



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN POTENSI EMAS EPITERMAL DI AREAL
EKSPLOITASI PT ANTAM UNIT GEOMIN, Tbk KECAMATAN
NANGGUNG KABUPATEN BOGOR**

SKRIPSI

MUHAMMAD FAEYUMI

0806453900

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGAM STUDI GEOGRAFI

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**SEBARAN POTENSI EMAS EPITERMAL DI AREAL
EKSPLOITASI PT ANTAM UNIT GEOMIN, Tbk KECAMATAN
NANGGUNG KABUPATEN BOGOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

MUHAMMAD FAEYUMI

0806453900

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI GEOGRAFI
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Faeyumi

NPM : 0806453900

Tanda Tangan : 

Tanggal : 2 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Faeyumi
NPM : 0806453900
Program Studi : Geografi
Judul Skripsi : Sebaran Potensi Emas Epitermal di Areal Eksploitasi
PT ANTAM UNIT GEOMIN, Tbk Kecamatan
Nanggung Kabupaten Bogor

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

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Dr.rer.nat Eko Kusratmoko, MS

Pembimbing : Dr. Rakhmatulloh, M. Eng

Pembimbing : Drs. Tjiong Giok Pin, M.Si

Penguji 1 : Dra. Astrid Damayanti Djarir, M.Si

Penguji 2 : Drs. Supriatna, M.T

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 2 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, karunia dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Departemen Geografi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

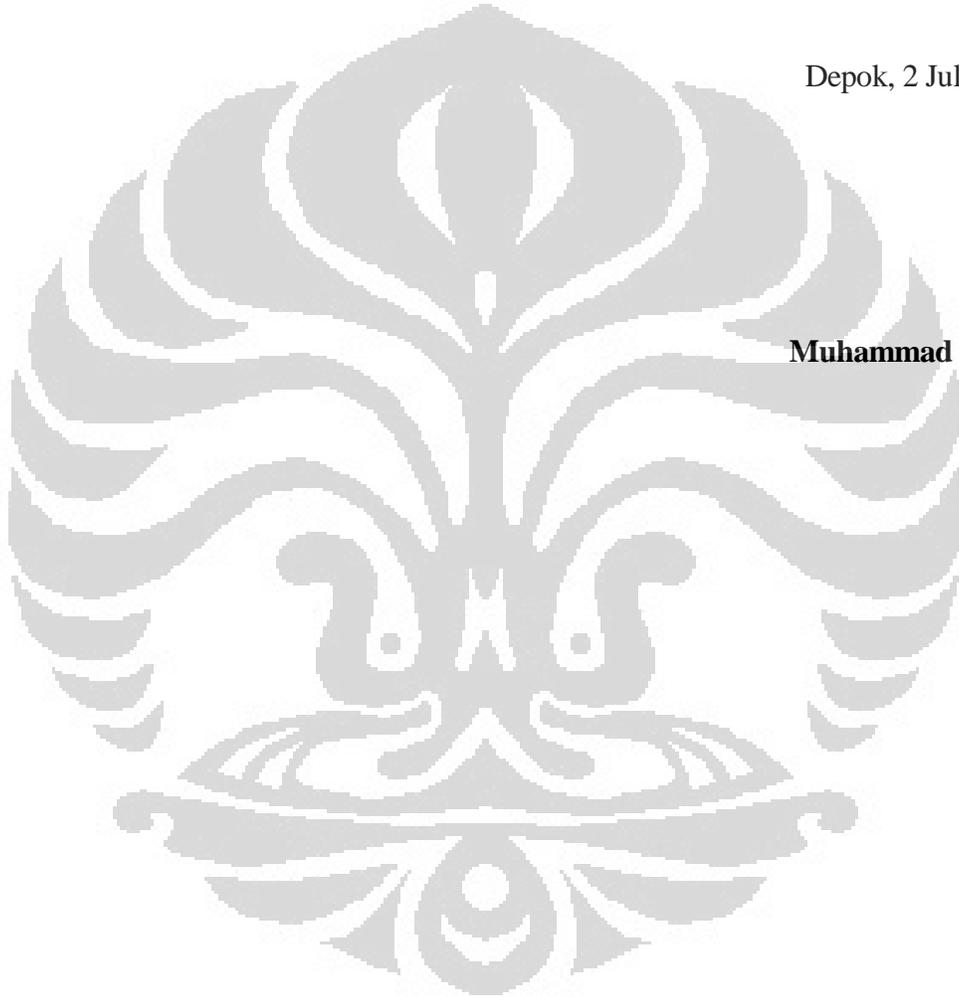
1. Bapak Dr. Rakhmatulloh, M. Eng, selaku dosen pembimbing I dan Drs. Tjong Giok Pin, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pihak PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk khususnya Bapak Vice President, Pak Eko dan Mas Elwin selaku Katim Pongkor, Mas Arvi, Mas Ridwan, Mba Irin, Mba Dias dan Kang Misbah, Kang Eza (*Crew Survey Lapang*) yang telah banyak membantu dan mengizinkan dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan;
3. Ibu Dra. Astrid Damayanti Djarir, M.Si selaku penguji I, Bapak Drs. Supriatna, M.T selaku dosen penguji II dan Ketua Sidang Bapak Dr.rer.nat Eko Kusratmoko, MS atas koreksi, masukan, dan kritik saran yang membangun bagi penulis dalam menyusun skripsi.
4. Bapak Dr. Ir. Tarsoen Waryono M.Si selaku dosen pembimbing akademis yang selama ini membantu penulis dalam perkuliahan atas segala nasihat dan perhatiannya, dan seluruh dosen pengajar beserta staf di Departemen Geografi FMIPA UI atas segala ilmu dan dukungan kepada penulis.
5. Keluargaku Tercinta, Bapak (Alm), Ibu, Kakak-Kakakku tersayang (Kang Tahid Mba Nela) dan adik- adikku (Zuhri, Halwani dan Lutfi) serta Om – omku (mang Dahlan, Mang Hobir dan Mang Kholik) atas segala kasih sayang

doa, perhatian, dukungan baik moral maupun materil yang tak pernah berhenti kepada penulis serta berjuang tak pernah lelah.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 2 Juli 2012

Muhammad Faeyumi



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muhammad Faeyumi
NPM : 0806453900
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 Emas Epidermal di di Areal Eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 : 2 Juli 2012

Yang menyatakan



(Muhammad Faeyumi)

ABSTRAK

Nama : Muhamamd Faeyumi
Program Studi : Geografi
Judul : Sebaran Potensi Emas Epitermal di Areal Eksploitasi PT ANTAM
Unit GEOMIN, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor

Sumber daya mineral memiliki berbagai manfaat dan kegunaan dalam kehidupan masa kini maupun masa mendatang. Keberadaan mineral sangat bermacam – macam dan memiliki karakteristik yang unik sehingga memerlukan pengetahuan, kemampuan dan kebiasaan untuk mengetahuinya dalam bentang alam yang luas. Pengetahuan dan kemampuan tersebut berupa pemanfaatan teknologi yang semakin canggih dalam bidang geologi sehingga dapat menjadi alternatif yang lebih mudah baik dari segi waktu maupun biaya. Aplikasi penginderaan jauh memiliki kegunaan dalam mengidentifikasi sebaran mineral dan mengintegrasikan dengan sistem informasi geografis untuk mendapatkan sebaran potensi endapan emas epitermal yang berasosiasi dengan variabel fisik. Penginderaan jauh dan SIG diintegrasikan melalui *defoliant technique* dan metode *Fuzzy Logic*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa: sebaran potensi emas epitermal berada di tengah dan sebelah barat daya areal eksploitasi. Sebaran potensi emas berasosiasi tinggi dengan jenis batuan tuff berurat kuarsa dan jarak 0-50 m dari struktur geologi.

Kata Kunci : *Defoliant Technique*, Emas Epitermal, *Fuzzy Logic*, Mineral, Sistem Informasi Geografis, Penginderaan Jauh
Xiv + 89 halaman : 40 gambar, 14 tabel
Daftar Pustaka : 39 (1933-2009)

ABSTRACT

Name : Muhamamd Faeyumi
Program Study : Geography
Title : Potential Distribution of Gold Epithermal Deposit in Exploitation
Area PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk Nanggung Bogor, West
Java

Mineral resource has various benefit and usage in nowadays and future life. The present of mineral is varied and has unique characteristic, therefore it needs knowledge, skill and sense for identifying in a large scale of nature. The Knowledge and ability are in using high technology in geology sector so it can be alternative and easier from time and cost sector. The application of remote sensing has the useful to identify spreading of mineral and integrate with geographic information system (GIS) to find the potential distribution of gold epithermal deposit associating with other physical variable. Remote sensing and GIS are integrated through *defoliant technique* and *fuzzy logic*. This research conclude that: potential distribution of gold is located at middle and southwest exploitation area. Potential distribution of gold deposit have a high association with tuff quartz lithology and radius 0-50 meters from geological structure.

Key Word : Defoliant Technique, Epithermal Gold, Fuzzy Logic,
Geographis Information System, Mineral, Remote Sensing.
Xiv + 89 pages : 40 pictures; 14 tables
Bibliography : 39 (1933-2009)

DAFTAR ISI

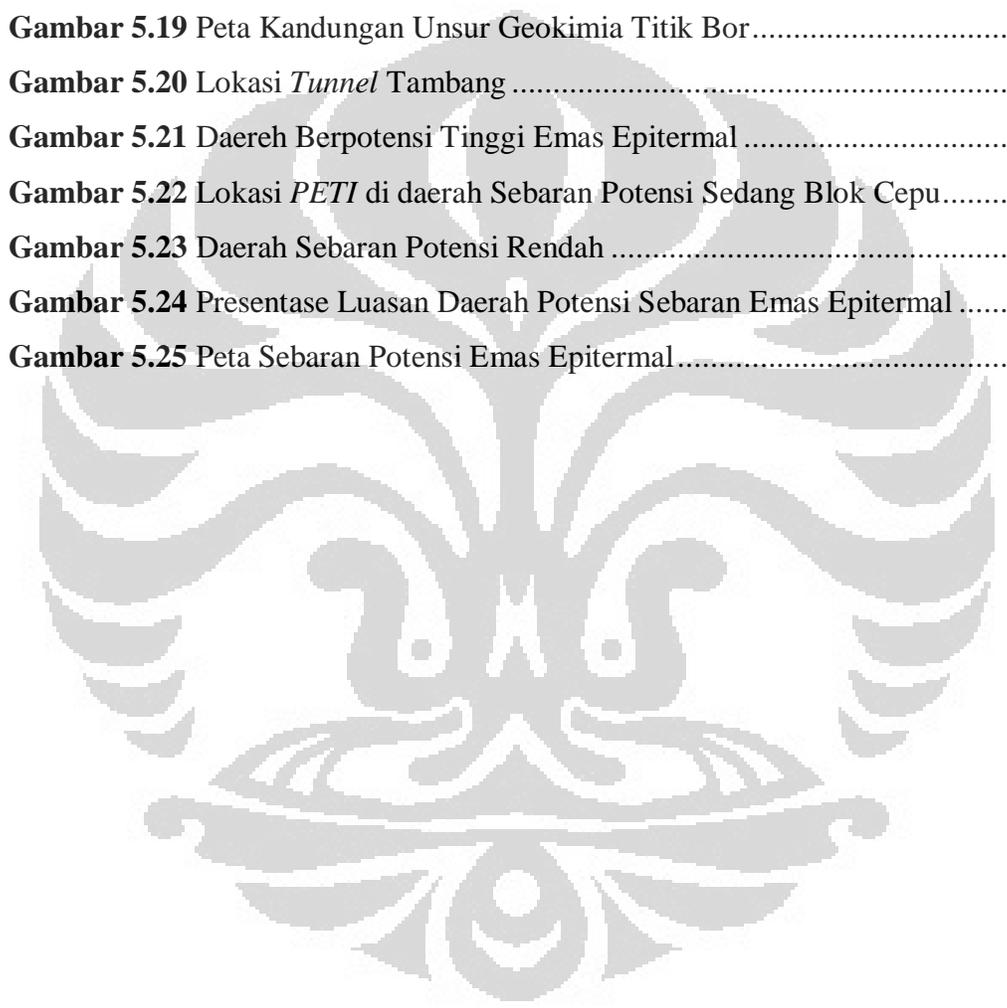
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Mineral Emas.....	6
2.2 Proses Pembentukan Emas	7
2.2.1 Lingkungan Tektonik.....	7
2.2.2 Struktur Geologi	8
2.3 Dasar – Dasar Teori Alterasi Hidrotermal.....	9
2.3.1 Alterasi Hidrotermal	10
2.3.2 Tipe Endapan Hidrotermal.....	11
2.3.3 Mineralisasi	13
2.3.4 Pembagian Zonasi Ubahan.....	15
2.4 Penginderaan Jauh.....	17
2.5 ASTER (<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission Radiometer</i>).....	18
2.5.1 Pengolahan Citra Aster	21
2.5.2 <i>Defoliant Technique</i>	22
2.6 <i>Fuzzy Logic</i>	22
2.6.1 Konsep Pengolahan <i>Fuzzy Logic</i>	23
2.6.2 Jenis-Jenis Membership <i>Fuzzy Logic</i>	23
2.6.3 Jenis – Jenis Operator <i>Fuzzy Logic</i>	24

2.7	Penelitian Sebelumnya	27
BAB III.....		28
METODOLOGI PENELITIAN.....		28
3.1	Lokasi Penelitian.....	28
3.2	Variabel Penelitian	28
3.3	Pengumpulan Data	31
3.4	Pengambilan Sampel.....	31
3.5	Pengolahan Data	33
3.6	Analisis Data.....	36
BAB IV		39
GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN.....		39
4.1	Gambaran Umum Daerah KP PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk	39
4.1.1	Topografi.....	39
4.1.2	Kerapatan Tutupan Vegetasi	42
4.1.3	Litologi.....	45
4.1.4	Struktur Geologi.....	51
BAB V.....		53
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
5.1	Sebaran Mineral Permukaan Emas Epitermal	53
5.1.1	Mineral Kuarsa	53
5.1.2	Mineral Kaolinit	57
5.1.3	Mineral Pirit	58
5.1.4	Mineral Klorit.....	61
5.1.5	Mineral Illite/Smectit.....	64
5.1.6	Zona Alterasi	68
5.2	Asosiasi Karakteristik Variabel Fisik dengan Sebaran Zona Alterasi	69
5.2.1	Struktur Geologi Sesar.....	69
5.2.2	Litologi atau Jenis Batuan	73
5.2.3	Kandungan Unsur Geokimia.....	76
5.3	Sebaran Potensi Emas Epitermal	78
BAB VI.....		85
KESIMPULAN		85
Daftar Pustaka		86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pembentukan Endapan Epitermal.....	13
Gambar 2.2 Grafik Fungsi <i>Fuzzy Small</i> dan <i>Fuzzy Large</i>	24
Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Tahapan Alur Kerja Penelitian.....	30
Gambar 3.3 Peta Titik Sampel.....	32
Gambar 3.4 Karakteristik Spectral Mineral.....	34
Gambar 3.5 Diagram Proses Pengolahan <i>Fuzzy</i>	37
Gambar 4.1 Peta Wliayah Administrasi.....	40
Gambar 4.2 Peta Wilayah Ketinggian.....	41
Gambar 4.3 Peta Kemiringan Lereng.....	43
Gambar 4.4 Peta Kerapatan Vegetasi.....	44
Gambar 4.5 Hasil Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Tutupan Kerapatan Vegetasi.....	45
Gambar 4.6 Peta Litologi.....	47
Gambar 4.7 Stratigrafi Daerah Gunung Pongkor.....	48
Gambar 4.8 Peta Struktur Geologi Sesar.....	52
Gambar 5.1 Sampel 4 Mineral Kuarsa di Ci Manganten.....	54
Gambar 5.2 Peta Sebaran Mineral Kuarsa.....	55
Gambar 5.3 <i>Veint</i> Kuarsa Pada Bagian Selatan Daerah Nirmala.....	56
Gambar 5.4 <i>Veinlet</i> di Ci Banteng.....	56
Gambar 5.5 Sampel Mineral Kaolinit di bagian Tengah daerah Ci Banteng.....	58
Gambar 5.6 Peta Sebaran Mineral Kaolinit.....	59
Gambar 5.7 Mineral Pirit dalam Mineral Kaolinit di bagian tengah Ci Sarua dan Ci Banteng.....	61
Gambar 5.8 Peta Sebaran Mineral Pirit.....	62
Gambar 5.9 Sampel 7 Mineral Klorit di aliran Sungai Gunung Dahu.....	64
Gambar 5.10 Peta Sebaran Mineral Klorit.....	65
Gambar 5.11 Mineral Illite di Bagian Barat Daya Penelitian yaitu Daerah Nirmala.....	66
Gambar 5.12 Peta Sebaran Mineral Illit/Smectit.....	67

Gambar 5.13 Peta Sebaran Zona Alterasi.....	70
Gambar 5.14 Alterasi Propilitik	71
Gambar 5.15 Alterasi Argilik	72
Gambar 5.16 Peta Buffer Struktur Geologi Sesar	74
Gambar 5.17 Peta Asosiasi Struktur Geologi Sesar	75
Gambar 5.18 Peta Asosiasi Jenis Batuan.....	77
Gambar 5.19 Peta Kandungan Unsur Geokimia Titik Bor.....	79
Gambar 5.20 Lokasi <i>Tunnel</i> Tambang	81
Gambar 5.21 Daerah Berpotensi Tinggi Emas Epitermal	81
Gambar 5.22 Lokasi <i>PETI</i> di daerah Sebaran Potensi Sedang Blok Cepu.....	82
Gambar 5.23 Daerah Sebaran Potensi Rendah	83
Gambar 5.24 Presentase Luasan Daerah Potensi Sebaran Emas Epitermal	83
Gambar 5.25 Peta Sebaran Potensi Emas Epitermal.....	84



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ciri- Ciri Umum Endapan Epitermal.....	14
Tabel 2.2 Parameter Orbit Satelit Terra	19
Tabel 2.3 Karakteristik Band Citra ASTER	20
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	28
Tabel 3.2 Pengumpulan Data.....	31
Tabel 3.3 Band Ratio Mineral Permukaan	34
Tabel 4.1 Luasan Kerapatan Tutupan Vegetasi	45
Tabel 5.1 Analisis <i>DPC</i> CITRA ASTER untuk Mineral Kuarsa	53
Tabel 5.2 Analisis <i>DPC</i> CITRA ASTER untuk Mineral Kaolinit	57
Tabel 5.3 Analisis <i>DPC</i> CITRA ASTER untuk Mineral Pirit.....	60
Tabel 5.4 Analisis <i>DPC</i> CITRA ASTER untuk Mineral Klorit	63
Tabel 5.5 Analisis <i>DPC</i> CITRA ASTER untuk Mineral Illit/Smectit	64
Tabel 5.6 Uji Validasi Potensi Sebaran dengan Kadar Kandungan Emas	78
Tabel 5.7 Luas Sebaran Potensi Emas Epitermal	83

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas merupakan logam mulia yang memiliki manfaat ekonomis tinggi baik bagi individu, kelompok maupun negara. Potensi ekonomis dilihat dari adanya kegiatan penambangan secara besar - besaran dan mencapai distribusi nasional dengan harga jual yang tinggi. Sampai saat ini dalam dunia ekonomi emas pun sebagai acuan kegiatan ekonomi, seperti halnya naik turunnya nilai mata uang dunia. Dilihat dari kondisi fisik alam, emas juga sebagai mineral yang terbentuk bersama - sama dengan mineral lain dan sebagai hasil dari proses magmatisme yang berasal dalam dapur magma, kemudian menerobos ke atas permukaan dalam lingkungan hidrotermal baik sudah mengalami pelapukan maupun belum terlapuk. Terdapat dua jenis mineral pembawa bijih emas, yaitu mineral yang mengandung logam dan non logam (*gangue*). Untuk mineral pembawa yang mengandung logam biasanya perak dan tembaga, sedangkan mineral non logam terdiri atas urat-urat kuarsa atau karbonat (Sukandarrumidi, 2009).

Jenis mineral endapan emas yang banyak ditemukan di Indonesia sebagian besar pada endapan epitermal. Kurang lebih 13% jenis endapan tersebut dihasilkan di seluruh dunia. Endapan emas epitermal merupakan endapan mineral permukaan yang berada di lapisan paling atas atau disebut *Low Sulfidation*. Proses transportasi dari dapur magma yang menerobos melalui *Lapisan Porphyri, High Sulfidation* sampai lapisan *Low Sulfidation* merupakan proses yang terpenting dimana emas dibawa oleh mineral-mineral dalam zona alterasi. Endapan tersebut berupa epitermal sulfida rendah dalam bentuk mineral - mineral dan urat pada kuarsa yang umumnya terdapat dalam batuan gunung api (*volcano-magmatic arc*) yang berumur Pratersier sampai Tersier. Keberadaan emas epitermal dalam permukaan berasosiasi dengan adanya bentukan struktur geologi baik sesar maupun patahan yang menunjukkan adanya

potensi endapan emas epitermal dan mineral pembawa (Widodo, 2004).

Berbicara tentang adanya potensi emas tidak jauh dari adanya proses kelanjutannya yaitu eksplorasi. Pada umumnya dalam proses eksplorasi dilakukan dengan berbagai cara seperti pemetaan geologi, pembuatan parit dan penelitian geofisika dengan tujuan untuk mengetahui kontinuitas dan hubungan antara singkapan satu dengan lainnya akan keberadaan urat kuarsa. Akan tetapi dari semua proses tersebut memiliki tantangan yang berat baik dari segi waktu maupun biaya, terutama pada wilayah yang sulit dijangkau serta memiliki wilayah yang cukup luas serta tidak adanya penelitian terdahulu terkait proses eksplorasi emas. Oleh karena itu seiring dengan berkembangnya teknologi dalam bidang pemetaan, tantangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan aplikasi teknologi Sistem Penginderaan Jauh dan Informasi Geografis (SIG) (Rajesh, 2004).

Salah satu aplikasi dalam bidang pemetaan mineral atau bidang pertambangan dengan menggunakan Sensor yang digunakan untuk mengidentifikasi endapan mineral adalah *Advance Spaceborne Thermal Emission Radiometer (ASTER)*. Sensor tersebut memiliki kelebihan dalam memetakan sebaran mineral permukaan yaitu dengan adanya saluran (*band*) yang berjumlah 14 meliputi (VNIR saluran 1 – 3, SWIR saluran 4-9, dan TIR saluran 10 -14). Selain itu citra ASTER memiliki resolusi spasial yang lebih baik daripada citra lain seperti Landsat.

Ketersediaan dan aksesibilitas 14 saluran multispektral menjadikan ASTER memiliki potensi untuk diterapkan di berbagai aplikasi, seperti dalam identifikasi mineral permukaan yaitu pada sensor SWIR mampu merekam beberapa mineral yang berbeda seperti *Alunite, Ppyrophyllite, Kalolinite, Illite-Muscovite-Sericite, dan Carbonat*. Dalam sensor TIR, panjang gelombang selain mampu merekam data termal juga dapat membedakan beberapa mineral seperti *Kuarsa, Feldspar, Clay, dan Carbonate* (Hewson, 2004). Berbagai kemampuan dari sensor yang ada dari Citra ASTER berkaitan dalam bidang Geologi dan Pertambangan yaitu dapat membantu dalam tahap eksplorasi sebelum penambangan dimulai baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang.

Aplikasi SIG dan Penginderaan Jauh dalam proses eksplorasi mineral memberikan banyak keuntungan baik dari waktu maupun biaya. Dilihat dari proses pemetaan dapat dilakukan dengan mengintegrasikan jenis data spasial berupa data rekaman indera serta asosiasi faktor fisik wilayah dengan membentuk model dalam menentukan daerah yang berpotensi mineral. Pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penerapan metode *Fuzzy Logic* atau *Interfensi Fuzzy*. Metode tersebut merupakan salah satu fungsi analisis komputasi matematika yang menyatakan dalam istilah binari (seperi 0 atau 1, hitam atau putih, dan ya atau tidak). Penerapan tersebut dalam proses modeling SIG yaitu pengkonversian peta multiklas ke dalam pola prediksi binari. Proses tersebut diterapkan pada citra/*images* data raster yang dikonversikan ke dalam fakta dalam menentukan potensi mineral suatu daerah. Hasil akhir dari metode tersebut berupa pemodelan yang diklasifikasi berdasarkan nilai *fuzzy logic* yang merupakan hasil pembobotan pada setiap variabel.

Penelitian terdahulu dilakukan oleh (Muslim, 2009) terkait penerapan metode *fuzzy logic* untuk pemetaan potensi mineralisasi emas epitermal di Kabupaten Sukabumi. Dalam thesis tersebut terdapat empat variabel yang digunakan antara lain struktur geologi, litologi zona alterasi limonit dan zona alterasi lempung. Proses dalam pengolahan citra penginderaan jauh dalam penelitian tersebut menggunakan Citra Landsat. Selain itu (Carranza and Hale, 2003) melakukan penelitian tentang *Geologically-Constrained Fuzzy Mapping of Gold Mineralization Potential, Baguio District, Philippines*. Dalam penelitian tersebut ditambahkan satu variabel yaitu adanya umur batuan pada masing-masing litologi dengan metode *defoliant technique* untuk menentukan zona alterasi dari masing-masing mineral permukaan.

Metode pengolahan hasil integrasi dari *Defoliant Technique* dan *Fuzzy Logic* akan diterapkan di Kecamatan Nanggung, dimana merupakan salah satu kecamatan yang termasuk administrasi Kabupaten Bogor dan memiliki karakteristik wilayah vegetasi rapat. Wilayah tersebut memiliki potensi kandungan deposit emas epitermal tepatnya di Desa Bantar Karet sekitar Gunung Pongkor. Hal tersebut didukung oleh fakta geologi regional yang terletak antara Zona Bogor dengan *Quaternary Volcanoes Complex* (Gunung Salak, Gunung Halimun, Gunung Gagak dan kaki atau batas

Bayah *dome* di bagian timur. Tektonik jalur pegunungan Bayah telah mengalami siklus orogenesis tersier yang menggambarkan tiga evolusi tektonik (Paleogen, Miosen Tengah dan Pliosen), serta ditemukannya endapan tektonik yang mengalami ubahan hidrotermal. Selain itu daerah Gunung Pongkor termasuk jalur penyebaran orogen Sunda yang hampir sama dengan penyebaran busur magmatik tersier yang merupakan daerah potensial untuk mineralisasi. Salah satu perusahaan yang melakukan eksplorasi dan penambangan emas epitermal di sekitar Gunung Pongkor Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor adalah PT. ANTAM PONGKOR atau Unit Pertambangan Bisnis Emas Pongkor. Perusahaan ini berdiri pada tahun 1974 sampai sekarang yang memproduksi dengan kapasitas 2,5 ton emas/tahun. Endapan emas yang terdapat di area Gunung Pongkor ini berasal dari batuan beku yaitu Andesit. Emas ini terbentuk akibat proses larutan hidrotermal yang menerobos ke dalam rekahan batuan beku yang dapat mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk komposisi mineral dan menghasilkan emas.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya teknologi yang semakin canggih dalam bidang pemetaan, kemampuan Sistem Informasi geografis dan Penginderaan Jauh dapat mendeteksi akan potensi alam yang ada dalam suatu daerah. Salah satunya adalah potensi geologi yang dapat menghasilkan aneka jenis mineral yang merupakan hasil dari endapan tenaga endogen dalam permukaan bumi. Berdasarkan pernyataan di atas maka dalam penelitian ini merumuskan:

Bagaimana sebaran potensi emas epitermal sebagai hasil dari identifikasi penginderaan jauh di Areal Eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor berdasarkan asosiasi karakteristik struktur geologi, batuan induk dan zona alterasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan informasi spasial dari sebaran potensi emas epitermal dan kemudian dituangkan ke dalam peta.

1.4 Batasan Penelitian

1. Emas merupakan logam mulia berwarna khas kuning dan terbentuk bersama mineral pembawa baik logam maupun non logam dalam permukaan endapan sulfida rendah maupun sulfida tinggi. Mineral tersebut meliputi kuarsa, adularia, alunit, pirit, kaolinit, smectit/illit, klorit, dan kalkopirit.
2. Endapan emas epitermal adalah endapan hasil dari sistem hidrotermal yang terjebak dalam batuan induk vulkanik atau pada busur magmatik yang berasosiasi dengan struktur lipatan, patahan, dan sesar dalam bentuk urat – urat (*veint*) dalam jenis batuan yang mengandung mineral pembawa emas. (Lindgren, 1933)
3. Wilayah Penelitian adalah areal eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk meliputi Desa Bantar Karet, Desa Malasari, Desa Cisarua Kecamatan Nanggung dan Desa Pabangbon Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor.
4. Potensi endapan emas epitermal merupakan wilayah yang berdasarkan hasil survey tinjau mengandung adanya endapan emas epitermal yang berupa urat kuarsa, tumpang tindih dengan sebaran titik bor dengan kandungan Au tinggi, serta tumpang tindih dengan *eksisting* kegiatan pertambangan.
5. Struktur geologi berupa bentukan sesar yang terdapat dalam daerah penelitian.
6. Litologi merupakan formasi jenis batuan penyusun yang ada di daerah penelitian.
7. Zona alterasi merupakan area ubahan mineral pembawa endapan emas sebagai hasil dari pelapukan dalam sistem hidrotermal yang dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, batuan sampling dan permeabilitas.
8. Asosiasi endapan emas epitermal merupakan hubungan antara suatu objek dengan objek lainnya, diantaranya asosiasi kondisi fisik dengan mineral pembawa dalam zona alterasi. Seperti endapan mineral emas epitermal berasosiasi dengan mineral pembawa kuarsa dalam bentuk urat yang mengisi dalam rekahan struktur geologi. Dalam penelitian ini menggunakan asosiasi dengan Metode *Fuzzy Logic*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam proses pemetaan untuk mengidentifikasi sebaran potensi emas epitermal diperlukan pemahaman yang matang terkait karakteristik mineral pembawa dan konsep metode yang akan digunakan. Pada bab ini penulis akan menjabarkan studi literatur mengenai emas epitermal, faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan serta kinerja penginderaan jauh dalam mengidentifikasi emas epitermal.

2.1 Pengertian Mineral Emas

Emas adalah mineral logam mulia memiliki warna khas kuning, berat, bersifat lembek, mengkilap, serta *malleable*. Logam ini banyak terdapat pada serbuk bebatuan dan deposit aluvial. (Diantoro, 2010). Berwarna coklat kemerahan jika dalam bentuk bubuk. Kekerasannya berkisar 2,5-3 (skala mohs) dan memiliki berat jenis yang selalu bergantung pada kandungan mineral yang berpadu pada saat pembentukan.

Dalam tabel periodik mineral emas bersimbol (Au) yang dalam bahasa latin adalah '*aurum*' dengan nomor atom 79. Selain itu emas memiliki sifat yang tahan terhadap asam, hanya air saja yang melarutkannya dengan membentuk ion tetrakloroaurat (III), (AuCl₄)⁻ dan melebur pada suhu 1064°C (Diantoro,2010). Baik dari bentuk monovalen maupun trivalennya, emas dapat dengan mudah direduksi menjadi logam.

Mineral pembawa unsur emas biasanya berasosiasi mineral ikutan (*gangue mineral*) seperti kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri atas emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas *nativ*, hanya kandungan perak di dalamnya > 20%.

2.2 Proses Pembentukan Emas

2.2.1 Lingkungan Tektonik

Sumber endapan bijih epitermal berasal dari sumber yang dangkal yang berasosiasi dengan air meteorik dan atmosfer. Hipotesa tentang asal endapan epitermal secara serius dipertimbangkan oleh Schmitt (1950) berasal dari *lateral secretion*, differensiasi fluida dari suatu magma, keluar vulkanik dan diserap oleh air tanah, injeksi dalam bentuk lelehan dan pengendapan dari fase gas. Dalam penelitiannya tentang mata air panas menunjukkan bahwa transportasi yang paling utama dari unsur – unsur adalah adanya air meteorik panas. Menurut Craig dan Vaughen (1981), emas terbentuk oleh pengendapan larutan hidrotermal serta mengisi di dalam sistem rekahan terbuka dan *fracture*. Selain itu endapan emas terbentuk pada tahap melemah (*waning*) dari vulkanisme disebabkan tidak hadirnya ubahan *parent intrusions dan extrusive hydrothermal*. Dalam endapan tersier endapan ini merupakan suatu sumber volkanik untuk *ore-bearing* hidrotermal. Terdapat dua tipe endapan logam mulia terutama yang berasal dari batuan volkanik tersier. Dua tipe utama yang dimaksud adalah tipe *acid-sulfate* dan tipe *adularia-sericite*. Kedua tipe ini kaya akan emas dan perak (Heald dan Hayba, 1987).

Magma – magma di level atas merupakan sumber emas dalam sistem emas epitermal yang berisi sulfur, yang diperlukan dalam proses transportasi emas (Henley dan Ellis, 1991). Kemampuan *degassing* magma yang terbentuk dengan semakin kuat mempengaruhi dalam menyuplai logam. Dari proses tersebut, beberapa mineral yang berada dalam level magma atas berupa adanya kubah klorit, dengan aliran hidrotermal kemudian digerakkan oleh sistem magma yang besar dan dalam. Dalam proses tersebut, adanya konveksi air tanah yang berfungsi menyebarkan fluida magma. Permeabilitas yang tinggi mempengaruhi penyebaran yang sangat kuat sehingga menahan formasi dari suatu endapan bijih.

Terdapat dua jalur pendekatan yang biasanya digunakan untuk menetapkan sumber dari logam untuk mendapat bijih hidrotermal (Edwards dan Antikson, 1986). Langkah pertama dengan pengenalan asosiasi dari endapan bijih dari suatu litologi

tertentu. Yang kedua adalah dengan anomali pengayaan atau pengurangan logam dalam suatu litologi yang ditafsirkan sebagai indikator potensi sebagai suatu *source rock* (batuan induknya). Endapan epitermal dalam lingkungan vulkanik selalu berasosiasi dengan batuan vulkanik kalk – alkalin dan batuan intrusi. Salah satu kasus yang ditemukan di suatu daerah di Indonesia tepatnya Kelian, bahwa endapannya berasosiasi dengan batuan andesit oligosen atas bawah. Lokasi tersebut terletak pada suatu trend regional utara – timur yang mengandung mineralisasi epitermal signifikan yaitu di G. Mubo dan G. Masuparia. Mineralisasi terjadi di tepi dari suatu set tubuh andesit yang mengintrusi ke dalam suatu batuan Pyroklastik Eosen.

2.2.2 Struktur Geologi

a. Sesar

Sesar pertama kali dikenali oleh penambang Eropa. Ahli geologi pada abad 19 menyebutnya sebagai *shoves, traps, heaves, shifts, breaks, throws, rents, dan clefts*. Hal tersebut merupakan efek sebuah sesar penambangan batu bara dan bijih mineral yang membingungkan mengenai penamaan, klasifikasi, dan asal material.

Sesar atau patahan merupakan rekahan pada batuan yang mengalami pergeseran melalui bidang rekahannya. Selain itu merupakan patahan tunggal atau suatu zona pecahan pada kerak bumi bersamaan dengan terjadinya pergerakan yang cukup besar, paralel, dengan rekahan atau zona pecahan. Dalam suatu permukaan, sisi atau bidang yang bergeser melewati dinding lain akan mengakibatkan kerusakan atau bergesernya struktur batuan yang sebelumnya menerus tepat pada sesar. Oleh karena itu sesar merupakan proses bergesernya struktur batuan yang disebabkan oleh massa batuan yang slip satu sama lain di sepanjang bidang atau rekahan.

Sesar terdapat pada batuan yang paling keras dan kuat, seperti granit, dan pada batuan yang lebih lunak serta material bumi yang tidak seragam, seperti pasir dan lempung. Selain itu sesar memiliki ukuran lebar yang bervariasi, dari yang mikroskopik sampai ribuan kaki dan mencapai panjang lebih dari puluhan atau ratusan mil. Beberapa sesar berdimensi kontinen, memotong kerak dan memanjang sampai ke bawah mantel. Proses pergerakan sesar melibatkan pergerakan massa

material kerak sampai mil kubik. Tingkat sesar pada struktur kerak utama menghasilkan penampakan goresan pada topografi, seperti *fault scraps* dan *rift valleys*, dan khusus bentang darat (*landscape*) seperti pegunungan dan cekungan yang menghasilkan kompleksitas pada dataran geologi yang sederhana. Pergeseran Unit litologi ke dalam lingkungan anomali dan penyejajaran yang aneh, dan menghancurkan batuan alami dengan cara *crushing* dan *grinding*.

Suatu sesar dapat berupa bidang sesar (*fault plane*), atau rekahan tunggal. Sesar yang terjadi di daerah yang cukup dalam dengan kondisi temperatur dan tekanan tinggi akan berkembang menjadi sebagai jalur gerusan. Goresan kecil yang terjadi di permukaan biasanya mengalami penghalusan dan berupa lempung halus lunak dan lengket yang terbuat dari batuan dasar halus dan hancur berasal dari dinding membentuk ketebalan puluhan inci di sepanjang sesar. Pada saat pergerakan sesar membentuk panas serta friksi, material dari dinding mengalami *crush*, resegmentasi seperti leburan yang membentuk batuan gelas. Sepanjang sesar terbuka terdapat zona breksiasi yang merupakan fragmen dalam dinding – dinding. Ruang terbuka tersebut menyebabkan adanya sirkulasi air tanah dan terisi oleh material dasar yang lebih halus dan terisi oleh mineral seperti kuarsa atau kalsit hasil presipitasi dari sirkulasi air.

2.3 Dasar – Dasar Teori Alterasi Hidrotermal

Lindgren (1993), menyatakan bahwa larutan hidrotermal adalah suatu cairan atau fluida yang panas, kemudian bergerak naik ke atas dengan membawa komponen-komponen mineral logam. Fluida ini merupakan larutan sisa yang dihasilkan pada saat proses pembekuan magma. Alterasi dan mineralisasi adalah suatu bentuk perubahan komposisi pada batuan baik itu kimia, fisika ataupun mineralogi sebagai akibat pengaruh cairan hidrotermal pada batuan, perubahan yang terjadi dapat berupa rekristalisasi, penambahan mineral baru, larutnya mineral yang telah ada, penyusunan kembali komponen kimia atau perubahan sifat fisik seperti permeabilitas dan porositas batuan (Pirajno, 1992).

Alterasi dan mineralisasi bisa juga termasuk dalam proses pergantian unsur-unsur tertentu dari mineral yang ada di batuan dinding digantikan oleh unsur lain yang berasal dari larutan hidrotermal sehingga menjadi lebih stabil. Proses ini berlangsung dengan cara pertukaran ion dan tidak melalui proses pelarutan total, artinya tidak semua unsur penyusun mineral yang digantikan melainkan hanya unsur-unsur tertentu saja.

2.3.1 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur, dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya. Perubahan tersebut akan bergantung pada karakter batuan dinding, karakter fluida (Eh, pH), kondisi tekanan maupun temperatur pada saat reaksi berlangsung, konsentrasi, serta lama aktifitas hidrotermal. Walaupun faktor-faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal.

Menurut Corbett dan Leach (1997), faktor yang mempengaruhi proses alterasi hidrotermal adalah sebagai berikut :

➤ Temperatur dan Tekanan

Peningkatan suhu membentuk mineral yang terhidrasi lebih stabil, suhu juga berpengaruh terhadap tingkat kristalinitas mineral. Pada saat suhu yang lebih tinggi akan membentuk suatu mineral menjadi lebih kristalin, kondisi suhu dengan tekanan dapat dideterminasi berdasarkan tipe alterasi yang terbentuk. Temperatur dan tekanan juga berpengaruh terhadap kemampuan larutan hidrotermal untuk bergerak, bereaksi dan berdifusi, melarutkan serta membawa bahan-bahan yang akan bereaksi dengan batuan sampling.

➤ Permeabilitas

Permeabilitas akan menjadi lebih besar pada kondisi batuan yang terekahkan serta pada batuan yang berpermeabilitas tinggi. Hal tersebut akan

mempermudah pergerakan fluida. Selanjutnya akan memperbanyak kontak reaksi antara fluida dengan batuan.

➤ **Komposisi kimia dan konsentrasi larutan hidrotermal**

Komposisi kimia dan konsentrasi larutan panas yang bergerak, bereaksi dan berdifusi memiliki pH yang berbeda-beda. Sehingga banyak mengandung klorida dan sulfida. Konsentrasi yang encer memudahkan untuk bergerak.

➤ **Komposisi batuan sampling**

Komposisi batuan sampling sangat berpengaruh terhadap penerimaan bahan larutan hidrotermal sehingga memungkinkan terjadinya alterasi. Pada saat kesetimbangan tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral (*mineral assemblage*) (Corbett & Leach, 1997). Secara umum himpunan mineral tertentu akan mencerminkan tipe alterasinya.

2.3.2 Tipe Endapan Hidrotermal

Berdasarkan jauh dekat terjadinya proses alterasi hidrotermal, serta temperatur dan tekanan pada saat terbentuknya mineral-mineral, Lindgren (1993) membagi tiga golongan alterasi hidrotermal, yaitu :

- a. Endapan Hipotermal dengan ciri sebagai berikut :
 - Endapan berasosiasi dengan *dike* (korok) atau *veint* (urat) dengan kedalaman yang besar.
 - “*Wall Rock Alteration*”, dicirikan oleh adanya *replacement* yang kuat dengan asosiasi mineral : albit, biotit, kalsit, pirit, kalkopirit, kasiterit, emas, hornblende, plagioklas, dan kuarsa.
 - Asosiasi mineral sulfida dan oksida pada intrusi granit sering diikuti pembentukan mineral logam, yaitu : Au, Pb, Sn, dan Zn.
 - Tekanan dan temperatur relatif paling tinggi yaitu 500°C – 600°C
 - Merupakan jebakan hidrotermal paling dalam

b. Endapan mesotermal mempunyai ciri-ciri :

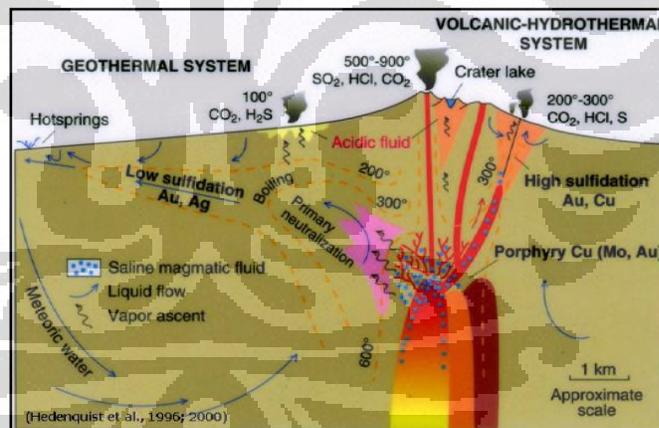
- Endapan berupa “*cavity filling*” dan kadang-kadang mengalami proses *replacement* dan pengayaan.
- Asosiasi mineral : klorit, emas, serisit, kalsit, pirit, kuarsa.
- Asosiasi mineral sulfida dan oksida batuan beku asam dan batuan beku basa dekat dengan permukaan.
- Tekanan dan temperatur medium, yaitu : 300°C – 372°C.
- Terletak di atas hipotermal.

c. Endapan epitermal

Endapan bijih epitermal merupakan endapan yang terbentuk di lingkungan hidrotermal dekat permukaan, mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah berasosiasi dengan kegiatan magmatisme kalk-alkali yang sering kali endapannya dijumpai di dalam produk vulkanik (sedimen vulkanik). Endapan epitermal sering juga disebut endapan urat, *stockwork*, *hot spring*, *volcanic hosted* dan lain-lain. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan parameter yang digunakan dalam menggolongkan endapan mineral. Ciri-ciri endapan epitermal menurut (Lindgren, 1933) berdasarkan parameter kedalaman, temperatur, pembentukan, zona bijih, logam bijih, mineral bijih, mineral penyerta, ubahan batuan samping, tekstur dan struktur serta zonasi. Dapat dilihat pada tabel 2.1.

Menurut (White dan Hedesquist, 1996) berdasarkan kondisi fluida, alterasi, tekstur dan mineralogi, endapan epitermal dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu endapan epitermal sulfida rendah dan tinggi (lihat pada gambar 2.1). Batasan kedua istilah tersebut di dasarkan pada bilangan redoks (*reduksi-oksidasi*) unsur S (Sulfur) dalam larutan mineralisasi. Unsur S dalam sistem hidrotomal yang mendekati PH netral umumnya memiliki bilangan redoks terendah -2 (misalnya senyawa H₂S), kondisi ini diistilahkan sebagai sulfidasi rendah. Istilah sulfida tinggi digunakan

untuk unsur S dalam hidrotermal vulkanik yang mempunyai bilangan redoks mendekati +4 (misalnya senyawa SO_2). Sistem epitermal sulfida rendah, larutan magmatik yang didominasi gas H_2S direduksi pada saat bereaksi dengan batuan sampling (*wall rock*) sehingga terjadi pengenceran akibat adanya sirkulasi larutan meteorik (air hujan). Kondisi ini sulfur hadir dengan bilangan oksidasi -2 yang didominasi H_2S , sehingga diistilahkan sebagai sulfida rendah. Di bawah kondisi reduksi yang cukup tinggi ini sulfida hanya hadir sebagai sulfur sekunder. Ciri-ciri endapan epitermal dilihat berdasarkan parameter tatanan tektonik, kontrol struktur regional, kontrol struktur lokal, pola mineralisasi, tekstur mineralisasi, dimensi endapan, *host rock*, hubungan waktu, asosiasi geokimia, mineral bijih, logam yang diproduksi, sosiologi mineral ubahan, ubahan batuan sampling, temperatur pengendapan bijih, sifat larutan, kedalaman pengendapan dan sumber sulfida (White & Hedenquist, 1996).



Gambar 2.1 Skema Pembentukan Endapan Epitermal (White & Hedenquist, 1996)

2.3.3 Mineralisasi

Menurut Lindgren (1993), Secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, meliputi :

- a. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.

- b. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal.

Tabel 2.1 Ciri- Ciri Umum Endapan Epitermal (Lindgren, 1933)

Parameter	Ciri – Ciri
Kedalaman	Sampai 1500 m
Temperatur	50 - 300 °C
Pembentukan	Pada batuan sedimen atau batuan beku, terutama berasosiasi dengan batuan intrusi dekat permukaan atau ekstrusi dan biasanya disertai dengan adanya sesar turun dan kekar.
Zona Bijih.	Urut – urut yang simpel, pembentukan kantong – kantong bijih tidak beraturan, jarang terbentuk sepanjang lapisan permukaan.
Logam Bijih	Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U
Mineral Bijih	Native, Au, Ag, elektrum, Cu, Bi, Pirit, Markasit, Sfalorit, Galena, Kalkopirit, Silver, Argentit, Selenides.
Mineral Penyerta (<i>gangue</i>)	Kuarsa, Serisit, Klorit rendah, Fe, Epidot, Karbonat, Flourit, Barit, Adularia, Alunit, Dickit, Illit/Smectit, dan Zeolit.
Ubahan Batuan Samping	Silisifikasi, Kaolinisasi, Piritisasi, Dolomitisasi, dan Kloritisasi.
Tekstur dan Struktur	Crustification (banding), sangat umum sering sebagai fine banding, cockade, vugs, urat terbreksikan. Ukuran butir (kristal) sangat bervariasi .

- c. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal.
- d. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*).
- e. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Menurut Lindgren (1933), faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral - mineral logam (khususnya emas) pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya :

- a. Proses diferensiasi, Pada proses ini terjadi kristalisasi secara fraksional (*fractional crystallization*), yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit.
- b. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pengkayaan dari magma, Pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO₂, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik, senyawa antimon, selenida dan telurida. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang terbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

2.3.4 Pembagian Zonasi Ubahan

Menurut Corbett & Leach (1997), pada alterasi hidrotermal dapat dibagi menjadi 6 zonasi ubahan, yaitu:

- a. Potasik

Mineral utama dalam alterasi ini berupa potash feldspar sekunder & biotit sekunder, serta aktinolit dan klinopiroksen.

b. Silisik

Zona alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral dari kelompok silika yang stabil pada $\text{pH} < 2$. Kuarsa akan terbentuk pada suhu tinggi sedangkan pada suhu rendah ($< 10000 \text{ C}$) akan terbentuk opal silika, kristobalit, tridimit, pada suhu menengah ($1000\text{-}20000 \text{ C}$) akan terbentuk kalsedon.

c. Filik

Dicirikan oleh serisitisasi hampir seluruh mineral silikat, kecuali kuarsa. Plagioklas feldspar tergantikan oleh serisit dan kuarsa halus. K-Feldspar magmatik juga mengalami serisitisasi tapi lebih kecil intensitasnya dari plagioklas.

d. Argilik Lanjut (*Advanced Argilic*)

Alterasi ini terbentuk dari hasil pencucian alkali dan kalsium dari fase alumina seperti feldspar dan mika, tetapi hanya hadir jika aluminium tidak bersifat mobile, apalagi aluminium bergerak lagi diikuti dengan bertambahnya serisit dan terjadi alterasi serisit. Alterasi *advanced argilic* ini dicirikan oleh hadirnya mineral yang terbentuk pada kondisi asam terutama kaolinit, dickit, piropilit, diaspor, alunit, jarosit dan zunyit. Perlu dibedakan antara alterasi hipogen dan supergen. Alterasi *advanced argilic* hipogen terbentuk hasil kondensasi gas alam (terutama gas HCl) dan ketidakseimbangan SO_2 dalam membentuk asam sulfur dan hidrogen sulfida. Alterasi *advanced argilic* supergen dapat terbentuk dalam dua macam, pertama terbentuk oleh kondensasi gas hasil pendidihan fluida hidrotermal yang membentuk air tanah yang teroksidasi. Oksidasi oleh atmosfer mengubah H_2S membentuk asam sulfur yang akan merombak silikat dan akan membentuk kaolinit dan alunit. Pada proses ikatan silikat terlepas akan membentuk desposit (dengan alunit) sebagai layer silikaan pada permukaan air tanah. Erosi yang datang kemudian membentuk layer silikaan yang berasal dari kaolinit dan membentuk silika cap. Kedua alterasi ini terbentuk oleh pelapukan batuan kaya sulfida, oksida

sulfida membentuk asam sulfur yang merusak batuan kemudian membentuk kaolinit & alunit.

e. Argilik

Jenis alterasi ini dicirikan dengan kehadiran anggota dari kaolin (Halloysit, kaolinit dan dickit) dan illit (smektit, interlayer, illit-smektit, illit), serta asosiasi mineral transisi yang terbentuk pada pH menengah dan suhu rendah. Kelompok dari mineral temperatur rendah-transisi yaitu kelompok klorit-illit juga hadir.

f. Propilitik

Jenis alterasi ini umumnya dicirikan oleh kehadiran mineral klorit – epidot – aktinolit. Alterasi ini mempunyai penyebaran yang terluas dan kaitannya secara langsung dengan mineralisasi sangat kecil. Kristal plagioklas mengalami argilitisasi dengan intensitas kecil, biotit mengalami perubahan menjadi klorit dengan atau tanpa karbonat.

2.4 Penginderaan Jauh

Penginderaan Jauh 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 dan Chipman, 2004). Penginderaan jauh juga diartikan suatu proses membaca dimana dengan menggunakan sensor dapat didapatkan data dari jarak jauh yang dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang obyek, daerah atau fenomena yang diteliti. Berdasarkan sumber tenaganya ada aktif dan pasif.

Kedua sistem penginderaan jauh tersebut baik aktif maupun pasif memerlukan sumber tenaga. Sumber tenaga dapat berupa alamiah maupun buatan. Sumber radiasi elektromagnetik yang paling penting dalam penginderaan jauh adalah adanya sinar matahari yang memancarkan radiasi elektromagnetik pada semua benda yang bersuhu di atas 0° K atau -273° C secara terus menerus. Hasil dari proses penginderaan jauh adalah menghasilkan data atau citra. Data yang diperoleh dari rekaman satelit, rekaman scanner pesawat udara, data digital dari kamera foto udara, citra digital dari

rekaman sensor mikro densitometer, maupaun rekaman dari beberapa sistem dengan resolusi tinggi.

Interpretasi citra penginderaan jauh dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu manual dan digital. Interpretasi citra secara manual adalah interpretasi data penginderaan jauh yang didasarkan pada ciri (karakteristik) objek secara keruangan (*spatial*). Karakteristik objek yang tergambar pada citra dapat diketahui berdasarkan unsur-unsur interpretasi yaitu rona atau warna, bentuk, pola, ukuran, letak, dan asosiasi kemampuan objek. Sedangkan interpretasi citra digital dilakukan dengan pengenalan pola spektral dengan bantuan komputer. Interpretasi ini merupakan evaluasi kuantitatif tentang informasi spektral yang tersedia pada citra.

2.5 **ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission Radiometer*)**

ASTER merupakan bagian dari salah satu sensor yang terdapat di satelit Terra. Sejarah satelit ini pada awalnya dikembangkan oleh konsorsium yang terdiri atas *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan kementerian Ekonomi Perdagangan dan Industri Jepang. Peluncuran pertama Satelit Terra pada tanggal 18 Desember 1999 di Pangkalan Udara Vandenberg dengan garis orbit yang sama seperti Landsat TM. Adapun karakteristik dari parameter orbit Satelit Terra dapat dilihat pada tabel 2.2.

Sistem sensor pada ASTER merupakan peningkatan dari sensor yang dipilih oleh NASA yaitu *Japan Earth Resources Satellite 1* (JERS-1). Konsep dasar dari ASTER adalah mengumpulkan data spektral kuantitatif dari radiasi yang dipantulkan dan dipancarkan dari permukaan bumi dalam jangkauan panjang gelombang 0,5 - 2,5 μm dan 8 - 12 μm (Nugroho, 2003). Sensor ini terdiri atas *Visible and Near Infrared Radiometer* (VNIR), *Short Wavelength Infrared Radiometer* (SWIR), dan *Thermal Infrared Radiometer* (TIR) dengan lebar cakupan sebesar 60 km x 60 km dan terdapat pada orbit yang sama dengan citra Landsat TM akan tetapi berbeda sedikit terlambat setengah jam dimana merupakan kelebihan dalam merekam sehingga resolusi spektral dan konfigurasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan citra Landsat TM.

Tabel 2.2 Parameter Orbit Satelit Terra (ASTER Science Team, 2001)

Parameter	Keterangan
Orbit	<i>Sun synchronous, descending</i>
Sumbu semi-major	7078 km
Eksentrisitas	0,0012
Waktu Lintas (Lokal)	10.30 ± menit
Kisaran ketinggian	700 - 737 km (705 km pada ekuator)
Inklinasi	98,2° ± 0,15°
<i>Repeat cycle</i>	16 hari (233 revolusi / 16 hari)
Jarak antara orbit yang berdekatan	172 km
Periode Orbit	98,9 menit

Salah satu kemampuan sensor ASTER pada satelit Terra adalah kemampuan stereoskop pada arah jalur orbit, dimana pada saat diperlukan untuk merekam suatu daerah dari dua sudut yang berbeda (arah nadir dan arah lihat-belakang) relatif sangat singkat yaitu ± 64 detik. Akan tetapi dalam waktu yang singkat tersebut, akan terlihat kenampakan perubahan permukaan bumi yang disebabkan adanya perubahan cuaca. Seperti halnya penutup lahan yang dapat diminimalisasikan.

Ketersediaan dan aksesibilitas 14 saluran multispektral (lihat di tabel 2.3) menjadikan ASTER memiliki potensi untuk diterapkan untuk berbagai aplikasi. Contohnya seperti dalam identifikasi mineral permukaan yaitu pada sensor SWIR mampu merekam beberapa mineral yang berbeda seperti *Alunite*, *Ppyrophyllite*, *Kalolinite*, *Illite-Muscovite-Sericite*, dan *Carbonat*. Dalam sensor TIR, panjang gelombang selain mampu merekam data termal juga dapat membedakan beberapa mineral seperti *Kuarsa*, *Feldspar*, *Clay*, dan *Carbonate* (Hewson dan Huntington, 2004). Berbagai kemampuan dari sensor yang ada dari Citra ASTER berkaitan dalam bidang pertambangan yaitu dapat membantu dalam tahap eksplorasi sebelum penambangan dimulai baik dalam jangka waktu panjang maupun jangka pendek.

Tabel 2.3 Karakteristik Band Citra ASTER (ASTER Science Team, 2001)

Subsistem	Band	Kisaran Spektral (μm)	Resolusi Spasial	Kuantisasi Sinyal
VNIR	1	0.52-0.60	15 m	8 bit
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.600 - 1.700	30 m	8 bit
	5	2.145 - 2.185		
	6	2.185 - 2.225		
	7	2.235 - 2.285		
	8	2.295 - 2.365		
	9	2.360 - 2.430		
TIR	10	8.125 - 8.475	90 m	12 bit
	11	8.475 - 8.825		
	12	8.925 - 9.275		
	13	10.25 - 10.95		
	14	10.95 - 11.65		

Produk citra ASTER sering dikenal seperti *produce level* yaitu produk yang terdiri atas berbagai level seperti level 1A, level 1B, level 2A, level 2B sampai level 3B. Di level 1A kondisi citra belum dikoreksi secara geometri maupun radiometris, tetapi parameter-parameter untuk melakukan koreksi tersebut telah diikutsertakan dalam *header file* citra. Sedangkan di level 1B citra sudah dikoreksi menggunakan data dari citra level 1A dengan parameter yang ada di citra level 1A. Format standar dari Citra ASTER ini dikenal dengan *EOS-HDF*. Format tersebut merupakan implementasi khusus dari format HDF (*Hierarchical Data Format*) dan dapat dikenal oleh beberapa perangkat lunak seperti *PCI*, *Geomatica OrthoEngine*, *Er Mapper*, *Matlab*, *ILWIS*, dan *IDL/ENVI*.

2.5.1 Pengolahan Citra Aster

Sebelum citra ASTER diolah lebih lanjut, menurut (Gozzard, 2006) terdapat beberapa tahap pengolahan yang bertujuan untuk memperbaiki kerusakan yang diakibatkan oleh satelit dan atmosfer. Tahap pengolahan ini terdiri atas:

➤ *Crosstalk Correction*

Tahap pertama ini bertujuan untuk menghilangkan efek negatif pada citra ASTER karena terjadi kebocoran sinyal photon pada saluran 4 sehingga mempengaruhi subsistem SWIR pada ASTER, terutama di saluran 5 dan 9.

➤ *Orbital Parameter Correction*

Tahap kedua ini bertujuan untuk memperbaiki parameter orbital yang diperlukan dalam koreksi geometris citra. Citra yang masih mengacu kepada orientasi satelit (*swath orientation*) diatur agar sesuai dengan permukaan bumi. Citra yang telah di rotasi akan menggunakan proyeksi UTM dengan menggunakan WGS 1984.

➤ *East West offset of SWIR Bands Correction*

Proses ini merupakan perbaikan citra akibat pengaruh dari *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 teroverlay dengan sempurna, sehingga karena SWIR memiliki resolusi spasial 30 meter, sehingga terdapat penyimpangan hingga 20 piksel atau 600 meter.

➤ *Layer Sateking*

Membuat file multi saluran baru dari gabungan saluran VNIR, SWIR, dan TIR yang sudah dikoreksi. Hal ini bertujuan karena masing-masing subsistem memiliki resolusi spasial yang berbeda. Sehingga resolusi spaisal dari ketiga tipe saluran akan disamakan ukurannya sesuai dengan kebutuhan pengguna.

➤ *Dark Pixel Correction*

Tahap ini merupakan koreksi piksel gelap yang bertujuan untuk menghilangkan efek atmosfer saat *image radiance*. Efek ini terkatit dengan kontribusi hamburan aditif (*additive scaterring*) dari atmosfer dan efek

transmisi multispektral energi melalui atmosfer.

2.5.2 *Defoliant Technique*

Defoliant Technique merupakan salah satu metode dalam penajaman citra yang mampu meminimalisir pengaruh vegetasi dalam eksplorasi mineral dengan penginderaan jauh. Metode ini menganalisa proses *Directed Principal Component* dari dua rasio saluran dan *Principal Component Analisis* yang berlaku di daerah tropis (Fraser and Green, 1987 dalam Rojash, 2003). Dalam *software ENVI 4.5* proses penentuan band rasio ditentukan melalui *spectral library* yang tersedia dalam *software* tersebut. Input band rasio ditentukan dari perbandingan dua panjang gelombang yaitu antara panjang gelombang vegetasi dan panjang gelombang mineral.

Principal Component Analisis merupakan salah satu metode statistik yang menganalisis hubungan antara input band – band yang memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dan kemudian dapat merespon spektral yang mampu merekam suatu objek dalam permukaan bumi. Proses *PCA* ini dapat dilakukan dalam berbagai *software* seperti ENVI, Arc Gis, Er Mapper dan lain – lain. Gabungan dari band ratio dan *PCA* ini yang dinamakan proses *Direct Principal Component*.

2.6 *Fuzzy Logic*

Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan pertama kali oleh Zadeh (1993). Konsep *Fuzzy Logic* merupakan pengembangan dari logika Boolean/Klasik, dimana logika Boolean menyatakan bahwa segala hal diekspresikan dalam istilah binari (seperti : 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). *Fuzzy Logic* menyatakan segala hal diekspresikan dalam istilah derajat keanggotaan (seperti; antara 0 hingga 1, “tingkat keabuan”, “hitam” dan “putih”, “sedikit”, “lumayan” dan “sangat”).

Misalkan A adalah sebuah himpunan *Fuzzy*, maka Formulasi dari A (Zadeh, 1993) :

$$A = \{(x, \mu_A(x)|x \in X\} \quad (2.6.1)$$

2.6.1 Konsep Pengolahan *Fuzzy Logic*

Metode ini merupakan metode konseptual yang digunakan untuk mengintegrasikan data spasial ke dalam peta potensi mineralisasi. Integrasi data dilakukan dengan menggunakan utiliti Arc - *SDM* dalam *Spatial Data Modeller* yaitu utiliti tambahan yang terdapat di *software Arc Gis*. Hal pertama yang perlu dilakukan adalah memberikan nilai *fuzzy membership* untuk setiap atribut yang terdapat pada data set berdasarkan konsep suatu permasalahan atau topik.

2.6.2 Jenis-Jenis Membership *Fuzzy Logic*

➤ *Fuzzy Small*

Fuzzy Small merupakan salah satu fungsi dalam *Fuzzy Logic*, fungsi ini memiliki konsep bahwa untuk memetakan sesuatu. Jika sesuatu semakin dekat atau mendekati dengan objek yang dimaksud maka akan menghasilkan nilai *fuzzy* semakin tinggi. Seperti halnya jarak. Dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}} \quad (2.6.2)$$

Keterangan $\mu(x)$ = Nilai Anggota *Fuzzy*

x = Data Mentah

f_1 = Nilai Sebaran

f_2 = Nilai Tengah Dari Data Mentah

➤ *Fuzzy Large*

Fuzzy Large merupakan fungsi kebalikan dari *Fuzzy Small*. Dalam fungsi ini memiliki konsep untuk memetakan data yang berurutan. Semakin besar suatu nilai data maka nilai *fuzzy* akan mendekati 1. Sebaliknya semakin kecil nilai data, maka akan menghasilkan nilai *fuzzy* yang semakin kecil. Dapat dilihat persamaannya di bawah ini:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}} \quad (2.6.3)$$

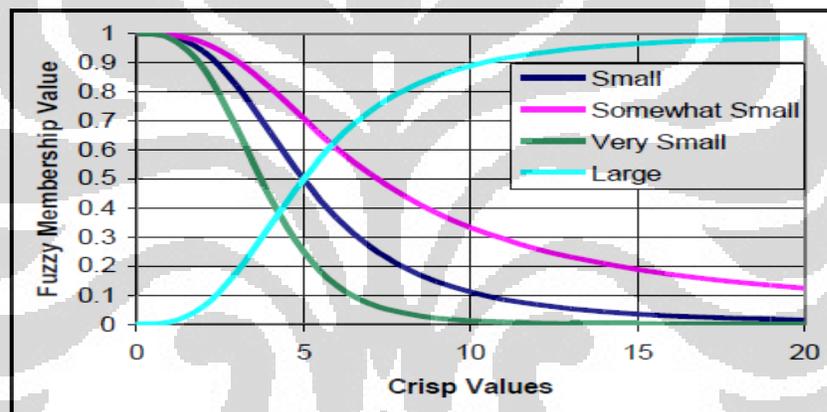
Keterangan $\mu(x)$ = Nilai Anggota *Fuzzy*

x = Data Mentah

- f_1 = Nilai Sebaran

f_2 = Nilai Tengah Dari Data Mentah

Jika ditampilkan dalam bentuk grafik, fungsi *small* dan fungsi *large* memiliki arah yang berlawanan. Seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik Fungsi *Fuzzy Small* dan *Fuzzy Large* (Zadeh, 1993)

2.6.3 Jenis – Jenis Operator *Fuzzy Logic*

Berdasarkan pada teori klasik, anggota sebuah objek dalam suatu kumpulan objek hanya dapat dinyatakan sebagai nilai nol dan satu. Sedangkan pada teori kumpulan *fuzzy* dinyatakan bahwa suatu kumpulan *fuzzy* digambarkan sebagai subkumpulan objek dimana anggota dalam suatu kumpulan objek merupakan nilai kisaran nol dan satu (Zadeh, 1993). Kumpulan *fuzzy* ditentukan oleh rata-rata fungsi anggota seperti persamaan di bawah ini:

$$\mu_a(x) : X \rightarrow \{0,1\} \quad (2.6.4)$$

Keterangan:

$\mu_a(x)$: Prediksi anggota *Fuzzy* x dari keseluruhan ke dalam interval $\{0,1\}$.

Dalam SIG nilai *fuzzy* yang digambarkan sebagai kriteria eksplorasi dapat dikombinasikan atau diintegrasikan dengan menggunakan operator *fuzzy logic* diantaranya:

➤ **Operator Fuzzy AND**

Operator *fuzzy AND* ini merupakan operator yang menghasilkan nilai anggota *fuzzy* terkecil (minimum) dari beberapa data input. Operator *fuzzy AND* dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \text{MIN} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (2.6.5)$$

Keterangan:

μ_A = Nilai anggota *fuzzy* untuk variabel A pada lokasi tertentu

μ_B = Nilai anggota *fuzzy* untuk variabel A, dan seterusnya.

Operator pertama yaitu operator *fuzzy AND* untuk menggabungkan data ubahan (zona alterasi).

➤ **Operator Fuzzy OR**

Operator *fuzzy* ini menghasilkan nilai anggota *fuzzy* maksimum dari beberapa data input untuk menghasilkan lokasi tertentu. *Fuzzy OR* dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \text{MAX} (\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad (2.6.6)$$

Operator ini secara efektif dalam menghasilkan pemetaan potensi suatu objek (mineral) ketika indikasi mineralisasi sangat jarang dan indikator positif salah satu faktor cukup untuk mewakili prospektivitas.

➤ **Operator Fuzzy Algebraic Product**

Operator ini didefinisikan sebagai hasil dari keseluruhan dari nilai anggota *fuzzy* pada lokasi tertentu yang dirumuskan di bawah ini:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (2.6.7)$$

Keterangan:

μ_i = nilai anggota *fuzzy* untuk variabel ke-i ($i= 1, 2, 3, \dots$)

Dalam pengkombinasian nilai anggota *fuzzy* cenderung menghasilkan

nilai yang lebih kecil, sehingga perkalian dari beberapa angka yang menghasilkan kurang dari 1. Sedangkan output selalu lebih kecil atau sama dengan kontribusi terkecil dari nilai anggota fuzzy yang disebut penurunan (*decreasing*).

➤ **Operator Fuzzy Algebraic Sum**

Operator ini akan menghasilkan nilai yang selalu lebih besar atau sama dengan nilai anggota fuzzy terbesar. Hal tersebut disebut Peningkatan (*increasing*). Operasi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\text{kombinasi}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (2.6.8)$$

➤ **Operator Fuzzy Gamma**

Operator *fuzzy gamma* merupakan kombinasi antara *Operator Fuzzy Algebraic Product* dan *Fuzzy Algebraic Sum*. Kegunaan dari *fuzzy gamma* berlaku ketika satu atau lebih kumpulan data menunjukkan kemungkinan terbesar dan yang lain menunjukkan terkecil. Gabungan keduanya akan menghasilkan kemungkinan pada suatu tempat diantara kedua kemungkinan tersebut, yang dikontrol oleh besarnya parameter gamma yang digunakan.

$$\mu_{\text{kombinasi}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^\gamma \times (\text{Fuzzy Algebraic Product})^\gamma \quad (2.6.9)$$

Keterangan:

γ = parameter gamma dalam range $\{0,1\}$.

Jika nilai γ sama dengan satu, maka kombinasi sama dengan *Fuzzy Algebraic Sum* dan ketika nilai γ sama dengan nol, maka kombinasi sama dengan *Fuzzy Algebraic Product*. Nilai parameter gamma dapat digunakan untuk menyeimbangkan efek “*increasing*” dan “*decreasing*” yang ditunjukkan oleh *Fuzzy Algebraic Product* dan *Fuzzy Algebraic Sum*.

2.7 Penelitian Sebelumnya

Penelitian menggunakan asosiasi kondisi fisik dengan menggunakan *defoliant technique* dilakukan oleh Carrvanza Dan Hale di Filipina pada tahun 2000 serta menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* dalam mengintegrasikan data atau variabel fisiknya. Selain itu, Schiowitzz, dkk. (2008) memanfaatkan metode *Fuzzy Logic* pada pemetaan potensi emas, perak, dan tembaga di Distrik La Plata, Colorado, USA. Mereka menggunakan data formasi dan struktur geologi, urat/*veint*, umur batuan, sejarah tambang, dan anomali geokimia dari sedimen sungai. Untuk penelitian pada daerah tropis juga pernah dilakukan oleh (Muslim,2009) terkait Penerapan Metode *Fuzzy Logic* dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Kabupaten Sukabumi dengan menggunakan SIG.

Selain kedua penelitian tersebut, terdapat penelitian berupa thesis, dimana dalam thesis tersebut menambahkan salah satu variabel untuk uji validasi yaitu kandungan unsur geokimia (Noviardi, 2005). Penelitian tersebut dilakukan di Pulau Flores Nusa Tenggara Timur dengan menggunakan Citra LANDSAT.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pemetaan sebaran potensi emas epitermal didasarkan kepada beberapa pengolahan variabel-variabel yang memengaruhi proses terbentuknya emas epitermal. Kemudian semua variabel diintegrasikan dengan menggunakan suatu model. Pada bab ini akan dijelaskan proses dalam penelitian meliputi bagaimana cara memperoleh data, pengolahan data dan analisis data sehingga mampu memperoleh model sebaran potensi emas epitermal. Secara ringkas dapat dilihat pada alur pikir penelitian (lihat gambar 3.1) dan tahapan alur kerja penelitian (lihat gambar 3.2).

3.1 Lokasi Penelitian

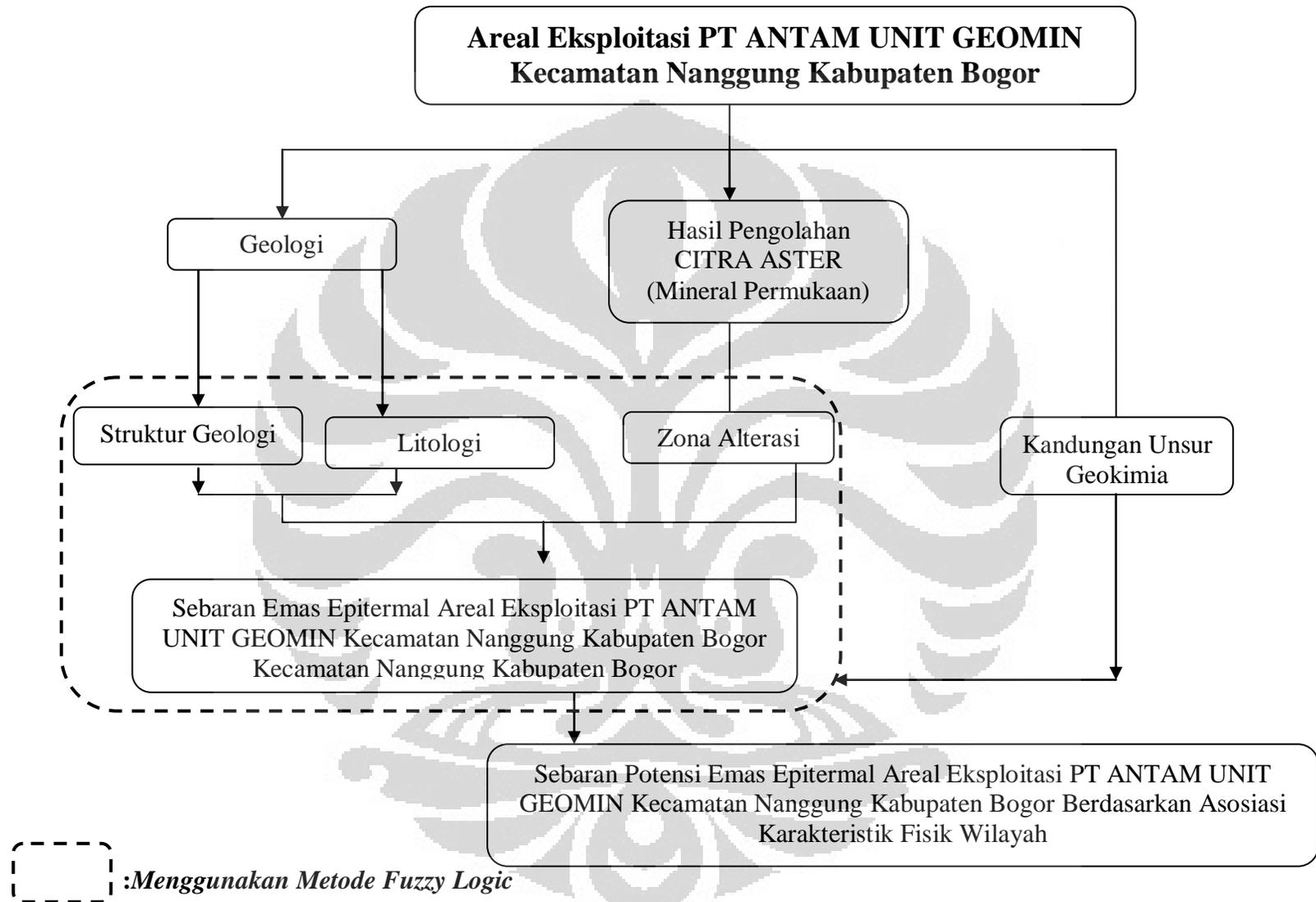
Lokasi penelitian dilakukan di areal eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk meliputi Desa Bantar Karet, Desa Malasari, Desa Cisarua Kecamatan Nanggung dan Desa Pabangbon Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor. Tampak pada gambar 4.1 (Peta Administrasi Lokasi Penelitian).

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas empat variabel. Dapat dilihat pada tabel 3.1.

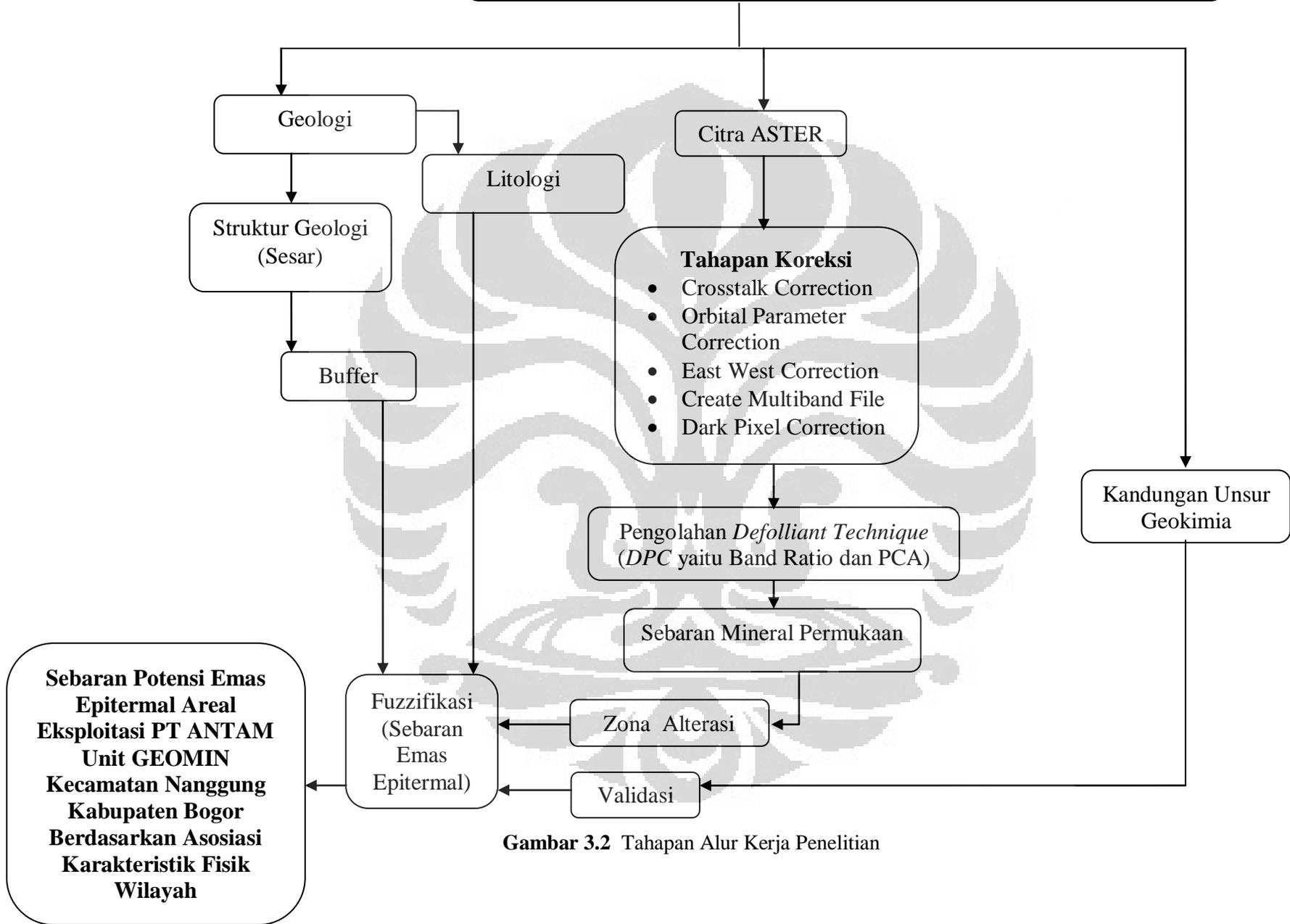
Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No.	Variabel	Indikator
1	Struktur Geologi Sesar	Jarak dari Sesar
2	Litologi	Formasi Jenis Batuan
3	Zona Alterasi	Hasil Pengolahan Citra yaitu Sebaran Mineral Pembawa Emas Epitermal
4	Kandungan Unsur Geokimia	Kadar Kandungan Au (ppm)



Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian

**Areal Eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN
Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor**



Gambar 3.2 Tahapan Alur Kerja Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

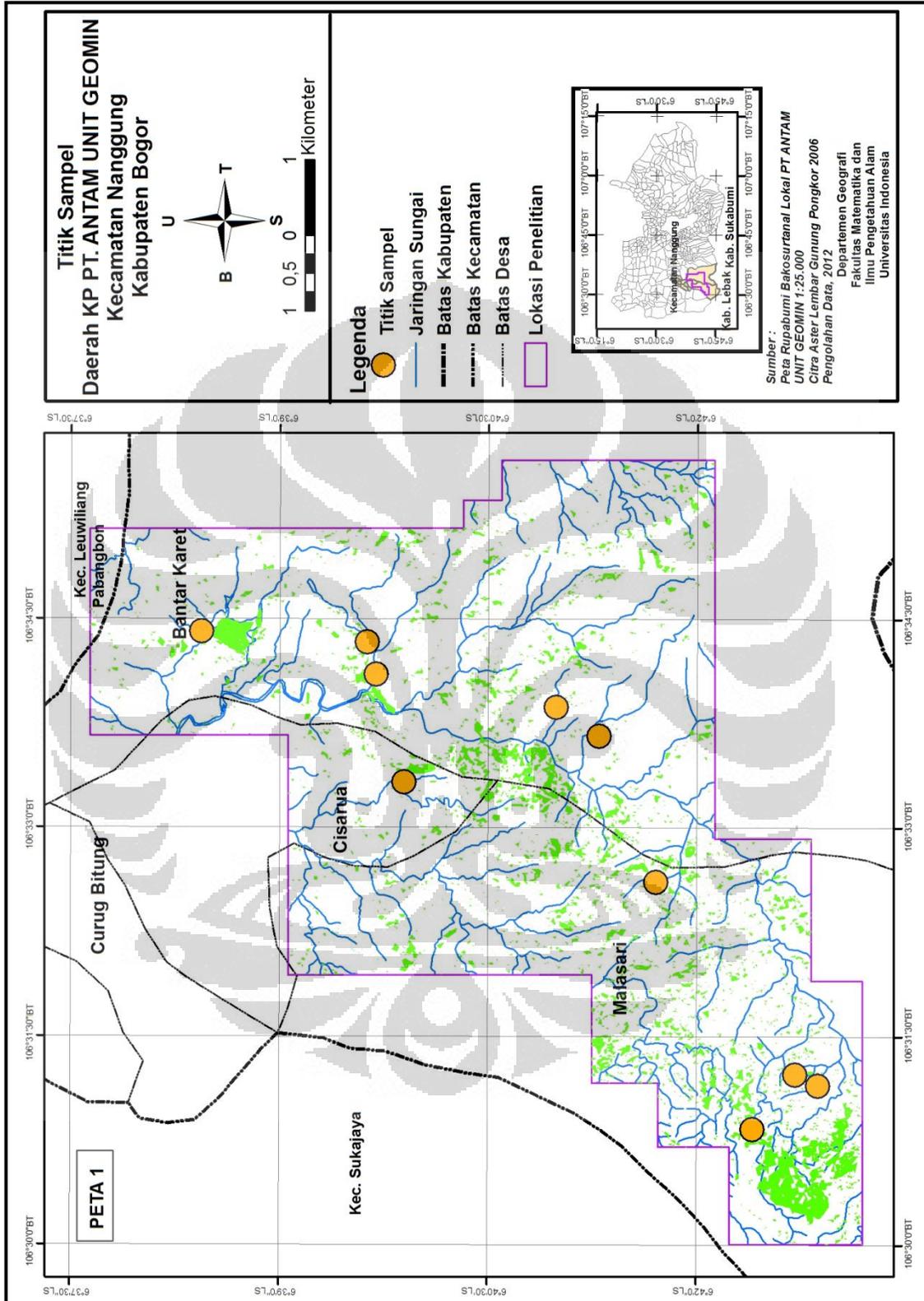
Setelah variabel penelitian ditentukan, langkah selanjutnya adalah tahap pengumpulan data. Pengumpulan data terdiri atas dua jenis yaitu data sekunder dan data primer. Dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Pengumpulan Data

No.	Data	Jenis Data		Sumber Data
		Primer	sekunder	
1	Citra ASTER Level 1B Tahun 2006		✓	PT ANTAM Unit GEOMIN
2	Peta Rupabumi Indonesia Lembar Gunung Pongkor Skala 1:25.000		✓	Bakosurtanal & PT ANTAM Unit GEOMIN
3	Peta Geologi 1:25.000		✓	PT ANTAM Unit GEOMIN
4	Peta Struktur Geologi 1:25.000		✓	PT ANTAM Unit GEOMIN
5	Data Titik Bor Tahun 2012		✓	PT ANTAM Unit GEOMIN
6	Hasil Pengolahan CITRA ASTER (Sebaran Mineral Permukaan)	✓		Survey Lapangan
7	Dokumentasi Foto Lokasi Tambang & Titik Bor	✓		Survey Lapangan

3.4 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan di lapangan dengan mengacu kepada peta hasil jaringan sungai dan peta sebaran alterasi. Lokasi pengambilan sampel mengacu kepada aliran anak sungai dari sungai utama dengan tujuan mempermudah dalam pengambilan tersebut. Sesuai dengan penentuan sebelumnya, terdapat lima jenis mineral yang dijadikan sebagai sampel yaitu meliputi mineral kuarsa, kaolinit, pirit, korit dan illite. Lokasi pengambilan sampel terdiri atas 10 titik. Di setiap titik tersebut tidak hanya satu jenis mineral saja yang diambil akan tetapi hampir dua sampai tiga jenis mineral. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.3 (Peta Titik Sampel).



Gambar 3.3 Peta Titik Sampel

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Pengolahan Citra ASTER

Sebelum citra ASTER diolah lebih lanjut, menurut (Gozzard, 2006) terdapat beberapa tahap pengolahan yang bertujuan untuk memperbaiki kerusakan yang diakibatkan oleh satelit dan atmosfer. Proses pengolahan Citra Satelit ini dilakukan dengan software ENVI, Er Mapper, GDS *Crosstalk Correction* dan *ASTER Data Opener*.

a. Koreksi Citra ASTER

- *Crosstalk Correction*
- *Orbital Parameter Correction*
- *East West offset of SWIR Bands Correction*
- *Layer Satcking*
- *Dark Pixel Correction*

Dalam pengolahan diatas tidak ada proses koreksi radiometrik dan geometrik, CITRA ASTER Level 1B sudah dikoreksi dengan menggunakan CITRA ASTER Level 1A. Sama halnya dengan level 2A, 2B yang sudah dikoreksi baik radiometrik maupun geometrik.

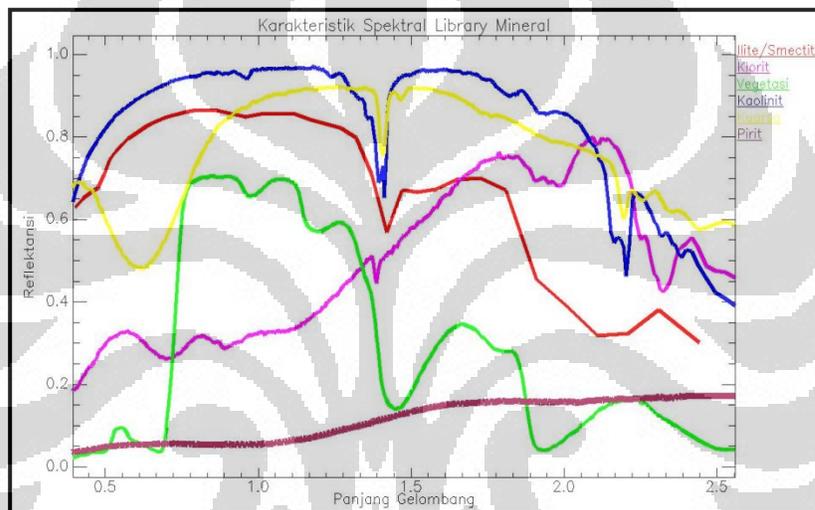
b. Pengolahan Sebaran Mineral Permukaan

Setelah Citra dikoreksi, selanjutnya adalah pengolahan sebaran mineral permukaan dengan menggunakan software *ENVI* dan Arc GIS 9.3. Pengolahan sebaran mineral permukaan dihasilkan dari pengolahan citra menggunakan metode *Defoliant Technique* yaitu dengan menginput masing – masing band ratio pada mineral permukaan. Hal tersebut agar dihasilkan respon spektral mineral optimum di daerah vegetasi (Carranza dan Hale, 2002). Kedua rasio saluran nilai rasio mineral yang dituju harus lebih tinggi atau lebih rendah (negatif) dibandingkan vegetasi. Dalam pengolahan metode *Defoliant Technique* mengacu pada karakteristik spectral dari masing – masing mineral (lihat pada gambar 3.4). Hasil metode tersebut yaitu berupa input perbandingan band ratio pada masing – masing mineral permukaan dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Band Ratio Mineral Permukaan

Mineral Pembawa	Band Ratio
Kuarsa	1/9 : 3/4
Kaolinit	6/2 : 3/4
Pirit	1/9 : 3/8
Illit	1/8 : 3/4
Klorit	4/2 : 3/6

Sumber: Pengolahan Data 2012

**Gambar 3.4** Karakteristik Spectral Mineral (Sumber: Pengolahan Data 2012)

Dari hasil pengolahan *defoliant technique*, kemudian dilakukan klasifikasi terbimbing pada setiap mineral sebelum masing – masing mineral sebelum diekstrak ke dalam Arc GIS. Klasifikasi ini memiliki tingkat akurasi 80 % (Lillesand dan Chipman, 2004). Setelah itu diubah ke dalam bentuk ESRI grid. Dari masing – masing sebaran mineral kemudian diinput ke dalam Arc GIS 9.3. Terdapat lima citra hasil pengolahan metode *defoliant technique* dalam keadaan *gray scale*. Warna terang dan gelap dalam keadaan tersebut menunjukkan ada tidaknya mineral dan nilai *digital number* pada setiap *pixel*. Setelah itu masing–masing sebaran mineral difuzzifikasi dengan menggunakan fungsi *fuzzy large*. Setelah dilakukan *fuzzifikasi* semua sebaran mineral yang

ada, kemudian dilakukan penggabungan semua mineral untuk menentukan sebaran zona alterasi. Proses tersebut dilakukan dengan menggunakan operator *fuzzy and*.

3.5.2 Pengolahan Data Vector

a. Litologi

Salah satu teknik pembobotan menurut Caranza dan Hale menjelaskan bahwa satuan litologi yang diketahui menjadi batuan induk dari endapan mineral. Pembobotan litologi dalam penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan dua hal yang berhubungan dengan batuan intrusi dengan batuan sekitar yang berpotensi menjadi batuan induk serta data adanya mineralisasi pada daerah penelitian. Teknik pembobotan dihasilkan melalui wawancara ahli geologi dan kemudian diolah menggunakan salah satu fungsi *fuzzy* yaitu *Fuzzy Large* dalam *software Arc GIS 9.3*.

b. Struktur Geologi

Penyelidikan dan eksplorasi emas di daerah Flores yang dilakukan oleh (Widodo, 2004), menunjukkan bahwa mineralisasi emas epitermal berasosiasi dengan zona patahan atau sesar. Sama halnya konsep tersebut, dalam penelitian ini dilakukan buffer pada struktur geologi patahan meliputi sesar dan patahan. Langkah buffer dilakukan dengan jarak ± 50 meter dan paling jauh 500 meter dari struktur sesar. Klasifikasi Buffer pada patahan dalam penelitian ini dibuat 10 daerah penyangga dengan interval 50 meter. Pemberian nilai fuzzy untuk tiap daerah penyangga (buffer) menggunakan salah satu fungsi dalam *fuzzy logic* yaitu fungsi *fuzzy small* dalam *software Arc Gis 9.3*.

c. Wilayah Ketinggian

Pengolahan ini dihasilkan dari data ketinggian (kontur), dengan menggunakan *software Arc GIS 9.3*. Dalam pengolahan wilayah ketinggian ini diklasifikasi menjadi 5 wilayah meliputi:

- a. 400 – 600m
- b. 600 – 800m

- c. 800 – 1000m
- d. 1000 – 1200m
- e. 1200 – 1520m

d. Kemiringan Lereng

Sama halnya dalam pengolahan wilayah ketinggian, lereng merupakan hasil dari data kontur yang diolah menggunakan *software Arc GIS 9.3*.

Dalam pengolahan ini diklasifikasi menjadi 6 kelas meliputi:

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

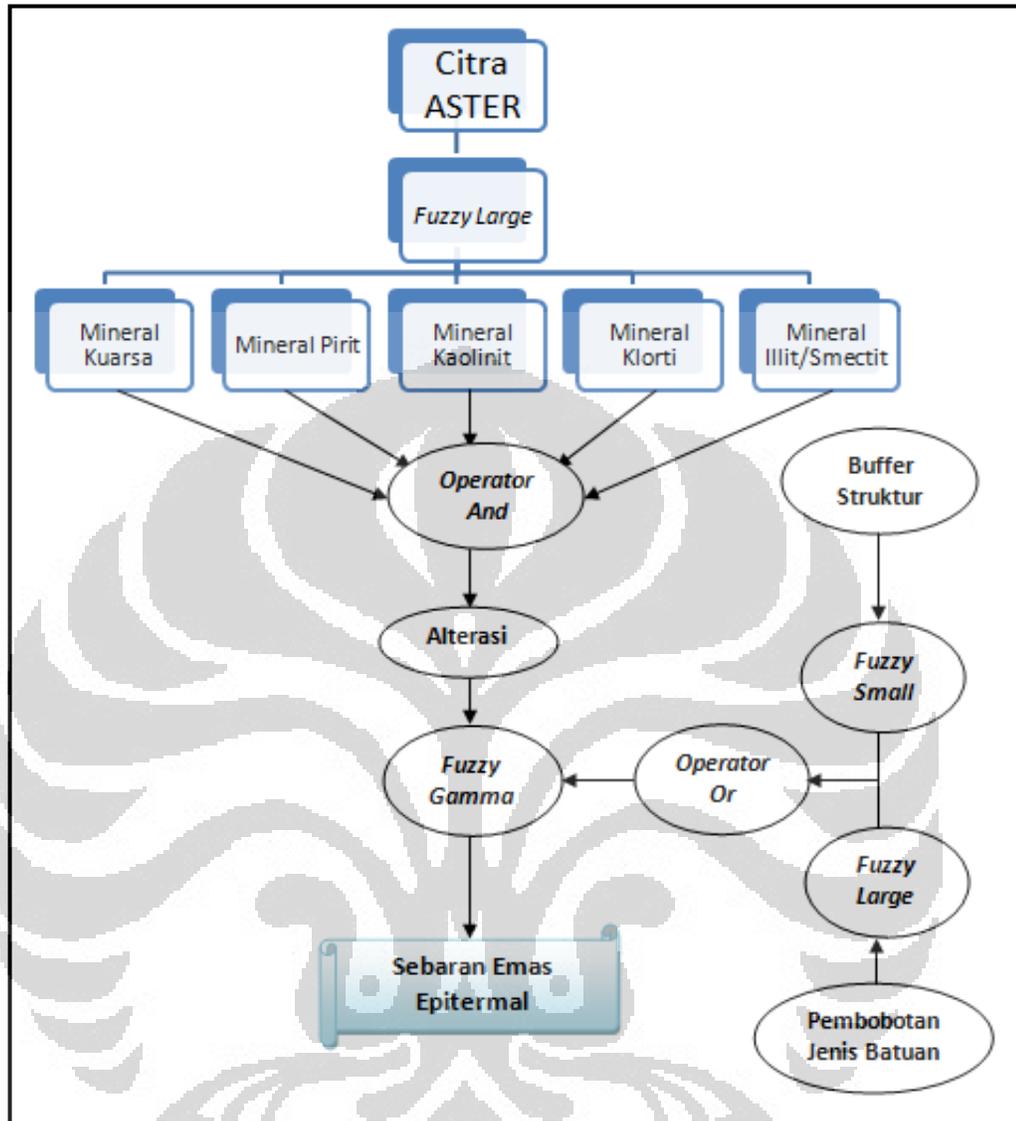
3.5.3 Alur Pengolahan Metode *Fuzzy Logic*

Setelah pengolahan data litologi, struktur geologi dan pengolahan zona alterasi dari Citra ASTER dihasilkan dengan menggunakan masing – masing fungsi *fuzzy*. Langkah pengolahan terakhir untuk menghasilkan peta sebaran emas epitermal adalah dengan mengintegrasikan hasil pengolahan ketiga variabel tersebut dengan konsep *fuzzy logic*. Proses integrasi tersebut menggunakan salah satu operator dalam *fuzzy logic* yaitu *Fuzzy Gamma* (dapat dilihat pada gambar 3.5). Setelah dihasilkan peta sebaran emas epitermal kemudian dioverlay dengan data kandungan unsur geokimia (Au) pada titik bor dan lokasi *tunnel* tambang yang ada untuk menghasilkan peta sebaran potensi emas epitermal.

3.6 Analisis Data

a. Sebaran Mineral Permukaan dan Zona Alterasi

Analisis untuk menentukan hasil dari sebaran mineral permukaan menggunakan analisis dari hasil olahan fungsi *fuzzy large*. Nilai *fuzzy* kemudian dideskripsikan untuk menentukan sebaran mineral yang ada dalam daerah penelitian. Analisis zona alterasi dari hasil fuzzifikasi (gabungan nilai



Gambar 3.5 Diagram Proses Pengolahan *Fuzzy* (sumber: *Pengolahan Data 2012*)

fuzzy dari setiap *pixel*) pada semua mineral permukaan.

b. Asosiasi Zona Alterasi dengan Sebaran Variabel Fisik

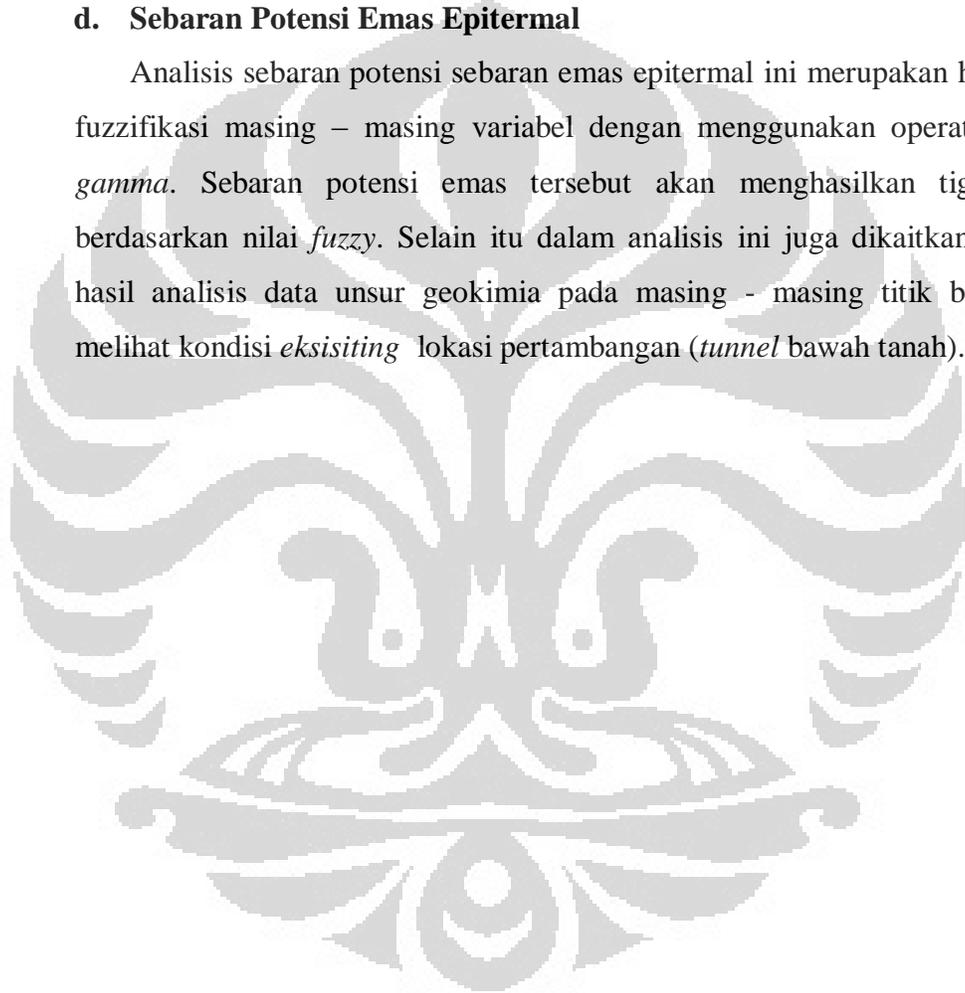
Analisis ini dilakukan dari hasil *fuzzifikasi* variabel fisik, seperti keberadaan struktur geologi kaitannya dengan adanya mineral pembawa emas yang mengisi dalam rekahan tersebut. Selain itu litologi asosiasi dengan mineral permukaan sebagai pembawa emas epitermal. Semua analisis di atas menggunakan analisis deskriptif.

c. Kandungan Unsur Geokimia

Analisis ini merupakan analisis deskriptif dari data sekunder yaitu berupa presentase kandungan unsur - unsur kimia pada setiap data titik bor di daerah penelitian. Uji validasi dilakukan dengan mengoverlaykan hasil klasifikasi data titik bor dengan klasifikasi sebaran emas epitermal hasil pengolahan Citra ASTER dan hasil pengolahan *Fuzzy Logic*.

d. Sebaran Potensi Emas Epitermal

Analisis sebaran potensi sebaran emas epitermal ini merupakan hasil dari fuzzifikasi masing – masing variabel dengan menggunakan operator *fuzzy gamma*. Sebaran potensi emas tersebut akan menghasilkan tiga kelas berdasarkan nilai *fuzzy*. Selain itu dalam analisis ini juga dikaitkan dengan hasil analisis data unsur geokimia pada masing - masing titik bor, serta melihat kondisi *eksisting* lokasi pertambangan (*tunnel* bawah tanah).



BAB IV

GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum Daerah KP PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk

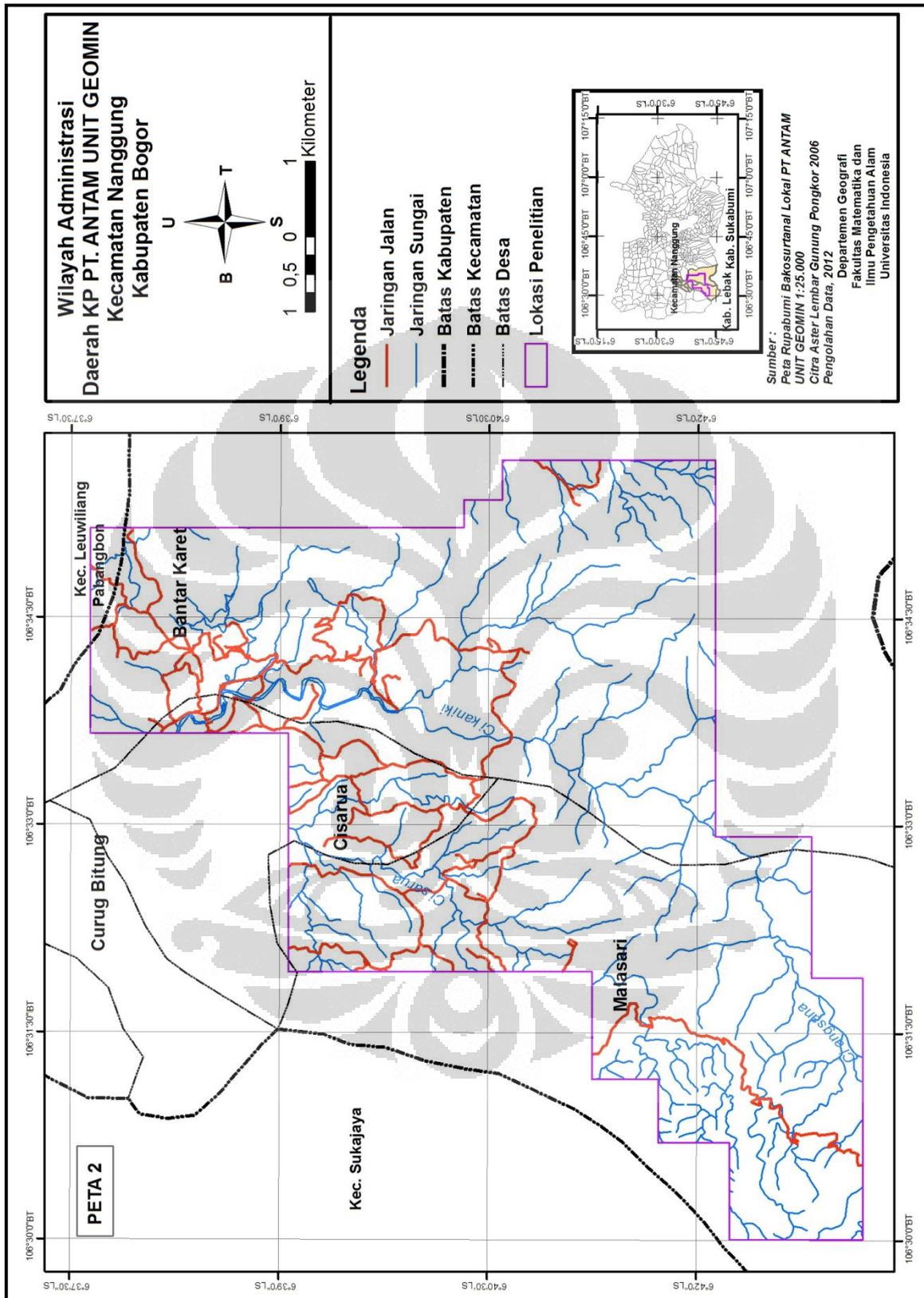
Secara geografis batas daerah penelitian dari utara ke selatan $6^{\circ} 37' 30''$ LU – $6^{\circ} 42' 30''$ LS dan dari barat ke timur $106^{\circ} 30' 00''$ BB – $106^{\circ} 35' 00'$ BT. Daerah penelitian terletak pada wilayah eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk yang meliputi empat desa yaitu Desa Bantar Karet, Desa Malasari, Desa Cisarua dan salah satu desa dari Kecamatan Leuwiliang yaitu Desa Pabangbon. Secara administrasi daerah penelitian ini terletak di Kecamatan Nanggung. Kecamatan ini terletak di sebelah barat daya Kabupaten Bogor Jawa Barat. (lihat pada Gambar 4.1).

Batas administrasi Kecamatan Nanggung:

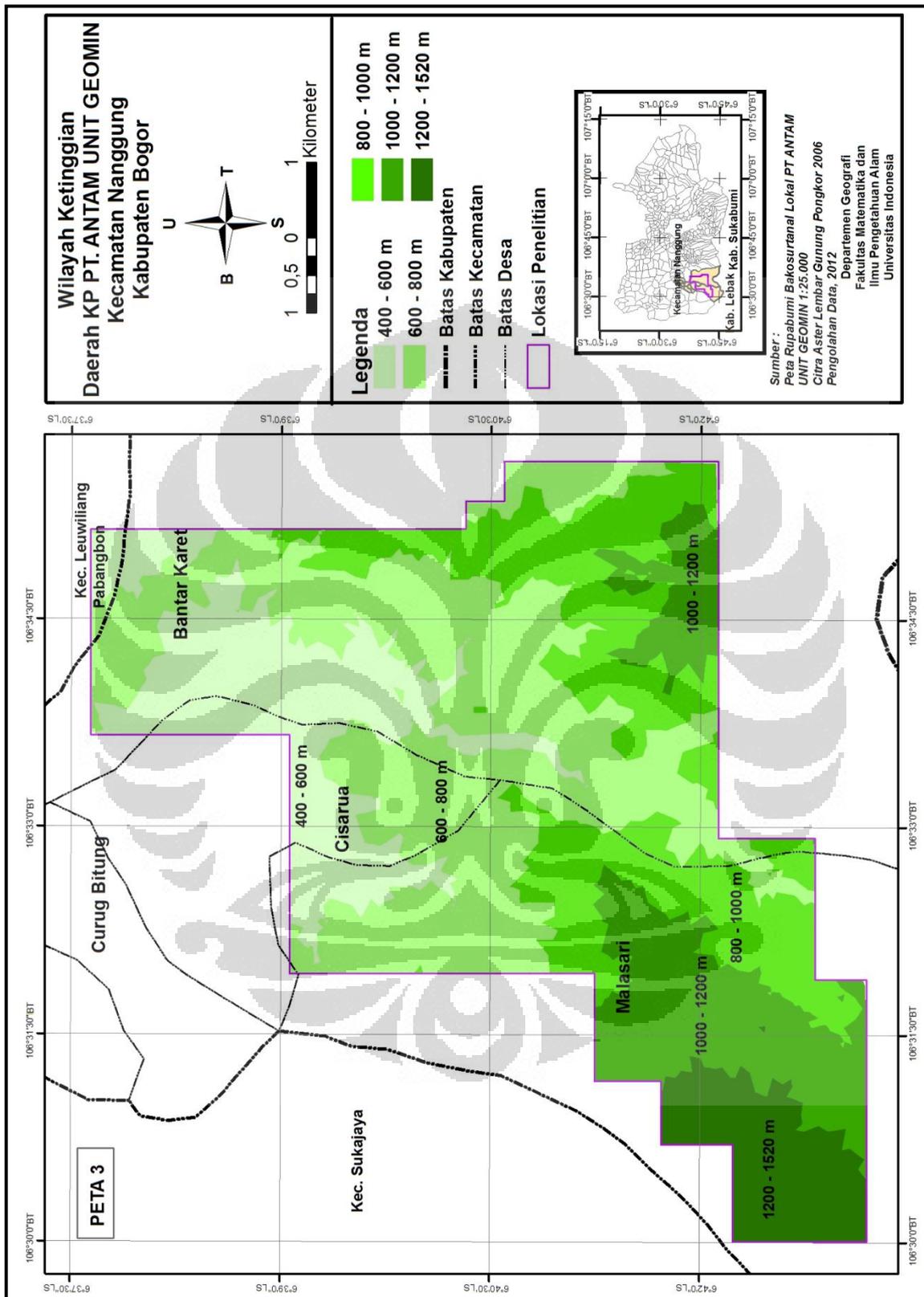
- Utara : Kecamatan Cigudeg, Kecamatan Leuwisadeng dan Kecamatan Leuwiliang
- Selatan : Kabupaten Sukabumi dan Kabuapten Lebak
- Timur : Kecamatan Leuwiliang
- Barat : Kecamatan Sukajaya dan Kabupaten Lebak.

4.1.1 Topografi

Secara umum wilayah eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk berada pada ketinggian antara $\pm 400 - 1520$ meter di atas permukaan laut (lihat Gambar 4.2) yang dikelilingi oleh Gunung Pongkor dan Taman Nasional Gunung Halimun. Selain itu terdapat perkebunan teh yang berada di dekat Taman Nasional Gunung Halimun yang masih merupakan wilayah eksploitasi. Gunung Halimun berada pada ketinggian ± 1922 meter di atas permukaan laut. Selain itu terdapat bukit atau anak Gunung Halimun meliputi Gunung Dahu, Gunung Botol, Gunung Astana. Aliran Ci Kaniki yang mengalir di atas permukaan wilayah eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk yang berhulu dari Gunung halimun. Aliran sungai ini memiliki beberapa anak sungai meliputi Ci Angsana, Ci Saebah, Ci Suren, Ci Banteng, Ci Manganten dan Ci Hiris.



Gambar 4.1 Peta Wliayah Administrasi



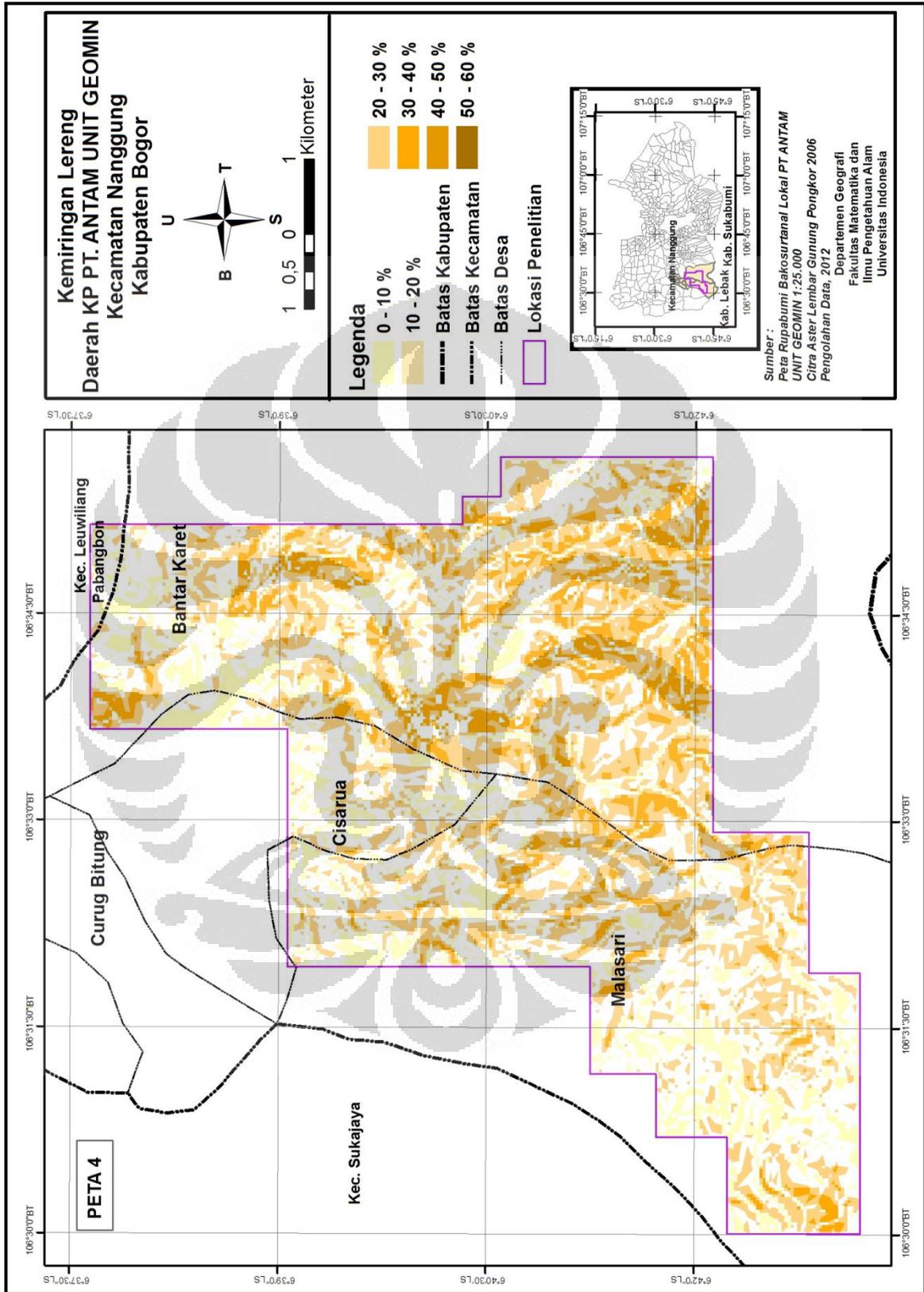
Gambar 4.2 Peta Wilayah Ketinggian

Topografi daerah penambangan saat ini berada di atas aliran Ci Kaniki berupa perbukitan dengan ketinggian antara 550 – 700 meter di atas permukaan laut. Wilayah permukiman dalam daerah penelitian ini berada pada ketinggian yang bervariasi dari 400 – 1200 meter di atas permukaan laut. Ketinggian 400-600 meter di atas permukaan laut didominasi oleh topografi dataran rendah tepatnya berada di bagian utara dari Desa Bantar Karet, Desa Pabangbon, Desa Cisarua dan Desa Malasari. Selain itu bagian selatan Desa Malasari dengan ketinggian 1000-1520 meter di atas permukaan laut dengan topografi perbukitan dan pegunungan berupa perkebunan teh yang berada di lembah dari kaki Gunung Halimun.

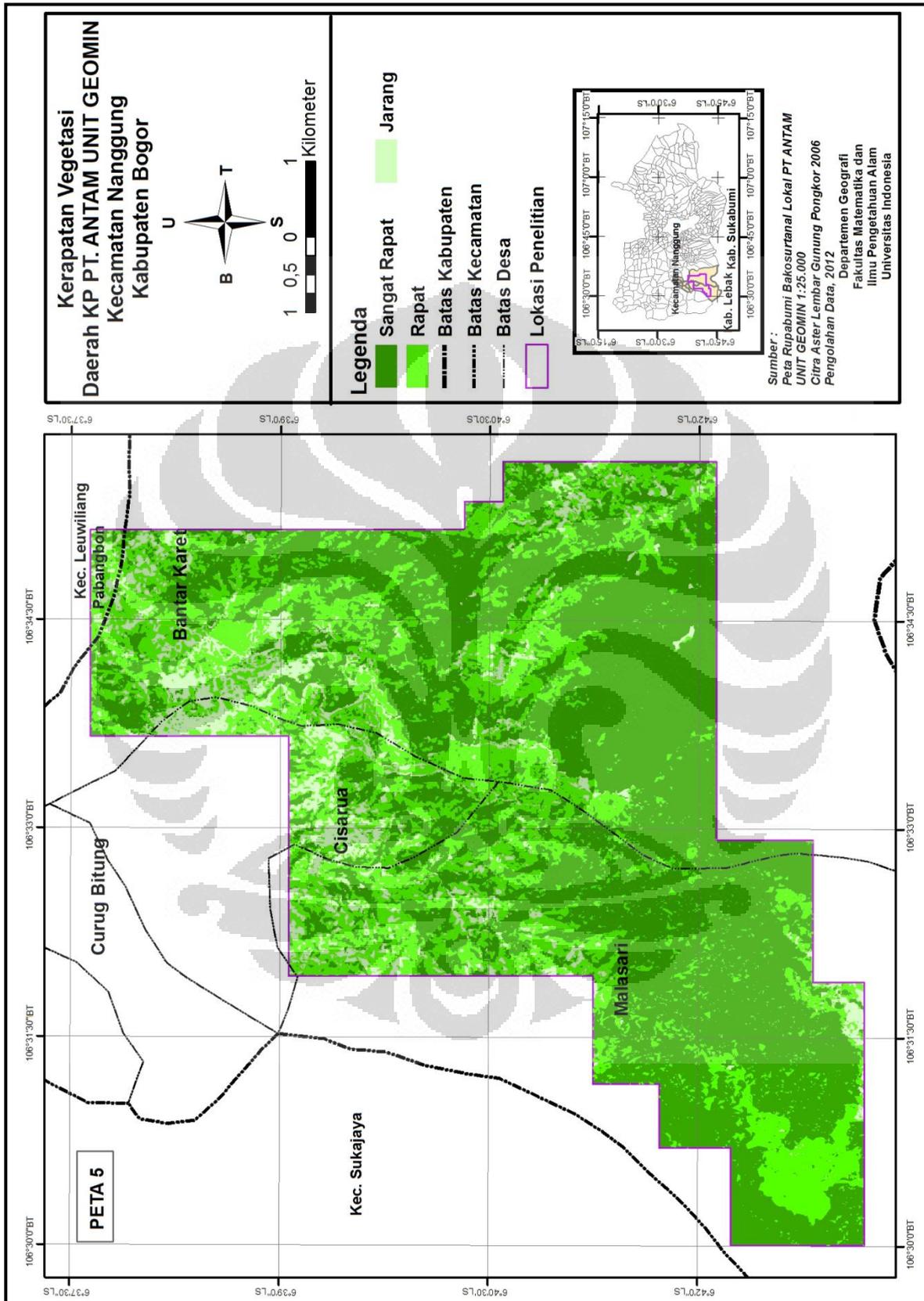
Kemiringan lereng daerah eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk ini bervariasi dari mulai 0 - 60% (lihat Gambar 4.3). Tampak pada peta kemiringan lereng, kelas lereng 0 - 10 % didominasi pada wilayah permukiman yang berada pada bagian utara dari Desa Bantar Karet, Desa Cisarua, Desa Malasari dan area perkebunan teh di bagian selatan tepat dilembah kaki Gunung Halimun. Pada bagian tengah dari daerah penelitian yang meliputi daerah *tunnel* tambang bawah tanah dan lokasi titik bor pada saat ini terlihat di Gambar 4.3 berada di kelas lereng 30-40 %. Sedangkan kondisi kelas lereng 50 – 60% tampak menyebar sangat sedikit di daerah penelitian. Kondisi tersebut berada di sebelah selatan dari Desa Bantar Karet.

4.1.2 Kerapatan Tutupan Vegetasi

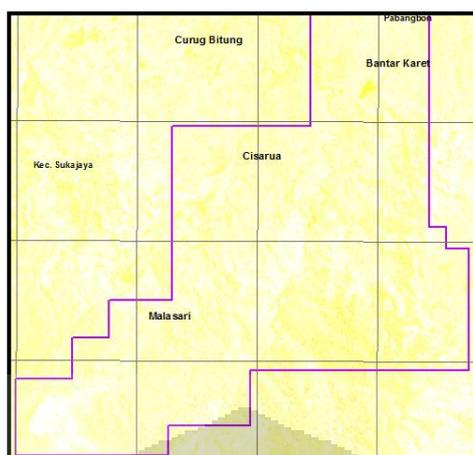
Gambaran umum wilayah PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk di sekitar Gunung Pongkor memiliki tutupan vegetasi yang beragam, semakin rapat dari arah utara sampai ke arah selatan yaitu dari daerah sorongan sampai daerah Nirmala tepat di bawah kaki Gunung Halimun. Daerah yang memiliki vegetasi jarang berada di sekitar permukiman penduduk sebelah Utara Desa Pabangbon, Desa Malasari, Desa Bantar Karet, Desa Cisarua. Tutupan vegetasi sedang mendominasi area perkebunan teh, lokasi titik bor dan lokasi tambang *tunnel* yang ada saat ini. Terlihat dalam Gambar 4.4, kondisi tutupan vegetasi yang sangat rapat menyebar di bagian selatan yaitu bagian selatan dari Desa Bantar Karet, Desa Malasari dan bagian barat daya daerah penelitian tepatnya di bawah kaki Gunung Halimun yang berbatasan dengan Kabupaten Sukabumi dan Kabupaten Lebak. Dari hasil citra penginderaan jauh (lihat gambar 4.5), luasan kerapatan



Gambar 4.3 Peta Kemiringan Lereng



Gambar 4.4 Peta Kerapatan Vegetasi



Gambar 4.5 Hasil Pengolahan Citra Penginderaan Jauh Tutupan Kerapatan Vegetasi

tutupan vegetasi di daerah KP PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk dengan tiga kelas yaitu jarang, rapat dan sangat tinggi dapat dilihat rinciannya dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Luasan Kerapatan Tutupan Vegetasi

Kelas Kerapatan	Luas (Ha)	Presentase (%)
Jarang	1776	29,24
Rapat	623	10,25
Sangat Rapat	3675	60,51
	6074	100

Sumber: Data Pengolahan 2012

4.1.3 Litologi

➤ Litologi Eksploitasi PT ANTAM Tbk, Unit GEOMIN

Menurut Bemmelen (1949), Jawa Barat dibagi menjadi lima zona fisiografi, yaitu : Dataran Rendah Pantai Jakarta, Zona Bandung, Zona Bogor, Pegunungan Bayah dan Pegunungan Selatan Jawa Barat. Wilayah Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk termasuk zona Bogor Barat yang merupakan daerah pegunungan. Zona Bogor merupakan perbukitan lipatan yang terbentuk dari batuan sedimen tersier laut dan membentuk suatu antiklinorium. Terdapat beberapa daerah yang mengalami patahan pada zaman Pliosen-Plistosen yang sezaman dengan terbentuknya patahan Lembang dan pengangkatan gunung selatan. Beberapa

gunung yang terdapat di zona yang sama antara lain Gunung Halimun (1.929 m), Gunung Salak (2.211 m), Gunung Kendeng (1.764 m) dan Gunung Pongkor (754,00 m). Geologi daerah Pongkor merupakan bagian dari jalur gunungapi yang masih aktif memanjang dari Barat ke Timur selebar 30 - 40 km dengan ketinggian 500-2.200 m di atas permukaan laut dan umumnya masih tertutup hutan primer. Di bagian Selatan terutama di sepanjang Cikankiki terdapat satuan batuan tufa breksi yang disusun oleh tufa, tufa lapili, tufa breksi, aglomerat, dan sisipan lempung. Satuan ini diterobos dan terpotong oleh urat kuarsa yang mengandung emas.

Geologi daerah Pongkor tersusun atas tiga satuan batuan vulkanik yang berumur Miosen-Pliosen (Milesi, 1999). Satuan paling bawah dicirikan oleh batuan vulkanik andesitik yang berafinitas *calc alkaline* yang diendapkan di bawah lingkungan laut, yang bergradasi secara lateral menjadi endapan epiklastik. Terdapat sisipan endapan epiklastik berbutir halus sampai kasar, seperti batupasir yang bergradasi ke arah atas dan batulanau hitam di antara andesit dan tubuh breksi. Satuan bagian tengah tersusun oleh batuan vulkanik eksplosif dasitik darat yang tersusun oleh tuf lapili. Batuan ini ditumpangangi oleh breksi vulkanik dan tuf jatuhan piroklastik berbutir halus dan batulanau epiklastik. Sebuah kubah riolitik mengintrusi satuan ini. Satuan bagian atas tersusun oleh aliran lava andesitik dengan struktur kekar tiang (dapat dilihat pada gambar 4.6).

Selain kondisi detail kondisi geologi, dapat dilihat juga pada gambar 4.7 yaitu deskripsi satuan umur batuan atau susunan stratigrafi yang terdapat di area eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk. Gunung Pongkor tersusun atas umur miosen tersier yang menyebar pada bagian tengah. Bagian barat daya tersusun atas umur pliosen tersier, sedangkan bagian utara tersusun atas umur plestosen dan holosen kuartar. Satuan umur batuan ini merupakan susunan masa atau waktu suatu batuan yang membeku dalam lingkungan hidrotermal dan merupakan serpihan dari bentukan struktur geologi pada saat terjadi magmatisme.

UMUR		SATUAN BATUAN	KESEBANDINGAN Lembar Jawa Barat Effendi, 1998
KUATER	HOLLOSEN	Qa	
	PLEISTOSEN	Qppt	Batuan gunung api G. Gede Allan lava, breksi tufaan, lahar, breksi bongka andesi
PLIOSEN		K. Gunung Singa Qpslv Qpsbl	Batuan gunung api G. Satek Allan lava, andesi basal, tuf, batu apung lapitan, breksi tufaan,
	MIOSEN	K. Gunung Dahu Qpdnt Qpdtb Qpdt Qpcbx	
TERSIER		K. Gunung Astana Tpaib	Batuan gunung api (batuan gunung api tua) Breksi, breksi tuf, batuapung allan lava, batu pasir tufaan
	MIOSEN	K. Gunung Wu - Masigit Tpmbs Tpmt Tpwbs	
MIOSEN		K. Gunung Pongkor Tmptl Tmptv Tmptb Tmpt Tmptg Tmptx	Formasi Bentang Formasi Bojonegara Batu pasir, tuf basung, batu gamping, batu lempung dengan lempung blumen, dan stapan Hart

Gambar 4.7 Stratigrafi Daerah Gunung Pongkor (Sumber: PT ANTAM, 2012)

Uraian deskripsi simbol huruf dari Peta Litologi (Jenis Batuan) di atas adalah:

- **Qppt** (Tuf Kasar, Tuf Sedang, Tuf Blokan): Tuf Kasar warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu kehijauan, keras terpilah sedang, banyak terdapat kekar terdiri atas mineral feldspar dan gelas. Tuf Sedang, warna segar putih kekuningan, warna lapuk putih kecoklatan, terpilah baik, keras dapat diremas, terdapat feldspar dan gelas. Tuf Blokan, komponen terdiri atas batuan beku, mengembang diantara matriks yang berupa tuf kasar dengan bentuk komponen yang menyudut.
- **Qpdnt** (Tuf): Tuf, tuf kasar, warna segar abu-abu, warna gelap kuning kecoklatan, menyudut menyudut tanggung, mengandung gelas, sedikit pirit. Lava, warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu kecoklatan, forpiritik, mengandung mineral hitam, feldspar, kuarsa keras. Tuf kasar, warna segar abu-abu, warna lapuk kuning kecoklatan, menyudut-menyudut tanggung, mengandung gelas, mineral pirit keras. Lapili Blokan, mengandung fragmen tuf berwarna putih, dan abu-abu kehitaman, dengan diameter 3-9 cm, menyudut menyudut tanggung, gelas, matrik lapili, warna segar abu-abu, warna lapuk kuning kecoklatan, terdapat klorit keras. Batu lapili, warna segar putih kehijauan, warna lapuk kuning kehijauan, tersilifikasi, mengandung

klorit keras dan padat.

- **Qpdbx** (Breksi Polimik): Breksi polimik, warna segar abu-abu terang mengandung fragmen batuan beku, tuf menyudut-menyudut tanggung, keras terbuka pemulihab buruk, *fining up ward*. Batuan beku berwarna abu-abu sampai abu-abu kemerahan, menyudut tanggung membundar, keras, tuf berwarna abu-abu sampai abu-abu kecoklatan, menyudut-menyudut tanggung. Setempat ditemukan sisa lava, berwarna abu-abu kehitaman sampai abu –abu porfiritik, *cloumnar join*, keras. Lapili, warna segar abu-abu gelap, warna lapuk abu-abu kehitaman, komponen batuan beku dan furnice, batuan beku yang warna segar hitam, warna lapuk kecoklatan, forfiritik keras, pumice putih, abu – abu kehijauan, menyudut 2-5 cm, rata-rata 3cm.
 - **Qpdtb** (Tuf Blokan): Tuf Blokan, warna segar putih kecoklatan, warna lapuk kekuningan, fragmen batua beku ukuran 2-72 cm, rata-rata 10 cm, menyudut tanggung. Pada batuan ini ditemukan juga lapili, warna segar abu-abu kehijauan, warna lapuk abu-abu kecoklatan, piroksen, feldspar, menyudut-menyudut tanggung, masif.
 - **Qpdt** (Tuf Kasar) : Tuf Kasar, warna segar coklat kehitaman, warna lapuk coklat, mengandung fragmen kuarsa, lithik, menyudut-menyudut masif, keras.
 - **Tpalb** (Lapili Blokan) : Lapili Blokan, komponen batuan beku, warsa segar putih kotor, warna lapuk kuning kecoklatan, kaolinitisasi, piritisasi, plagioklas, kuarsa, matrik lapili, veindets, pumice, piritisasi. Batuan beku, warna segar abu-abu kehijauan, warna lapuk abu-abu kecoklatan, dengan *veint* kurang lebih 2 cm yang didisi pirit, klorit dan limonit, kuarsa, plagioklas, sedikit gelas. Breksi, komponen batuan beku sudah berubah, klorit, pirit, kuarsa, gelas, matrik lapili, fragmen hitam, plagioklas, pirit. Tuf vitrik, gelas, fragmen batuan, keras dapat diremas,
 - **Tpmbx** (Breksi Komponen Andesit): Breksi, breksi, warna coklat kekuningan, komponen andesit, abu-abu kecoklatan, pemilahan buruk, menyudut-menyudut tanggung, kemas sedang, matrik tuf.
 - **Tpmt** (Merah Bata): Tuf, warna coklat kekuningan dan merah bata lapuk.
- Tpwbx** (Breksi Komponen Andesitik, Porpiritik): Breksi, Breksi, kemas terbuka,

pemilahan buruk, menyudut tanggung - membundar tanggung,

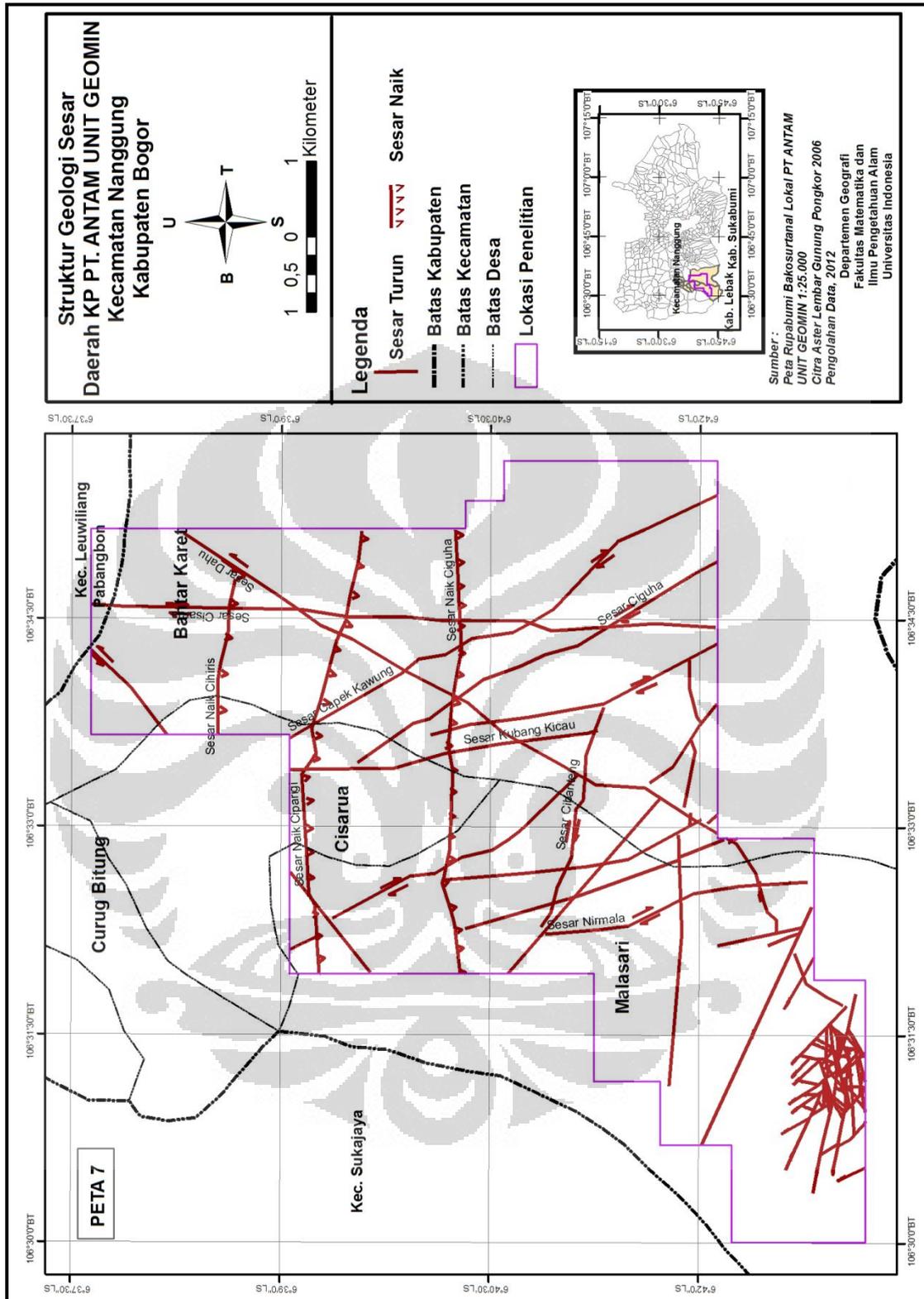
- komponen andesit porpiritik. Tuf kasar, warna segar abu-abu kecoklatan, warna lapuk kehitaman masif, terdapat komponen batuan beku (*obsidian*), abu-abu hitam berbintik putih, batuan beku andesitis, cokelat berbintik putih. Perlit, obsidian, kilap kaca, *columnar jointing*, *sheeting joint*.
- **Tmptg** (Tuf Gelas): Tuf gelas, tuf blokan, warna putih kecoklatan, warna lapuk kecoklatan, menyudut tanggung - membundar tanggung, keras tertutup, pemilahan baik, struktur sedimen masif. Tuf halus, warna segar putih kekuningan/kehijauan, warna coklat kehitaman, menyudut tanggung-membundar tanggung, keras tertutup, terpilah baik, agak keras masif. Tuf halus berlapis, warna segar putih kekuningan, warna lapuk cokelat, tanggung-membundar tanggung, keras tertutup, pemilahan baik, terdapat tuf berlapis dengan arah N 230° E / 11° dan N 72, 05° E / 8°, banyak terdapat kekar dan veint, yang terisi oleh mineral oksida besi, berwarna cokelat dengan arah N 165° E / 73° dan N 158° E / 61°. Lava, warna segar abu-abu, warna lapuk cokelat kehitaman, tekstur afanitik, banyak gelas, mafic mineral, terlihat adanya *sheeting joint*.
- **Tmptl** (Tufa Lapili, Andesit Basalt): Tufa lapili, tufa lapili, warna segar abu-abu keputihan, warna lapuk abu-abu kecoklatan, terdapat (andesit basalt), komponen *clayball* berukuran 1-14 cm, *claypellet* 0,5 – 30cm, exotic blok, menyudut tanggung-membundar tanggung, kemas terbuka keras, matrik tuf kasar, warna segar putih, warna lapuk cokelat kekuningan dan kemerahan, menyudut- membundar tanggung.
- **Tmplv** (Lava Andesitik): Lava Andesitik, lava andesitik, warna segar abu-abu kehitaman, warna lapuk abu-abu kecoklatan, porpiritik, keras.
- **Tmpbl** (Batu Lapili): Warna segar putih ke coklatan, warna lapuk cokelat kekuningan, mengandung mineral hitam, feldspar, kuarsa, pirit, gelas berukuran 3-5cm, rata-rata 4cm, menyudut tanggung, sebagian teroksidasi, sebagian tersilisipikasi, banyak pirit yang berubah, teroksidasi, mineral lempung berubah warna putih, ubahan tuf berwarna ungu.
- **Tmpt** (Tuf Berurat Kuarsa): Tuf. Tuf warna segar abu-abu putih keruh, warna lapuk cokelat kemerahan, ukuran butir halus kasar, mengandung

mineral lempung, pirit, berkembang *sheet joint*, terdapat urat kuarsa.

4.1.4 Struktur Geologi

Berdasarkan data geologi yang dimiliki oleh Unit Bisnis Pertambangan EmasPongkor dan PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk beberapa sesar yang terdapat di lokasi ini antara lain Sesar Cikaniki, Sesar Cisarua, Sesar Cihiris, Sesar Naik Cihiris, Sesar Dahu, Sesar Kubang Kicau, Sesar Nirmala, Sesar Ciguha, Sesar Naik Ciguha, Sesar Cibanteng. Struktur Geologi yang berkembang terdiri atas kekar dan sesar. Sesar yang berkembang dengan arah N 190° E dan N 22° E dengan sudut kemiringan (*dip*) hampir tegak yang telah terisi oleh urat kuarsa terutama ditemukan di lokasi pertambangan level 500 meter Pasir Jawa. Sesar yang ditemukan dicirikan oleh adanya pergeseran antara 2-5 meter ke arah vertikal pada lapisan batuan lempung.

Pola penyebaran kekar memperlihatkan arah umum yang sejajar dengan penyebaran urat *veint* dan bidang perlapisan batuan, yang umumnya terisi urat kuarsa, lempung, oksida mangan, pirit dan limonit. Sebaran struktur geologi berupa sesar dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Peta Struktur Geologi Sesar

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Sebaran Mineral Permukaan Emas Epitermal

Salah satu hasil pengolahan dari Citra ASTER menggunakan *Direct Principle Component (DPC)* dari *Defoliant Technique* adalah dapat mengetahui sebaran mineral permukaan. Mineral tersebut antara lain Kuarsa, Kaolinit, Pirit, Klorit dan Illit/Smectit. Pembahasan masing-masing mineral akan dijabarkan dalam pembahasan di bawah ini:

5.1.1 Mineral Kuarsa

Dalam *spectral library*, mineral kuarsa memiliki panjang gelombang dengan reflektansi tertentu (dapat dilihat pada **Gambar 3.2**). Hasil pengolahan proses *Defoliant Technique*, mineral kuarsa memiliki input band ratio 1/9 : 3/4. Input pertama merupakan input panjang gelombang yang memiliki nilai lebih besar dari nilai panjang gelombang pada spektral respon vegetasi. Input kedua merupakan input respon spektral mineral, mineral yang memiliki nilai panjang gelombang tinggi dibagi dengan input panjang gelombang yang lebih rendah. Terlihat dalam tabel 5.1, nilai DPC 2 dapat menggambarkan zona yang mengandung kuarsa dengan vegetasi. Sedangkan di kolom kedua yaitu DPC 1 menjelaskan bahwa dari kedua input rasio tersebut menghasilkan keduanya angka negatif. Oleh karena itu DPC 1 tidak dapat menggambarkan perbedaan zona mineral kuarsa dengan vegetasi. Hasil dari DPC 2 yang akan di ekstrak sebagai mineral kuarsa. Citra dari hasil DPC 2 memiliki *digital number* dari mulai 0- 255.

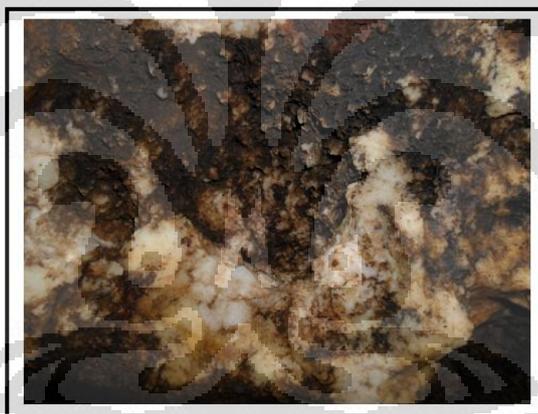
Tabel 5.1 Analisis *DPC* CITRA ASTER untuk Mineral Kuarsa

<i>Principal Component</i>	<i>Eigenvector</i>	
	Saluran 1/9	Saluran 3/4
DPC 1	-0.741168	-0.671320
DPC 2	0.671320	-0.741168

Sumber: Pengolahan Data 2012

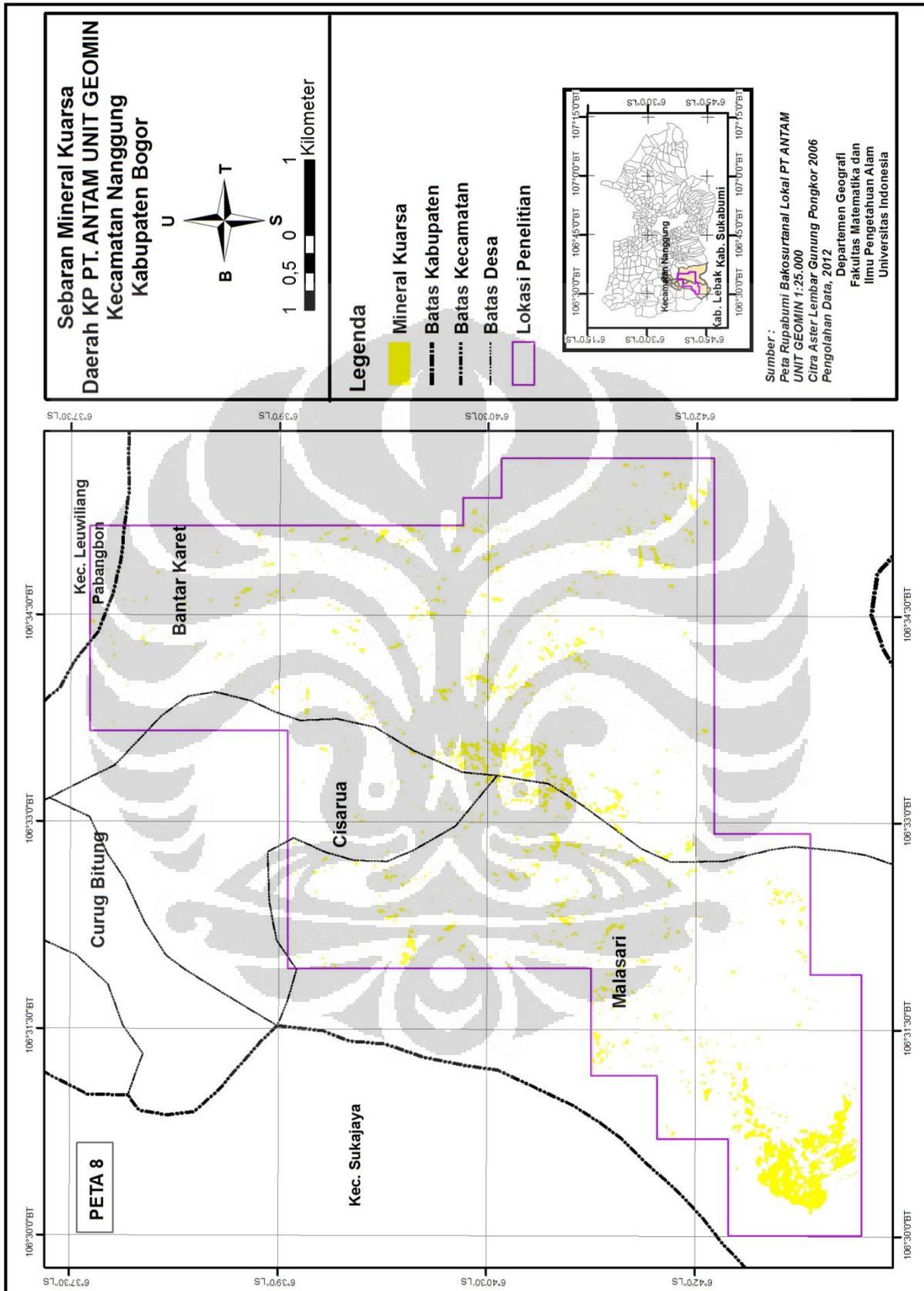
Nilai *digital number* sebagai input dalam proses *fuzzy logic*, yaitu *fuzzy large*. Hasil dari pengolahan *fuzzy large* menunjukkan bahwa nilai *digital number* semakin mendekati 255 maka nilai *fuzzy* semakin mendekati 1. Sebaran nilai tersebut tampak lebih terang atau berwarna putih dalam citra yang menunjukkan sebaran mineral kuarsa. Sebaliknya nilai *digital number* akan mendekati 0, maka nilai *fuzzy* pun mendekati 0 dengan kenampakan gelap atau berwarna hitam yang menunjukkan bukan merupakan sebaran mineral kuarsa. Sebaran mineral kuarsa ditunjukkan oleh nilai *fuzzy* yang paling tinggi yaitu dari range 0,9 – 1.

Sampel mineral kuarsa di bagian tengah diambil dari anak Ci kaniki yaitu Ci Manganten. Mineral kuarsa dapat berupa urat yang panjangnya ± 15 cm dan biasanya diambil dari batuan yang masih segar, dalam arti bukan batuan yang lapuk. Sampel mineral urat kuarsa berupa *veint* dapat dilihat dalam gambar 5.1. Terlihat dalam gambar 5.2 (Peta Sebaran Mineral Kuarsa) sebaran mineral kuarsa menyebar di bagian tengah dan bagian selatan.

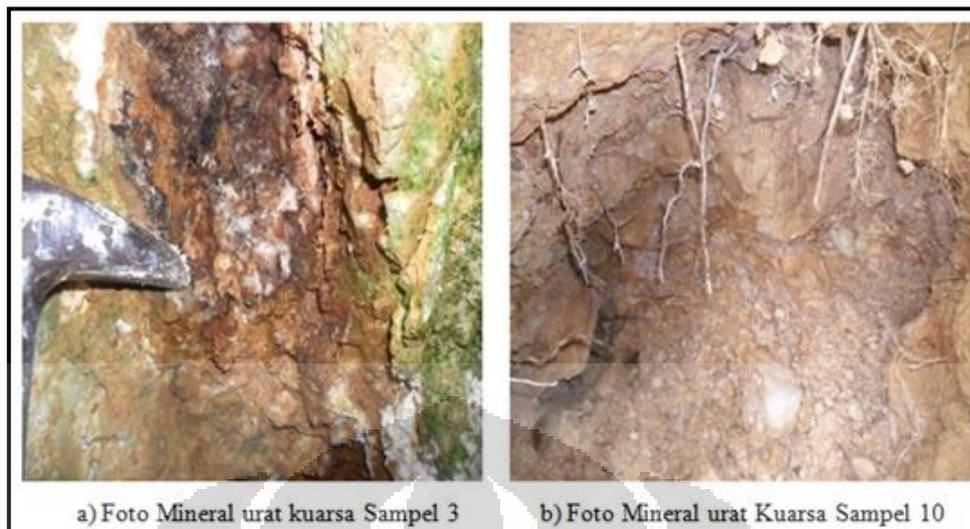


Gambar 5.1 Sampel 4 Mineral Kuarsa di Ci Manganten (106° 34' 25" BT, 6° 39' 30" LS)

Sedangkan sebaran mineral kuarsa di bagian selatan ditemukan pada Ci Angsana tepat di bawah Gunung Halimun daerah Nirmala. Kondisi vegetasi tersebut sangat rapat dengan kemiringan lereng 20 – 30%. Selain itu mineral kuarsa ini juga ditemukan di bukit antara Ci Angsana dan Ci Saebah. Kondisi vegetasi pada bukit tersebut sangat jarang, dan diambil dari sebuah paritan. Dapat dilihat pada gambar 5.3 a & b.



Gambar 5.2 Peta Sebaran Mineral Kuarsa



Gambar 5.3 *Veint* Kuarsa Pada Bagian Selatan Daerah Nirmala a) Sampel 3 di Ci Angsana. ($106^{\circ}31' 15''$ BT, $6^{\circ}43' 00''$ LS), b)Sampel 10 di antara Bukit Ci Saebah dan Ci Angsana ($106^{\circ}31' 18''$ BT, $6^{\circ}43' 15''$ LS)

Mineral kuarsa dapat ditemukan dalam dua bentuk yaitu *veinlet* dan *veint*. Dikatakan *veinlet* jika lebar dari urat kuarsa tersebut antara $\pm 3 - 10$ cm, dan dikatakan *veint* apabila lebar dari urat kuarsa lebih dari ± 10 cm. Seperti tampak pada gambar 5.3 sebaran mineral kuarsa berupa *veint* serta ditemukan bersama dengan mineral lainnya seperti pirit, illite dan klorit. Dalam gambar 5.4 dapat dilihat urat kuarsa berupa *veinlet* pada daerah penelitian yang ditemukan pada anak Ci Kaniki yaitu Ci Banteng.



Gambar 5.4 *Veinlet* di Ci Banteng ($106^{\circ} 34' 15''$ BT, $6^{\circ} 40' 45''$ LS)

5.1.2 Mineral Kaolinit

Mineral kaolinit ini memiliki input band ratio 6/2 dan 3/4. Angka tersebut merupakan input dalam proses DPC. Input pertama merupakan panjang gelombang vegetasi yang rendah dibagi dengan panjang gelombang mineral yang tinggi. Input kedua merupakan ratio antara panjang gelombang mineral yang tinggi dibagi dengan panjang gelombang mineral tinggi lainnya. Hasil proses tersebut dapat dilihat dalam tabel 5.2. Pada tabel tersebut nilai DPC 2 dapat menunjukkan perbedaan antara zona vegetasi dan mineral kaolinit. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *eigenvector* yang saling berlawanan. Sedangkan pada nilai DPC 1 tidak adanya perbedaan antara kedua nilai *eigenvector* yaitu semuanya positif. Hal tersebut tidak dapat membedakan antara zona mineral kaolinit dengan vegetasi. Oleh karena itu hasil dari DPC 2 yang akan diekstrak menjadi sebaran mineral kaolinit. Nilai DPC 2 tersebut memiliki nilai digital number dari mulai 0 – 255.

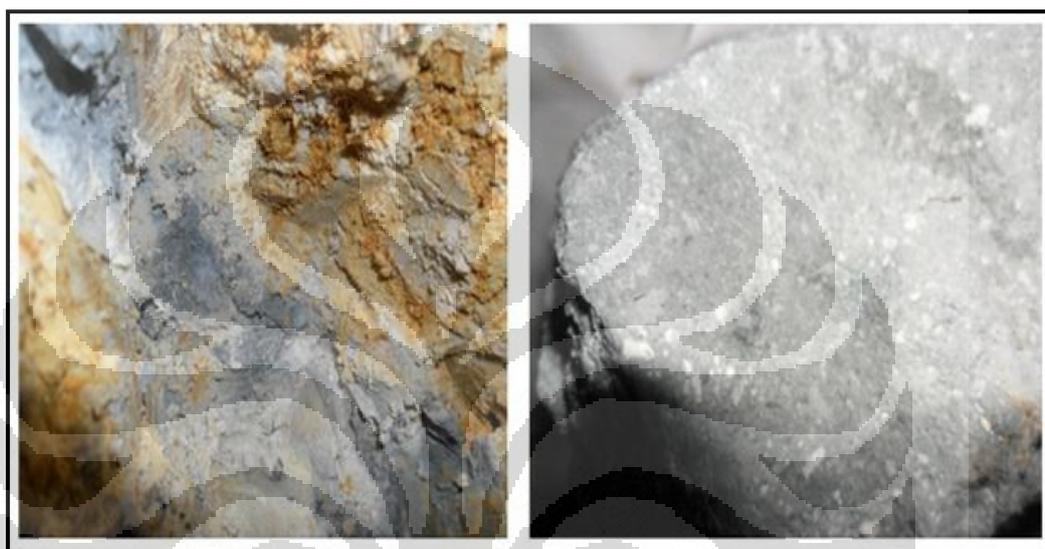
Tabel 5.2 Analisis DPC CITRA ASTER untuk Mineral Kaolinit

<i>Principal Component</i>	<i>Eigenvector</i>	
	Saluran 6/2	Saluran 3/4
DPC 1	-0.999991	-0.004134
DPC 2	0.004134	-0.999991

Sumber: Pengolahan Data 2012

Proses ekstraksi menggunakan angka digital number tersebut sebagai input dalam salah satu fungsi *fuzzy logic* yaitu *fuzzy large*. Hasil dari proses *fuzzy large* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 - 1. Nilai *fuzzy* tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *digital number* yaitu mendekati 255 maka nilai *fuzzy* semakin mendekati 1 dan kenampakan dalam citra pun semakin terang. Kenampakan terang tersebut memiliki nilai *fuzzy* dari 0,9 - 1 pada citra yang menunjukkan sebaran mineral kaolinit. Sebaliknya nilai *digital number* yang semakin mendekati 0 maka hasil nilai *fuzzy* pun mendekati 0. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenampakan semakin gelap pada citra, sehingga tidak menunjukkan adanya sebaran mineral kaolinit. Sebaran mineral kaolinit sama halnya dengan sebaran

mineral kuarsa. Hal ini disebabkan adanya persamaan panjang gelombang pada kedua mineral tersebut sehingga proses input band ratio pun sama dalam proses *Direct Principal Component*. Pengambilan sampel mineral kaolinit ini diambil dari anak Ci Kaniki yaitu Ci Manganten dan Ci Suren. (lihat dalam gambar 5.5) Sebaran mineral kaolinit menyebar lebih banyak di bagian tengah dan bagian selatan dari daerah penelitian, dapat dilihat pada gambar 5.6 (Peta Sebaran Mineral Kaolinit).



a) Sampel 9 Mineral Kaolinit di Manganten

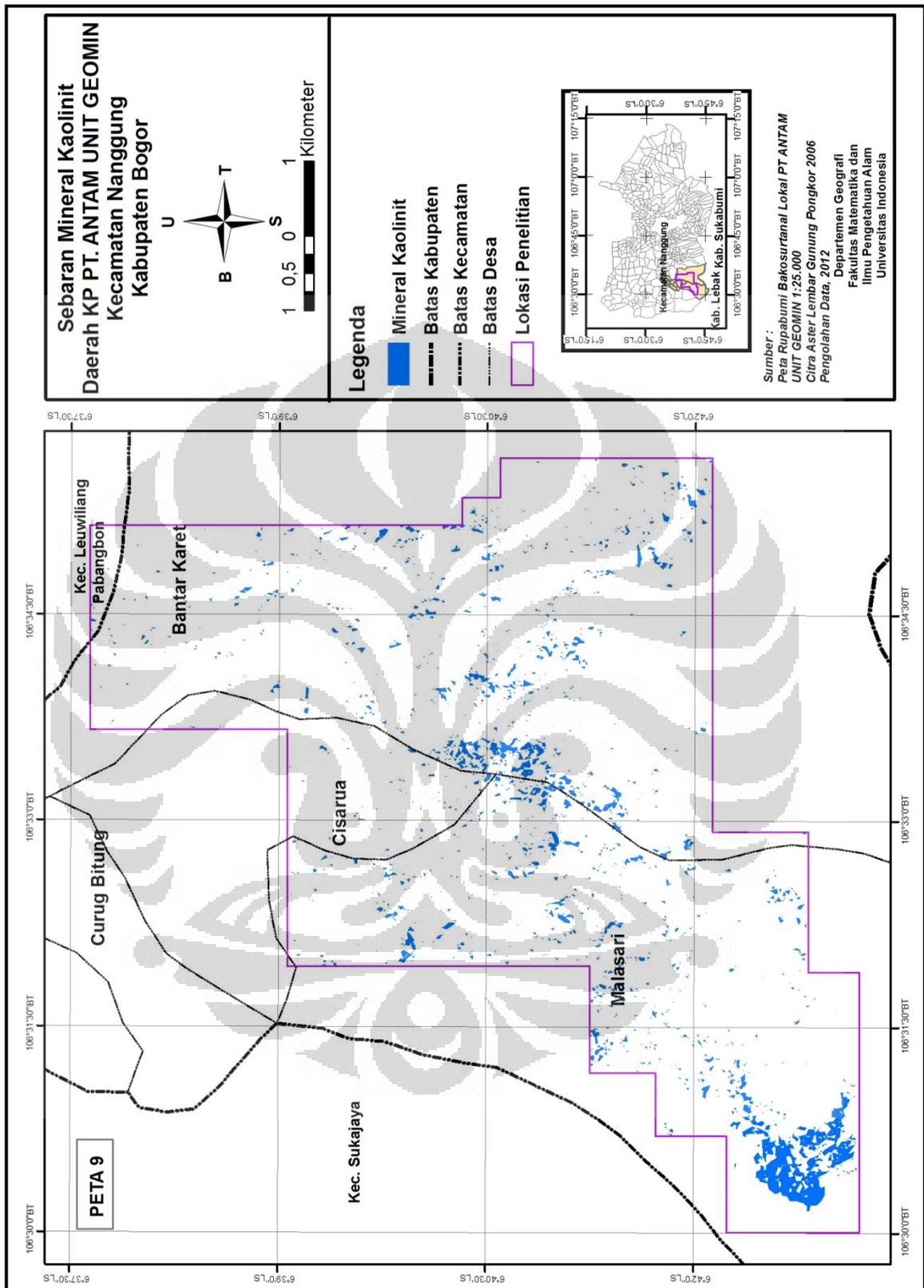
b) Sampel 2 Mineral Kaolinit Ci Suren

Gambar 5.5 Sampel Mineral Kaolinit Di Bagian Tengah Daerah Ci Banteng (Sampel 9 106° 34' 15" BT, 6° 39' 30" LS) (Sampel 2 106° 33' 45" BT, 6° 40' 45" LS)

Sebaran mineral kaolinit pada kedua daerah tersebut ditemukan bersama - sama dengan mineral lainnya seperti pirit dan illit (lihat pada gambar 5.5). Mineral kaolinit ini termasuk dalam grup *clay* atau lempung yang memiliki ciri - ciri warna putih dan lunak.

5.1.3 Mineral Pirit

Mineral kaolinit ini memiliki input band ratio 1/9 dan 3/4. Angka tersebut merupakan input dalam proses *Direct Principal Component*. Input pertama merupakan panjang gelombang vegetasi yang rendah dibagi dengan panjang mineral yang tinggi.



Gambar 5.6 Peta Sebaran Mineral Kaolinit

Input kedua merupakan ratio antara panjang gelombang mineral yang tinggi dibagi dengan panjang gelombang mineral tinggi lainnya. Hasil proses tersebut dapat dilihat dalam tabel 5.3. Dalam tabel tersebut nilai DPC 2 dapat menunjukkan perbedaan antara zona vegetasi dan mineral pirit. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *eigenvector* yang saling berlawanan. Nilai DPC 1 menunjukkan tidak adanya perbedaan antara kedua nilai *eigenvector* yaitu semuanya positif. Hal tersebut tidak dapat membedakan antara zona mineral pirit dengan vegetasi. Oleh karena itu hasil dari DPC 2 yang akan diekstrak menjadi sebaran mineral kaolinit. Nilai DPC 2 tersebut memiliki nilai digital number dari mulai 0 – 255.

Tabel 5.3 Analisis DPC CITRA ASTER untuk Mineral Pirit

<i>Principal Component</i>	<i>Eigenvector</i>	
	Saluran 1/9	Saluran 3/4
DPC 1	-0.741168	-0.671320
DPC 2	0.671320	-0.741168

Sumber: Pengolahan Data 2012

Proses ekstraksi menggunakan angka digital number tersebut sebagai input dalam salah satu fungsi *fuzzy logic* yaitu *fuzzy large*. Hasil dari proses *fuzzy large* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 - 1. Nilai *fuzzy* tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *digital number* yaitu mendekati 255 maka nilai *fuzzy* semakin mendekati 1 dan kenampakan dalam citra pun semakin terang. Kenampakan terang tersebut memiliki nilai *fuzzy* dari 0,9 - 1 pada citra yang menunjukkan sebaran mineral pirit di daerah penelitian. Sebaliknya nilai *digital number* yang semakin mendekati 0 maka hasil nilai *fuzzy* pun mendekati 0. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenampakan semakin gelap pada citra sehingga tidak menunjukkan adanya sebaran pirit. Sebaran mineral pirit sama halnya dengan sebaran mineral kuarsa dan kaolinit. Hal ini disebabkan adanya persamaan panjang gelombang antara mineral pirit, kuarsa dan kaolinit sehingga input band ratio pada ketiga mineral tersebut sama dalam proses *Direct Principal Component*. Sebaran mineral pirit menyebar lebih banyak di bagian tengah dan bagian selatan dari daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 5.8 (Peta Sebaran

Mineral Pirit). Pengambilan sampel mineral pirit ini diambil dari anak Ci Kaniki yaitu Ci Banteng. Sampel mineral pirit dapat dilihat pada gambar 5.7 a dan b.



a) Sampel 5 Mineral Pirit di
Ci Banteng

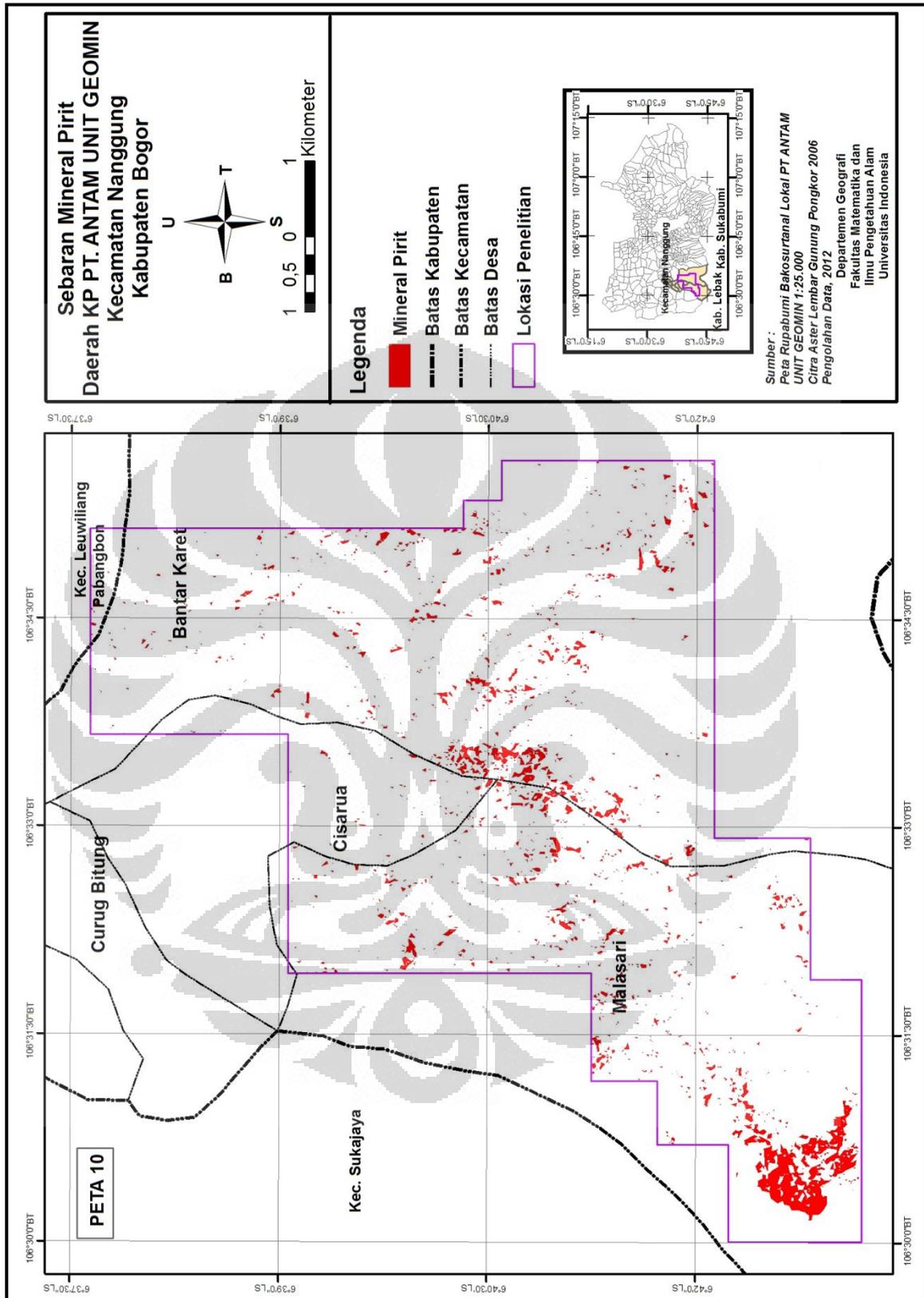
b) Sampel 1 Mineral Pirit di Ci Sarua

Gambar 5.7 Mineral Pirit dalam Mineral Kaolinit di bagian tengah Ci Sarua dan Ci Banteng (Sampel 5 $106^{\circ}33'15''$ BT, $6^{\circ}40'00''$ LS) (Sampel 1 $106^{\circ}34'15''$ BT, $6^{\circ}40'45''$ LS)

Mineral pirit pada kedua sampel tersebut ditemukan bersamaan dengan mineral lainnya seperti kaolinit, illit, klorit dan kuarsa. Mineral ini memiliki warna kuning keemasan – emasan. Pada gambar di atas mineral pirit tidak tampak jelas karena bentuk mineralnya sangat kecil.

5.1.4 Mineral Klorit

Mineral klorit ini memiliki input band ratio $3/5$ dan $1/7$. Angka tersebut merupakan input dalam proses *Direct Principal Component*. Input pertama merupakan panjang gelombang vegetasi yang rendah dibagi dengan panjang mineral yang tinggi. Input kedua merupakan ratio antara panjang gelombang mineral yang tinggi dibagi dengan panjang gelombang mineral tinggi lainnya. Hasil proses tersebut dapat dilihat dalam tabel 5.4. Pada tabel tersebut nilai DPC 2 dapat menunjukkan perbedaan antara zona vegetasi dan mineral klorit.



Gambar 5.8 Peta Sebaran Mineral Pirit

Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *eigenvector* yang saling berlawanan. Nilai DPC 1 tidak menunjukkan adanya perbedaan antara kedua nilai *eigenvector* yaitu semuanya positif. Hal tersebut tidak dapat membedakan antara zona mineral klorit dengan vegetasi. Oleh karena itu hasil dari DPC 2 yang akan diekstrak menjadi sebaran mineral klorit. Nilai DPC 2 tersebut memiliki nilai digital number dari mulai 0 – 255.

Tabel 5.4 Analisis DPC CITRA ASTER untuk Mineral Klorit

<i>Principal Component</i>	<i>Eigenvector</i>	
	Saluran 3/5	Saluran 1/7
DPC 1	-0.764774	-0.644299
DPC 2	0.644299	-0.764774

Sumber: Pengolahan Data 2012

Proses ekstraksi menggunakan angka digital number tersebut sebagai input dalam salah satu fungsi *fuzzy logic* yaitu *fuzzy large*. Hasil dari proses *fuzzy large* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 - 1. Nilai *fuzzy* tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *digital number* yaitu mendekati 255 maka nilai *fuzzy* semakin mendekati 1 dan kenampakan dalam citra pun semakin terang. Kenampakan terang tersebut memiliki nilai *fuzzy* dari 0,9 - 1 pada citra menunjukkan sebaran mineral klorit di daerah penelitian. Sebaliknya nilai *digital number* yang semakin mendekati 0 maka hasil nilai *fuzzy* pun mendekati 0. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenampakan semakin gelap pada citra sehingga tidak menunjukkan adanya sebaran klorit. Sebaran mineral klorit berada di bagian utara dari daerah penelitian seperti pada gambar 5.10 (Peta Sebaran Mineral Klorit).

Pengambilan sampel mineral klorit ini terletak di aliran sungai dari Gunung Dahu. Mineral ini memiliki karakteristik warna yang berbeda yaitu kehijau – hijauan. Selain itu mineral ini juga ditemukan bersama mineral lainnya yaitu mineral illite, kuarsa dan pirit. Mineral ini merupakan salah satu kunci dari alterasi propilitik dan biasa ditemukan pada batuan andesit yang teralterasi serta muncul di atas permukaan. Sampel mineral klorit ini dapat dilihat pada gambar 5.9.



Gambar 5.9 Sampel 7 Mineral Klorit di aliran Sungai Gunung Dahu ($106^{\circ} 34' 20''$ BT, $6^{\circ} 38' 45''$ LS)

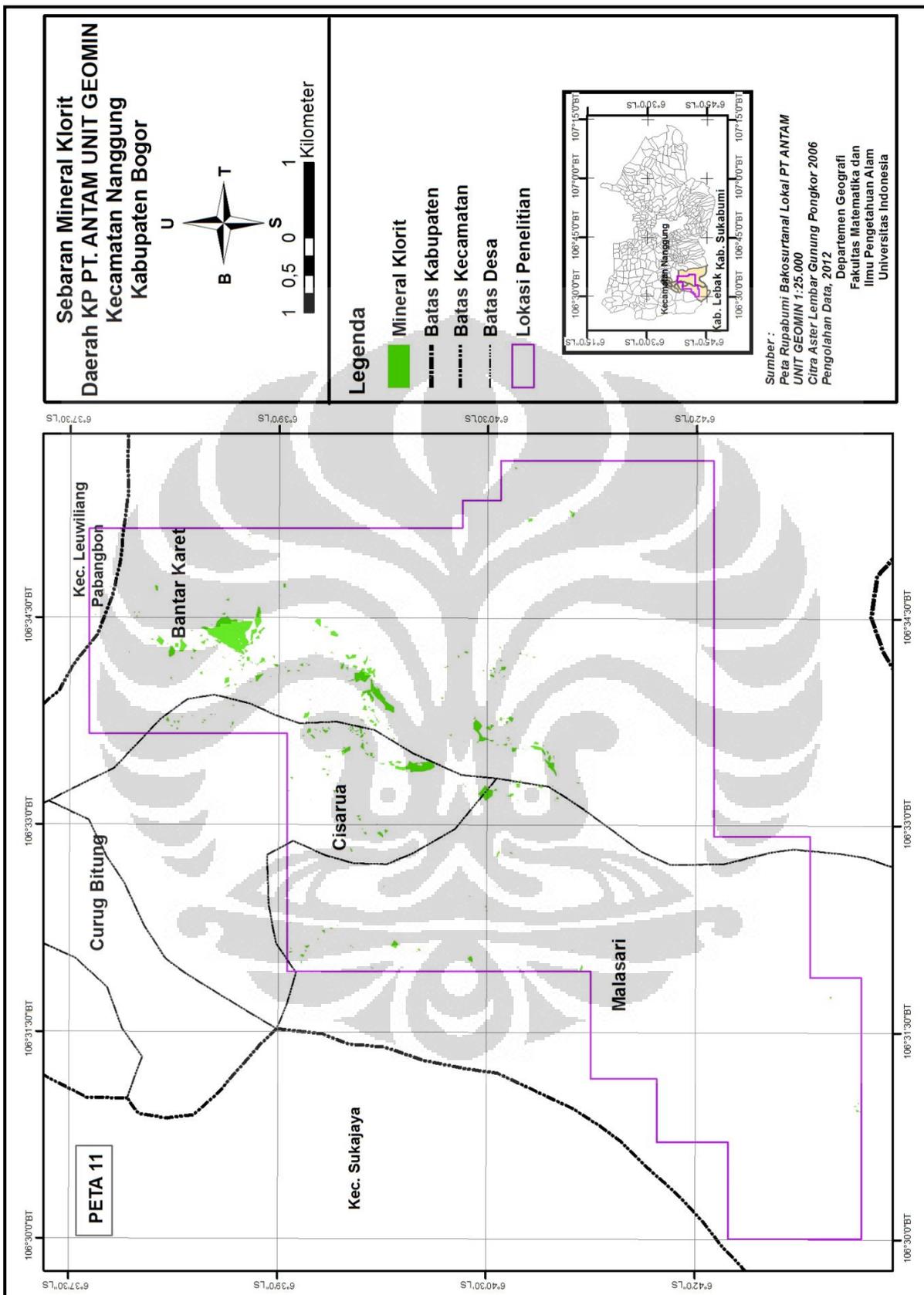
5.1.5 Mineral Illite/Smectit

Mineral klorit ini memiliki input band ratio 1/8 dan 3/4, input pertama merupakan panjang gelombang vegetasi yang rendah dibagi dengan panjang mineral yang tinggi. Sedangkan input kedua merupakan ratio antara panjang gelombang mineral yang tinggi dibagi dengan panjang gelombang mineral tinggi lainnya. Hasil proses tersebut dapat dilihat pada tabel 5.5. Pada tabel tersebut nilai DPC 2 dapat menunjukkan perbedaan antara zona vegetasi dan mineral illit/smectit. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *eigenvector* yang saling berlawanan. Sedangkan pada nilai DPC 1 tidak adanya perbedaan antara kedua nilai *eigenvector* yaitu semuanya positif. Hal tersebut tidak dapat membedakan antara zona mineral illit/smectit dengan vegetasi. Oleh karena itu hasil dari DPC 2 yang akan diekstrak menjadi sebaran mineral klorit. Nilai DPC 2 tersebut memiliki nilai digital number dari mulai 0 – 255.

Tabel 5.5 Analisis DPC CITRA ASTER untuk Mineral Illit/Smectit

<i>Principal Component</i>	<i>Eigenvector</i>	
	Saluran 1/8	Saluran 3/4
DPC 1	-0.761854	-0.647749
DPC 2	0.647749	-0.761854

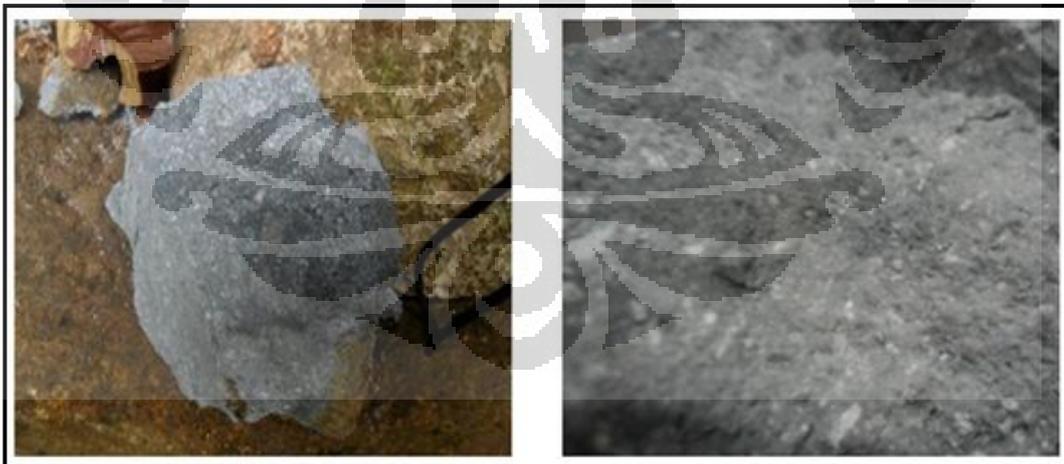
Sumber: Pengolahan Data 2012



Gambar 5.10 Peta Sebaran Mineral Klorit

Proses ekstraksi menggunakan angka digital number tersebut sebagai input dalam salah satu fungsi *fuzzy logic* yaitu *fuzzy large*. Hasil dari proses *fuzzy large* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 - 1. Nilai *fuzzy* tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai *digital number* yaitu mendekati 255 maka nilai *fuzzy* semakin mendekati 1 dan kenampakan dalam citra pun semakin terang. Kenampakan terang tersebut memiliki nilai *fuzzy* dari 0,9 - 1 pada citra menunjukkan sebaran mineral illit/smectit pada daerah penelitian. Sebaliknya nilai *digital number* yang semakin mendekati 0 maka hasil nilai *fuzzy* pun mendekati 0. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenampakan semakin gelap pada citra sehingga tidak menunjukkan adanya sebaran mineral illit/smectit. Sebaran mineral illit/smectit menyebar rata pada bagian barat daya dari daerah penelitian seperti pada gambar 5.12 (Peta Sebaran Mineral Illit/Smectit). Mineral illit/smectit memiliki ciri – ciri bintik putih kecil pada batuan. Selain itu mineral ini ditemukan bersamaan dengan mineral lainnya seperti klorit, dan kaolinit.

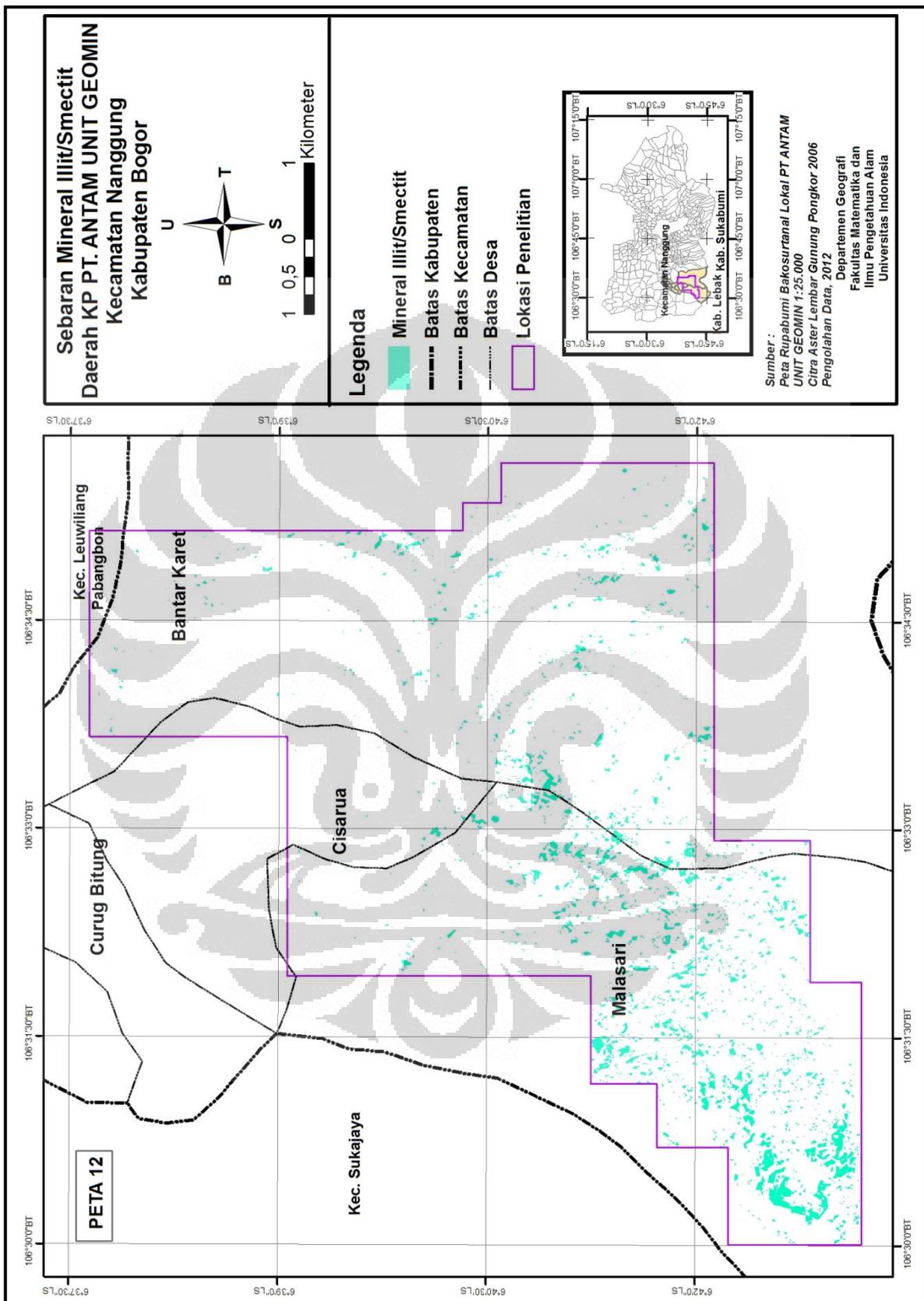
Pengambilan sampel mineral illite/smectit ini pada anak Ci Kaniki yaitu Ci Malanng dan Ci Saebah. Foto sampel mineral illit/smectit dapat dilihat pada gambar 5.11.



a) Sampel 8 Mineral Illite/Smectit di Ci Malang

b) Sampel 6 Mineral Illit/Smectit di Ci Saebah

Gambar 5.11 Mineral Illite di Bagian Barat Daya Penelitian Yaitu Daerah Nirmala
a) Sampel 8 ($106^{\circ} 32' 45''$ BT, $6^{\circ} 4' 30''$ LS), b) Sampel 6 ($106^{\circ} 42' 30''$ BT, $6^{\circ} 30' 45''$ LS)



Gambar 5.12 Peta Sebaran Mineral Illit/Smectit

5.1.6 Zona Alterasi

Semua hasil pengolahan Citra ASTER pada mineral permukaan dikonversikan ke dalam bentuk ESRI grid. Seperti telah dijelaskan dalam subbab sebelumnya yaitu semua mineral permukaan difuzzifikasi atau *membership* menggunakan fungsi *fuzzy large*. Untuk mengetahui zona alterasi yang terbentuk, digunakan salah satu operator *fuzzy logic* yaitu *Fuzzy AND*. Proses tersebut merupakan proses penggabungan dari semua mineral dalam menentukan zona alterasi yang terbentuk. Hasil dari proses tersebut menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 – 1. Semakin mendekati nilai *fuzzy* 1 maka terlihat dalam citra semakin terang. Kondisi terang tersebut menunjukkan sebaran zona alterasi yang terbentuk. Sebaliknya nilai hasil dari *fuzzifikasi* mendekati 0 maka akan tampak dalam citra semakin gelap, kondisi tersebut bukan merupakan zona alterasi.

Terlihat dalam gambar 5.13, zona alterasi di daerah penelitian menyebar dari arah utara, tengah, barat daya dan bagian selatan. Penyebaran zona alterasi tersebut merupakan sebagai tempat ubahan mineral - mineral pembawa emas epitermal dalam lingkungan hidrotermal. Zona tersebut terbentuk dari sisa proses magmatisme yang menerobos ke dalam permukaan akibat pengaruh dari suhu, tekanan, permeabilitas dan batuan sampling dalam lingkungan hidrotermal. Oleh karena itu terbentuklah berbagai mineral yang mengumpul dan menyebar dalam sebuah zona di permukaan bersama-sama dengan batuan pembentuknya yaitu berupa batuan beku dan sedimen.

Dalam zona alterasi tersebut hadir berbagai mineral seperti kuarsa, pirit, dan klorit, mineral-mineral tersebut teralterasi dan merupakan tipe alterasi propilitik (lihat gambar 5.14). Pembentukan alterasi propilitik disebabkan oleh adanya ruang (sesar dan kekar) sebagai jalan keluar fluida hidrotermal yang kemudian bereaksi dengan batuan vulkanik, sehingga terbentuk himpunan mineral-mineral ubahan yang mencirikan tipe alterasi propilitik. Tipe alterasi propilitik ini merupakan zona sebaran mineral permukaan yang paling mendominasi hadirnya cebakan atau bijih emas epitermal.

Hadirnya mineral kaolinit, illit/smectit, sedikit kuarsa dan klorit merupakan tipe alterasi argilik (lihat gambar 5.15). Kenampakan alterasi ini berwarna putih keabuan, selain itu dalam zona alterasi argilik biasanya muncul

batuan yang didominasi kelompok mineral lempung. Proses terbentuknya zona ini mengakibatkan tersebarnya mineral bijih sedikit pirit yang terdapat dalam jenis batuan andesit. Kedua zona alterasi yang terbentuk merupakan zona alterasi yang berkembang dalam arti proses atau siklus magmatisme dalam daerah tersebut masih berlangsung secara terus-menerus sehingga semburan magma yang berasal dari dapur magma dapat menggantikan susunan sebaran mineral baru dalam sebaran kedua zona alterasi tersebut.

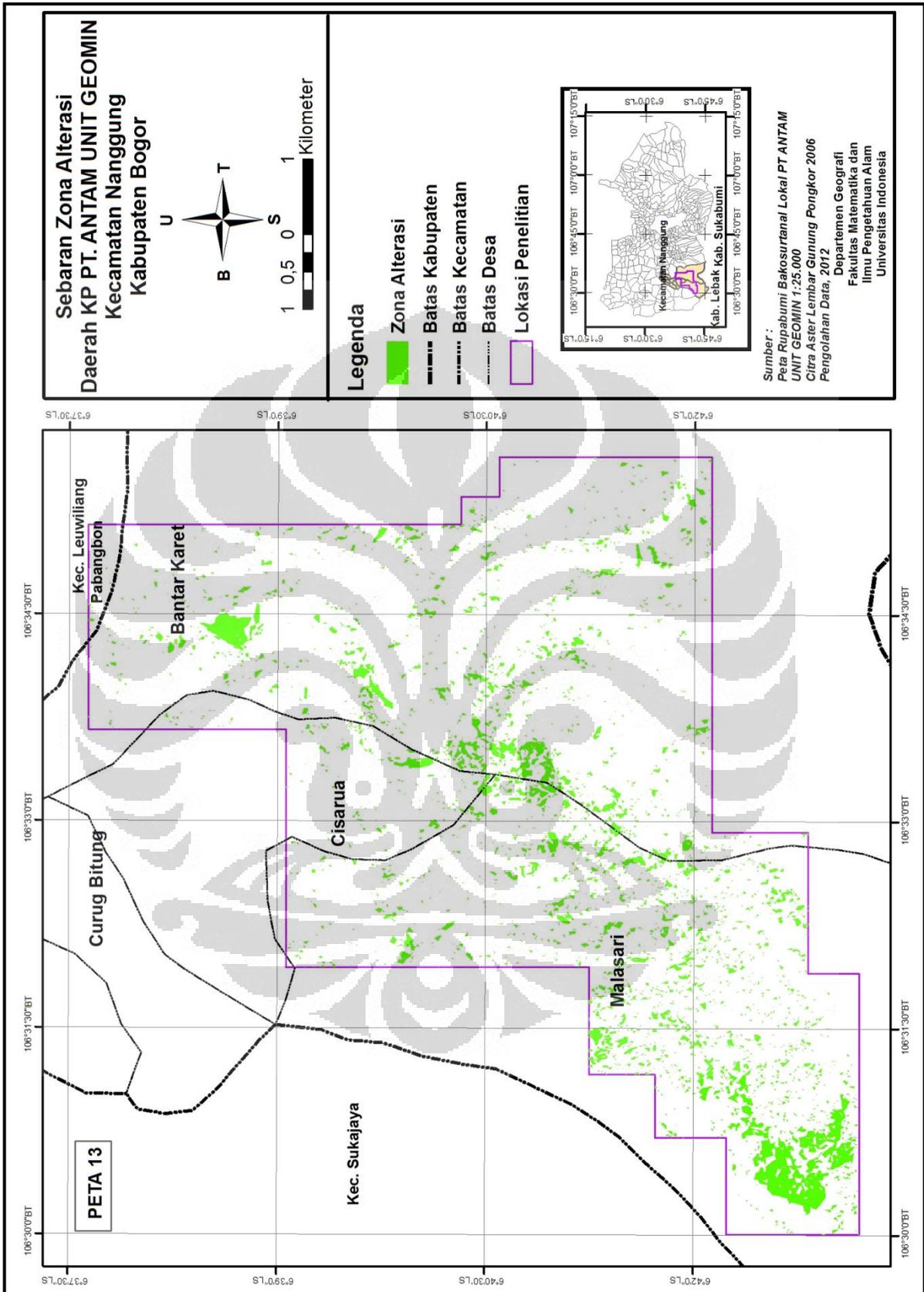
Proses magmatisme dalam lingkungan hidrotermal menyebabkan terbentuknya adanya mineralisasi. Mineralisasi yang terjadi dalam zona alterasi tersebut adalah mineralisasi dalam bentuk sistem urat epitermal rendah yang dapat mengindikasikan adanya berbagai mineral baik logam maupun non logam yang terkandung dalam sebaran mineral permukaan. Salah satu mineral yang dapat diindikasikan dalam zona alterasi tersebut adalah terkandungnya mineral endapan bijih emas, perak, timah, tembaga. Fakta dalam kondisi lapangan zona alterasi yang terbentuk dapat mengindikasikan acuan dalam menentukan titik pengeboran. Hasil pengeboran dari berbagai titik yang ditentukan dalam zona alterasi dapat menghasilkan atau mengetahui jalur urat kuarsa yang biasanya emas ada dalam urat tersebut.

5.2 Asosiasi Karakteristik Variabel Fisik dengan Sebaran Zona Alterasi

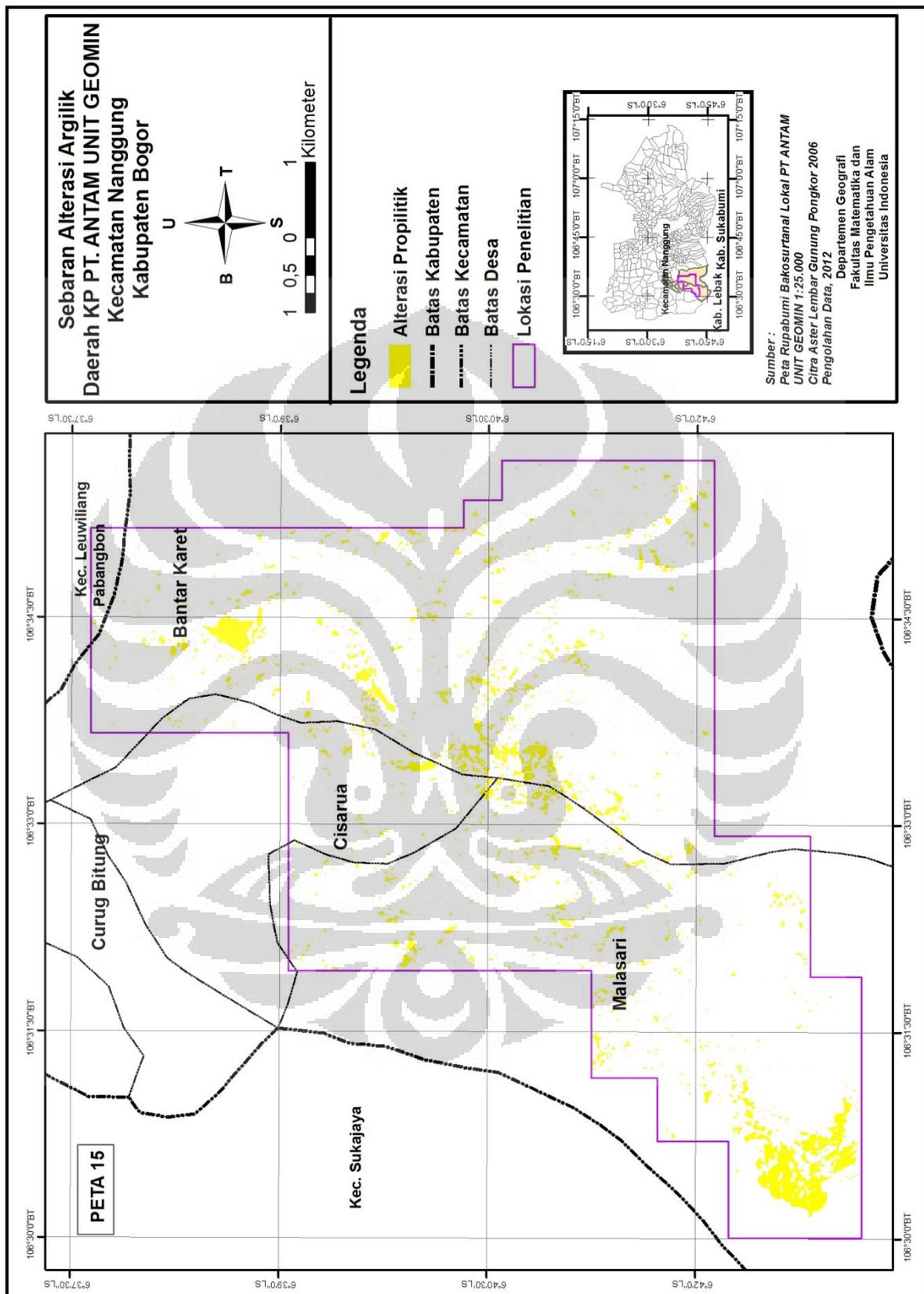
5.2.1 Struktur Geologi Sesar

Dalam sistem lingkungan hidrotermal struktur geologi merupakan celah atau ruang yang diisi oleh beberapa mineral – mineral penting pada saat terjadi pergeseran lempeng dengan tekanan dan temperatur yang tinggi dalam lingkungan tektonik. Struktur geologi dalam penelitian ini berupa sesar yang ada dalam wilayah penelitian. Bentuk struktur geologi (sesar) tersebut merupakan jalur transportasi mineral - mineral dalam lingkungan hidrotermal.

Untuk menganalisis keberadaan mineral dari adanya struktur geologi (sesar) adalah menggunakan proses buffer atau jangkauan. Dalam penelitian ini dilakukan buffer dari jarak 50-500 m (Gambar 5.16 Peta Buffer Struktur Geologi berupa sesar). Proses buffer merupakan asosiasi antara keberadaan suatu mineral permukaan pembawa emas epitermal terhadap jarak dari suatu struktur sesar.



Gambar 5.13 Peta Sebaran Zona Alterasi



Gambar 5.15 Alterasi Argilik

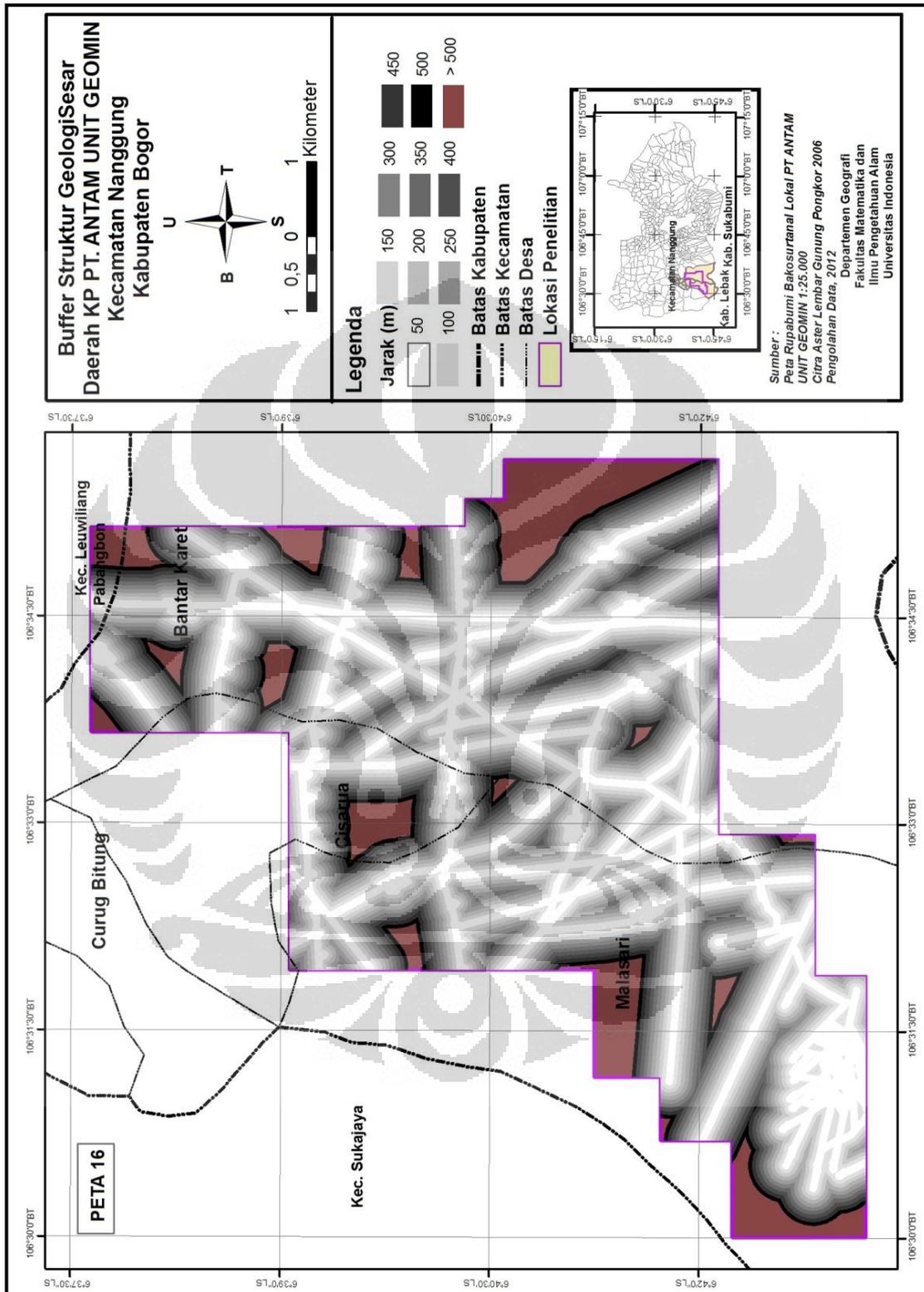
Hasil pengolahan dengan metode *fuzzy logic* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 – 1. Dapat dianalisis bahwa semakin dekat jarak dengan struktur geologi (sesar) yaitu mendekati 50 m, maka memiliki tingkat asosiasi tinggi dengan nilai *fuzzy* semakin mendekati 1 (lihat gambar 5.17 Peta Asosiasi Struktur Sesar). Hal ini menunjukkan adanya keberadaan mineral pembawa emas epitermal atau kekeayaan akan mineral baik logam maupun non logam dari jarak struktur geologi (sesar).

Sebaliknya semakin jauh jarak dari struktur geologi (sesar) yaitu mendekati jarak 500 m, maka kondisi tersebut memiliki asosiasi rendah terhadap keberadaan suatu mineral. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai *fuzzy* semakin mendekati 0, tampak berwarna putih semakin keabu – abuan, (lihat pada gambar 5.17). Hasil asosiasi rendah tersebut menunjukkan akan langkanya atau tidak adanya sebaran mineral logam maupun non logam dari jarak suatu struktur geologi (sesar).

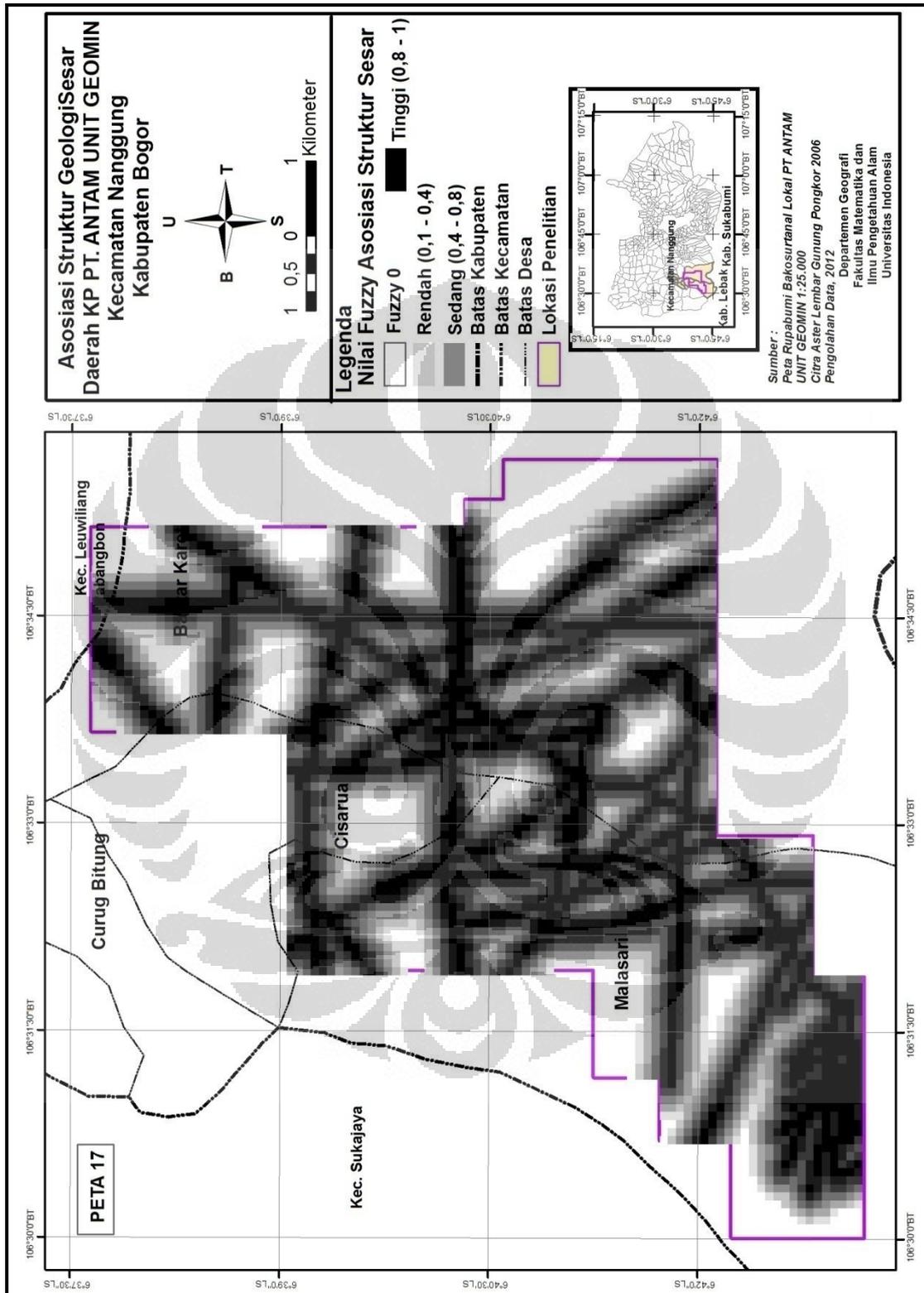
5.2.2 Litologi atau Jenis Batuan

Litologi merupakan bentukan dari sisa pembekuan magma dalam lingkungan hidrotermal yang merupakan *source rock* (induk batuan) serta berasosiasi dengan mineral permukaan dan mengindikasikan adanya potensi endapan bijih emas bersama dengan mineral pembawanya. Sebelum variabel ini diolah, untuk mengetahui pengaruh litologi dalam pembentukan emas epitermal didasarkan pada landasan teori dan ahli geologi. Kemudian dihasilkan range angka dari masing-masing susunan litologi atau pembobotan yaitu dari 1 – 5 (Hasil wawancara dengan ahli geologi Bapak Elwin, 12 April 2012). Pembobotan tersebut merupakan input yang akan diolah dengan menggunakan salah satu fungsi *fuzzy logic* yaitu fungsi *large*.

Hasil pengolahan dengan fungsi *fuzzy large* menghasilkan nilai *fuzzy* dari 0 – 1. Nilai *fuzzy* tersebut menunjukkan asosiasi antara jenis batuan dengan mineral pembawa emas epitermal, semakin mendekati nilai *fuzzy* 1 (tampak berwarna merah dalam gambar 5.18) maka kandungan suatu batuan tertentu merupakan batuan yang mengandung beberapa mineral pembawa seperti mineral berbentuk urat kuarsa, pirit, dan kaolinit.



Gambar 5.16 Peta Buffer Struktur Geologi Besar



Gambar 5.17 Peta Asosiasi Struktur Geolohi Sesar

Batuan yang mengandung mineral pembawa tersebut berupa batuan lava andesitik, breksi andesit berurat kuarsa dan tuf lapili. Asosiasi jenis batuan yang menunjukkan asosiasi tinggi menyebar di sebelah tengah lokasi penelitian.

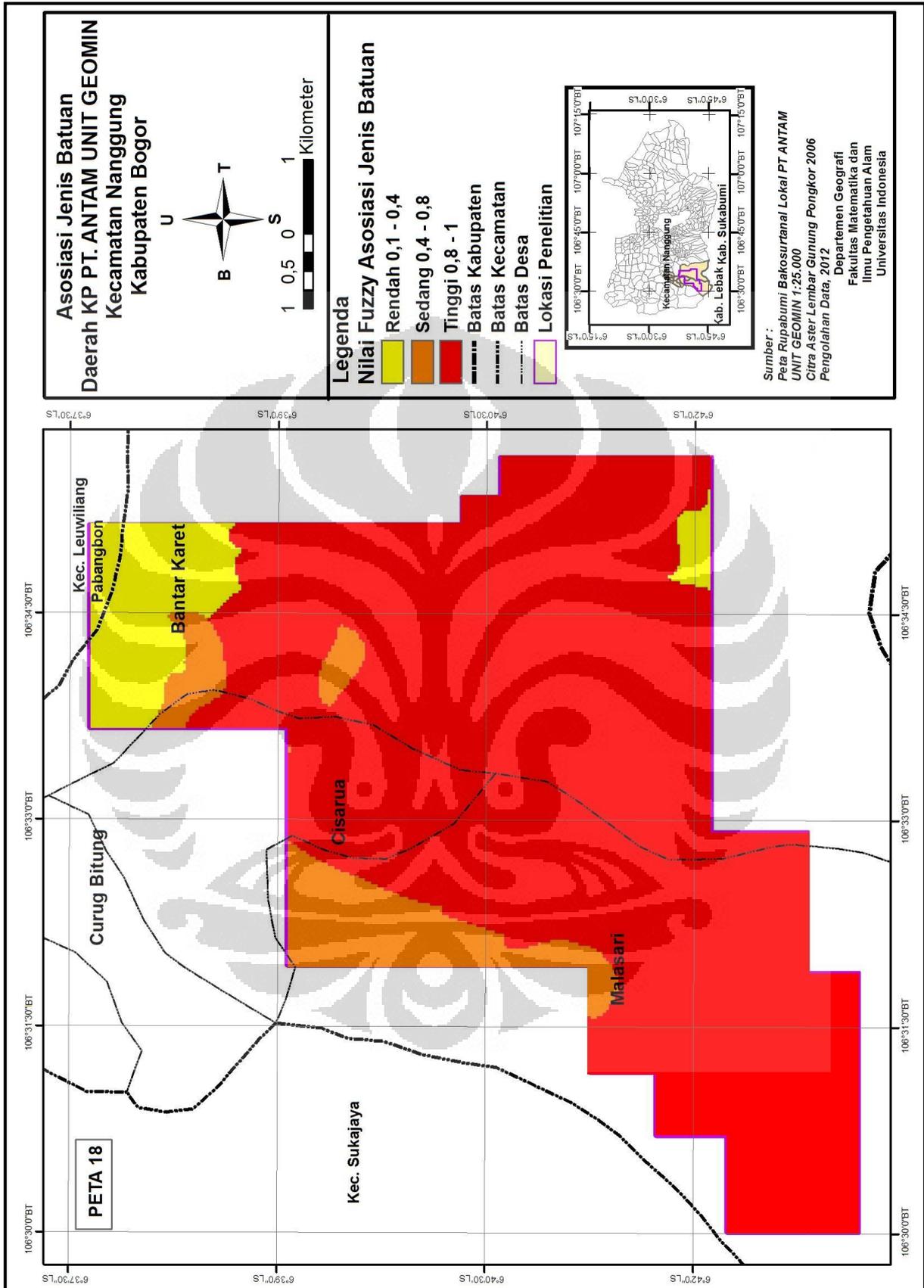
Di sisi lain, asosiasi jenis batuan yang semakin rendah ditunjukkan dengan nilai *fuzzy* mendekati 0 (tampak berwarna kuning dalam gambar 5.18). Asosiasi tersebut menunjukkan bahwa kandungan dari suatu batuan tertentu tidak adanya atau langkanya akan mineral pembawa endapan emas epitermal. Batuan tersebut berupa tuf kasar, tuf gelas dan tuf blokan. Asosiasi rendah menyebar di sebelah utara lokasi penelitian. Asosiasi antara jenis batuan dengan kandungan mineral pembawa yang terbentuk dalam suatu jenis batuan dapat dilihat dalam gambar 5.18.

5.2.3 Kandungan Unsur Geokimia

Hasil integrasi dalam pengolahan sebaran potensi emas epitermal menggunakan metode *fuzzy logic* menghasilkan tiga klasifikasi yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Proses tersebut merupakan hasil penggabungan dari semua asosiasi variabel karakteristik fisik. Potensi sebaran tersebut diperlukan adanya uji untuk validasi sebaran mineral emas epitermal. Salah satu variabel yang digunakan untuk menguji validasi dari sebuah daerah dikatakan memiliki potensi akan kandungan endapan emas epitermal adalah memiliki kadar kandungan unsur kimia emas (Au) yang tinggi dalam setiap titik bor.

Jumlah titik bor dalam daerah penelitian ± 152 (PT ANTAM, 2012). Jumlah tersebut tersebar di daerah yang sudah ditambang dan daerah eksplorasi. Kadar kandungan unsur Au pada titik bor di daerah penelitian di bagi menjadi 3 klasifikasi yaitu kadar tinggi (3-20 ppm), kadar sedang (1-3 ppm) dan kadar rendah (0-1 ppm). Jumlah sebaran titik bor dengan kadar tinggi berjumlah 100 titik, kadar sedang berjumlah 51 titik dan kadar rendah hanya terdapat satu titik.

Overlay data titik bor dengan sebaran emas epitermal merupakan salah satu uji validasi untuk mengetahui sebaran potensi emas epitermal. Dapat dilihat di tabel 5.6, hasil overlay tersebut membuktikan bahwa sebaran potensi emas epitermal hasil pengolahan penginderaan jauh menggunakan metode *fuzzy logic* memiliki tingkat validasi mendekati 100%.



Gambar 5.18 Peta Asosiasi Jenis Batuan

Angka validasi tersebut terbukti dari semua 100 titik bor yang memiliki klasifikasi kadar kandungan emas tinggi semuanya menyebar di daerah tinggi, 51 titik bor yang memiliki klasifikasi kadar kandungan emas sedang semuanya menyebar di wilayah kadar kandungan emas sedang, dan 1 titik bor yang memiliki kadar kandungan klasifikasi rendah menyebar di wilayah kandungan emas rendah. Dapat dilihat pada tabel 5.6

Tabel 5.6 Uji Validasi Potensi Sebaran dengan Kadar Kandungan Emas

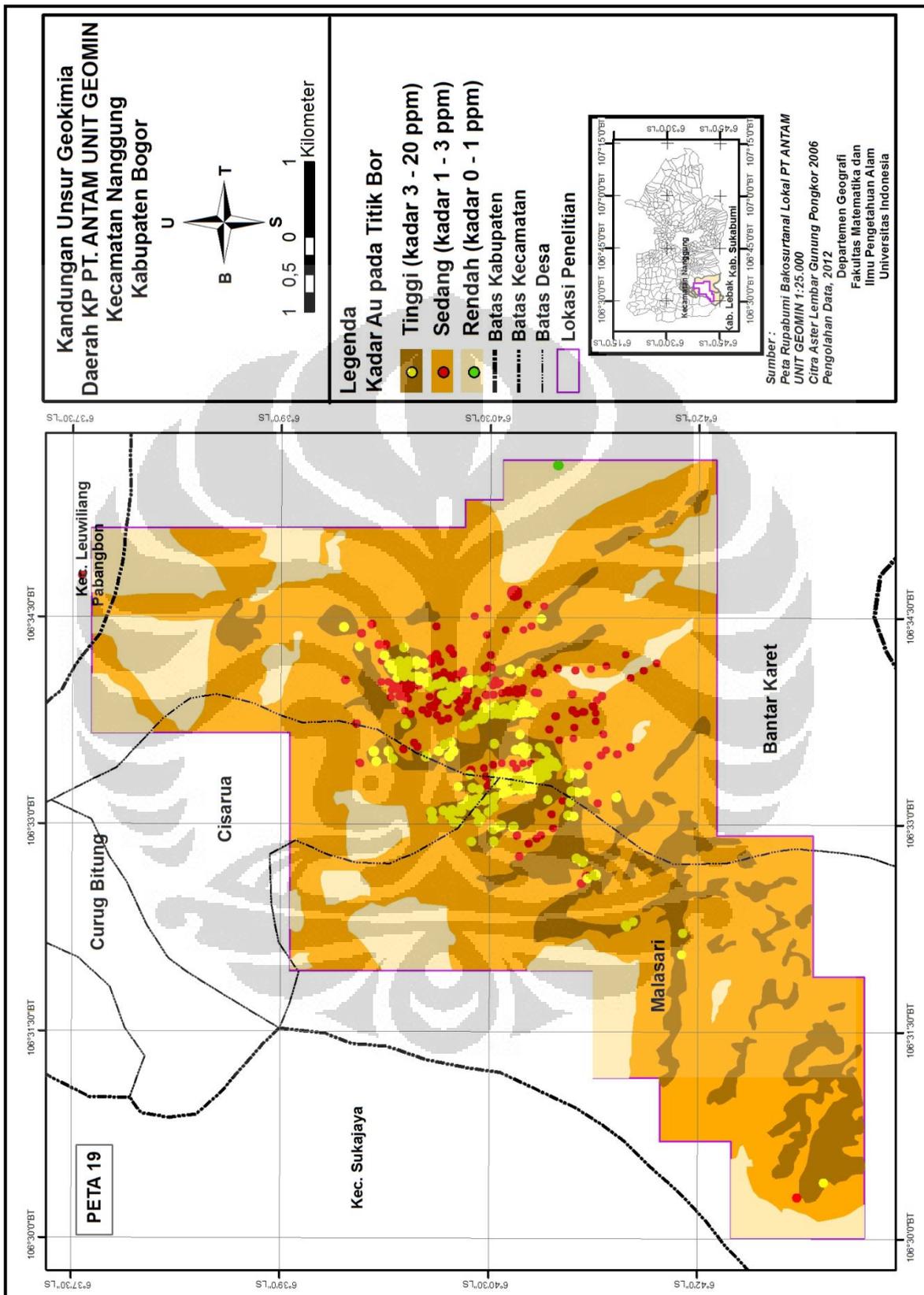
	Sebaran <i>Fuzzy</i>	Kadar Kandungan Emas	Jumlah Titik Bor	Uji Validasi (%)
Klasifikasi	Tinggi	Tinggi	100	100
	Sedang	Sedang	51	100
	Rendah	Rendah	1	100
	Jumlah		152	

Sumber: Pengolahan Data 2012

5.3 Sebaran Potensi Emas Epitermal

Sebaran potensi emas epitermal ini merupakan proses integrasi dari semua hasil pengolahan variabel penelitian dengan fungsi *fuzzy logic* dan salah satu operator *fuzzy logic* yaitu *Fuzzy Gamma*. Pada prinsipnya dalam menganalisis hasil sebaran potensi emas epitermal ini dengan melihat hasil integrasi dari semua variabel penelitian meliputi struktur geologi, tatanan geologi dan sebaran mineral permukaan atau sebaran zona alterasi yang menghasilkan nilai *fuzzy* dari range 0 - 1. Dari hasil nilai *fuzzy* tersebut dapat dianalisis daerah yang memiliki sebaran potensi emas epitermal memiliki nilai hasil integrasi semakin mendekati 1, yang berarti memiliki jarak yang tidak jauh dari sebaran struktur geologi, mengandung batuan vulkanik serta merupakan sebaran zona alterasi dalam arti merupakan daerah yang kaya akan sebaran mineral yang mengalami mineralisasi dengan logam dimana emas dibawa.

Hasil dari integrasi sebaran potensi emas epitermal diklasifikasi ke dalam tiga kelas yaitu potensi tinggi, sedang dan rendah. Klasifikasi rendah memiliki kelas dari nilai *fuzzy* 0 – 0,4, sedang 0,4 – 0,8 dan tinggi 0,8 – 1. Tidak hanya dengan analisis hasil integrasi variabel penelitian, akan tetapi dikatakan suatu daerah memiliki potensi sebaran emas epitermal apabila jika diintegrasikan secara spasial dengan kondisi lapang memiliki irisan atau daerah tumpang susun.



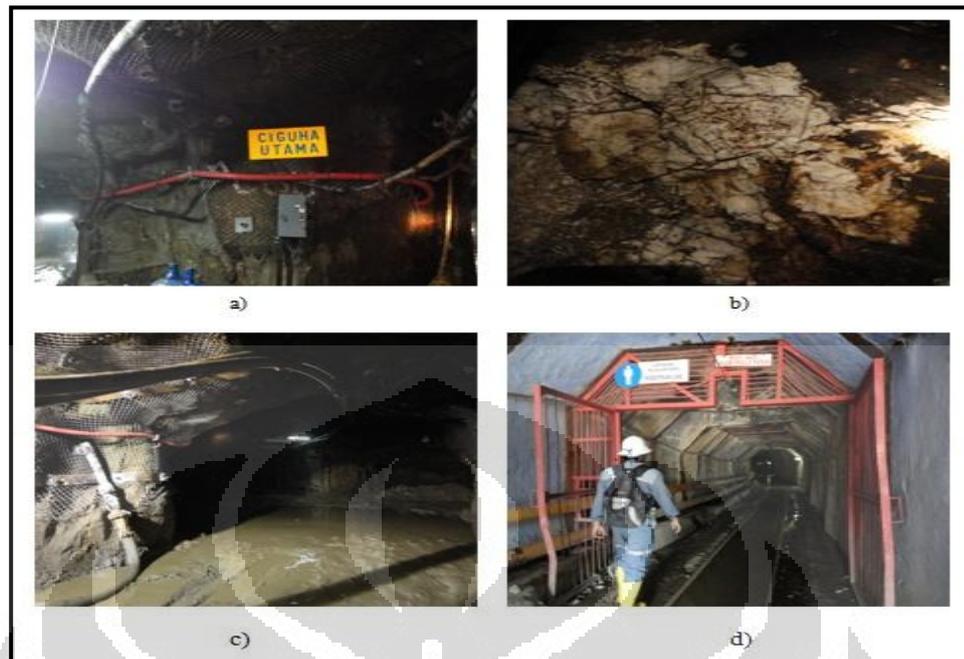
Gambar 5.19 Peta Kandungan Unsur Geokimia Titik Bor

Seperti kondisi *eksisting* tambang dan data titik hasil bor.

Dalam Gambar 5.25 Peta Sebaran Potensi Emas Epitermal berpotensi tinggi di Daerah KP PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk menyebar di bagian tengah dan sebelah selatan. Dapat dianalisis potensi sebaran di bagian tengah, kondisi saat ini merupakan lokasi *tunnel* tambang yaitu dari Blok Ciurug level 600 sampai dengan Blok Ciguha level 500 (Gambar 5.20 lokasi tunnel tambang). Selain itu terlihat dalam gambar 5.19, daerah yang berpotensi tinggi yaitu pada bagian tengah memiliki jumlah titik bor yang banyak dengan kandungan kadar emas antara $\pm 3 - 20$ ppm. Selain itu titik bor tersebut menunjukkan ditemukannya sebaran dan arah veint kuarsa, dimana adanya urat kuarsa ini yang menentukan akan potensi emas epitermal dan beberapa kandungan kimia lainnya seperti Cu (Tembaga), Ag (Perak), serta menentukan umur daerah tambang berapa lama perkiraan masih bisa ditambang.

Selain adanya kondisi eksisting tunnel tambang dan lokasi titik bor, di bagian tengah juga terdapat sebaran para Penambang Emas Tanpa Izin (*PETI*). Mereka menyebar di sisi anak sungai dari hulu sampai hilir. Adanya *PETI* menunjukkan bahwa pada daerah bagian tengah merupakan daerah yang memiliki potensi tinggi akan endapan emas epitermal. Dapat dilihat dalam gambar 5.21, para *PETI* pada daerah KP PT ANTAM menyebar di bagian tengah tepat di sepanjang anak Ci Kaniki yaitu Ci Banteng dan Ci Suren.

Selain di bagian tengah, daerah yang memiliki potensi tinggi menyebar di sebelah barat daya, tepatnya di Desa Malasari Blok Nirmala yang berada di bawah kaki Gunung Halimun. Daerah ini merupakan penemuan lokasi tambang baru yang memiliki potensi endapan emas epitermal. Dalam Gambar 5.19 (lihat halaman 79), terdapat satu titik bor di daerah sebaran potensi tinggi. Adanya satu titik bor tersebut yaitu di Blok Nirmala menunjukkan adanya kandungan emas antara $\pm 3 - 20$ ppm. Selain itu di blok nirmala juga ditemukannya urat kuarsa dan direncanakan akan dilakukan penambangan di tahun depan. Daerah yang memiliki potensi tinggi memiliki presentase 16% atau $\pm 948,76$ Ha.



Gambar 5.20 Lokasi *Tunnel* Tambang Sebagai Daerah Potensi Sebaran Emas Epitermal Pada Bagian Tengah Blok Ciurug sampai Ciguha ($106^{\circ} 33' 30''$ BT, $6^{\circ} 43' 30''$ LS)



Gambar 5.21 Daerah Berpotensi Tinggi Emas Epitermal a) Lokasi Titik Bor Ci Banteng ($106^{\circ} 34' 00''$ BT , $6^{\circ} 41' 15''$ LS) b) Lokasi Titik Bor Ci Suren ($106^{\circ} 33' 15''$ BT, $6^{\circ} 41' 10''$ LS) c) *PETI* di Ci Banteng ($106^{\circ} 33' 25''$ BT, $6^{\circ} 41' 20''$ LS) d) *PETI* di Ci Suren ($106^{\circ} 32' 15''$ BT, $6^{\circ} 40' 30''$ LS)

Daerah yang memiliki sebaran potensi emas epitermal sedang, menyebar di sekitar daerah yang memiliki potensi tinggi, yaitu semakin mengarah ke pinggir bagian barat, timur, utara dan barat daya dan sedikit di bagian tengah. Dikatakan memiliki potensi sedang apabila jika jumlah titik bor yang cukup banyak dengan kandungan kadar di setiap titik bor tersebut antara 1 – 3 ppm (lihat gambar 5.19). Selain itu pada lokasi yang berpotensi sedang terdapat *PETI* yang menyebar dengan menggunduli lereng – lereng yang ada di lokasi longsor Blok Cepu (dapat dilihat pada Gambar 5. 22). Presentase luasan pada daerah yang berpotensi sedang menyebar sangat luas mencapai sekitar 64% atau $\pm 3897,69$ Ha.



Gambar 5.22 Lokasi *PETI* di daerah Sebaran Potensi Sedang Blok Cepu ($106^{\circ} 34' 10''$ BT, $6^{\circ} 38' 40''$ LS)

Sebaran emas epitermal berpotensi rendah menyebar semakin ke pinggir dari daerah penelitian baik barat, timur maupun utara. Penyebaran tersebut ditandai dengan jumlah titik bor yang sangat sedikit serta memiliki kandungan emas di bawah 1 ppm (dapat dilihat pada gambar 5.19). Sebaran potensi rendah bukan berarti tidak memiliki potensi akan adanya endapan emas epitermal akan tetapi harus melihat kondisi eksisting wilayah, dimana daerah tersebut merupakan daerah pemukiman warga, sawah, dan perkebunan teh (dapat dilihat pada gambar 5.23) yang meliputi Desa Bantar Karet, Desa Malasari dan Desa Cisarua. Luas dari daerah yang memiliki potensi sebaran rendah mencapai sekitar 1227,55 atau $\pm 20\%$ dari total daerah penelitian.



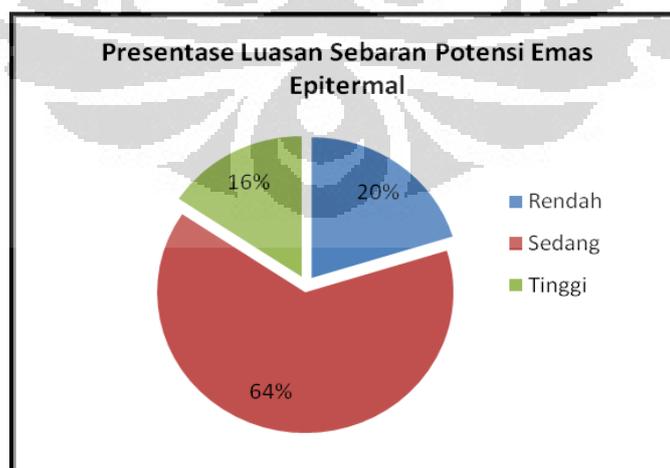
Gambar 5.23 Daerah Sebaran Potensi Rendah (Daerah Perkebunan Nirmala 106° 30' 00'' BT, 6° 42' 45'' LS)

Dapat dilihat pada gambar 5.24 dan rincian tabel 5.7 luasan sebaran potensi emas epitermal di daerah KP PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk.

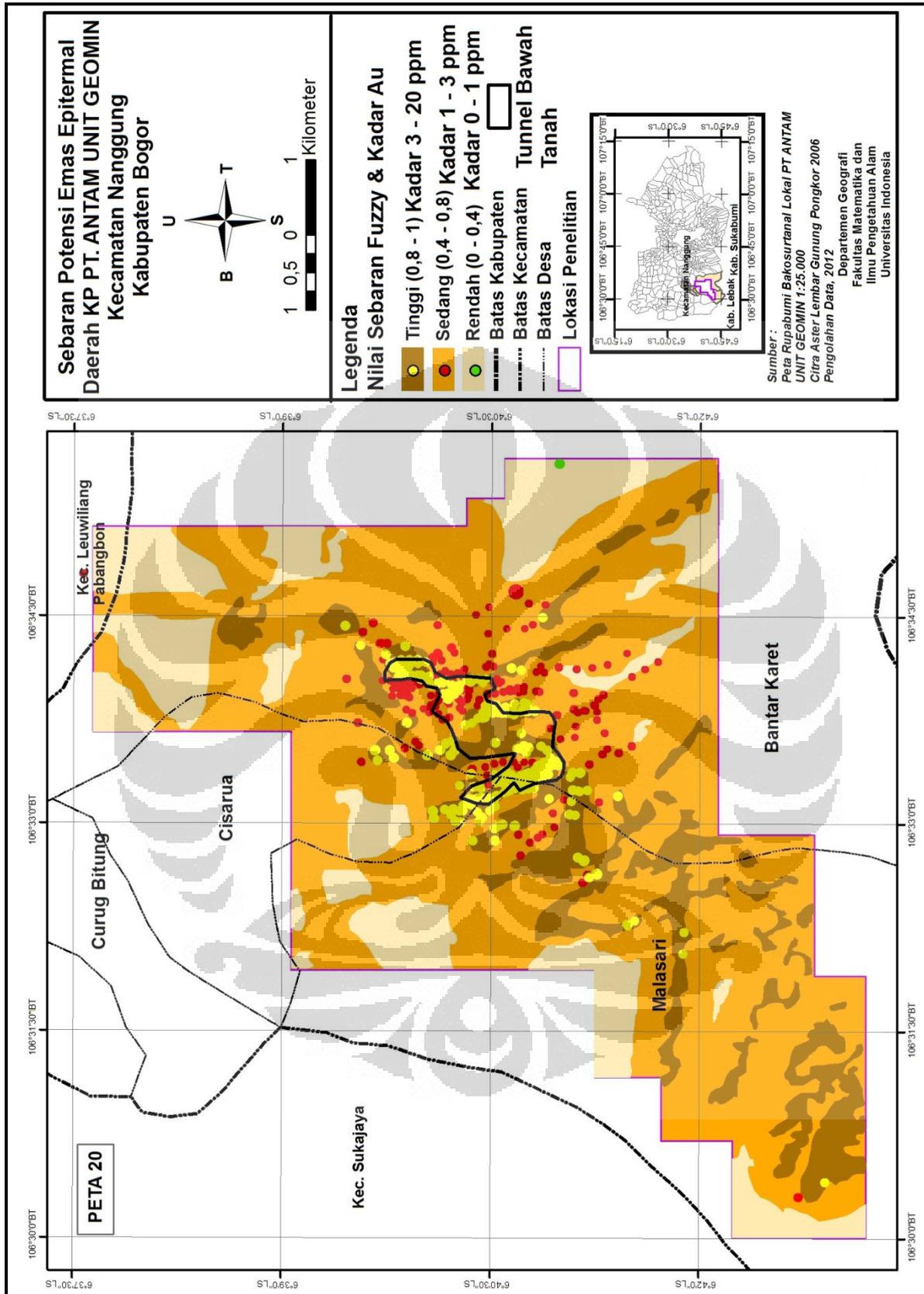
Tabel 5.7 Luas Sebaran Potensi Emas Epitermal

Kelas	Presesntase %	Luas Daerah (Ha)
Rendah	20	1227,55
Sedang	64	3897,69
Tinggi	16	948,76
	100	6074

Sumber: Pengolahan Data 2012



Gambar 5.24 Presentase Luasan Daerah Potensi Sebaran Emas Epitermal



Gambar 5.25 Peta Sebaran Potensi Emas Epitermal

BAB VI

KESIMPULAN

Sebaran potensi emas epitermal di areal eksploitasi PT ANTAM Unit GEOMIN, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor menyebar mengikuti arah sebaran struktur geologi. Potensi ini ditunjukkan dengan nilai *fuzzy*, semakin mendekati 1 maka potensi sebaran emas semakin tinggi, sedangkan semakin mendekati nilai *fuzzy* 0 maka sebaran potensi semakin rendah. Sebaran potensi tinggi menyebar di bagian tengah dan barat daya lokasi, sedangkan potensi rendah menyebar di bagian utara dan tenggara.

Sebaran potensi tinggi merupakan wilayah yang berada pada zona alterasi propilitik yang kaya mineral pembawa endapan emas epitermal dan semakin dekat dengan struktur geologi sesar. Selain itu memiliki kadar kandungan emas dalam setiap titik bor antara $\pm 3 - 20$ ppm. Sedangkan sebaran potensi rendah merupakan daerah yang tidak berada dalam zona alterasi propilitik dan argilik atau merupakan daerah yang tidak adanya mineral pembawa mineral emas epitermal serta memiliki kadar kandungan emas yang rendah antara $\pm 0 - 1$ ppm.

Daftar Pustaka

- Alshennawy, Abdallah, and A. Aly, Ayman. 2009. *Edge Detection in Digital Images Using Fuzzy Logic Technique*. World Academy of Science, Engineering and Technology Tanta University. Egypt.
- Abidin, H. 2007 *Indikasi mineralisasi epitermal emas bersulfida rendah, di Wilayah Kecamatan Bonjol, Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat*. Pusat Survei Geologi Bandung.
- ASTER Science Team, 2001, *ASTER User's Guide*, Earth Remote Sensing Data Analysis Center, Sioux Falls.
- Bronto, S. dan Hartono, U. 2003. *Strategi penelitian emas berdasarkan konsep pusat Gunung Api*. Prosiding Kolokium Energi dan Sumber Daya Meneral 66 Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 1 Maret 2007: 55-67 Balitbang ESDM, Bandung.
- Carranza and Hale. 2003. *Geologically-Constrained Fuzzy Mapping of Gold Mineralization Potential, Baguio District, Philippines*. Master of Science in Mineral Exploration, ITC Delft.
- Corbett and Leach. 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, And Mineralization*. North Sydney Australia.
- Craig, J.R., and Vaughan, D.j.1981. *Ore Microscopy and Ore Petrography*. New York.
- Diantoro, Y. 2010. *Emas: Investasi dan Pengolahannya (Pengolahan Emas Skala Home Industry)*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Edwards, R., and Antikson, K., 1986, *Ore Deposits Geology and Its Influence on Mineral Exploration*, Chapman & Hall, New York.
- Fraser, S.J.and Green, A.A 1987. *A Software Defoliant For Geological Analysis of band ratios*. *Int. J. Remote Sens.*, 8: 525-532.
- Gozzard, J.R. 2006. *Image Processing Of Aster Multispectral Data*. Department of Industry and Resources. Western Australia.
- Hilman, P.M. 2007. *Aplikasi SIG Untuk Pemetaan Potensi MIneralisasi Emas Epitermal Flores*. Sub Direktorat Mineral Logam – DIM. Jakarta.

- Heald, P., Foley, N.K., and Hayba, D.O. 1987. *Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid sulfate and adularia-sericite types*. Econ Geology.
- Henley, R.W., and Ellis, A.J., 1991. *Geothermal systems, ancient and modern*. Earth Science Reviews, v.19, p. 1-50.
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., And Huntington, J. F. 2004. *Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data: Proceedings of the IEEE 2001*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, N.S.W., 2001.
- Lindgren, W. 1933. *Mineral deposits, 4th ed.*: New York, McGraw-Hill, 930 p.
- Lillesand, K, dan Chipman. 2004. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Manalu, J. 1993. *Klasifikasi Citra Penginderaan Jauh Menggunakan Teknik Logika Samar (Fuzzy Logic)*. Pusat Pengembangan Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh LAPAN. Jakarta.
- Milési, J. P. 1999. *Pongkor (west Java, Indonesia): A Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit*. Mineral. Deposita, 34, 131 – 149.
- Muslim, H.D. 2009. *Penerapan Metode Fuzzy Logic Dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Kabupaten Sukabumi Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Novriadi, 2005. *Penerapan Metode Fuzzy Logic dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Pulau Flores, NTT dengan Menggunakan SIG*. Program Studi Rekayasa Pertambangan Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Nugroho, D.A. 2003. *Pembuatan Model Permukaan Digital Dari Sumber Citra Aster Secara Semi Otomatis*. Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ping, W and Rengz, A. 1991. *Application of Fuzzy Set Theory to Integrated Mineral Exploration*. Canadian Journal of Exploration Geophysics.

Canada.

- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, xviii + 709 pp. Berlin.
- Primanda, A. 2008. *Sebaran Potensi Deposit Nikel Laterit di Sorowako, Sulawesi Selatan (studi Kasus Areal Eksplorasi Tambang PT. International Nickel Indonesia, Tbk)*. Departemen Geografi Universitas Indonesia. Depok.
- Purwadhi. 2004. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Grasindo
- Rajesh. 2004. *Application of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping - An Overview*. Australia: University of Queensland.
- Ranjbar, H. 2001. *Integration Of Aster And Airborne Geophysical Data For Exploration Of Copper Mineralization. A Case Study Of Sar Cheshmeh Area*. Department of Mining Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman. Iran/
- Rojash. 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.
- Schiowitz, D.S. 2008. *GIS and Geostatistical Analysis of thr La Plata Mining Discrit*. Fort Lewis Collage Student Research Grant. Canada.
- Schmitt, H. 1950. *Origin of the "Epithermal"*. *Economy Geology*.45, 191-201.
- Sillitoe, R H, 1993. *Epitermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features, in Mineral Deposit Modelling* (Eds: R V Kirkham et al), Geol Assoc Canada, Spec Pap 40: 403-418.
- Sukandarrumidi. 2009. *Geologi Mineral Logam*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Sumardi, Eddy. 2009. *Tinjauan Emas Epitermal Pada Lingkunagn Vulkanik*. Pusat Sumber Daya Geologi
- Surip, Noraini. 2000. *Mapping of Gold In Densely Vegetated Area Using Remote Sensing and GIS Techniques in Pahang, Malaysia*.

Department of Minerals and Geoscience. Malaysia.

Van Bemmelen, R.W.; 1949. *The Geology of Indonesia Vol. II*, Martinus Nijhoff the Hague.

White, N. C., & Hedenquist, J. W.1996 *Epihthermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration*. Society of Resource Geology, Tokyo, Japan, 16 pp.

Widodo. 2004. *Laporan Hasil Kegiatan Ekplorasi Bahan Galian Logam Mulia dan Logam Dasar pada wilayah Penugasan Pertambangan, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral di Daerah Tepungsari sekitarnya, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur*.

Zadeh, L.A., 1993, *Fuzzy sets Information Control*. Department of Electrical Engineering University California, California.

