radio. Jumlah total seluruh spektrum disebut spektrum elektromagnetik.

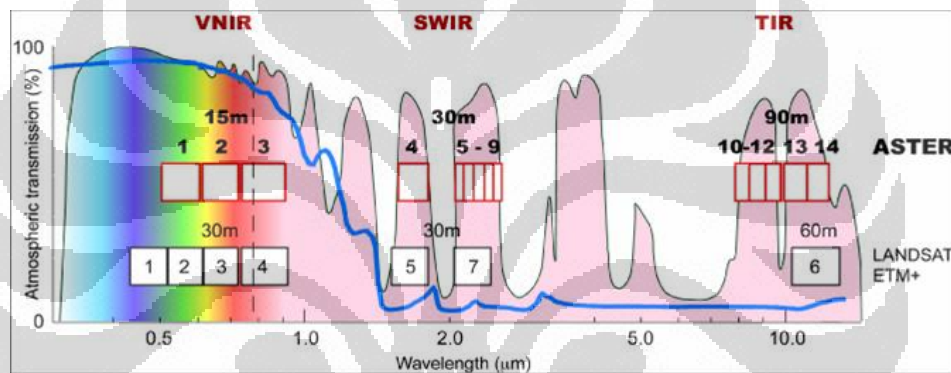
Matahari merupakan sumber radiasi elektromagnetik yang paling penting untuk penginderaan jauh. Semua benda pada suhu di atas 0° K atau -273° C memancarkan radiasi elektromagnetik secara terus menerus. Setiap objek di permukaan bumi mempunyai karakteristik tersendiri di dalam interaksinya terhadap tenaga, misalnya air pada panjang gelombang tampak (*visible wavelength*) menyerap sinar banyak dan hanya memantulkan sedikit sinar. Sebaliknya batuan kapur atau salju pada panjang gelombang yang sama menyerap sedikit sinar dan memantulkan sinar lebih banyak.

Interpretasi Citra penginderaan jauh dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu secara manual dan digital. Interpretasi citra secara manual adalah interpretasi data penginderaan jauh yang mendasarkan pada pengenalan ciri (karakteristik) objek secara keruangan (spasial). Karakteristik objek yang tergambar pada citra dapat dikenali berdasarkan unsur-unsur interpretasi seperti rona atau warna, bentuk, pola ukuran, letak, dan asosiasi kenampakan objek.

Sedangkan interpretasi citra digital merupakan evaluasi kuantitatif tentang informasi spektral yang disajikan pada citra (Purwadhi, 2001). Analisis digital dapat dilakukan melalui pengenalan pola spektral dengan bantuan komputer (Lilesand, Kiefer, dan Chipman, 2004).

2.2.1 Advanced Spaceborne Thermal Emission Radiometer (ASTER)

ASTER merupakan salah satu dari lima sistem sensor yang terdapat pada satelit Terra. Satelit ini dikembangkan oleh konsorsium yang terdiri dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan Kementerian Ekonomi Perdagangan dan Industri Jepang. Satelit Terra diluncurkan pada 18 Desember 1999 di Pangkalan Udara Vandenberg dengan garis edar (orbit) yang sama seperti Landsat TM. Proyek ASTER didukung sepenuhnya oleh para ilmuwan JAPAN-USA dari beragam keilmuan diantaranya: geologi, meteorologi, pertanian, kehutanan, studi lingkungan dan vulkanologi.



Gambar 2.3. Karakteristik gelombang pada sensor ASTER
(sumber: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/images/spectrum.jpg>)

Sensor ASTER merupakan peningkatan dari sensor yang dipasang pada satelit generasi sebelumnya, *Japan Earth Resources Satellite 1* (JERS-1). Sensor ini, seperti yang terlihat pada gambar 2.2 terdiri dari *Visible and Near Infrared Radiometer* (VNIR), *Short Wavelength Infrared Radiometer* (SWIR), dan *Thermal Infrared Radiometer* (TIR) dengan lebar cakupan sebesar 60 km x 75 km.

VNIR merupakan sensor yang memiliki *high performance dan high resolution optical instrument* yang digunakan untuk mendeteksi pantulan cahaya dari permukaan bumi dengan jarak dari level *visible* hingga *infrared* (520 - 860 mikrometer) yang terdiri dari 3 saluran. Dimana saluran nomor 3B dari VNIR ini merupakan *nadir* dan *backward looking data*, sehingga kombinasi data ini dapat digunakan untuk mendapatkan citra *stereoscopic*.

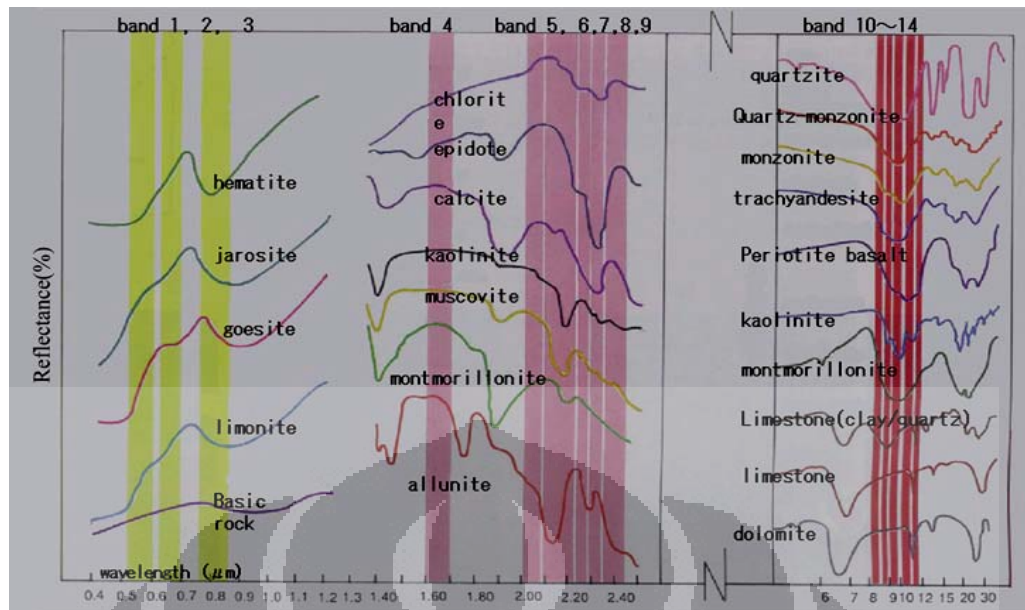
Digital Elevation model (DEM) diperoleh dengan mengaplikasikan data ini, sehingga tidak hanya digunakan sebagai peta topografi, namun dapat juga diterapkan sebagai citra stereo.

SWIR merupakan sensor yang memiliki *high resolution optical instrument* dengan saluran sebanyak 6, sensor ini digunakan untuk mendeteksi pantulan cahaya dari permukaan bumi dengan *short wavelength infrared range* antara (1.6 - 2.43 mikrometer), dan penggunaan radiometer ini memungkinkan ASTER untuk melakukan identifikasi jenis batuan dan mineral, serta untuk monitoring bencana alam seperti monitoring gunung berapi yang masih aktif.

TIR adalah inframerah multi saluran pertama di dunia yang memiliki instrumen dengan akurasi tinggi untuk observasi *thermal infrared radiation* (800 - 1200 mikrometer) dari permukaan bumi dengan jumlah saluran sebanyak 5 dengan resolusi spasial 90 meter. Saluran ini dapat digunakan untuk pemantauan jenis tanah, geothermal dan batuan di permukaan bumi.

Ketersediaan dan aksesibilitas 14 saluran multispektral menjadikan ASTER memiliki potensi untuk diterapkan pada berbagai aplikasi, seperti analisis spektral, *global warming*, area hidrologi, investigasi sumber daya alam, klasifikasi tumbuhan, eksplorasi daerah pesisir, dan pemantauan bencana alam. Untuk pertambangan banyak aplikasi yang dapat dilakukan, antara lain *photogeological* dan generasi *basemap* untuk pertambangan.

Selain itu bertambahnya resolusi spektral dan spasial saluran SWIR dan TIR disertai resolusi spasial meningkatkan kemampuan untuk mengidentifikasi mineralogi dipermukaan melalui diagnosa nilai spektral dibandingkan dengan satelit Landsat TM (Gozzard, 2006). Karena spesifikasinya yang lebih baik dibandingkan dengan satelit Landsat TM, terutama pada tipe saluran SWIR dan TIR, ASTER memiliki mampu memetakan mineral dengan jumlah yang lebih banyak. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 saluran SWIR dapat membedakan mineral alunit, piropilit, kaolinit, ilit-muskovit-serikrit, dan MgOH-mineral karbonat. Sedangkan TIR dapat mengidentifikasi felspar, kuarsa, karbonat, amfibol, dan *clay* (Gozzard, 2006).



Gambar 2.4. Jenis mineral yang teridentifikasi oleh sensor ASTER (Rokhmatuloh, 2007)

2.2.2 Kerapatan Vegetasi

Pemetaan deposit mineral dengan menggunakan satelit optis pada wilayah tropis seperti Indonesia sering memiliki kendala akibat daratan yang tertutup vegetasi, sehingga menyulitkan gelombang elektromagnetik dalam menembus daratan (Rajesh, 2004). Namun dalam perkembangannya, ternyata vegetasi dapat menjadi indikator terhadap jenis tanah dan geologi yang terdapat dibawahnya. Metode tersebut dinamakan geobotani, atau studi mengenai hubungan antara tanah, geologi, dan vegetasi yang terdapat di atasnya (Cain, 1971 dalam Ustin et al., 1997). Cole (1977) dalam Raines dan Canney (1998) menggunakan citra Landsat MSS dalam memetakan geologi. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara sebaran jenis vegetasi dengan formasi geologi yang ada. Aplikasi geobotani dalam penginderaan jauh pada dasarnya dapat dilakukan dengan mengamati beberapa petunjuk, seperti perubahan kerapatan vegetasi (terutama pada *bare spot*), dan perubahan morfologi pada vegetasi.

Penyimpangan terhadap tutupan vegetasi normal pada daerah yang berhutan tebal, seperti *bare spot*, telah berhasil membantu mencari deposit mineral. Karena kondisi lingkungan pada daerah yang mengandung deposit mineral terkadang kurang baik bagi pertumbuhan vegetasi, contohnya tanah dengan kandungan besi

yang tinggi, seperti lokasi pertambangan tembaga, nikel, dan seng akan tumbuh vegetasi dengan jenis tertentu, sehingga distribusi vegetasinya terbatas dan lokasi tersebut terkadang tidak ditumbuhi oleh vegetasi atau hutan terbuka yang penuh rumput, lokasi seperti inilah yang menjadi indikator penting dalam geobotani. Contohnya adalah eksplorasi tembaga di Rhodensian Copper Belt, dimana Kejadian *Bare spot* yang luas menjadi indikator terhadap keberadaan deposit tembaga (Raines dan Canney, 1998).

Dalam penelitian berikut untuk mengetahui tingkat kerapatan vegetasi dilakukan dengan menggunakan algoritma normalisasi NDVI. Pada citra ASTER saluran yang digunakan untuk memperoleh nilai kerapatan vegetasi adalah saluran 3 dan 2. Saluran 3 merupakan VNIR yang sensitif terhadap reflektan vegetasi dan saluran 2 merupakan panjang gelombang merah dengan respon spektralnya yang pendek terhadap vegetasi.

2.2.3 *Defoliant Technique*

Beberapa penelitian menunjukkan keberhasilan penginderaan jauh dalam pemetaan mineral alterasi hidrothermal terutama di daerah arid dan semi arid, hal ini dikarenakan keberadaan mineral di permukaan yang cukup mencolok, sehingga mudah dikenali oleh sensor satelit (Podwyssocki *et al.* 1984, Kepper *et al.* 1986, Mouat *et al.* 1986, Amos and Greenbaum 1989, Rockwell 1989, Tanaka and Segal 1989, Fraser 1991, John *et al.* 1991, Bennett 1993, Barniak *et al.* 1996, Spatz 1997 dalam Carranza dan Hale, 2002). Namun untuk daerah tropis yang bervegetasi rapat hal ini menjadi kendala besar dan dapat mengurangi keberhasilan penginderaan jauh untuk mendeteksi keberadaan deposit mineral. Selain itu tidak jarang terdapat beberapa mineral yang memiliki respon spektral yang identik dengan vegetasi.

Salah satu penajaman citra yang mampu meminimalisir pengaruh vegetasi dalam eksplorasi mineral dengan penginderaan jauh adalah metode analisa *directed principal component* dari dua rasio saluran yang disebut *defoliant technique* (Fraser and Green, 1987 dalam Rojash, 2003). Input dari rasio saluran dipilih dengan acuan bahwa saluran pertama mengandung informasi mengenai

mineral yang dituju, sedangkan pada rasio saluran kedua mengandung informasi mengenai pengganggu respon spektral mineral, yaitu vegetasi (Carranza, 2002; Fraser dan Green, 1987 dalam Rojas, 2003). Dalam pengembangannya metode ini banyak digunakan untuk memetakan mineral alterasi hidrothermal *iron oxide* dan clay, seperti yang dilakukan oleh Soe, Kyawm dan Takashima di Myanmar tahun 2006.

Akan tetapi karena metode tersebut kurang optimal pada beberapa jenis mineral selain *iron oxide* dan clay atau yang lebih spesifik, oleh sebab itu pengembangan metode *defoliant technique* dilakukan agar dapat mempertajam respon setiap mineral alterasi dengan cara memisahkan mineral berdasarkan reflektansi spektralnya. Kemudian untuk menentukan respon spektral mineral yang optimum, diperlukan dua rasio saluran agar dapat meminimalisir efek vegetasi. Dimana pada rasio saluran vegetasi, harus memiliki nilai yang positif di kedua input rasio saluran. Sedangkan nilai rasio mineral yang dituju harus lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan vegetasi. Untuk meningkatkan hasil akurasi dari pemetaan klasifikasi terbimbing didasarkan pada *training sample* yang menunjukkan keberadaan deposit diperlukan untuk meningkatkan hasil dari pencitraan satelit, seperti yang dilakukan oleh Carranza dan Hale (2002) untuk memetakan deposit mineral alterasi pada daerah yang bervegetasi tebal di Filipina.

2.3 Model *Weight of Evidence*

Model *weight of evidence* adalah pengembangan dari model probabilitas Bayesian. Metode ini pertama kali digunakan untuk pemetaan mineral oleh Bonham-Carter et al., (1989) dan Bonham Carter (1994) untuk mendeskripsikan hubungan kuantitatif antara deposit mineral dengan faktor fisik (Adhadjie, 2003). Dalam model *weight of evidence*, yang dimaksud dengan *evidence* meliputi kumpulan data eksplorasi (contoh: peta geologi, peta rupabumi, peta geofisika, dll) dan hasil hipotesis sebaran potensi deposit mineral. Sedangkan *weight* merupakan bobot hasil perhitungan asosiasi antara deposit mineral dengan variabel yang digunakan.

Jika wilayah penelitian dibagi ke dalam unit *cell* atau piksel dengan ukuran tertentu, s , dan total wilayah kajian adalah t , maka $N\{T\} = t/s$ merupakan total unit piksel dalam wilayah kajian.

Dan apabila sejumlah unit piksel, $N\{D\}$, mengandung mineral, dalam hal ini D di wilayah yang cukup kecil, maka *prior probability* adanya deposit mineral dalam wilayah tersebut adalah

$$P\{D\} = \frac{N\{D\}}{N\{T\}} \quad (2.1)$$

Kemudian anggap bahwa terdapat pola pasangan penciri (*binary predictor pattern*) dari terjadinya deposit, yaitu $N\{B\}$ yang terletak pada suatu wilayah kajian dan terdapat sejumlah mineral di dalam pola tersebut, maka $N\{D \cap B\}$. Dengan adanya perhitungan berikut, probabilitas terjadinya deposit mineral di dalam pola pasangan penciri akan lebih besar dibandingkan dengan *prior probability*. Sebaliknya, probabilitas deposit mineral di luar pola pasangan penciri akan lebih rendah dibandingkan dengan *prior probability*. Lokasi yang menguntungkan bagi keterdapatannya deposit mineral yang disertai dengan adanya pola pasangan penciri dapat ditunjukkan melalui *conditional probability* berikut

$$P\{D|B\} = \frac{P\{D \cap B\}}{P\{B\}} = P\{D\} \frac{P\{B|D\}}{P\{B\}} \quad (2.2)$$

Dimana $P\{D|B\}$ merupakan *posterior probability* adanya deposit mineral yang diberikan pola pasangan penciri. Sedangkan probabilitas terjadinya deposit mineral tanpa adanya pola pasangan penciri adalah

$$P\{D|\bar{B}\} = \frac{P\{D \cap \bar{B}\}}{P\{\bar{B}\}} = P\{D\} \frac{P\{\bar{B}|D\}}{P\{\bar{B}\}} \quad (2.3)$$

$P\{D|B\}$ adalah *posterior probability* terjadinya deposit mineral yang diberikan oleh ketidakhadiran pola pasangan penciri

Perhitungan 2 dan 3 memenuhi aturan dari Bayesian, sehingga model yang sama dapat digambarkan melalui *odd*, O , didefinisikan sebagai $O = P/(1 - p)$ dan menjadi :

$$O = \{D|B\} = O\{D\} \frac{P\{B|D\}}{P\{B|\bar{D}\}} \quad (2.4)$$

dan

$$O = \{D|B\} = O\{D\} \frac{P\{D|D\}}{P\{D|\bar{D}\}} \quad (2.5)$$

$O = \{D|B\}$ dan $O = \{D|\bar{B}\}$ merupakan *posterior odd* yang diberikan oleh ada dan tidak adanya pola pasangan penciri, dan $O\{D\}$ yaitu *prior odd* terdapatnya deposit mineral. Bobot dari pola pasangan penciri dapat didefinisikan sebagai berikut :

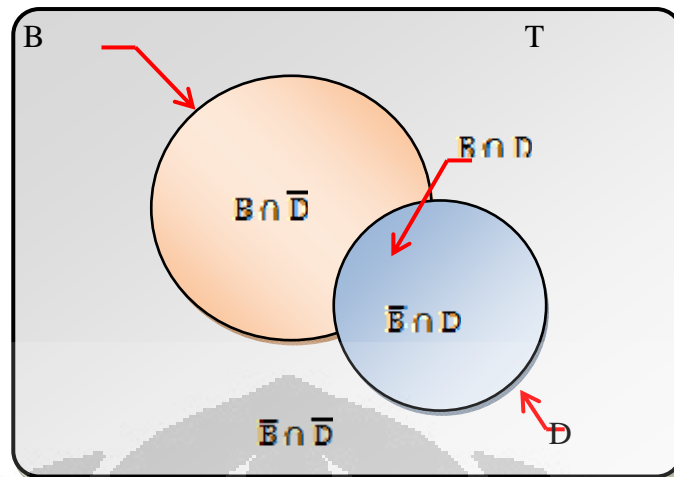
$$W^+ = \log_s \frac{P\{B|D\}}{P\{B|\bar{D}\}} \quad (2.6)$$

dan

$$W^- = \log_s \frac{P\{D|D\}}{P\{D|\bar{D}\}} \quad (2.7)$$

W^+ dan W^- adalah bobot kejadian apabila pola pasangan penciri ada dan tidak ada, adapun $W^+ > 0$ dan $W^- < 0$ menunjukkan asosiasi spasial positif, berbeda dengan $W^+ < 0$ dan $W^- > 0$ menunjukkan asosiasi spasial negatif. Untuk mengukur asosiasi spasial antara variabel dan Kejadian deposit mineral terdapat algoritma *contrast*, yaitu :

$$C = W^+ - W^- \quad (2.8)$$



Gambar 2.4. Ilustrasi diagram venn kalkulasi model *weight of evidence* T, area; B, pola pasangan penduga ada; \bar{B} pola pasangan penduga tidak ada; D, adanya deposit mineral; \bar{D} , tidak ada deposit mineral (Carranza dan Hale, 2000)

2.4 PT. International Nickel Indonesia, Tbk

2.4.1 Sejarah Perusahaan

Penemuan nikel di Indonesia khususnya di Sulawesi, dimulai pada awal abad 20. Namun besarnya cadangan nikel tersebut baru diketahui pada tahun 1966, ketika pemerintah Indonesia memutuskan pelaksanaan survey geologis secara besar-besaran dan menyeluruh terhadap kekayaan sumber daya mineral ini.

Inco Limited dari Kanada, salah satu perusahaan tambang penghasil nikel terkemuka di dunia, memperoleh izin Kontrak Karya. Kontrak Karya tersebut ditandatangani pada bulan Juli 1968 oleh Inco Limited melalui anak perusahaannya di Indonesia yang baru dibentuk yaitu PT INCO. Pada tahun 1971, PT INCO melakukan eksplorasi yang memastikan kandungan nikel yang tersedia akan mampu mendukung pendirian suatu pabrik pengolahan nikel di daerah Sorowako.

Tahun 1968 – 1973 PT INCO melakukan penelitian sumber endapan bijih nikel dalam daerah konsesi, kemudian berdasarkan hasil penelitian laboratorium di Kanada diputuskan bahwa pengembangan pabrik di Sorowako sangat layak.

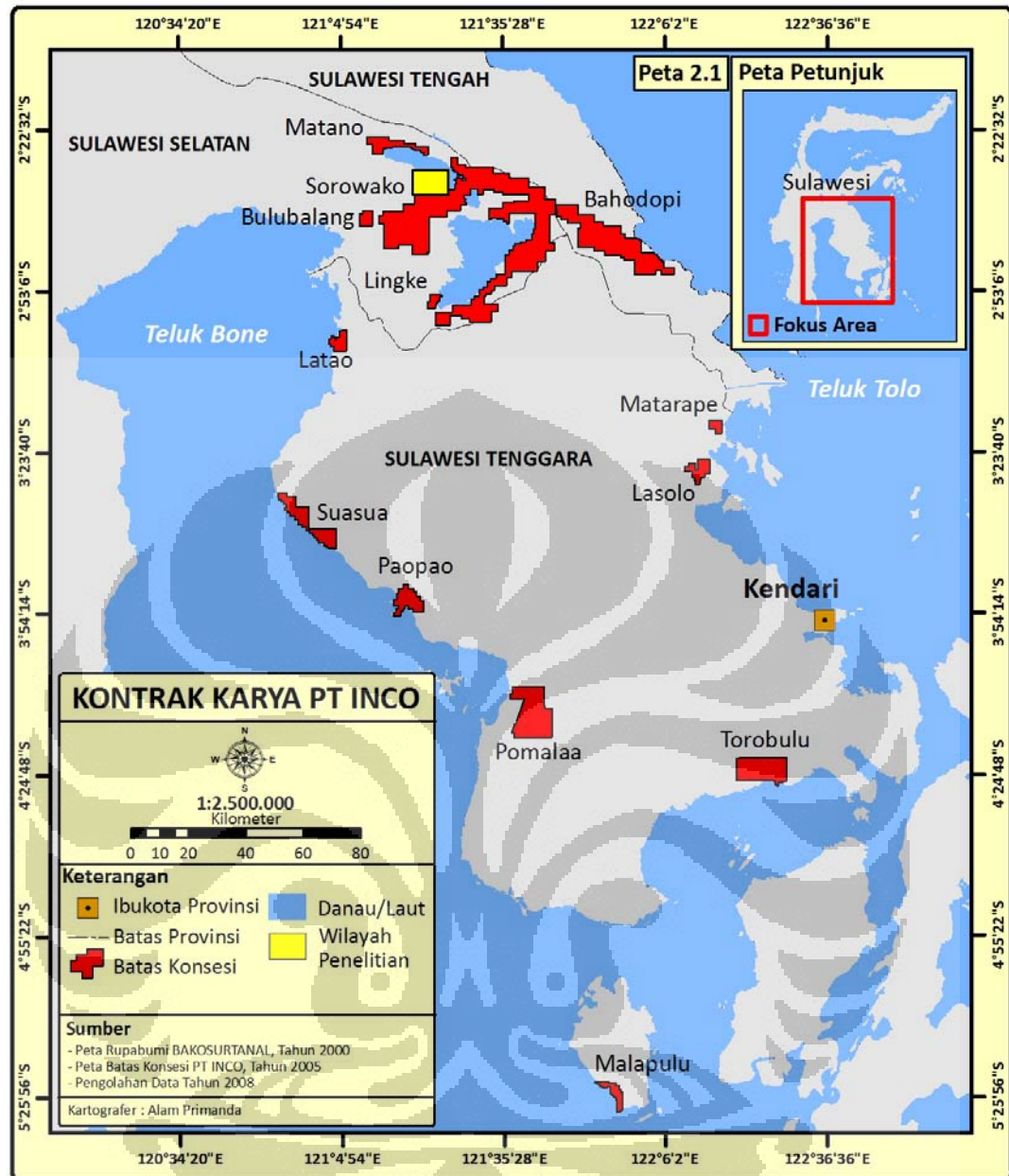
Sebagian besar daerah konsesi dikembalikan kepada pemerintah Indonesia secara bertahap, dan saat ini hanya mempertahankan hak konsesi seluas 218.000 ha (setelah penyusutan ke-9).

Sejak permulaan proyek sampai 1998, Inco Limited telah menginvestasikan dana sekitar US\$ 2 miliar untuk pengembangan proyek serta pembangunan berbagai fasilitas penunjang lainnya. Saat ini PT INCO secara teratur mengekspor produksinya yang disebut *Nikel matte* (nikel setengah jadi yang berkadar 78%) ke Jepang dimana nikel tersebut dimurnikan dan digunakan untuk pembuatan baja nirkarat dan produk-produk yang mengandung nikel lainnya.

2.4.2 Kontrak Karya

PT INCO di wilayah Sorowako mempunyai wilayah kontrak karya seluas 218.528,99 ha, terletak pada koordinat $121^{\circ}18'57''$ – $121^{\circ}26'50''$ BT dan $2^{\circ}32'59''$ LS. Secara umum wilayah kontrak karya PT INCO dibagi dalam tiga kategori, yaitu (lihat peta 2.1):

- 1) Lokasi *Sorowako Project Area* (SPA), dengan luas daerah sekitar 10.010 ha. SPA yang terdiri dari daerah Blok Timur (*East Block*) dan Blok Barat (*West Block*), lokasinya dipisahkan oleh pabrik (*Plant Site*) dan secara umum berbatasan dengan:
 - Bagian Utara dengan Desa Nuha dan Danau Matano
 - Bagian Timur dengan Danau Mahalona
 - Bagian Selatan dengan Desa Wawondula Kecamatan Towuti
 - Bagian Barat dengan Desa Wasuponda Kecamatan Nuha
- 2) Lokasi *Sorowako Outer Area* (SOA), dengan luas daerah sekitar 108.377 ha
- 3) Lokasi *Sulawesi Coastal Deposit* (SCD), dengan luas daerah sekitar 100.141 ha



Peta 2.1. Kontra Karya PT INCO

2.5 Kegiatan Pertambangan

2.5.1 Eksplorasi

Eksplorasi berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia merupakan kegiatan penyelidikan dan penjajakan daerah yang diperkirakan mengandung mineral

berharga dengan jalan survei. Kegiatan eksplorasi berdasarkan Badan Standarisasi Nasional terdiri dari beberapa tahap, meliputi:

1) Survei Tinjau (*Reconnaissance*)

Survei tinjau bertujuan mengidentifikasi daerah-daerah anomali atau mineralisasi yang prospektif untuk diselidiki lebih lanjut.

2) Prospeksi (*Prospecting*)

Tahap eksplorasi dengan mempersempit daerah yang mengandung endapan mineral yang potensial. Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi untuk mengidentifikasi singkapan dan metode tidak langsung lainnya seperti geokimia dan geofisika. Tujuan dari prospeksi untuk mengidentifikasi suatu endapan mineral yang akan menjadi target eksplorasi selanjutnya. Estimasi kuantitas dihitung berdasarkan interpretasi data geologi, geokimia, dan geofisika.

3) Eksplorasi Umum (*General Exploration*)

Validasi awal dari suatu deposit yang teridentifikasi. Metode yang digunakan antara lain, pemetaan geologi, membuat paritan dan pengeboran untuk evaluasi pendahuluan kuantitas dan kualitas deposit. Tujuannya untuk menentukan gambaran geologi suatu deposit mineral berdasarkan indikasi penyebaran, perkiraan awal mengenai ukuran, bentuk, sebaran, kuantitas dan kualitasnya.

4) Eksplorasi Rinci (*Detailed Exploration*)

Tahap eksplorasi untuk mendeliniasi secara rinci dalam 3 dimensi terhadap endapan mineral yang telah diketahui dari paritan, lubang bor, atau terowongan.

5) Studi Kelayakan Tambang (*Mine Feasibility Study*)

Pengkajian mengenai aspek teknik dan prospek ekonomik dari suatu proyek penambangan dan merupakan dasar untuk penentuan keputusan investasi. Studi ini meliputi pemeriksaan menyeluruh mengenai informasi geologi berdasarkan laporan eksplorasi dan faktor-faktor ekonomi, penambangan, pengolahan, pemasaran, hukum, lingkungan, sosial, serta faktor lain yang terkait.

6) Layak Tambang

Keadaan yang menunjukkan bahwa berdasarkan faktor-faktor dalam studi kelayakan tambang telah memungkinkan deposit mineral dapat ditambang secara ekonomis.

2.5.2 Eksploitasi dan Pengolahan

Kegiatan penambangan terlebih dahulu dilakukan dengan *land clearing* yaitu pembersihan lokasi penambangan dari semak-semak, pohon, dan sisa pohon yang sudah di tebang. Kemudian membuang bagian tanah atau bagian batuan yang menghalangi pekerjaan selanjutnya. Pada umumnya kegiatan *land clearing* ini dilakukan dengan menggunakan *bulldozers*.

Selesai pengupasan tanah penutup selanjutnya dilakukan penggalian terhadap *ore*. Penggalian *ore* ini dilakukan oleh *shovel* ataupun *back hoe* yang kemudian dimuat kedalam *dump truck*, dimana muatan tersebut akan dibawa ke *screening station* untuk dilakukan proses penyaringan ukuran.

Ore hasil *screening station* memiliki karakteristik yang basa, oleh karena itu akan didiamkan selama 4 hingga 6 minggu untuk mengurangi kadar air. Kemudian setelah itu *ore* akan dipanaskan dalam *dryer* untuk menghilangkan kandungan air yang tersisa.

Tahap berikutnya yaitu *furnace*, yaitu peleburan. Suhu yang biasa digunakan pada *furnace* adalah 1500° C. Selanjutnya hasil dari *furnace* dibawa ke *converter*. Fungsi *converter* ini yaitu untuk menjamin fleksibilitas maksimum dalam memilih bentuk produk akhir. Pengeringan lebih lanjut dilakukan untuk memastikan tidak ada lagi kadar air pada produk akhir sebelum di paketkan.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pemetaan potensi deposit mineral didasarkan pada identifikasi model untuk deposit mineral dan kondisi lingkungan terkait. Oleh karena itu penerapan model yang paling baik adalah mendekati konsep eksplorasi (Rojash, 2003). Konsep model eksplorasi tersusun atas variabel-variabel yang menjadi penciri dimana mineral tersebut berada, seperti geologi, geokimia, dan interpretasi citra satelit.

Garis besar metodologi penelitian meliputi empat tahap, yang terdiri dari (lihat tabel 3.1):

- 1) Pengumpulan dan pemasukkan data yang akan digunakan sebagai variabel
- 2) Pembuatan model yang didasarkan pada studi empiris dan penentuan kriteria umum untuk mengenali deposit nikel laterit.
- 3) Ekstraksi, penajaman, integrasikan data, dan validasi lapangan.
- 4) Asosiasi antara variabel fisik dengan deposit nikel laterit, dan pola sebaran potensi deposit nikel laterit.

Adapun data yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan sebaran mineral permukaan dan kerapatan vegetasi adalah Citra ASTER tahun 2002 yang diambil pada musim kemarau, hal ini bertujuan agar dapat diperoleh citra yang bebas dari gangguan awan. Faktor fisik struktur geologi dari foto udara; batuan induk berasal dari peta geologi detail wilayah Sorowako; sedangkan wilayah kelerengan didapatkan dari peta rupabumi skala 1:50.000.

Tabel 3.1 Metodologi Penelitian

Tahapan Metodologi	Gambaran Umum	Cakupan Aktivitas	Prosedur Pelaksanaan			
			Data Lithologi	Data Struktur	Data Topografi	Citra ASTER
I	Pembangunan Database Spasial	Input Data				
II	Pengembangan konsep Model	Kajian Literatur	Informasi mengenai karakteristik Deposit Mineral dan wilayah kajian melalui berbagai sumber (jurnal, laporan kerja, dll)			
III	Pengolahan Data	Ekstraksi Fitur Spasial	Reklasifikasi			Penajaman Analisis dan Interpretasi
IV		Mengukur tingkat akurasi dan Asosiasi Spasial	Batuan induk	Struktur	Lereng	Sebaran mineral permukaan
		Integrasi Data dan Validasi				
	Analisa	Sebaran Potensi Deposit Mineral & Asosiasi Spasial				

Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008

3.1 Sumber Data

1) Citra ASTER

Citra ASTER digunakan level 1B yang sudah terektifikasi diperoleh dari *Earth Remote Sensing Data Analysis Centre (ERSDAC)* Jepang, dengan nomor lembar :

- ASTL1B_0210300228130803040507
- ASTL1B_0210300228220803040509

2) Peta Rupabumi

Bersumber dari Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL) skala 1:50.000 lembar Leduledu 2113-34, tahun 1992

3) Peta Geologi

Peta Geologi Detail Blok Sorowako, skala 1:20.000 diperoleh dari *Exploration and Mine Development Department PT INCO*

4) Data Titik Bor

Data titik bor berasal dari data pengeboran tahun 2004, yang diperoleh di *Exploration and Mine Development Department PT INCO*

5) Foto Udara

Foto Udara areal pertambangan blok Sorowako Skala 1 : 10.000 Tahun 2002 diperoleh dari *Exploration and Mine Development Department* PT INCO

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan beberapa perangkat lunak pengolah citra satelit dan SIG yang terdiri dari ENVI, GDS *Crosstalk Correction*, *ASTER Data Opener* dan Er Mapper, ArcView, ArcGIS, dan MultiSpec. Namun demikian sebelumnya keseluruhan data yang digunakan kecuali citra ASTER, terlebih dahulu dikonversi dari proyeksi lokal PT INCO ke proyeksi *Universal Transfer Mercator* (UTM) 51 zona Selatan.

3.2.1 Data Penginderaan Jauh

3.2.1.1 Citra ASTER

1) Pra Pengolahan

Pra pengolahan dilakukan sebelum citra Level 1B diolah lebih lanjut, tahap ini bertujuan untuk memperbaiki kerusakan yang diakibatkan oleh satelit dan atmosfer (Gozzard, 2006). Proses perbaikan ini mencakup delapan langkah yang meliputi:

- *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.

- *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 digital 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 $\text{Watts/m}^2/\text{stereoradian}/\mu\text{m}$.

- *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.

- *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.

- *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.

- *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 scattering*) dari atmosfer dan efek dari transmisi multiplikatif energi melalui atmosfer.

- *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.

- *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 (Kalinowsky dan Oliver, 2004; Hewson et al., 2004a dalam Gozzard, 2006).

2) Pengolahan

- Sebelum memetakan sebaran mineral permukaan, terlebih dahulu dilakukan identifikasi kerapatan vegetasi menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Pemetaan kerapatan vegetasi bertujuan untuk mengenali karakteristik tutupan lahan dan sebagai indikasi awal keberadaan deposit mineral melalui vegetasi (Rojas, 2003).
- Perhitungan normalisasi NDVI didapatkan dengan menggunakan saluran panjang gelombang tampak (merah) (saluran 2; 0,63 – 0,69 μm) dan inframerah dekat (saluran 3; 0,76 – 0,86 μm)
- Normalisasi NDVI untuk mendapatkan nilai kerapatan vegetasi dilakukan melalui persamaan (Wijanarko, 2007):

$$N = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_s - NDVI_0} \quad (3.1)$$

Namun sebelum melakukan perhitungan kerapatan vegetasi, NDVI yang memiliki nilai negatif (-) dan badan air tidak diikut sertakan ke dalam perhitungan. Dimana NDVI adalah indeks tutupan hijau yang didapatkan melalui persamaan;

$$NDVI = \frac{\text{Near Infra Red Band} - \text{Red Band}}{\text{Near Infra Red Band} + \text{Red Band}} = \frac{\text{Band 3} - \text{Band 2}}{\text{Band 3} + \text{Band 2}} \quad (3.2)$$

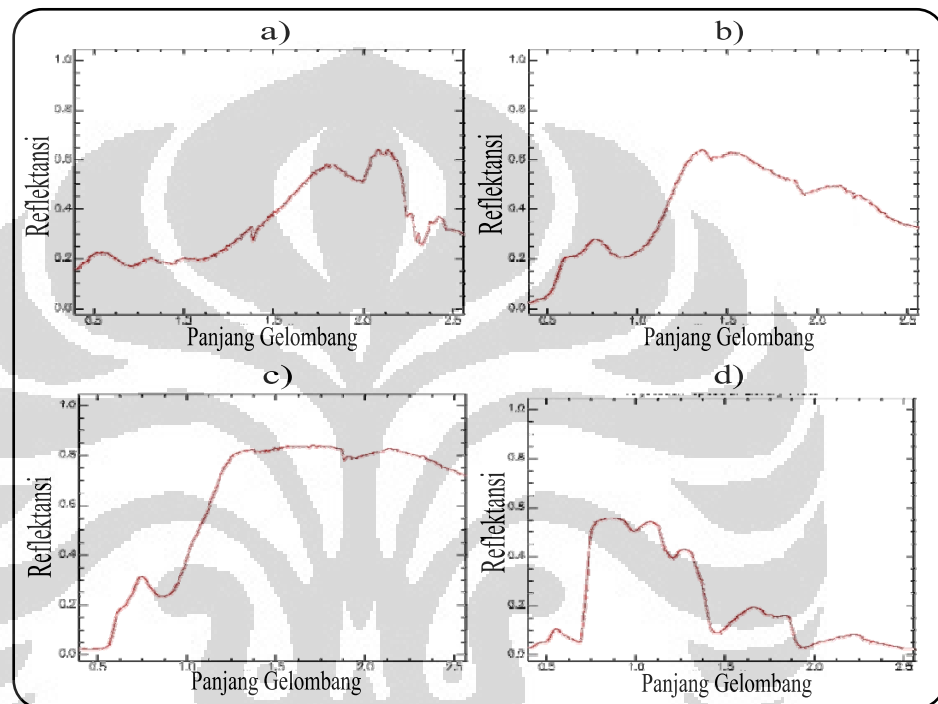
Near Infra red band dan *red band* merupakan nilai albedo pada kisaran panjang gelombang 2 dan 3 pada citra ASTER. Kisaran NDVI yang akan didapatkan adalah -1,0 sampai 1,0 dengan nilai yang lebih dari 0,00 mengidentifikasi kenampakan vegetasi.

N adalah nilai normalisasi dari NDVI, $NDVI_s$ nilai maksimum NDVI citra, dan $NDVI_0$ nilai minimum NDVI citra. Nilai fraksi sendiri diperoleh dengan mengkuadratkan nilai normalisasi NDVI dengan skala 0 hingga 1, dimana nilai ini melukiskan jumlah dan tutupan alami vegetasi dan menggambarkan proporsi antara vegetasi dan tanah (tanah kosong) yang ditangkap oleh sensor (Weng, 2003 dalam Wijanarko, 2007).

Setelah diperoleh hasil perhitungan, dibuat kelas kerapatan menjadi sangat jarang, jarang, sedang, dan rapat.

- Pengolahan citra untuk pemetaan mineral permukaan di daerah bervegetasi terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama menggunakan *defoliant technique* untuk meningkatkan respon spektral dari mineral permukaan yang didasarkan pada reflektansi respon spektral mineral. Kedua, ekstraksi area sampel (*training area*) sebagai acuan piksel yang mengandung mineral permukaan. Ketiga, klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dari citra hasil olahan, sehingga dapat diperoleh peta sebaran mineral permukaan.
- Penerapan *defoliant technique* untuk mengetahui sebaran 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 Sorowako adalah hematite, goethite, dan chlorite; dimana respon spektral masing-masing mineral pada panjang gelombang 0,4 – 2,5 μm , seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.
- Agar didapatkan respon spektral mineral optimum di daerah yang bervegetasi, diperlukan dua rasio saluran untuk meminimalisir efek vegetasi (Carranza dan Hale, 2002). Dimana pada kedua rasio saluran nilai rasio mineral yang dituju harus lebih tinggi atau lebih rendah

(negatif) dibandingkan dengan vegetasi. 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 tersebut digolongkan ke dalam satu input rasio saluran.



Gambar 3.1. Reflektansi spektral mineral a) chlorite b) Goethite, c) Hematite, d) Vegetasi pada panjang gelombang 0,4 – 2,5 μm
(Sumber : USGS Spectral Library, 2007)

Tabel 3.2 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

Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008

- Langkah berikutnya adalah mengekstrak *training sample* area yang sudah diketahui mengandung deposit mineral nikel laterit untuk kemudian dimasukkan ke dalam citra sebelum dilakukan proses klasifikasi.

- Proses klasifikasi dilakukan dengan menggunakan klasifikasi *supervised* melalui teknik *maximum likelihood* (Richards, 1999 dalam Carranza dan Hale, 2002).

3.2.1.2 Foto Udara

- Foto udara digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi yang berada di wilayah kajian. Proses deliniasi struktur geologi dilakukan secara manual (*on screen*), yaitu dengan menarik garis pada daerah yang dianggap memiliki karakteristik struktur tertentu.
- Struktur geologi yang diperoleh hasil deliniasi kemudian dibuat area jangkauan (*buffer*) dengan interval 100 meter hingga jarak 500 meter. Fungsi dari *buffer* adalah untuk mengetahui sejauh mana hubungan antara deposit mineral dengan keberadaan struktur geologi.

3.2.2 Data deposit mineral

- Data deposit mineral diperoleh dari data tabular titik bor yang berjumlah 2040 titik, data tersebut mencakup informasi mengenai koordinat pengeboran, dan presentase akumulasi kandungan Ni, Co, SiO₂, Fe, MgO pada lapisan Laterit yang berada di atas nilai ambang atau *cut-off* (Ni>1.5%) (Ahmad, 2005).
- Selanjutnya data tersebut dikonversi ke dalam format *shapefile* agar dapat diintegrasikan dengan variabel lainnya.

3.2.3 Batuan Induk

Terdapat empat tipe batuan induk wilayah kajian, yang terdiri *high serpentized olivine*, *low serpentized olivine*, konglomerat, dan clay.. Identifikasi awal karakteristik batuan induk sangat penting, agar jika terjadi penyimpangan atau kesalahan hasil dari pembobotan dapat diketahui.

3.2.4 Wilayah Lereng

Data topografi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemiringan lereng. Untuk mendapatkan kemiringan lereng, terlebih dilakukan pengolahan data kontur dari peta rupabumi. Adapun kelas lereng dibagi ke dalam 7 kelas, yaitu :

- | | |
|------------|------------|
| - 0 – 10% | - 40 – 50% |
| - 10 – 20% | - 50 – 60% |
| - 20 – 30% | - >60% |
| - 30 – 40% | |

3.3 Analisa Data

3.3.1 Tingkat Akurasi Pencitraan ASTER

- Untuk menghitung tingkat akurasi hasil klasifikasi dengan *training sample* digunakan metode *classification error matrix* (Carranza, 2002; Rojash, 2003; dan Mulyana, 2006).
- *Classification error matrix* atau matriks kesalahan pada dasarnya membandingkan hasil klasifikasi dengan dengan *ground truth* pada *test sample* tersebut. Kolom dari matriks ini mempresentasikan *ground truth* dari setiap kelas berdasarkan *test sample*, sedangkan baris dari matriks berisi kelas hasil klasifikasi dari *test sample* tersebut. Tingkat akurasi keseluruhan (*overall classification* atau *overall performance class*) dapat dihitung dengan menjumlahkan total jumlah piksel yang diklasifikasikan dan membaginya dengan total jumlah piksel yang di tes.

$$\text{Overall Classification} = \frac{\text{Classification Pixel}}{\text{Total Test Pixel}} \quad (3.3)$$

- Adapun parameter akurasi lainnya adalah *kappa statistic* atau KHAT, yaitu dengan menunjukkan kecocokan antara dua kategori variabel. Atau

dalam penginderaan jauh, kappa menunjukkan ukuran kecocokan data antara hasil klasifikasi dengan data *ground truth*.

- Nilai kappa dihitung berdasarkan matriks kesalahan dan berada pada interval 0 sampai dengan 1, dimana 0 berarti tidak ada kecocokan sama sekali antara data hasil klasifikasi dengan *ground truth*, sedangkan kappa semakin mendekati 1,0 memperlihatkan tingkat akurasi yang lebih baik. Kalkulasi dari KHAT (\bar{K}) dapat ditulis melalui persamaan berikut :

$$\bar{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (3.4)$$

- r = jumlah baris di matriks kesalahan
- x_{ii} = jumlah angka observasi pada baris dan kolom i (secara diagonal)
- x_{i+} = jumlah angka observasi pada baris i
(ditunjukkan di sisi paling kanan dari matriks)
- x_{+i} = jumlah angka observasi pada kolom i
(ditunjukkan di sisi paling bawah dari matriks)
- N = total angka yang diobservasi di dalam matriks

3.3.2 Asosiasi Antara Variabel Fisik dengan Deposit Nikel Laterit

- Metode *Weight of Evidence* merupakan metode statistik yang digunakan untuk menghitung asosiasi spasial antara variabel (karakteristik fisik) dengan deposit mineral (Carranza, 1999; Rojash, 2003). Analisis asosiasi data spasial sangat penting untuk mengetahui seberapa besar bobot dan keterkaitan masing-masing variabel terhadap keberadaan deposit mineral.
- Langkah awal untuk melakukan analisis ini adalah mengekstraksi variabel yang telah terklasifikasi untuk selanjutnya ditentukan ukuran unit *cell* dari keseluruhan data. Adapun teknik penentuan ukuran tiap unit *cell* adalah

$$\text{Ukuran Unit Cell} = \frac{\text{luas wilayah kajian}(\text{km}^2)}{\text{Jumlah total training sampel}} \times 40 \quad (3.5)$$

- Setiap variabel di *overlay* dengan data deposit nikel laterit yang berjumlah 2040 titik di seluruh wilayah kajian untuk selanjutnya dilakukan perhitungan berapa banyak data spasial yang ter-*overlay* dengan data deposit dan berapa banyak yang tidak.
- Selanjutnya setiap variabel dihitung bobot dan asosiasinya (*contrast*) antara sebaran mineral permukaan, batuan induk, struktur geologi, dan kemiringan tanah (lereng) terhadap deposit nikel laterit.
- Pengukuran bobot dilakukan dengan cara menghitung banyaknya kejadian deposit nikel laterit yang beririsan ataupun tidak beririsan dengan masing-masing variabel, seperti yang dijabarkan pada persamaan 2.6 dan 2.7.
- *Contrast* diperoleh dengan cara mengurangi $W+$ dengan $W-$ (lihat persamaan 2.8), apabila $W+ > 0$ dan $W- < 0$ menunjukkan bahwa asosiasi spasial antara variabel fisik dengan deposit mineral bernilai positif, sebaliknya $W+ < 0$ dan $W- > 0$ berarti asosiasi spasial yang terbentuk adalah negatif. Sehingga rentang atau indeks asosiasi yang terbentuk adalah jika nilai *contrast* semakin positif, maka asosiasinya semakin besar, begitupun sebaliknya bila *contrast* bernilai negatif.

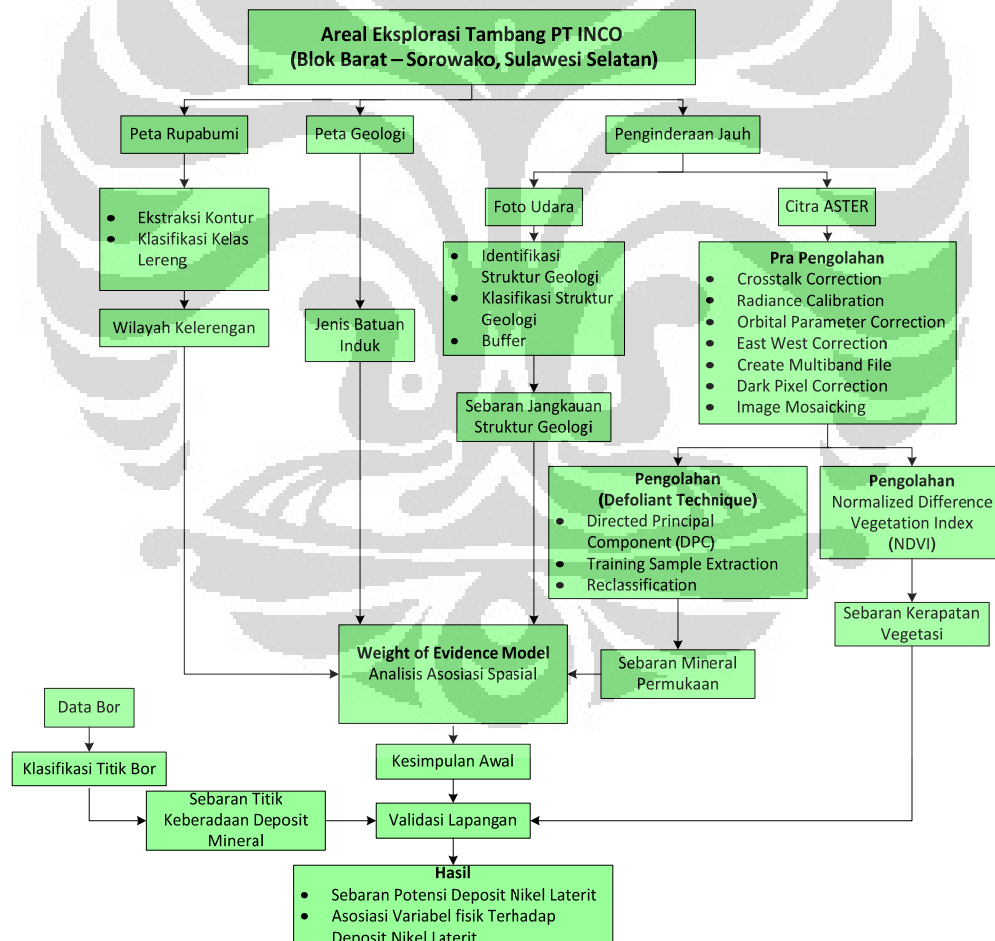
3.3.3 Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit

Untuk mendapatkan pola sebaran potensi deposit nikel laterit, seluruh variabel fisik berasosiasi positif berdasarkan metode *weight of evidence* dan sebaran mineral permukaan hasil pencitraan ASTER diekstraksi terlebih dahulu untuk kemudian di kelaskan ke dalam matriks dan diintegrasikan dengan metode tumpang susun (*overlay*).

3.4 Survey Lapangan

Survey lapangan bertujuan untuk verifikasi antara hasil pemodelan dengan kondisi faktual yang terdapat di lapangan. Contohnya daerah yang berdasarkan hasil pemodelan memiliki potensi deposit nikel laterit yang tinggi apakah setelah dicocokkan dengan survey lapangan memiliki kesesuaian atau tidak.

Survey lapangan dilakukan dengan cara pengamatan di titik sampel yang telah ditentukan sebelumnya, meliputi daerah berpotensi tinggi di sisi Barat dan Timur; serta berpotensi rendah di bagian tengah, Barat, dan Timur. Verifikasi ini sangat penting, mengingat pada tahap inilah hipotesa dari berbagai studi literatur akan dibuktikan.



Gambar 3.2. Alur Kerja Penelitian

BAB 4

KONDISI UMUM DAERAH PENELITIAN

Karakteristik fisik ruang muka bumi memiliki perbedaan antara satu dengan yang lainnya, oleh karena itu dalam setiap penelitian informasi umum mengenai wilayah kajian sangatlah penting.

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana kondisi fisik geografis dari wilayah kajian terutama dari faktor sejarah geologis regional dan lokal hingga sangat mendukung bagi terbentuknya deposit nikel laterit. Selain itu di bagian akhir juga dideskripsikan karakteristik dari deposit nikel laterit di wilayah Sorowako.

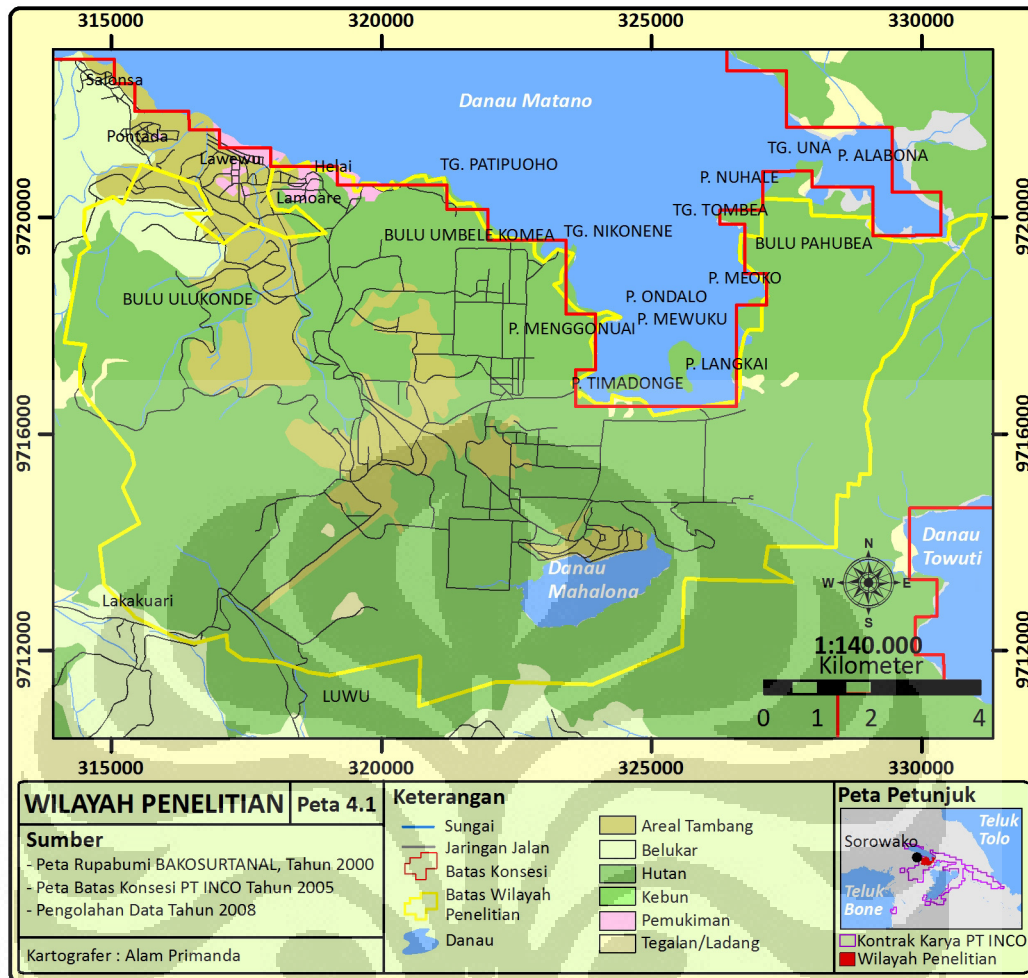
4.1 Daerah Penelitian

Sorowako merupakan salah satu daerah di sisi timur wilayah Sulawesi dengan Ibukotanya adalah Malili, secara administrasi termasuk ke dalam Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan yang terbagi atas tiga desa, yaitu Sorowako, Magani, dan Nikkel (lihat peta 4.1).

Batas wilayah dari sorowako antara lain :

- Utara : Kecamatan Mori Atas dan Lembo, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tenggara
- Selatan : Kecamatan Angkona dan Malili Kabupaten Luwu Timur
- Timur : Kecamatan Towuti Kabupaten Luwu Timur
- Barat : Kecamatan Mangkutana, Kabupaten Luwu Timur

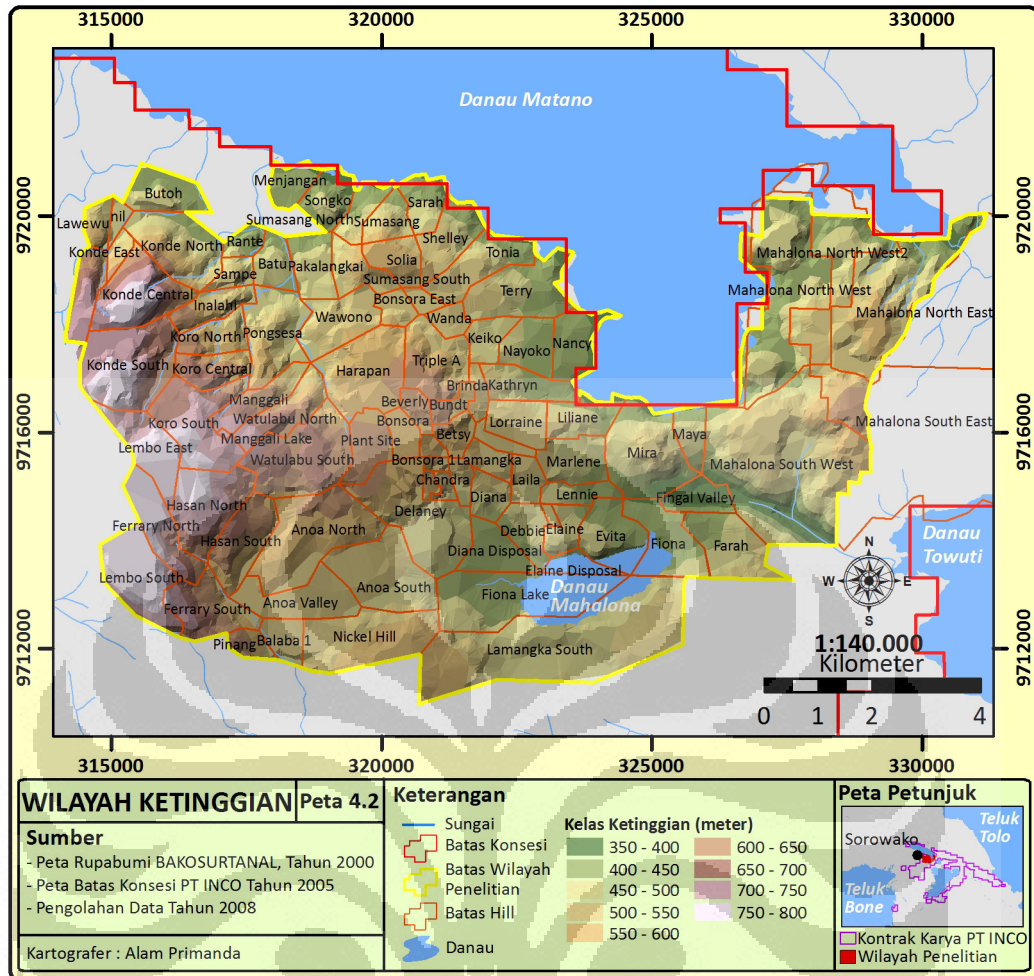
Secara umum daerah Sorowako berada pada ketinggian ± 300 meter di atas permukaan laut (lihat peta 4.2) dan dikelilingi oleh tiga buah danau yaitu Danau Matano, Danau Towuti dan Danau Mahalona. Danau Matano sendiri adalah danau terdalam di Asia Tenggara dan kedelapan di dunia dengan kedalaman mencapai 600 meter atau sekitar 1969 kaki.



Peta 4.1. Wilayah Penelitian

Topografi daerah penambangan berupa perbukitan ultramafik dengan ketinggian antara 400 m - 800 m diatas permukaan laut. Vegetasi yang ada adalah tumbuhan tropis berupa semak belukar, tanaman perdu dan hutan yang ditumbuhi pepohonan berdiameter antara 10 - 40 cm (lihat gambar 4.1).

Seperti layaknya daerah-daerah lain di Indonesia, Sorowako dan sekitarnya beriklim tropis yang dipengaruhi oleh dua musim, yaitu musim kemarau dan penghujan. Tipe iklim Sorowako berdasarkan pengklasifikasian iklim menurut Schmith Ferguson adalah tipe iklim A curah hujan rata-rata per tahun mencapai 2737 mm/tahun. Curah hujan berlangsung sepanjang tahun. Suhu udara rata-rata adalah 24°C, suhu maksimal 31°C dan minimal 21°C.



Peta 4.2. Wilayah Ketinggian



Gambar 4.1. Topografi perbukitan di sekitar wilayah Sorowako (Primanda, 2008)

4.2 Kondisi Geologi

4.2.1 Geologi Regional Sulawesi

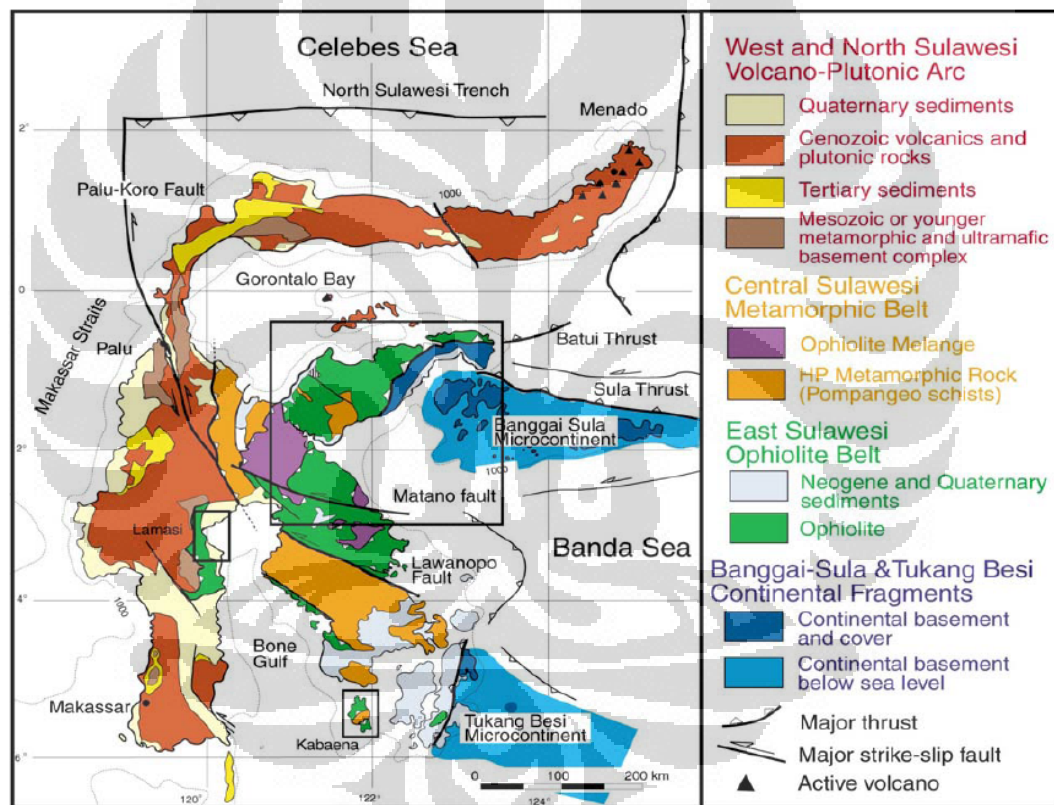
Beberapa penelitian yang menjelaskan mengenai proses tektonik dan geologi di daerah Sulawesi, antara lain adalah Sukanto (1975) yang membagi pulau Sulawesi dan sekitarnya terdiri dari 3 Mandala Geologi yaitu :

- 1) Mandala Geologi Sulawesi Barat, dicirikan oleh adanya jalur gunung api paleogen, intrusi neogen dan sedimen mesozoikum.
- 2) Mandala Geologi Sulawesi Timur, dicirikan oleh batuan ofiolit yang berupa batuan ultramafik peridotite, harzburgit, dunit, piroksenit dan serpentinit yang diperkirakan berumur kapur.
- 3) Mandala Geologi Banggai Sula, dicirikan oleh batuan dasar berupa batuan metamorf permo-karbon, batuan plutonik yang bersifat granitis berumur trias dan batuan sedimen mesozoikum.

Seperti yang terlihat pada gambar 4.2, menurut Simanjuntak, Rusmana, Surono, dan Supandjono (1991), Mandala Geologi banggai Sula merupakan mikro kontinen yang merupakan pecahan dari lempeng New Guinea yang bergerak kearah Barat sepanjang sesar sorong.

Mandala Sulawesi bagian Timur dan Barat bertemu di bagian tengah Sulawesi, namun terpisah di teluk Bone pada sisi selatan dan teluk Tomini di bagian Utara (Ahmad, 2006). Wilayah Sorowako dan sekitarnya adalah termasuk dalam mandala Indonesia bagian Timur yang dicirikan dengan batuan ofiolit dan malihan yang di beberapa tempat tertindih oleh sedimen mesozoikum. Sedangkan Golightly (1979) mengatakan bahwa bagian Timur Sulawesi tersusun dari dua zona melange subduksi yang terangkat pada *pre* dan *post*-miocene (100 juta tahun lalu). Melange yang paling tua tersusun dari sekis yang berorientasi kearah Tenggara dengan disertai beberapa tubuh batuan ultrabasa yang penyebarannya sempit dengan stadia geomorfik tua. Sementara yang berumur post miocene telah mengalami pelapukan yang cukup luas sehingga cukup untuk membentuk endapan nikel laterit yang ekonomis, seperti yang ada di daerah Pomalaa.

Melange yang berumur miocene hingga post miocene menempati bagian tengah pulau dan lengan Utara Sulawesi. Pengangkatan terjadi sangat intensif di daerah ini, diduga karena desakan kerak samudera Banggai Craton. Kerak benua dengan kerapatan yang rendah menyebabkan terangkatnya batuan-batuan laut dalam dari kerak samudera dan mantel. Pada bagian Selatan dari zona melange ini terdapat kompleks batuan ultramafik Sorowako-Bahodopi yang pengangkatannya tidak terlalu intensif. Kompleks ini menempati luas sekitar 11,000 km persegi dengan stadia geomorfik menengah, diselingi oleh blok-blok sesar dari cretaceous abyssal limestone dan diselingi oleh chert.



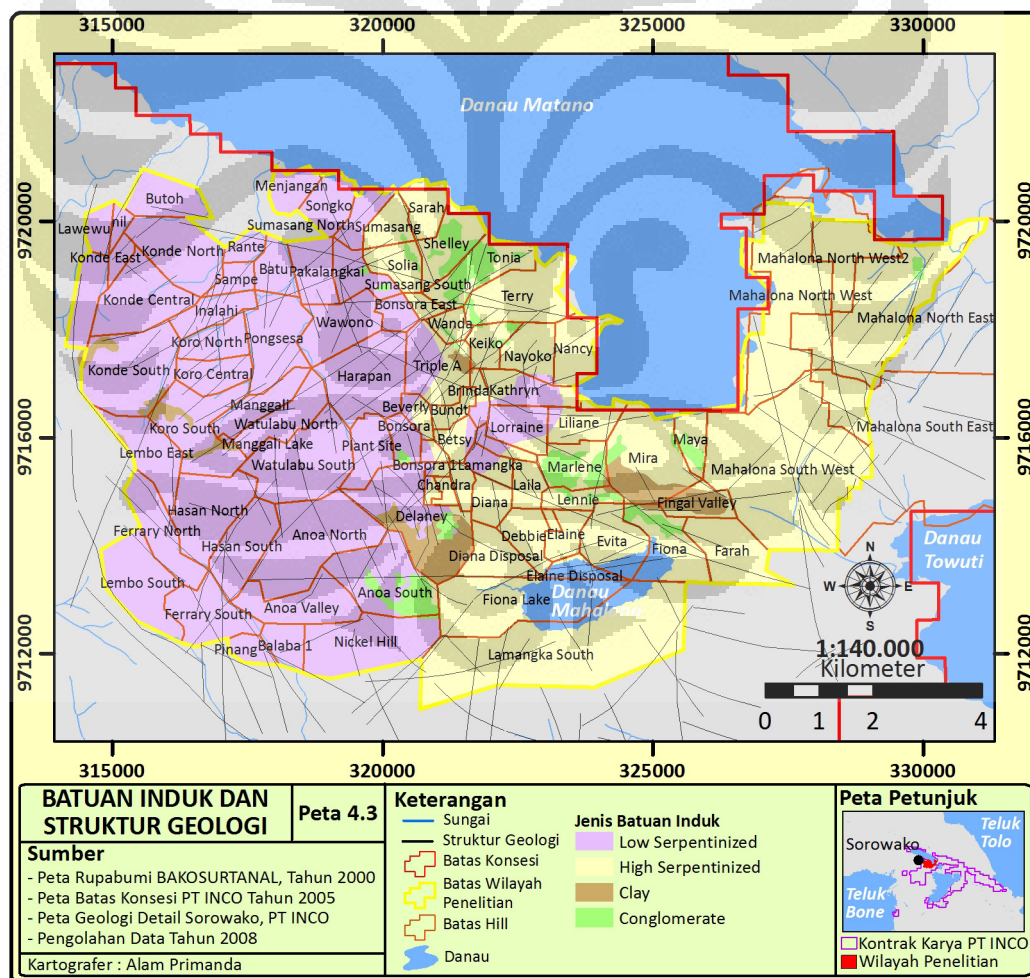
Gambar 4.2 Garis Besar Kondisi Geologi Pulau Sulawesi (Ahmad, 2006)

4.2.2 Geologi Sorowako

Geologi daerah Sorowako dan sekitarnya sebelumnya dideskripsikan secara umum oleh Brouwer, 1934; Van Bemmelen, 1949; Soeria Atmadja et al., 1974; dan Ahmad, 1977 dalam Mustaring, 2006. Namun yang secara spesifik kajian

tentang geologi deposit nikel laterit adalah Golightly pada tahun 1979, dimana ia membagi geologi daerah Sorowako menjadi tiga bagian , yaitu (lihat peta 4.3) :

- 1) Satuan batuan sedimen yang berumur kapur, terdiri dari batu gamping laut dalam dan rijang. Terdapat dibagian barat Sorowako dan dibatasi oleh sesar naik dengan kemiringan kearah barat.
- 2) Satuan batuan ultrabasa yang berumur awal tersier, umumnya terdiri dari jenis peridotit, sebagian mengalami serpentinisasi dengan derajat yang bervariasi dan umumnya terdapat dibagian timur. Pada satuan ini juga terdapat intrusi-intrusi pegmatit yang bersifat gabroik dan terdapat dibagian utara.
- 3) Satuan alluvial dan sedimen danau (*lacustrine*) yang berumur kuartar, umumnya terdapat dibagian utara dekat desa Sorowako.

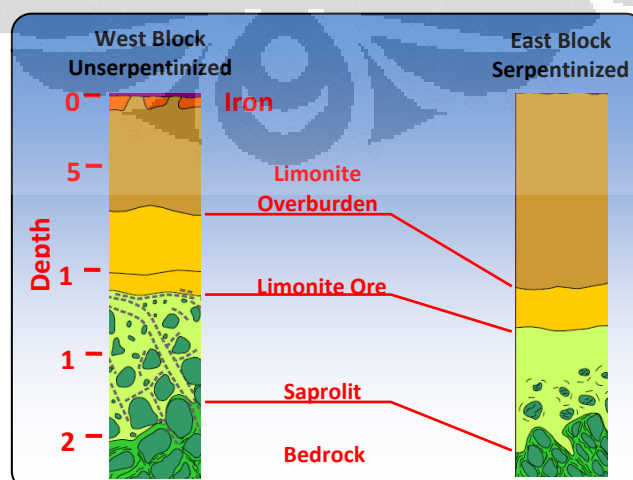


Peta 4.3. Batuan Induk dan Struktur Geologi Sorowako

4.2.3 Deposit Nikel Laterit Sorowako

Bijih nikel yang terdapat di bagian Tengah dan Timur Sulawesi tepatnya di daerah Sorowako termasuk ke dalam jenis nikel laterite dan bijih nikel silikat (garnierit). Bijih nikel tersebut terbentuk akibat pelapukan dan pelindihan (*leaching*) batuan ultrabasa seperti peridotit dan serpentinit dari rombakan batuan ultrabasa. Namun berdasarkan ciri fisik dan kimiawinya, endapan nikel laterit di Sorowako dapat dibagi menjadi dua, yaitu Blok Barat (*West Block*) dan Blok Timur (*East Block*) yang berbeda satu sama lainnya (lihat gambar 4.3).

Perbedaan topografi sangat menyolok, pada umumnya di *East Block* memiliki topografi yang landai sedikit berbukit sedangkan di *West Block* pada umumnya topografi terjal membentuk pegunungan. *West Block* meliputi 36 bukit dengan luas sekitar 46,5 km persegi, secara umum merupakan batuan peridotite yang tidak terserpentinisasi dengan bentuk morfologi yang relatif lebih terjal dibandingkan *East Block* (karena pengaruh struktur yang kuat), banyak dijumpai bongkah – bongkah segar peridotit (Boulder) sisa proses pelapukan sehingga *recovery* menjadi kecil. Umumnya boulder dilapisi oleh zona pelapukan tipis dibagian luarnya. Daerah West banyak mengandung urat-urat kuarsa yang sulit dikontrol pola penyebarannya. Sedangkan *East Block* meliputi 44 bukit menempati area seluas 36,3 km persegi. Topografi pada daerah ini relatif lebih landai dari pada daerah *West Block*. Batuan dasar dari tipe ini umumnya adalah serpentine peridotite, lherzolite, dengan derajat serpentin yang bervariasi.



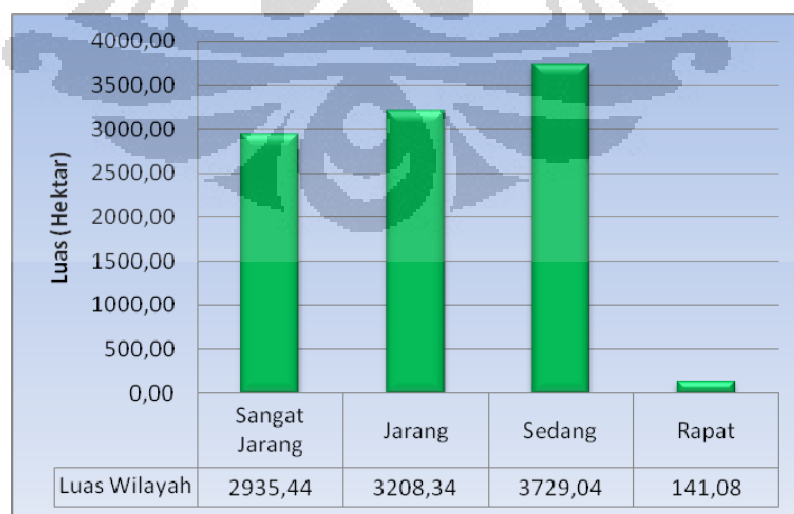
Gambar 4.3 Profil endapan nikel laterit di Sorowako (Elias, 2001)

BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab berikut akan dijelaskan hasil analisis dan pembahasan dari penelitian. Bagian pertama akan dimulai dengan menjabarkan sebaran kondisi kerapatan vegetasi di wilayah kajian, sebaran mineral permukaan, asosiasi antara variabel fisik dengan deposit nikel laterit, dan yang terakhir sebaran potensi deposit nikel laterit.

5.1 Kerapatan Vegetasi

Kerapatan vegetasi yang didapatkan melalui citra satelit pada wilayah penelitian memiliki indeks antara 0 – 0.44. Berdasarkan rentang nilai tersebut, kondisi kerapatan vegetasi diklasifikasikan ke dalam 4 kelas, yaitu sangat jarang, jarang, sedang, dan rapat. Kelas terendah (mendekati nol) tutupan lahan berupa daerah yang sedang atau sudah dilakukan aktivitas penambangan (sebelum revegetasi) dan kawasan pabrik pengolahan barang tambang (*Plant Site*). Sedangkan semakin menuju kelas tertinggi (nilai mendekati 1), tutupan lahannya berupa vegetasi dengan tingkat kerapatan tinggi (*dense vegetation*) (lihat gambar 5.1).



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.1 Kerapatan Vegetasi Wilayah Penelitian



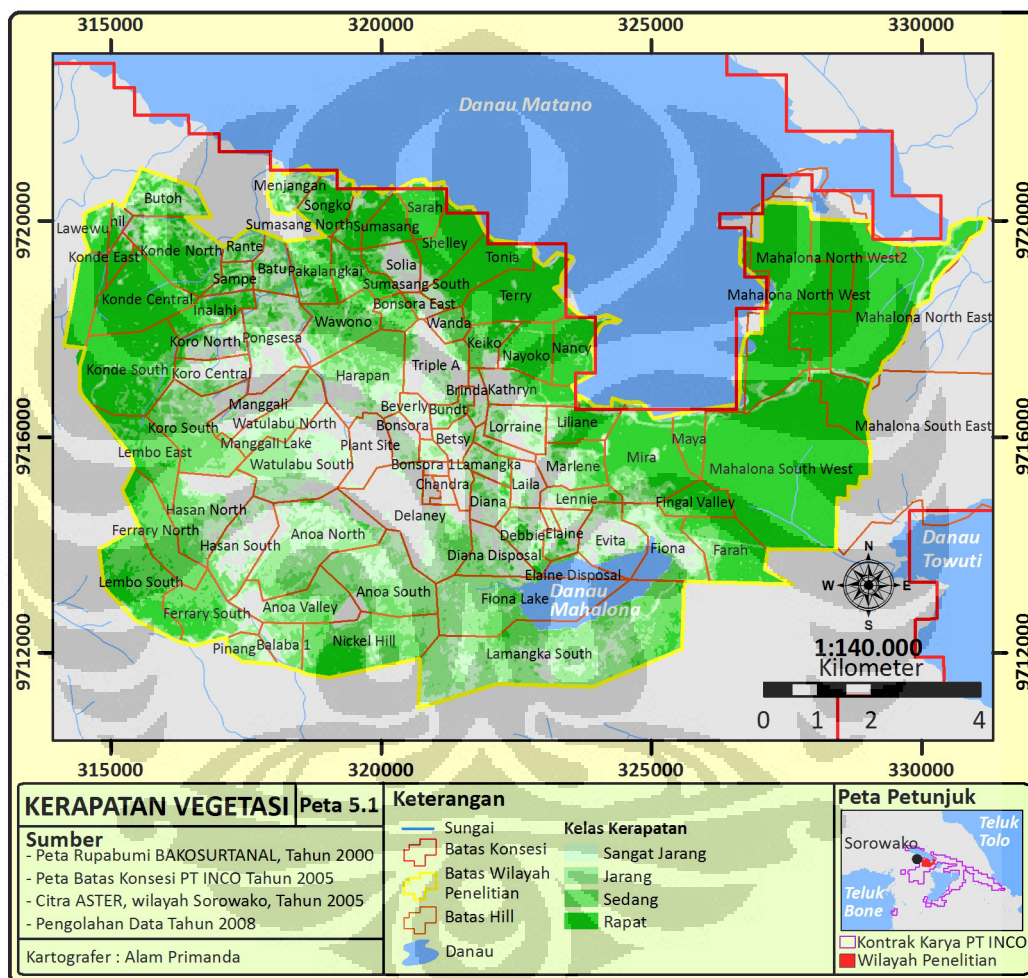
Gambar 5.1 Kondisi kerapatan vegetasi sangat jarang di *hill Plant Site* (kiri) dan rapat di sekitar Salonsa (kanan) (Primanda, 2008)

Berdasarkan grafik 5.1, kerapatan vegetasi pada wilayah penelitian memiliki distribusi yang cukup merata dari sisi luas wilayah, terkecuali di kondisi vegetasi rapat. Kerapatan vegetasi terbesar terdapat pada kelas sedang, yaitu 3729,04 hektar atau 37,24% dari total luas wilayah; kemudian diikuti oleh jarang, sangat jarang, dan rapat. Sebaran dari kerapatan vegetasi sedang sebagian besar terdapat di tepi wilayah pertambangan, meliputi sisi Selatan danau Matano (*hill Mira, Liliane, Maya*) dan bagian Barat wilayah penelitian, memanjang dari *hill Konde Central* hingga sebagian besar *Ferary South*.

Kelas kerapatan jarang dan sangat jarang umumnya berada di bagian tengah dan beberapa tersebar di sisi Barat Laut serta Selatan wilayah penelitian. Luas wilayahnya mencapai 3208,34 hektar dan 2935,44 hektar, dimana tutupan lahan pada wilayah ini merupakan areal tambang yang memasuki tahap eksploitasi atau merupakan lokasi pengolahan nikel laterit dan wilayah yang sudah selesai dilakukan kegiatan penambangan (*main out*). Beberapa wilayah yang termasuk ke dalam tipe kerapatan vegetasi ini antara lain *hill Triple A, Bonsora, Plant Site, Clara, Lamangka, Koro (North dan South), Solia, dan Pinang*.

Kelas kerapatan vegetasi rapat tersebar di sisi Barat Laut danau Matano, luas wilayahnya hanya 141,08 hektar atau 1,41% dari keseluruhan. Sebagian besar tipe kerapatan ini terdapat di pinggir danau Matano, seperti *hill Terry, Tonia, Shelley, Sarah dan Sumasang*. Beberapa wilayah pinggiran di sisi Timur, antara lain Mahalona dan sebagian *hill Farah* juga bervegetasi rapat.

Seperti yang terlihat pada peta 5.1, dari hasil pencitraan terungkap bahwa pola sebaran kerapatan vegetasi yang terbentuk, yaitu semakin ke arah tengah, kerapatan akan semakin berkurang. Terbentuknya pola tersebut dikarenakan, pada bagian tengah umumnya areal pengolahan nikel laterit dan tambang yang sudah memasuki tahap eksploitasi atau sudah selesai ditambang, sedangkan pada sisi pinggir merupakan areal yang belum dilakukan penambangan.



Peta 5.1. Kerapatan Vegetasi

5.2 Sebaran Mineral Permukaan Nikel Laterit

Analisis *defoliant technique* atau DPC dalam memetakan mineral permukaan deposit nikel laterit dilakukan dengan mengidentifikasi keberadaan mineral hematite, goethite, dan chlorite.

Untuk mineral hematite dan goethite digunakan rasio saluran 1:2 dan 4:3, seperti yang terdapat pada tabel 5.1. Nilai DPC2 memperlihatkan perbedaan antara zona yang mengandung hematite dan goethite dengan vegetasi. Sedangkan DPC1 menggambarkan zona dimana respon spektral antara vegetasi, Hematite, dan goethite tidak dapat dibedakan, hal tersebut dapat dilihat dari nilai positif di kedua input nilai rasio saluran. Oleh karena itu DPC1 yang akan digunakan untuk mengekstrak keberadaan hematite dan goethite.

Tabel 5.1. Analisis *Directed Principal Component* dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral Hematite dan goethite melalui *Software Defoliant Technique*.

Principal Component	Eigenvector	
	saluran 1/saluran 2	Saluran 3/saluran 4
DPC 1	0.022339	0.999750
DPC 2	0.999750	-0.022339

Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Sedangkan mineral chlorite menggunakan rasio 4:2 dan 3:6 (lihat tabel 5.2), dimana 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 5.2. Analisis *Directed Principal Component* dari rasio saluran citra ASTER untuk mendeteksi mineral chlorite melalui *Software Defoliant Technique*.

Principal Component	Eigenvector	
	saluran 4/saluran 2	Saluran 3/saluran 6
DPC 1	0.004799	0.999988
DPC 2	0.999988	-0.004799

Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Untuk mendapatkan sampel antara daerah yang mengandung dan tidak mengandung nikel laterit, diekstraksi *training sample* piksel dari wilayah yang sudah diketahui terdapat deposit nikel laterit, yaitu berasal dari data pengeboran. Hal ini bertujuan agar dapat diketahui probabilitas setiap piksel secara statistik

apakah akan digolongkan ke dalam mineral atau non mineral. Metode statistik yang digunakan adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan pendekatan *maximum likelihood* (Carranza, 2001 dan Rojas, 2003). Adapun jumlah piksel yang dijadikan acuan berjumlah 117 dan 236 piksel masing-masing untuk hematite, goethite, dan chlorite yang diambil secara acak (*random*) (lihat Tabel 5.3 dan 5.4).

Tabel 5.3. Analisis statistik *kappa* untuk mengetahui tingkat akurasi dari klasifikasi mineral Hematite dan Goethite melalui *Software Defoliant Technique*.

Nama Kelas	Jumlah Sampel (piksel)	Hematite & Goethite	Non Hematite & Goethite
Hematite & Goethite	117	117	0
Non Hematite	2770	0	2770
Total	2887	117	2770
Akurasi Tingkat Kepercayaan (2887/2887) = 100%			
Nilai Statistik Kappa = 100%			
Kappa Varian = 0.00000			

Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Tabel 5.4. Analisis statistik *kappa* untuk mengetahui tingkat akurasi dari klasifikasi mineral Chlorite melalui *Software Defoliant Technique*.

Nama Kelas	Jumlah Sampel (piksel)	Chlorite	Non Chlorite
Chlorite	236	236	0
Non Hematite	19465	52	19413
Total	19701	228	19413
Akurasi Tingkat Kepercayaan (19649/19701) = 99,72%			
Nilai Statistik Kappa = 89.9%			
Kappa Varian = 0.000192			

Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari klasifikasi digunakan metode *classification error matrix* dengan parameter *Kappa/KHAT Statistic*. Berdasarkan hasil klasifikasi dapat diketahui bahwa tingkat akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dari mineral hematite dan goethite mencapai 100%, artinya dari 117 piksel yang ditetapkan sebagai hematite dan goethite, keseluruhannya merupakan hematite dan goethite. Adapun nilai Kappa adalah 1 atau 100%, rentang nilai tersebut mengindikasikan bahwa antara hasil klasifikasi dengan *ground truth* sangat cocok.

Sedangkan untuk mineral chlorite *overall accuracy* yang diperoleh sebesar 99,72% dan nilai kappa sebesar 89.9% atau 0,89. Lebih rendahnya nilai akurasi dari mineral chlorite dikarenakan terdapat 52 piksel dari *training sample* non chlorite yang tidak tepat. Sehingga mengakibatkan akurasinya berkurang.

Dari perhitungan kappa dapat diketahui bahwa tingkat akurasi dari proses klasifikasi tergolong tinggi, baik pada mineral hematite, goethite dan chlorite. Hal ini dapat terlihat dari akurasi tingkat kepercayaan dan nilai Kappa yang mendekati 100%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa, hasil klasifikasi tidak mengalami bias pada wilayah yang teridentifikasi mengandung mineral ataupun tidak.

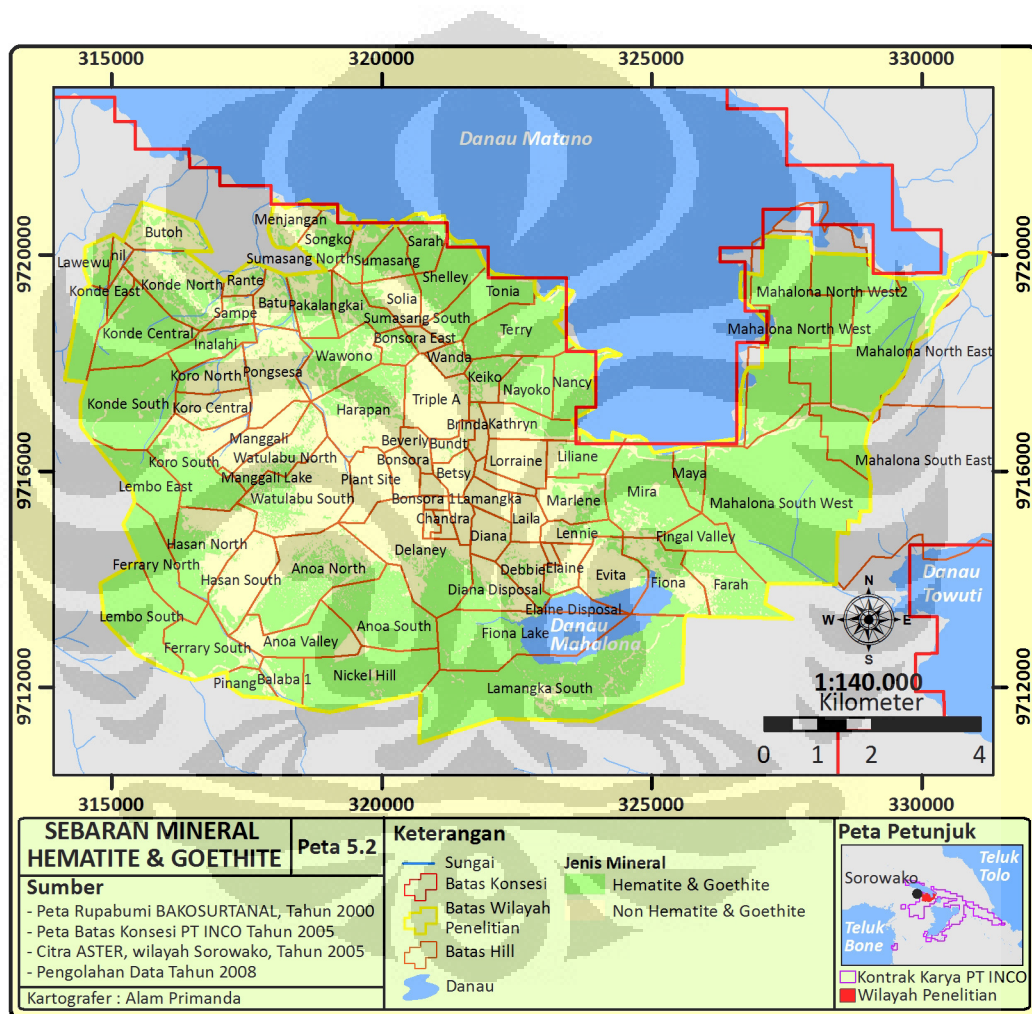
Secara keseluruhan total wilayah yang teridentifikasi mengandung mineral hematite dan goethite yaitu 6842.221 hektar, sedangkan chlorite 5469,151 hektar. Beberapa zona yang teridentifikasi oleh metode ini meliputi daerah yang belum dilakukan penambangan, sedang dilakukan proses penambangan, ataupun sudah tidak ditambang, dan lokasi pengolahan barang tambang. Daerah yang belum dan sedang dilakukan penambangan terdapat dibagian Timur dan Barat wilayah penelitian, antara lain Mahalona, Konde *South*, Lembo, Shelley, Tonia, Terry, dan Nancy.

Daerah yang sudah ditambang antara lain *hill* Triple A, Wanda, dan Solia tidak dideteksi sebagai zona yang mengandung deposit mineral permukaan oleh ASTER, hal ini diperkirakan karena pada daerah tersebut mineral permukaan penciri (hematite, goethite, dan chlorite) sudah tidak ditemukan, melainkan tinggal tersisa batuan induk (olivine). Setelah dilakukan peninjauan lapangan, diketahui bahwa pencitraan ini sesuai dengan kondisi faktual di lapangan sekarang yang sudah selesai dilakukan penambangan.

Kemudian berdasarkan hasil pengukuran bobot antara mineral hematite, goethite, dan chlorite terhadap keberadaan deposit nikel laterit, dapat diketahui bahwa ketiga mineral penciri memiliki hubungan yang positif terhadap deposit mineral nikel laterit, dimana daerah yang diidentifikasi mengandung endapan nikel laterit oleh ASTER lebih dari separuhnya atau sekitar 87,45% sesuai dengan data kejadian nikel laterit. Hal ini menunjukkan bahwa pencitraan ASTER terhadap deposit nikel laterit melalui mineral penciri hematite, goethite, dan chlorite memiliki kemampuan yang tergolong baik. Selain itu dari interpretasi

citra ASTER terlihat bahwa mineral hematite dan goethite memiliki hubungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan chlorite (lihat tabel 5.5 dan grafik).

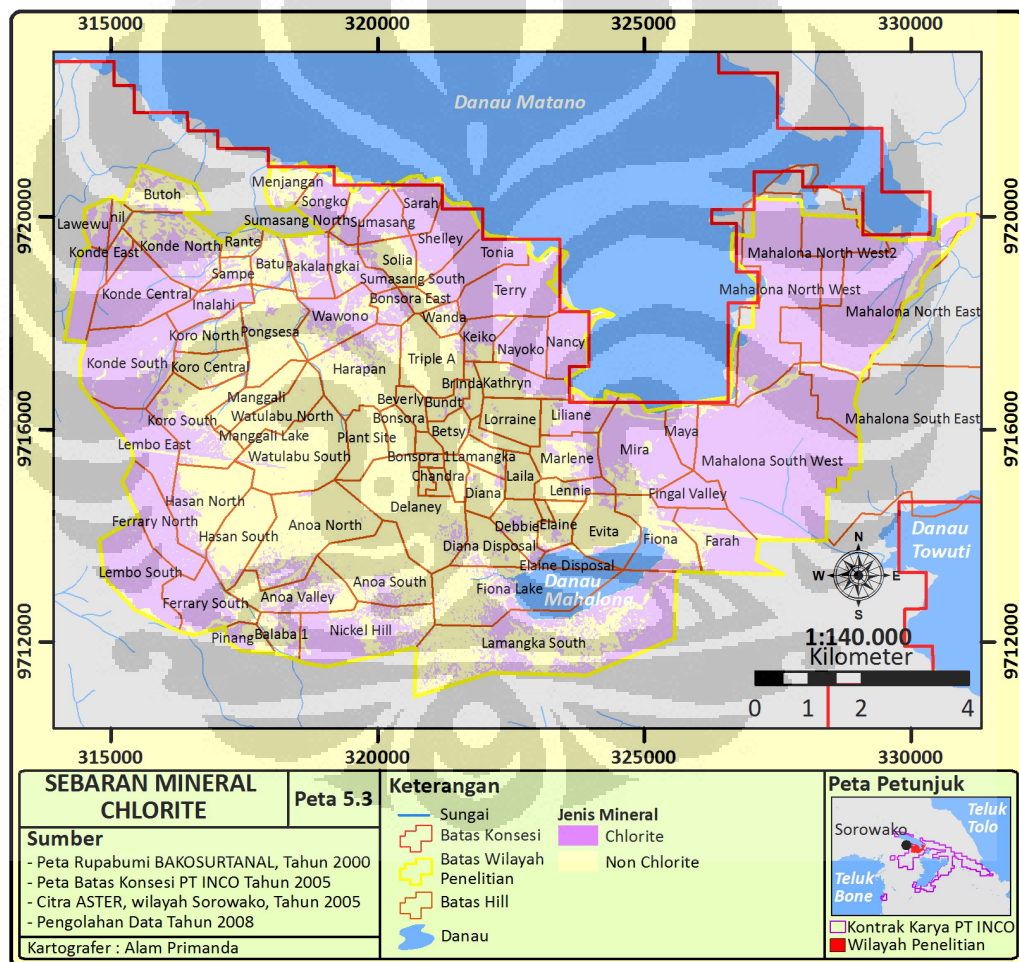
Adapun sebagian besar distribusi dari mineral hematite, goethite, dan chlorite, seperti yang terdapat pada peta 5.2 dan 5.3 terdapat di bagian pinggir wilayah penelitian, dikarenakan pada wilayah tersebut umumnya belum dan sedang dilakukan penambangan, sehingga keberadaan mineral-mineral penciri relatif lebih mudah ditemukan dibandingkan di bagian tengah (lihat gambar 5.2).



Peta 5.2. Sebaran Mineral Hematite dan Goethite

Selain itu perbedaan luas sebaran mineral hematite dan goethite dibandingkan dengan chlorite dipermukaan berdasarkan hasil interpretasi sesuai dengan kondisi faktual di lapangan dan beberapa literatur sebelumnya, bahwa sebaran mineral chlorite (clay) di wilayah penelitian relatif lebih sedikit

dibandingkan dengan hematite dan goethite (lihat grafik 5.2). Hal ini terjadi karena karakteristik deposit nikel laterit di Sorowako merupakan tipe *oxide*, berbeda dengan wilayah Australia yang bertipe clay (Golightly, 1979; Elias, 2001). Perbedaan ini tidak terlepas dari faktor pembentukannya. Letak Sorowako di wilayah tropis, dimana 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.

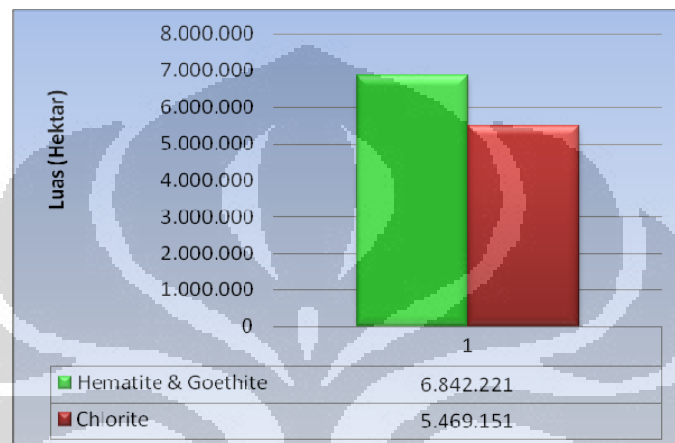


Peta 5.3. Sebaran Mineral Chlorite

Tabel 5.5 Hubungan antara Citra ASTER dengan Titik Deposit Nikel Laterit

Mineral Petunjuk	Luas Wilayah (Km ²)	Titik Kejadian	W+	W-	Contrast (C)
Chlorite	68,4222	1786	0,4364	-1,2546	1,6911
Hematite & Goethite	54,6952	1540	0,5608	-0,8447	1,4055

Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008

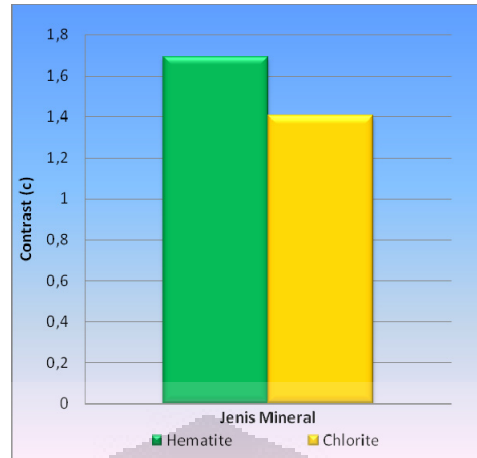


Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.2 Luas mineral permukaan hematite, goethite, dan chlorite di wilayah penelitian



Gambar 5.2. Daerah tidak mengandung mineral hematite, goethite, dan chlorite di *hill* Plant Site (kiri), dan daerah mengandung mineral hematite, goethite, chlorite di *hill* Inalahi (kanan) (Primanda, 2008)



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.3. Hubungan Interpretasi Citra ASTER dengan Deposit Nikel Laterit

5.3 Asosiasi Antara Batuan Induk dengan Deposit Nikel Laterit

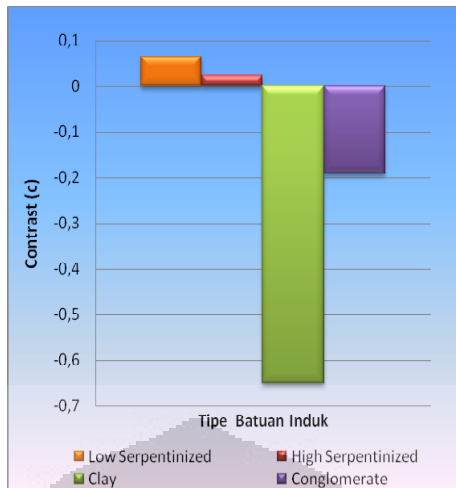
Hasil perhitungan asosiasi antara batuan induk dengan deposit nikel laterit digambarkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Asosiasi antara Batuan Induk dengan Titik Deposit Nikel Laterit

Jenis Batuan	Luas Wilayah (Km ²)	Titik Kejadian	W+	W-	Contrast (C)
Low Serpentinized	50,6034	999	0,0333	-0,031	0,0642
High Serpentinized	48,5291	944	0,0127	-0,0108	0,0235
Clay	3,1463	37	-0,6337	0,0165	-0,6502
Conglomerate	3,4526	58	-0,1857	0,006	-0,1917

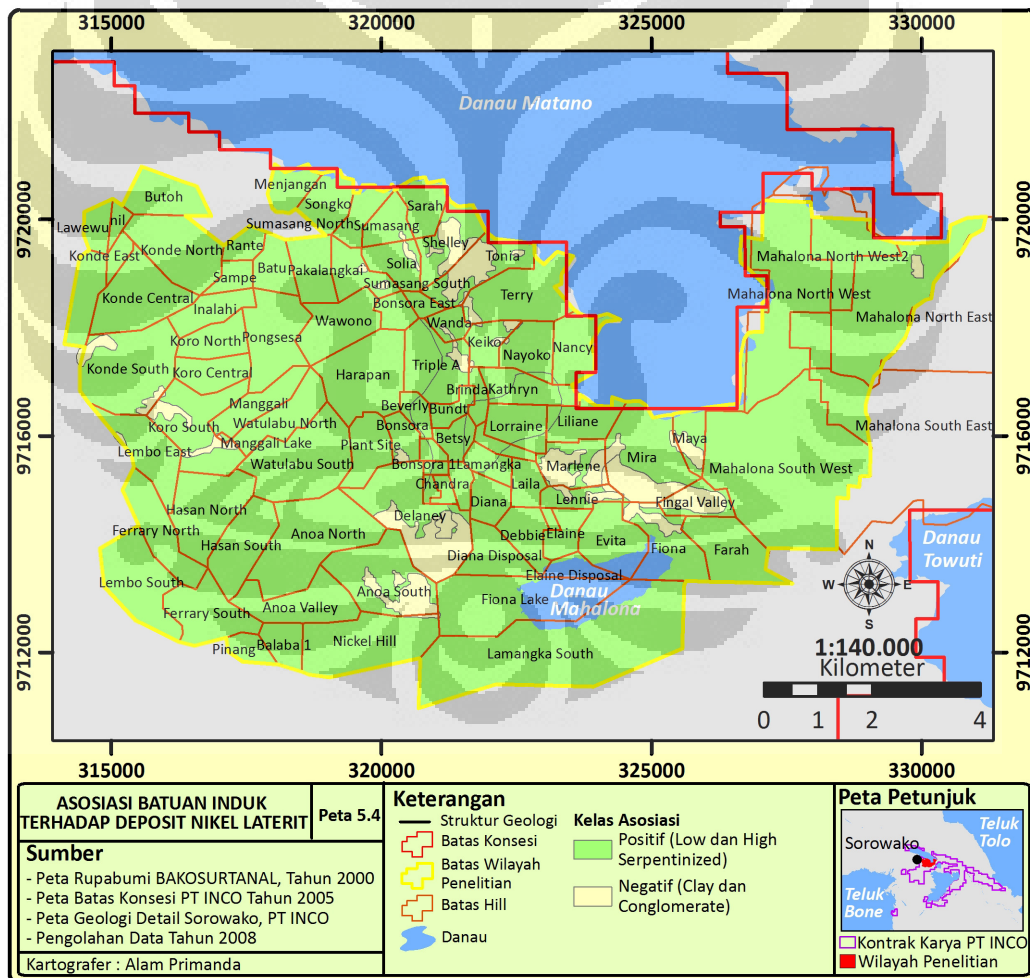
Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa terdapat dua jenis batuan induk yang berasosiasi positif atau memiliki kedekatan hubungan kuat dengan deposit nikel laterit, yaitu *low serpentinized* dan *high serpentinized*, hal ini ditunjukkan dengan nilai *contrast* positif dibandingkan dengan clay dan conglomerate yang bernilai negatif. Kemudian dari dua batuan induk yang memiliki asosiasi positif, jenis *low serpentinized* mempunyai nilai terbesar terhadap keberadaan deposit nikel laterit,



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.4. Asosiasi Batuan Induk Terhadap Deposit Nikel Laterit



Peta 5.4. Asosiasi Batuan Induk Terhadap Deposit Nikel Laterit

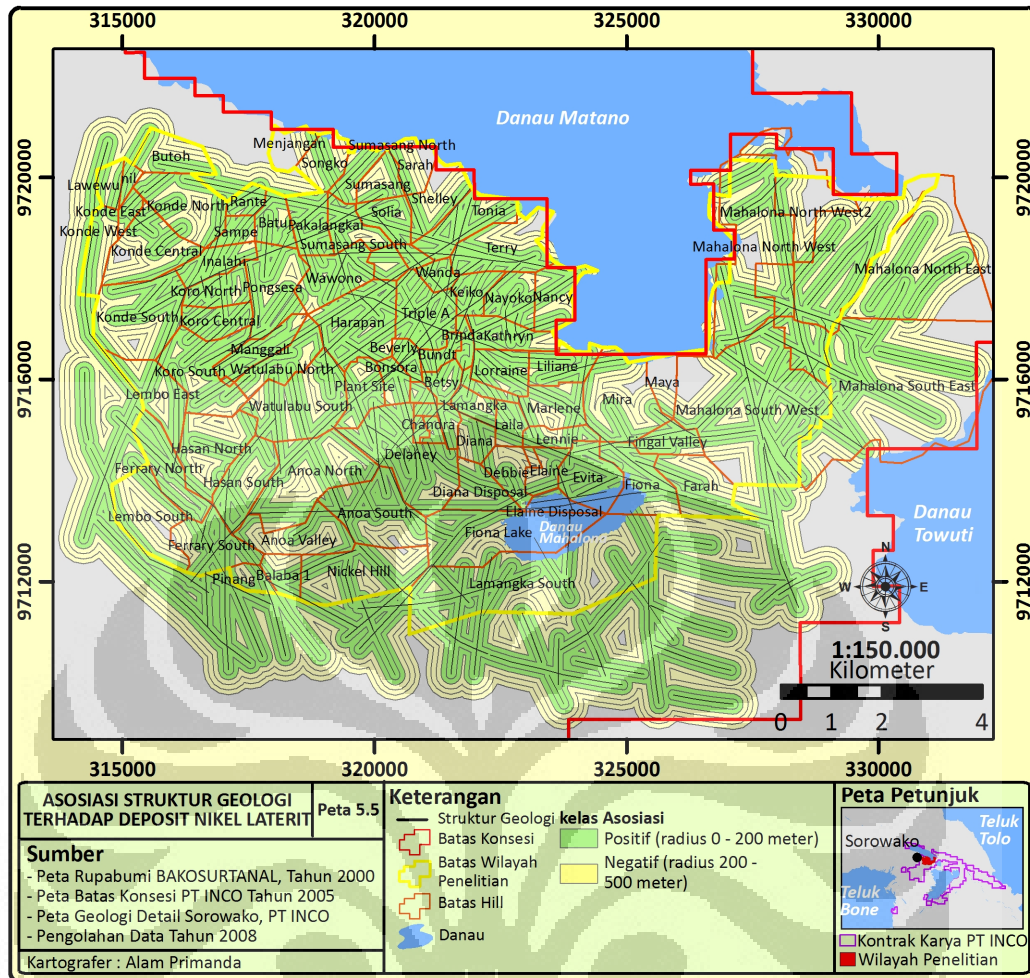
Asosiasi positif pada jenis batuan *low serpentized* dan *high serpentized* serta lebih tingginya signifikansi batuan induk jenis *low serpentized* terhadap deposit nikel laterit jika diverifikasi dengan data lapangan dapat dikatakan sesuai. Hal ini dikarenakan batuan induk *low serpentized* memiliki kandungan Ni dalam olivine yang lebih tinggi, dibandingkan dengan *high serpentized*. Munculnya perbedaan ini terkait dengan mineral-mineral penyusunnya yang berbeda, dimana pada *low serpentized* atau wilayah Barat (*west block*) batuan didominasi oleh harzburgit dengan beberapa batuan dunit kaya olivine yang umumnya tidak terserpentinisasi atau sedikit terserpentinisasi. Sedangkan pada *high serpentized* atau wilayah *east block* didominasi oleh lherzolit dengan kandungan olivine yang rendah dan orthopiroksen maupun klinopiroksen yang terserpentinisasi.

Diperkirakan adanya serpentinisasi inilah yang menyebabkan perbedaan kandungan Ni pada deposit nikel laterit, kondisi ini terjadi disebabkan pada proses serpentinisasi terjadi penambahan Si, Mg, dan H₂O yang mengakibatkan kandungan Ni berkurang.

Distribusi batuan *high serpentized* dan *low serpentized* pada wilayah penelitian dapat dibedakan dengan jelas, jenis *high serpentized* sebagian besar terdapat di sisi Barat wilayah penelitian, sedangkan *low serpentized* di sisi Timur wilayah penelitian (lihat peta 4.3).

5.4 Asosiasi Antara Struktur Geologi dengan Deposit Nikel Laterit

Untuk menganalisis asosiasi antara struktur geologi dengan deposit nikel laterit, dibuat radius atau jangkauan (*buffer*) struktur geologi hingga 500 meter. Berdasarkan perhitungan analisis asosiasi pada tabel 5.7 dan grafik 5.5 dapat diketahui bahwa, pada radius 0 sampai 200 meter struktur geologi memiliki asosiasi yang positif terhadap keberadaan deposit nikel laterit. Sedangkan jarak lebih dari 200 meter memiliki asosiasi yang negatif terhadap deposit nikel laterit (lihat peta 5.5).

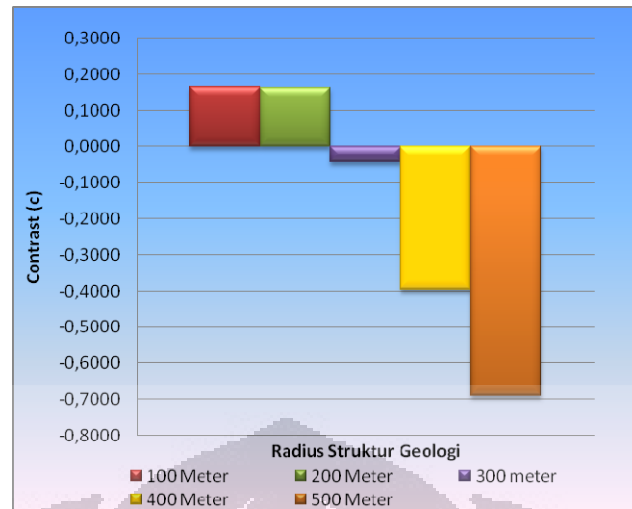


Peta 5.5. Asosiasi Struktur Geologi Terhadap Deposit Nikel Laterit

Tabel 5.7 Asosiasi antara Struktur Geologi dengan Titik Deposit Nikel Laterit

Radius (meter)	Luas Wilayah (Km ²)	Titik Kejadian	W+	W-	Contrast (C)
100	62,4482	760	0,0966	-0,0681	0,1646
200	42,1677	524	0,1181	-0,0464	0,1645
300	25,5417	273	-0,0371	0,0070	-0,0441
400	16,4207	128	-0,3602	0,0347	-0,3949
500	11,6207	68	-0,6519	0,0378	-0,6897

Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.5. Asosiasi Struktur Geologi dengan Deposit Nikel Laterit

Penggunaan struktur geologi sebagai penciri keberadaan deposit nikel laterit didasarkan bahwa secara teoritis proses pengendapan nikel laterit dipengaruhi oleh struktur geologi. Oleh karena itu setelah batuan induk dan iklim, struktur merupakan faktor yang berpengaruh terhadap proses pelapukan dan proses konsentrasi endapan.

Besarnya nilai asosiasi struktur geologi pada jarak kurang dari 100 meter terhadap deposit nikel laterit dapat dikatakan sesuai dengan kondisi faktual lapangan. Pada pelapukan kimiawi, kecepatan proses melarutkan material merupakan hal yang sangat penting, dengan adanya struktur geologi seperti patahan dan kekar (*joint*) akan semakin memudahkan air untuk terperkolasi, memecah (*breakdown*) struktur asli mineral, dan menghilangkan material terlarut. Setelah terlarut, material akan mencari tempat yang lebih landai untuk mengakumulasi hasil larutan. Nilai asosiasi yang semakin positif pada jarak yang dekat dengan struktur geologi dikarenakan material terlarut sebagian besar terjebak atau terakumulasi di rekahan struktur, maka dari itu umumnya setelah mengalami pengayaan deposit nikel banyak berkembang di sekitar rekahan struktur (*garnierit*).

Sedangkan jarak yang jauh dari struktur, nilai asosiasi menjadi negatif, hal ini disebabkan jarang sekali material hasil larutan mencapai jarak tersebut, terkait dengan karakteristik wilayah yang merupakan perbukitan (*rolling hill*). Selain

jarak dari struktur, jumlah struktur geologi juga turut berperan dalam pembentukan deposit mineral. Semakin banyak struktur pada wilayah tersebut, maka proses pelarutan akan lebih cepat dan pengendapan juga akan meningkat. Ini berarti bahwa probabilitas terjadinya deposit mineral nikel laterit menjadi lebih besar. Kondisi demikian dapat terlihat di sisi Barat wilayah penelitian yang dominan terhadap struktur geologi dibandingkan dengan *east block* atau bagian Timur wilayah penelitian (lihat peta 4.3).

5.5 Asosiasi Antara Lereng dengan Deposit Nikel Laterit

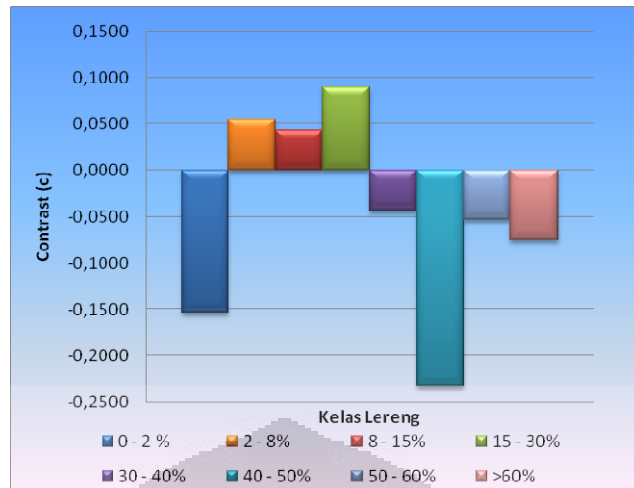
Berdasarkan tabel 5.8 dan grafik 5.6, terlihat bahwa asosiasi lereng dengan keberadaan deposit nikel laterit memiliki korelasi yang positif pada kelas lereng 2 – 30%, dimana asosiasi tertinggi terhadap deposit nikel laterit pada kelas lereng 15 hingga 30%, hal tersebut ditandai oleh nilai *contrast* yang paling tinggi dibandingkan dengan kelas lereng lainnya. Sedangkan pada kelas lereng di bawah 2% dan di atas 30% tidak terdapat asosiasi terhadap deposit nikel laterit.

Dari perhitungan tersebut terlihat bahwa lereng yang terlampau landai dan curam tidak berasosiasi dengan keberadaan deposit nikel laterit. Jika diverifikasi dengan kondisi faktual di lapangan, pada wilayah batuan ultramafik dengan kandungan deposit nikel laterit yang baik (ekonomis) sebagian besar terdapat pada morfologi *rolling hill*, seperti di sisi Barat wilayah penelitian, antara lain wilayah *hill* Konde, Koro, dan watulabu (Lihat Peta 5.6 dan 5.7).

Tabel 5.8 Asosiasi antara Lereng dengan Titik Deposit Nikel Laterit

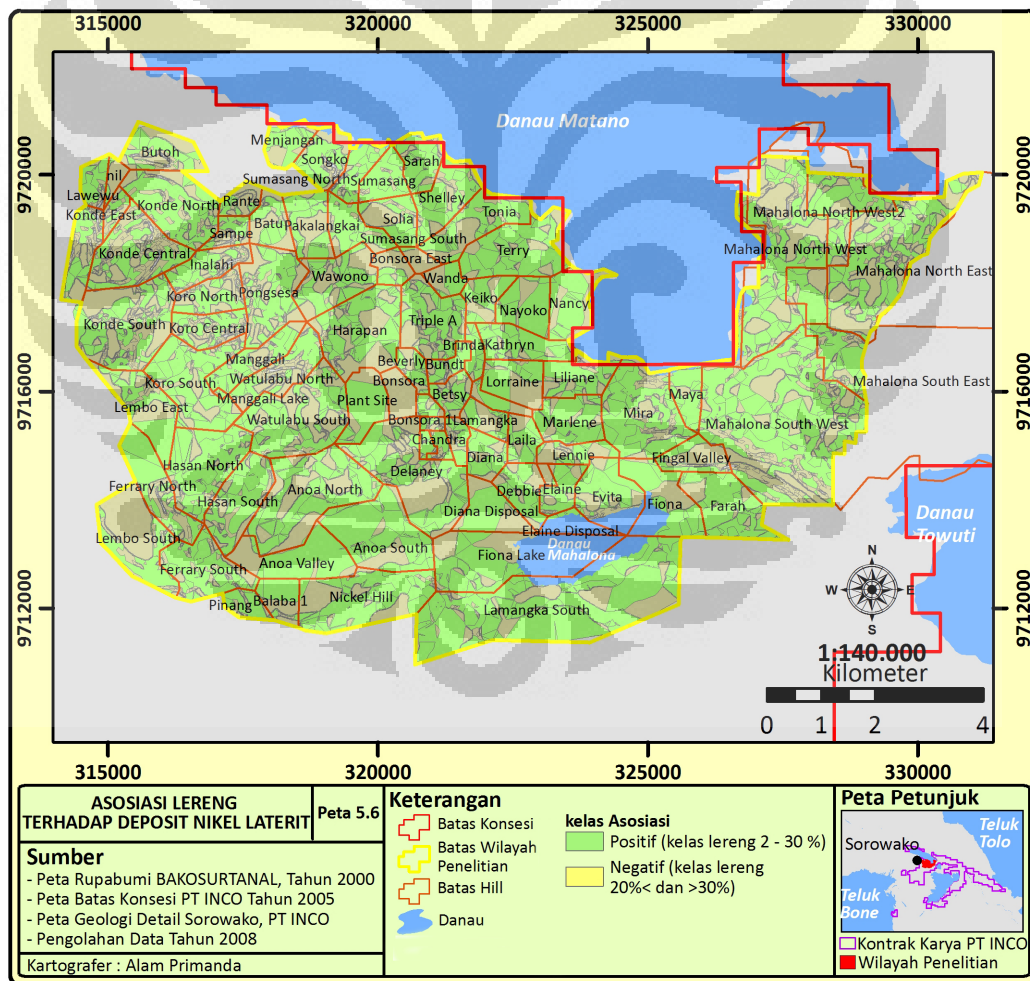
Kelas Lereng (%)	Luas Wilayah (Km2)	Titik Kejadian	W+	W-	Contrast (C)
0 – 2	25,6481	399	-0,1180	0,0358	-0,1539
2 – 8	17,1395	312	0,0460	-0,0093	0,0553
8 – 15	24,7556	445	0,0328	-0,0104	0,0432
15 – 30	28,7173	532	0,0644	-0,0254	0,0898
30 – 40	5,3151	89	-0,0413	0,0022	-0,0435
40 – 50	1,9303	27	-0,2284	0,0039	-0,2323
50 – 60	0,6639	11	-0,0523	0,0003	-0,0526
>60	0,246	4	-0,0756	0,0002	-0,0757

Sumber : Pengolahan Data Tahun 2008



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

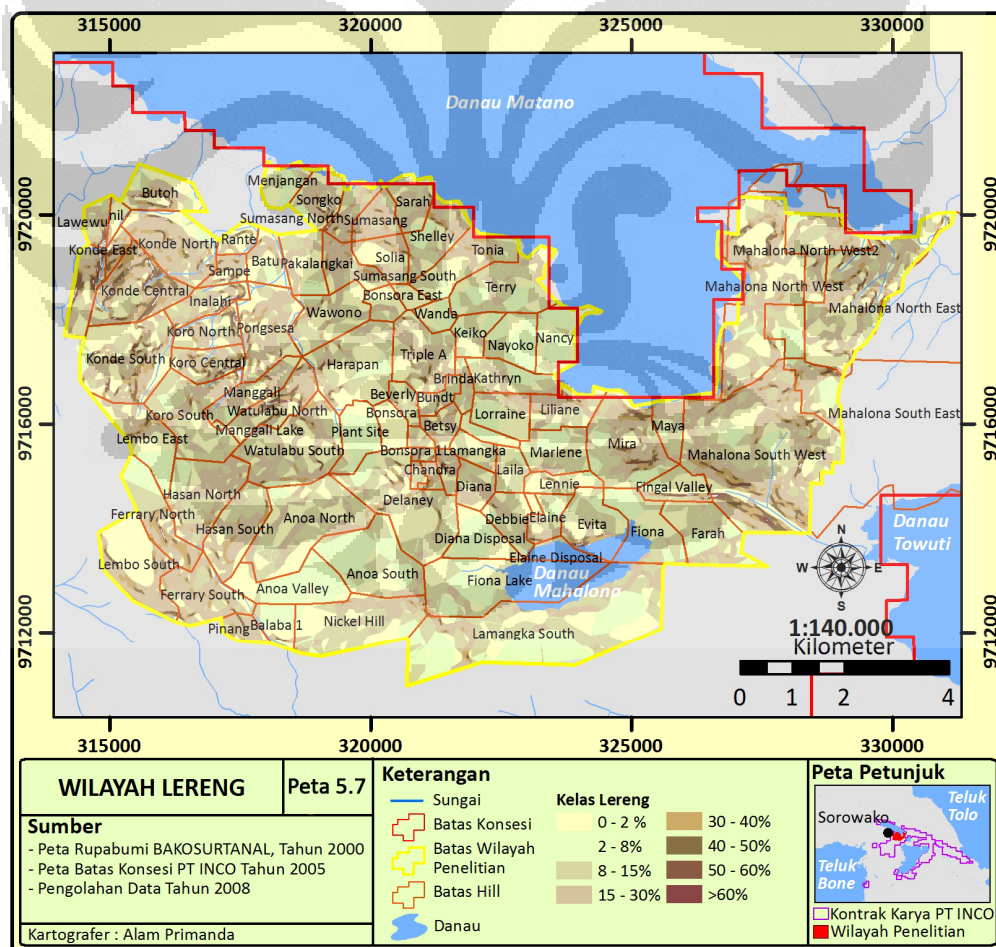
Grafik 5.6. Asosiasi Spasial Lereng dengan Deposit Nikel Laterit



Peta 5.6. Asosiasi Lereng Terhadap Deposit Nikel Laterit

Selain itu hasil perhitungan juga sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Golightly (1979) dan Ahmad (2006), bahwa topografi (lereng) memiliki peran penting terhadap perkembangan deposit nikel laterit. Sebab pada proses pengayaan nikel laterit, air yang membawa material terlarut akan sangat berperan, dan pergerakan ini dikontrol oleh topografi.

Pada daerah dengan lereng sedang, proses pengayaan umumnya berjalan dengan baik karena *run off* tidak terlalu besar dan air mampu terpenetrasi ke dalam tanah, dengan demikian terdapat waktu untuk proses pengayaan, sehingga *ore* yang terbentuk akan tebal dan ekonomis. Berbeda dengan lereng yang terlampau datar, deposit mineral akan terbentuk tebal, akan tetapi drainase kurang baik. Sehingga proses laterisasi tidak dapat berjalan sempurna dan deposit mineral yang dihasilkan tidak ekonomis.



Peta 5.6. Wilayah Lereng

5.6 Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit

Untuk mendapatkan sebaran potensi deposit nikel laterit dilakukan integrasi keseluruhan variabel melalui pembobotan yang diperoleh dari hasil pengolahan data.

Tabel 5.9 Matriks Potensi Deposit Nikel Laterit

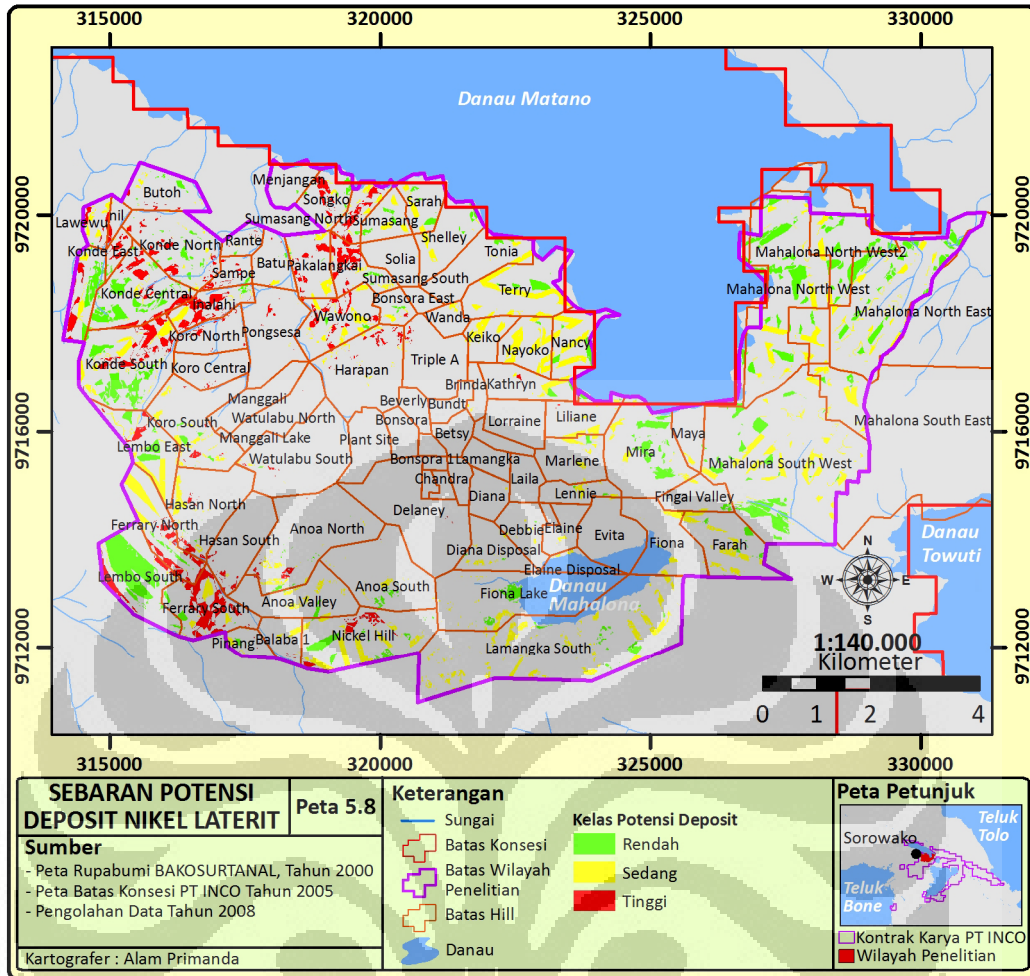
Kelas Potensi	Batuan Induk	Lereng (%)	Struktur Geologi (<i>buffer</i>) (m)	Mineral Permukaan
Tinggi	Low Serpentinized	15 – 30	100	Hematite, Goethite, dan Chlorite
Sedang	Low Serpentinized dan High Serpentinized	2 – 15	200	Hematite, Goethite, dan Chlorite
Rendah	Low Serpentinized dan High Serpentinized	<2 dan >30	>200	Hematite, Goethite, dan Chlorite

Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Berdasarkan hasil perhitungan, sebaran potensi deposit nikel laterit dibagi ke dalam tiga kelas, yaitu tinggi, sedang, dan rendah (lihat tabel 5.9). Dari ketiga kelas tersebut, kelas potensi tinggi memiliki kisaran luas terkecil, yaitu sebesar 266,538 hektar atau 21,72% yang tersebar di tepi Barat wilayah penelitian, antara lain *hill* Nickel, Ferrary *South*, Lembo *South*, Hasan *South* dan *North*, Koro, Konde, Inalahi, Sumasang, dan Wawono (lihat gambar 5.2).

Kelas sedang memiliki persentasi terbesar, yaitu 42,22% yang tersebar merata di tepi sebelah Barat (*hill* Ferrary *North*, dan Inalahi), tengah (*hill* Wawono, Nickel, dan Anoa *South*), dan sebagian besar terakumulasi di sisi Timur wilayah penelitian, seperti di *hill* Mahalona, Farah, Nayoko, dan Nancy. Adapun total luas dari kelas sedang secara keseluruhan mencapai 523,720 hektar.

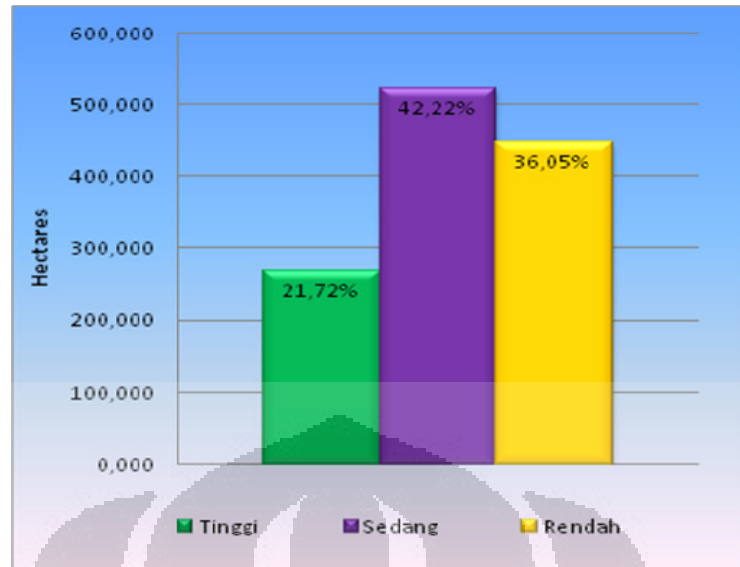
Kelas terakhir, yaitu rendah, memiliki luasan 447,190 hektar atau 36,05% dari total area yang berpotensi, cakupannya merata di bagian pinggir sebelah Barat (*hill* Lembo *South*, Konde, Butoh, dan Rante), Timur (*hill* Mahalona, Mira, dan Farah), dan sisi Selatan danau Matano (*hill* Sarah, Terry, dan Nancy) (Lihat Peta 5.8 dan grafik 5.7).



Peta 5.8. Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit



Gambar 5.3. Wilayah berpotensi nikel laterit tinggi di *hill* Konde (kiri) dan potensi sedang di *hill* Evita (kanan) (primanda, 2008)



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.7. Luas Potensi Deposit Nikel Laterit

Dari ketiga kelas potensi deposit nikel laterit di atas, kelas potensi tinggi secara umum tersebar pada wilayah yang memiliki karakteristik fisik yang memiliki asosiasi terbesar dari hasil perhitungan, yaitu pada batuan induk *low serpentized* dengan kelas lereng 15 – 30%, berada pada radius 100 meter dari struktur geologi, dan ditemukan adanya mineral permukaan hematite, goethite, dan chlorite.

Kelas potensi sedang terdapat di wilayah yang memiliki karakteristik batuan induk *low serpentized* dan *high serpentized*, dengan kelas lereng 2 hingga 15 persen, radius dari struktur geologi berjarak 100 – 200 meter, dan ditemukan adanya mineral permukaan hematite, goethite dan chlorite.

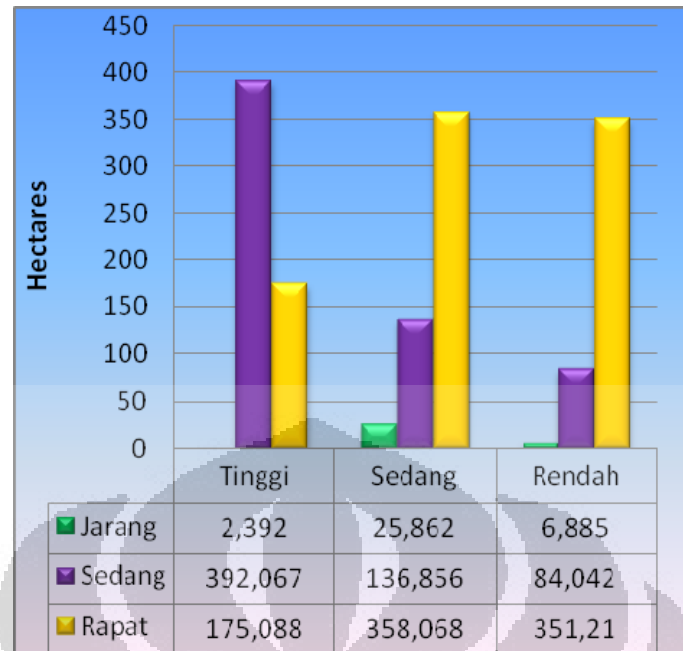
Kelas potensi terakhir dicirikan oleh batuan induk *low serpentized* dan *high serpentized*, kelas lereng di bawah 2 persen dan di atas 30 persen, berada pada radius 300 meter ke atas dari struktur geologi, dan disertai adanya mineral permukaan hematite, goethite, dan chlorite.

Sedangkan wilayah yang tergolong ke dalam tidak berpotensi ditunjukkan oleh batuan induk clay dan conglomerate. Masuknya karakteristik fisik tersebut ke wilayah tidak berpotensi dikarenakan batuan induk clay dan conglomerat secara kimiawi ketika melapuk tidak akan menghasilkan mineral lapukan yang

mendukung terbentuknya deposit nikel laterit. Sehingga meskipun karakteristik lainnya mendukung bagi terbentuknya deposit, seperti lereng, struktur geologi, dan sebaran mineral permukaan; tetap tidak akan terbentuk deposit nikel laterit, Contoh dari sebaran wilayah ini terdapat di bagian tengah wilayah penelitian (*hill Delaney*), Utara (*hill Tonia dan Shelley*), Timur (sisi Selatan *hill Mira* dan sebagian wilayah *Fingal Valley*), dan Barat (*hill Koro South, Konde South, dan Manggali Lake*) (lihat gambar 5.2).

Selain itu wilayah tidak berpotensi juga termasuk daerah dengan karakteristik fisik yang mendukung namun berdasarkan hasil pencitraan tidak terdapat sebaran mineral permukaan. Hal ini dikarenakan daerah tersebut sudah selesai dilakukan penambangan atau merupakan pabrik pengolahan dari barang tambang. Wilayah dengan kategori berikut secara umum tersebar di bagian tengah wilayah penelitian, antara lain mencakup *hill Plant Site* Bonsora, Betsy, Lamangka, Disposal, Diana, Chandra, Clara *East*, Laila, dan lain-lain. Setelah dilakukan survey lapang hasil dari *modelling* menunjukkan kesesuaian dengan fakta yang ada, wilayah tersebut memang merupakan lokasi pengolahan barang tambang atau merupakan daerah yang sudah selesai dilakukan penambangan, contohnya di *hill Plant Site* dan Bonsora yang merupakan pusat pengolahan serta *hill* sekitar Lamangka South yang merupakan daerah yang sudah selesai ditambang (*main out*).

Kemudian dalam kaitannya dengan kerapatan vegetasi, seperti yang terlihat pada grafik 5.8, sebagian potensi deposit nikel laterit tinggi terdapat pada wilayah yang bervegetasi sedang, yaitu seluas 392.067 hektar, kemudian diikuti oleh kerapatan rapat (175,008 hektar) dan jarang (2.392 hektar). Sebaran dari potensi tinggi dan kerapatan vegetasi sedang antara lain terdapat di Selatan wilayah penelitian (*hill Hasan South dan Ferrary South*) dan Sebelah Utara (*hill Sumasang South dan Songko*). Sedangkan potensi tinggi berkerapatan vegetasi jarang dan rapat masing-masing terdapat di *hill Konde North dan Konde Central*.



Sumber : Pengolahan data tahun 2008

Grafik 5.8. Hubungan Antara Kerapatan Vegetasi dan Potensi Deposit Nikel Laterit (Sumbu aksis “y” menunjukkan kelas kerapatan vegetasi, aksis “x” luas wilayah sebaran, dan data tabular tipe kerapatan vegetasi)

Untuk potensi sedang, kerapatan vegetasi sebagian besar rapat (358,068 hektar), selanjutnya Sedang (136,856 hektar), dan jarang (25,862 hektar). Sebaran dari potensi sedang dengan karakteristik kerapatan vegetasi rapat banyak dijumpai di Timur wilayah penelitian, antara lain (*hill Mahalona Southwest dan Northwest*). Potensi sedang dengan vegetasi jarang dan sedang terdapat di *hill Terry dan Marlene*.

Pada kelas potensi rendah, sebagian vegetasi berkarakteristik rapat (351,21 hektar), sedang (84,042 hektar) dan jarang (6.885 hektar). Adapun sebaran potensi rendah dengan kerapatan tinggi terdapat di sisi Timur wilayah penelitian, seperti *hill Mahalona dan Mira*. Potensi rendah dengan kerapatan vegetasi sedang dijumpai di sisi Selatan wilayah penelitian, mencakup *hill Fiona Lake dan Lembo South*. Sedangkan potensi rendah dengan kerapatan jarang, memanjang di bagian Selatan wilayah penelitian, yaitu dari *hill Lamangka hingga Pinang*.

Dari persebaran tersebut, dapat diketahui bahwa deposit mineral nikel laterit tinggi secara umum terdapat di kerapatan vegetasi sedang. Dimana semakin rendah potensi deposit, terdapat kecenderungan kerapatan vegetasi akan

meningkat menjadi rapat. Secara kualitatif kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan kerapatan vegetasi dapat menjadi indikator bagi keberadaan deposit nikel laterit.



BAB 6 PENUTUP

6.1 Kesimpulan

- 1) Sebaran potensi deposit mineral permukaan nikel laterit memiliki nilai yang tinggi pada jenis batuan induk *low serpentized*, berada pada radius 100 meter dari struktur geologi, kemiringan lereng 15 - 30 persen, dan disertai adanya mineral permukaan hematite, goethite, dan chlorite. Potensi deposit mineral akan semakin rendah apabila jarak dari struktur geologi makin jauh, lereng terlalu landai atau curam, dan memiliki batuan induk *high serpentized*.
- 2) Deposit mineral nikel laterit tinggi secara umum terdapat di kerapatan vegetasi sedang, dimana semakin rendah potensi deposit, terdapat kecenderungan kerapatan vegetasi akan meningkat menjadi rapat. Secara kualitatif kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan deposit nikel laterit dapat diidentifikasi melalui perubahan kerapatan vegetasi.
- 3) Variabel fisik batuan induk, struktur geologi dan lereng memiliki asosiasi positif terhadap keberadaan deposit nikel laterit. Dimana pada batuan induk asosiasi positif terdapat di jenis *low serpentized* dan *high serpentized*, struktur geologi terdapat pada radius 100 – 200 meter, dan lereng di kemiringan 2 – 30 persen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadjie, J. (2003). *Spatial Data Integration for Classification of Stream Sediment Geochemical Anomalies in Masbate Island, The Philippines*. Enschede, The Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Ahmad, W. (2005). *Laterite: Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes and Laterit Information*. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- Ahmad, W. (2006). *Laterite : Mine Geology at* PT. International Nickel Indonesia. Sorowako, South Sulawesi: PT. International Nickel Indonesia.
- Carranza, E.J.M. (1999). *Geologically-Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Philippines*. Delft, The Netherland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Carranza, E.J.M., dan Hale, M. (2000). *Geologically Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Philippines*. Delft, The Netherland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Carranza, E.J.M., dan Hale, M. (2002). *Mineral Imaging With Landsat TM data for Hydrothermal Alteration Mapping in Heavily Vegetated Terrane*. London: International Journal of Remote Sensing.
- Carranza, E.J.M. (2002). *Thesis: Geologically Constrained Probabilistic (Examples from The Philippines)*. Delft, The Netherland: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Carranza, Emmanuel. John. 2004. *Weight of Evidence Modelling of Mineral Potential: A Case Study Using Small Number of Prospect, Abra, Philippines*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). The Netherland
- Carter, Bonham., Agerterbeg, dan Wright, D.F. (1989). *Weight of Evidence Modelling: A New Approach to Mapping Mineral Potential*. Canada: Geological Survey of Canada.

- Dalvi, A.D., Bacon, W.G., dan Osborn, R.C. (2004). *The Past and The Future of Nickel Laterite*. Canada: Inco Limited.
- Debghani, M., dan Gingrierieh, J. (2005). *Alteration Extraction Data for Mineral Exploration*. Iran: Geological Survey of Iran.
- Elias, M. (2001). *Nickel Laterite Deposits – Geological Overview, Resources and Exploitation*. Australia: CSA Australia.
- Golightly, P.J. (1979). *Nikeliferous Laterite: A General Description. International Laterite Symposium*. Canada: Inco Metals Company.
- Gozzard, J.R. (2006). *Image Processing of ASTER Multispectral Data*. Australia: Geological Survey of Western Australia.
- Kalinowski, A., Oliver, S. (2004). *ASTER Mineral Index Processing Manual*. Australia: Remote Sensing Applications Geoscience.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., dan Chipman, J.W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition)*, New York: John Wiley.
- Mulyana, A.K. (2006). *Model Aplikasi Remote Sensing dan Sistem Informasi Geografis, Wilayah Delta Berau Kalimantan Timur : Pengaruh Statistics Enhancement Terhadap Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan dari Band VNIR Citra ASTER*, Cibinong: Badan Koordinasi Survey Dan Pemetaan Nasional.
- Mustaring, M.C. (2006). *Laporan Kerja Praktek Mahasiswa*. Sorowako. Exploration and Mine Development, PT. International Nickel Indonesia, Tbk.
- Purwadhi, S.H. (2001). *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Grasindo.
- Rajesh, H.M., (2004). *Aplication of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping – An Overview*. Australia: University of Queensland.
- Rojas, S.A., 2003. *Predictive Mapping of Massive Sulphide Potential in The Western Part of The Escambray Terrain, Cuba*. Enschede, Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Rowan, L.C., Simpson, C.J., dan Mars, J.C. (2005). Lithologic Mapping of The Mordor, NT, Australia Ultramafic Complex by Using ASTER. *Remote Sensing of Environment Journal*, 99, 105-126

- Raines, G.L., dan Canney, F.C. (1998). *Remote Sensing In Geology*. New York: John Wiley & Sons.
- 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.
- Soe, M., Kyaw, Toe.A., dan Takashima, I. (2006). *Application of Remote Sensing Technique on Iron Oxide Detection from ASTER and Landsat Images of Taninthary Coastal Area, Myanmar*. Japan: Akita University.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., Surono, dan Supandjono, J.B. (1991). *Geology of The Malili Quadrangle, Sulawesi*. Bandung: Directorates of General of Geology and Mineral Resources, Department of Mines and Energy.
- Sukanto, R., (1975). The structure of Sulawesi in the Light of Plate Tectonics. Paper presented in the Regional Conference of Geology and Mineral Resources, Southeast Asia, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia, (1998). *SNI 13-4726-1998 - Klasifikasi Sumber Daya Mineral dan Cadangan*. Indonesia: Penulis
- Ustin, S.L., Smith, M.O., Jacquemoud, S., Verstraete, M.M., dan Govaerts, Y. (1997). *Geobotany – Vegetation Mapping of Earth Sciences*. California: Department of Land, Air, and Water Resources, University of California
- Wang, H., Cai, G., dan Cheng, Q. (2002). *Data Integration Using Weight of Evidence Model: Application in Mapping Mineral Resource Potentials*. Makalah dipresentasikan pada Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa.
- Wijanarko, K.B. (2007). *Skripsi : Kelembaban Tanah di Daerah Ciliwung Hulu*. Depok: Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.