

## **Aplikasi Teknologi Penginderaan Jauh untuk Identifikasi Daerah Mineralisasi di Daerah Kubah Bayah**

**Hilda Lestiana dan M. Ma'ruf Mukti**

*Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI*

**Abstrak.** Kegiatan eksplorasi mineral yang dilakukan sejak awal Pelita I telah berhasil menemukan berbagai cebakan mineral. Hampir sebagian besar cebakan yang diketemukan terdapat di daerah dengan aksesibilitas sulit, tidak memiliki data dasar topografi dan geologi yang memadai. Kelangkaan data dasar tersebut mengakibatkan pemetaan seringkali dilakukan secara primitif dengan pass and compass, seperti yang dilakukan di pedalaman Kalimantan Tengah dan Timur. Perkembangan teknologi satelit penginderaan jauh membuka wahana baru dalam bidang pemetaan sumberdaya alam pada umumnya, eksplorasi sumberdaya mineral pada khususnya. Penerapan teknologi penginderaan jauh tersebut dalam skala regional dapat dipakai untuk memilih, menentukan daerah yang dianggap prospektif. Selain itu dapat pula dipergunakan untuk mempelajari kondisi medan, perencanaan eksplorasi, logistik dan penyiapan peta dasar. Kajian penelitian yang bertujuan untuk membuat prosedur kerja untuk memberikan kemudahan dalam ekstraksi data geologi berupa kelurusan struktur dan sebaran alterasi dari citra satelit secara digital telah dilakukan di Pusat Penelitian Geoteknologi. Data yang digunakan adalah citra Landsat ETM+7 akuisisi data tanggal 12 Mei 2001 daerah sekitar Gunung Halimun, Wilayah Kubah Bayah, Banten, Jawa Barat. Hasil penelitian memperlihatkan ekstraksi secara digital struktur kelurusan dan turunannya memberikan gambaran tentang kondisi geologi yang bermanfaat dalam eksplorasi dan dapat diaplikasikan lebih lanjut. Sedangkan pada analisis spektral hasil yang paling baik untuk ekstraksi daerah alterasi adalah dengan menggunakan metode band ratio, walaupun masih hasilnya belum sepenuhnya efektif.

**Kata kunci :** Eksplorasi mineral, penginderaan jauh, Kubah Bayah.

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Kajian terhadap manfaat data penginderaan jauh untuk pemetaan sumberdaya alam, perubahan kondisi lingkungan dan pemetaan dasar telah terbukti efektif sehingga data penginderaan jauh telah menjadi bagian pekerjaan rutin di berbagai bidang.

Satelit Observasi bumi yang semakin berkembang teknologinya, dapat menghasilkan gambaran permukaan bumi secara digital. Citra digital tersebut memberikan informasi secara multispektral karakteristik elektromagnetik dari tiap obyek di bumi. Selain untuk kepentingan monitoring, citra satelit dapat mendeteksi struktur pada permukaan bumi serta karakteristik obyek. Data ini sangat baik dalam Memberikan informasi geologi dan kondisi lingkungan pada daerah yang belum terpetakan secara baik seperti misalnya di daerah Irian dan Kalimantan.



Data penginderaan jauh merupakan kumpulan data numerik dari nilai intensitas berkas cahaya (spektral) pada tiap sel data (*pixel*) yang biasanya dibagi dalam 256 derajat keabuan (*grey level*). Sebaran nilai spektral yang berbeda ini dapat menimbulkan kesan adanya bentuk muka bumi (*terrain*).

Data satelit penginderaan jauh ini adalah data digital yang hanya dapat diolah dengan perangkat khusus yang dikembangkan untuk keperluan tersebut. Perangkat lunak yang dipakai pada umumnya terbatas pada pemasukan dan pengeluaran data serta algoritma dasar untuk mengolahnya. Untuk keperluan yang lebih spesifik algoritma dan subrutin baru perlu dikembangkan sendiri oleh pengguna data.

Berdasarkan berbagai kajian pemanfaatan data penginderaan jauh untuk kegiatan eksplorasi sumberdaya mineral, terdapat lima aspek penting dapat dikemukakan yaitu: memberikan informasi mengenai data geologi secara umum, memetakan struktur geologi berskala regional, memetakan pola struktur rekahan yang kemungkinan berkaitan dengan sebaran cebakan mineral, mengidentifikasi dan memetakan batuan yang mengalami gejala ubahan hidrotermal dan mengidentifikasi gejala geologi yang spesifik yang mempunyai kaitan dengan adanya suatu cebakan mineral.

Secara lebih rinci gejala geologi yang dapat dipakai sebagai parameter eksplorasi adalah sebagai tercakup di bawah ini.

- a. Struktur geologi, khususnya pola rekahan dalam berbagai dimensi (*linear, lineament*) yang sangat signifikan terlihat pada citra berkaitan sangat erat dengan sebaran cebakan mineral (Nicolais, 1974; Rowan dan Wetlaufer, 1975; dan Offield dkk., 1977). Fenomena gejala melingkar (*circular feature*) dan pola struktur poligonal yang berasosiasi dengan jejak struktur kaldera, kaldron dan diatrema juga dilaporkan sebagai gejala yang penting dalam kaitannya dengan terdapatnya suatu cebakan mineral seperti di kompleks kaldera Creede dan Summitville di bagian baratdaya Colorado, Amerika Serikat (Hayba dkk, 1986).
- b. Identifikasi dan deliniasi batuan beku yang dipercaya sebagai batuan pembawa mineral (*ore bringer*) dapat dilakukan melalui penafsiran dari citra penginderaan jauh. Dalam banyak hal keberadaan batuan beku dalam bentuk intrusi atau kompleks intrusi dapat diamati dengan baik pada citra, terutama apabila batuan tersebut memperlihatkan sifat resistensi yang kontras dengan batuan sampling. Pada daerah dimana batuan relatif homogen pembedaan jenis batuan menjadi lebih sulit dilakukan. Di Indonesia hampir sebagian besar temuan cebakan mineral berasosiasi dengan keberadaan batuan intrusi seperti cebakan mineral di Ertsberg dan Grasberg di Papua Barat (MacDonald dan Arnold, 1994), cebakan Batu Hijau di Sumbawa (Meldrum dkk, 1994) dan cebakan logam dasar di Tombulilato, Sulawesi Utara (Perello, 1994).
- c. Ubahan hidrotermal yang diakibatkan oleh pengaruh panas dan susunan kimia larutan hidrotermal terhadap batuan yang dilaluinya merupakan parameter eksplorasi lain yang dapat dipakai untuk menunjukkan keberadaan suatu cebakan mineral. Kajian mengenai pemetaan jenis-jenis ubahan hidrotermal dilakukan secara intensif di daerah pertambangan Goldfield di Nevada seperti yang dilaporkan oleh Ashley (1974), Hunt dan Ashley (1978), Rowan dkk (1974), Rowan dkk (1977). Pemetaan dilakukan dengan cara *automatic extraction* melalui pemrosesan secara digital. Beberapa algoritma dan formula dikembangkan secara deduktif berdasarkan nilai intensitas spektral yang diukur



pada berbagai tipe ubahan hidrotermal di lapangan serta diproses melalui *band ratio* dan *principle component analysis (PCA)*. Kondisi daerah yang menjadi target kajian adalah daerah gurun/kering dimana vegetasi dan tubuh tanah tidak berkembang dengan baik.

### **Pemrosesan dan Analisis Data Penginderaan Jauh dalam Eksplorasi Sumberdaya Mineral**

Berdasarkan berbagai kajian pemanfaatan data penginderaan jauh untuk kegiatan eksplorasi sumberdaya mineral, lima aspek penting dapat dikemukakan sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai data geologi secara umum,
2. Memetakan struktur geologi berskala regional,
3. Memetakan pola struktur rekahan yang kemungkinan berkaitan dengan sebaran cebakan mineral,
4. Mengidentifikasi dan memetakan batuan yang mengalami gejala ubahan hidrotermal, dan
5. Mengidentifikasi gejala geologi yang spesifik yang mempunyai kaitan dengan adanya suatu cebakan mineral.

Dari data penginderaan jauh informasi obyek di permukaan bumi dapat diperoleh dengan dua cara, yaitu secara manual (visual) dan otomatis (dijital). Kedua cara tersebut sangat berbeda sifatnya. Analisis visual bersifat sangat subyektif dan sangat ditentukan oleh kejelian dan imaginasi seseorang, sedangkan analisis digital lebih bersifat obyektif dan sangat tergantung pada seseorang yang menginstruksikan komputer memprosesnya. Dengan adanya keterbatasan dari masing-masing cara tersebut di atas, kajian penggunaan data penginderaan jauh untuk tujuan eksplorasi mineral dilakukan secara rasional berupa penafsiran dan analisis visual dan pemrosesan dan ekstraksi digital yang paling mungkin dilakukan untuk daerah beriklim tropika dimana kendala iklim tidak kuat mempengaruhinya.

### **LINGKUP PENELITIAN**

Lokasi yang dipilih sebagai daerah penelitian adalah daerah Gunung Pongkor dan sekitarnya, yang berada di wilayah Kubah Bayah, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten yang posisinya terletak pada koordinat  $106^{\circ} 17' 21.12''$ - $106^{\circ} 36' 7.92''$  BT dan  $6^{\circ} 37' 22.44''$ - $6^{\circ} 49' 18.84''$ .

Pemilihan Kubah Bayah sebagai daerah penelitian didasarkan pada data bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang prospektif akan terdapatnya cebakan mineral emas dan logam dasar yang banyak diketemukan dan ditambang sejak zaman Belanda, banyaknya tambang rakyat (Penambangan Tanpa Ijin, Peti) dan rencana pengembangan tambang Pongkor yang dikelola PT. Aneka Tambang. Sasaran dari penelitian adalah terciptanya langkah kerja untuk menghasilkan pola kelurusan, arah dominan, serta membuat langkah kerja untuk menonjolkan daerah kemungkinan alterasi untuk mengetahui pola dan sebaran mineralisasi dalam lingkup regional.

### **Metodologi**

Penelitian identifikasi prospek cebakan mineral dilakukan dengan cara penafsiran visual dan pemrosesan digital citra Landsat ETM+ 7 akuisisi tanggal 12 Mei 2001. Parameter geologi yang diutamakan adalah struktur geologi (sesar dan rekahan),

batuan intrusi dan kemungkinan batuan yang mengalami proses ubahan hidrotermal. Pemrosesan dan analisis secara digital dilakukan dengan menerapkan algoritma yang telah dikembangkan yaitu *Principle Component Analysis* (PCA) dan *Band Ratio* khususnya untuk identifikasi batuan yang mengalami ubahan hidrotermal. Untuk pemetaan struktur geologi (sesar dan rekahan) dilakukan ekstraksi secara otomatis sebaran struktur rekahan, pembuatan diagram frekuensi jurus (*rose diagram*) dan pemetaan kerapatan struktur rekahan (*fracture density*). Seluruh hasil penafsiran dan peta disimpan dalam format GIS (*Geographic Information System*).

## PROSES AWAL (PRE-PROCESSING)

### Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik mempunyai tujuan, yaitu melakukan rektifikasi atau restorasi citra agar koordinat citra sesuai dengan koordinat geografis, mencocokkan posisi citra dengan citra lain atau mentransformasikan sistem koordinat citra multispektral dan registrasi citra ke peta atau transformasi sistem koordinat citra ke peta yang menghasilkan citra dengan sistem proyeksi tertentu. Koreksi geometri dilakukan karena citra Satelit selalu mengandung kesalahan yang bersifat sistematis dan acak. Kesalahan tersebut berupa kelengkungan bumi serta distorsi panoramik dan perspektif. Tersedianya sejumlah titik kontrol bumi akan membantu dalam mengkoreksi kesalahan karena orientasi satelit dan ketinggian. Cara yang dilakukan yaitu proses rektifikasi.

Proses rektifikasi bertujuan untuk membetulkan orientasi dari citra sehingga akan mempunyai posisi yang absolut sesuai posisi di bumi dalam sistem proyeksi tertentu. Cara yang ditempuh adalah dengan proses transformasi matematik dari sistem koordinat citra ke sistem koordinat bumi. Proses ini membutuhkan titik kontrol bumi sehingga setiap pixel akan mempunyai koordinat yang absolut. Citra terkoreksi geometrik akan memiliki posisi yang sesuai dengan titik sebenarnya di bumi sehingga dapat membantu dalam penentuan titik jika akan dilakukan pengecekan ke lapangan.

### Pembuatan Citra Komposit

Data Satelit Landsat ETM+ dapat dibedakan menjadi sembilan macam sesuai dengan jumlah band yang terdapat pada sensor ETM+. Kesembilan band ini berada pada daerah cahaya tampak (3 band), inframerah (3 band), inframerah thermal (2 band) dan pankromatik (1 band). Resolusi spasial band visible dan inframerah adalah  $[30 \times 30] \text{ m}^2$ , inframerah thermal  $[60 \times 60] \text{ m}^2$  dan pankromatik  $[15 \times 15] \text{ m}^2$ .

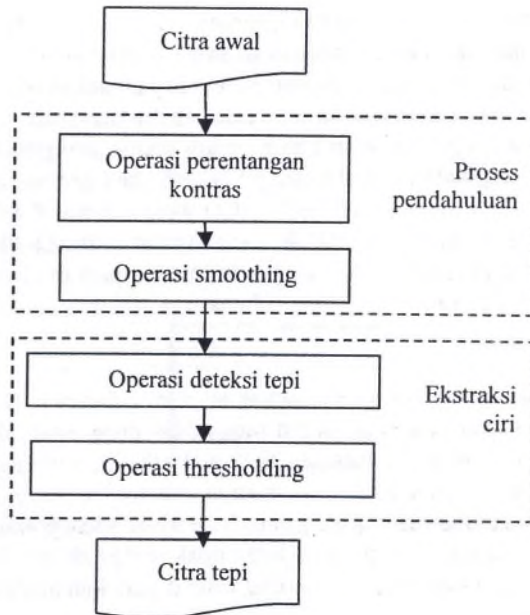
Untuk mengatasi kelemahan dari masing-masing band serta menonjolkan kelebihan-kelebihan masing-masing band agar meningkatkan informasi yang bisa diperoleh maka dilakukan penyusunan komposit berwarna (*color composite*).

Dalam interpretasi secara visual citra komposit dapat memberikan informasi geologi yaitu kelurusan struktur, sebaran alterasi, dan intrusi. Untuk memudahkan analisis visual pada penelitian ini digunakan kombinasi band inframerah yaitu 4, 5 dan 7. Citra hasil interpretasi visual digunakan sebagai data pembandingan untuk membantu dalam proses analisis citra secara digital.



## EKSTRAKSI KELURUSAN STRUKTUR

Proses awal dari ekstraksi kelurusan struktur adalah diperolehnya citra tepi. Diagram alir untuk memperoleh citra tepi dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir proses awal ekstraksi kelurusan struktur

### Operasi Perentangan Kontras

Penajaman citra bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra, baik untuk keindahan gambar maupun untuk kepentingan analisis citra. Pada penelitian ini operasi dilakukan dengan teknik perentangan kontras (*contrast stretching*). Proses tersebut menggunakan modifikasi histogram, yang berupa pergeseran dan pemerataan dari histogram tingkat keabuan.

Nilai pixel pada citra sebagian besar hanya menempati bagian yang sempit (kecil) dalam kisaran nilai citra, sehingga pada tampilan bentuk citra asli tergambar dengan kontras rendah. Penajaman dengan perentangan kontras memperluas daerah tingkat keabuan / nilai pixel sehingga nilai tersebut dapat digambarkan dalam daerah tingkat keabuan yang penuh. Proses perentangan kontras dapat digambarkan secara bervariasi pada 256 [0-255] daerah tingkat keabuan. Variasi rentangan dapat dilakukan secara linier maupun khusus.

Sensor penginderaan jauh yang menghasilkan citra 8 bit mampu merekam 256 tingkat keabuan (0-255). Apabila histogram nilai obyek yang menempati suatu daerah interval maka nilai di luar interval tersebut tidak digunakan, sehingga memperkecil kemampuan analisis citra.

Display gambar yang lebih ekspresif akan diperoleh bila kita memperluas daerah tingkat keabuan pixel citra asli untuk memenuhi daerah keabuan yang ada [0-255]. Hasil gambar dengan proses perentangan linier ini daerah yang berwarna cerah akan tampak lebih cerah dan daerah yang berwarna gelap akan tampak lebih

gelap. Perentangan linier pada aplikasi setiap pixel dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$DN' = \left[ \frac{DN - Min}{Max - Min} \right] \times 255$$

Dimana:

DN' : nilai digital pixel citra keluaran

DN : nilai digital pixel citra masukan

Min : nilai digital minimum dari pixel citra masukan

Max : nilai digital maksimum dari pixel citra masukan

Suatu kelemahan perentangan linier adalah teknik penggunaan nilai display dengan tingkatan yang banyak. Walaupun lebih baik dari gambar citra asli, namun perentangan linier masih belum menyajikan data yang ekspresif. Perbaikan gambar lebih bagus dapat diterapkan suatu teknik yang disebut rentangan histogram rata-rata (*histogram equalized stretching*). Pendekatan ini menempatkan citra pada tingkatan gambar berdasarkan batas nilai data yang sebenarnya.

### Operasi *Smoothing*

Operasi *smoothing* dilakukan untuk menekan derau (*noise*). Seperti diketahui bahwa *noise* sering kali muncul akibat degradasi pada saat akuisisi. Operasi *smoothing* mempunyai efek pemerataan tingkat keabuan, sehingga gambar yang diperoleh akan tampak agak kabur kontrasnya. Persoalan yang dihadapi dalam menerapkan operasi *smoothing* adalah memilih operator yang paling tepat sehingga mampu menekan *noise* sekuat-kuatnya dengan tidak melemahkan ciri tepi.

Pada penelitian ini operator *smoothing* yang digunakan adalah:

#### a. Low Pass Filter

Bentuk filter ini paling sederhana yaitu dengan mengganti setiap nilai pixel dengan nilai rata-rata yang dihitung di dalam jendela [3 x 3] pixel disekelilingnya. Operasi kernel dengan ukuran [3 x 3], dapat juga dengan jendela [5 x 5], atau [7 x 7]. Ukuran jendela kernel [3 x 3] dengan koefisien 1/9, [5x5] dengan koefisien 1/25 dan [7 x 7] dengan koefisien 1/49. *Low pass filter* melakukan perata-rataan dengan bobot sama ke semua arah maka dapat dimengerti apabila operator tersebut tidak hanya melakukan penekanan terhadap *noise* melainkan juga menekan ciri tepi dengan sama baiknya.

Sebagai gambaran prosedur konvolusi untuk [3 x 3] pixel kernel pada kelompok pixel yang akan diproses 67, 67, 72, 70, 68, 71, 72, 71, 72. Sebagai contoh akan dihitung nilai intensitas pixel yang berada ditengah 68. Harga intensitas baru adalah  $[1/9(67) + 1/9(67) + 1/9(72) + 1/9(70) + 1/9(68) + 1/9(71) + 1/9(72) + 1/9(71) + 1/9(72)] = 70$

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

a.

67	67	72
70	68	71
72	71	72

b.

67	67	72
70	70	71
72	71	72

c.



c.

keterangan:

- a. kernel
- b. kelompok pixel yang diproses
- c. kelompok pixel hasil proses konvolusi

**b. Filter Median**

Filter median adalah filter yang mengganti harga pixel utama dengan median tetangganya. Nilai median adalah nilai yang terletak ditengah-tengah (persentil 50%) hasil sortir pixel-pixel tetangganya. Implementasi filter median adalah dengan filter non linier, rank order filter ukuran [3 x 3] maupun ukuran [5 x 5]. Filter median merupakan filter yang cukup baik untuk menekan noise dan tidak melemahkan ciri tepi.

Proses perhitungan nilai intensitas dengan filter median.

20	50	50	50	115
20	50	50	120	45
50	45	132	70	45
45	45	115	115	30
116	45	60	60	115

Didalam kotak [3 x 3] pixel tengah disusun menjadi :

45	45	50	50	70	115	115	120	132
----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----

↑  
Median

**Deteksi Tepi**

Pada citra digital dua dimensi, tepi dicirikan dengan adanya perubahan atau diskontinuitas derajat keabuan secara tiba-tiba dan tajam di antara daerah yang memiliki derajat keabuan relatif rata. Beberapa bentuk geometri yang dapat dicirikan oleh perubahan derajat keabuan antara lain berupa tepi (*edge*), garis (*line* atau *curve*) dan titik (*spot*).

**Operasi Deteksi Tepi**

Operator-operator yang digunakan pada operasi deteksi tepi ini berdasarkan konsep turunan pertama atau gradien fungsi fungsi (x,y). Secara umum algoritma deteksi tepi berdasar konsep turunan pertama fungsi f(x, y). Ide dasar dari operator ini adalah menghitung gradien dalam semua arah sehingga mampu mempertajam ciri tepi sebaik-baiknya dan menekan noise sekecil-kecilnya. Pada penelitian ini digunakan operator Sobel dengan matriks sebagai berikut:

$$\sqrt{4} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ dan } \sqrt{4} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

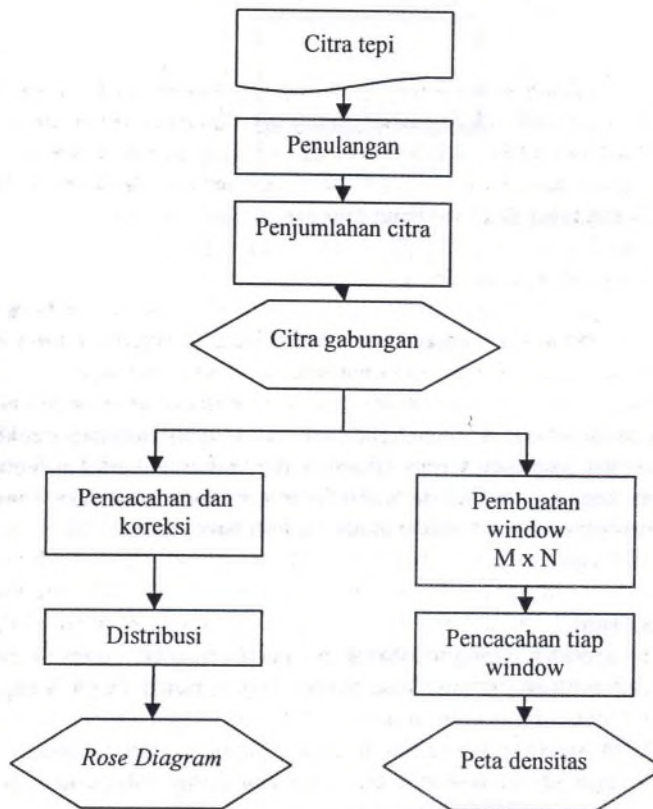
*Operasi Thresholding*

latar belakang. Intensitas citra yang lebih besar dari nilai threshold T dinyatakan sebagai tepi, dan di bawah nilai threshold T dinyatakan sebagai latar belakang.

Satu masalah dalam operasi *thresholding* adalah penentuan nilai threshold T. Apabila nilai ini terlalu tinggi maka akan banyak tepi yang hilang atau tidak terdeteksi, sebaliknya apabila nilai ini terlalu rendah maka besar kemungkinan sesuatu yang bukan tepi ikut terdeteksi yang justru akan mengaburkan informasi.

Karena tidak ada batas yang jelas antara level intensitas citra tepi dan intensitas latar belakang, maka untuk penentuan nilai threshold T dilakukan secara manual oleh interpreter, tidak diberikan suatu nilai yang baku. Penentuan nilai threshold T dapat dilakukan dengan cara mencoba-coba sehingga didapat suatu nilai yang mampu memisahkan citra tepi dari latar belakangnya dengan sebaik-baiknya.

Langkah selanjutnya setelah kita memperoleh citra tepi adalah memperoleh gambaran distribusi berupa diagram Rose serta peta kontur densitas, yang ditunjukkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Proses Lanjutan ekstraksi kelurusan struktur

### Analisis Citra Tepi

Analisis citra dibedakan dari proses-proses pengolahan citra lainnya karena hasil akhirnya berupa deskripsi citra bersangkutan. Analisis dilakukan untuk mendapatkan deskripsi yaitu berupa distribusi jumlah garis terhadap sudut orientasi. Distribusi yang diperoleh kemudian direpresentasikan dalam bentuk diagram, tabel, dan peta densitas.



### **Penulangan**

Penulangan dilakukan pada citra tepi biner dengan tujuan menghasilkan garis-garis kelurusan struktur geologi yang memiliki ketebalan sama. Ketebalan garis yang sama tidak dikaitkan dengan skala citra atau lebar *joint* atau *crack* yang sesungguhnya tetapi berkaitan dengan segi teknis dalam penghitungan jumlah garis. Jika tebal garis satu pixel maka jumlah pixel penyusun rangka garis dapat mewakili panjangnya. Disamping itu ketebalan kelurusan struktur geologi dalam hal ini tidak menjadi permasalahan.

### **Penjumlahan Citra Tepi**

Setelah dilakukan penulangan kemudian citra dijumlahkan sehingga didapatkan citra gabungan. Penjumlahan citra dilakukan dengan teknik penampilan bersama (*overlay*) kedua citra biner, kedua citra tidak saling bertindih karena berasal dari satu citra asal. Citra gabungan selanjutnya diproses sesuai dengan tujuan representasi.

### **Pencacahan Garis**

Tujuan pencacahan adalah menghitung jumlah garis dan mencatat koordinat titik ujung dan titik pangkal setiap kelurusan. Data yang diperoleh dipergunakan untuk menghitung sudut rose. Pada saat pencacahan, setiap kelurusan struktur geologi hanya boleh dicacah sekali. Untuk menghindari pencacahan ulang setiap kelurusan struktur geologi yang telah dicacah harus dihapus.

### **Sudut Rose dan Koreksi Arah Utara**

Satelit pengambil gambar biasanya memilih orbit tidak persis pada arah utara-selatan. Umumnya orbit digeser ke arah timur laut. Pergeseran arah orbit ini mengakibatkan arah vertikal (utara) citra bergeser ke arah timur laut.

Sudut orientasi kelurusan struktur geologi dihitung dengan acuan arah utara bumi. Sehingga pada setiap penghitungan sudut orientasi kelurusan struktur perlu ditambahkan koreksi, tujuannya untuk mendapatkan harga sudut orientasi yang sebenarnya. Koreksi arah utara dilakukan dengan cara menambahkan nilai koreksi pada setiap hasil penghitungan sudut orientasi kelurusan geologi.

Arah utara berhimpit dengan sumbu  $y$  pada koordinat  $(x, y)$ . Arah utara bumi atau true north berhimpit dengan sumbu  $y'$  pada koordinat  $(x', y')$ . Sumbu-sumbu koordinat  $(x, y)$  dan  $(x', y')$  membentuk sudut  $\alpha$ . Sebenarnya sudut  $\alpha$  adalah sudut pergeseran yang dibentuk pesawat pengambil gambar terhadap arah utara bumi. Sehingga untuk kembali pada acuan arah utara bumi sumbu koordinat  $(x, y)$  harus diputar sejauh  $\alpha$  ke arah sumbu koordinat  $(x', y')$ .

Hal serupa dapat juga dilakukan dengan memutar setiap kelurusan struktur geologi sejauh  $\alpha$  ke arah sumbu  $y'$ . Jika sudut yang dibentuk kelurusan struktur geologi terhadap sumbu  $y$  adalah  $\beta$  maka sudut orientasi Rose dapat diperoleh dengan menjumlahkan sudut  $\beta$  dengan  $\alpha$ .

Untuk penghitungan pada citra, sudut orientasi kelurusan struktur geologi dihitung dalam sistem koordinat layar monitor. Titik pusat koordinat  $(0, 0)$  terletak pada pojok kiri atas layar dan posisi koordinat terbesar terletak pada pojok kanan bawah.

Sudut kemiringan garis pada layar monitor didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk oleh garis lurus sembarang dengan garis horisontal. Jika titik-titik ujung sebuah garis lurus adalah  $(x_1, y_2)$  dan  $(x_2, y_2)$  maka sudut kemiringan  $\delta$  adalah :

$$\delta = \arctan \left[ \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} \right]$$

$$\text{sudut } \beta = 90 - \delta$$

$$\beta = \arctan \left[ \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1} \right]$$

dengan menyertakan nilai koreksi, maka nilai Rose adalah:

$$\text{Rose} = \beta + \alpha$$

$$\text{Rose} = \arctan \left[ \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1} \right] + \alpha$$

### Statistik Data Pencacahan

Distribusi kuantitas kelurusan geologi dibuat dengan menerapkan metode statistik yang paling sederhana, yaitu mengelompokkan struktur geologi yang mempunyai besar sudut yang sama. Pengelompokan dibuat pada selang harga tertentu. Dalam penelitian ini diambil selang  $10^0$ . Selang ini diambil dari pengalaman para ahli yang biasanya melakukan interpretasi secara manual.

Pengelompokan dimulai dari selang  $-90^0$  sampai  $-80^0$  (arah barat) hingga selang  $+80^0$  sampai  $+90^0$ . Sudut  $0^0$  mewakili arah utara bumi. Dengan demikian terdapat 18 kelas dengan interval  $10^0$ , dari arah barat ke utara hingga ke arah timur. Masing-masing kelas mempunyai frekuensi yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan diagram.

### ANALISIS SPEKTRAL

Langkah kedua adalah mencoba membandingkan metoda *band ratio* dan *principal component analysis (PCA)* untuk dapat menonjolkan daerah potensial mineralisasi.

#### Band Ratio

Proses yang dilalui dalam proses band ratio adalah proses penajaman nilai digital dengan cara membagi nilai digital suatu band dengan band yang lain sehingga diperoleh nilai digital yang lebih kontras.

Menurut Drury (1992, dalam Navai dan Tehrani, 1994) rasio dari band-band 3/1, 4/2, dan 5/7, dapat menajamkan kenampakan dari *ferruginous soil*, vegetasi, dan mineral lempung. Kombinasi band ratio RGB 57/42/31 digunakan karena efektif untuk memetakan oksida besi, alterasi epithermal dan vegetasi. Sabin (1986) menyarankan kombinasi rasio dari band-band 3/1, 5/7, 3/5 untuk mendapatkan lebih banyak informasi mengenai keadaan geologi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Sabin di Nevada diperoleh kombinasi band untuk penentuan daerah potensial emas dilakukan ratio band 5 dan 7 (5/7) yang ditempatkan pada layer Red, ratio band 3 dan 1 (3/1) yang ditempatkan pada layer Green, dan ratio band 3 dan 5 (3/5) yang ditempatkan pada layer Blue.



### Principle Component Analysis

Analisis *principle component* merupakan teknik statistik klasik yang menganalisis struktur kovarian dari data multivariate. Metode ini menentukan arah yang sesuai dari suatu kumpulan data bervariasi. *Principle component* yang pertama memberikan arah dimana variansi maksimum dapat dianalisis. *Principle component* yang kedua merupakan arah dari variansi maksimum berikutnya dimana arah ini *orthogonal* terhadap yang *principle component* pertama dan seterusnya (Wijewickrema, 2005). Metode ini dipakai dalam mereduksi data dari suatu citra. Suatu citra dengan berbagai spektral ditransformasikan ke dalam beberapa *principle component* yang mempertahankan hampir seluruh variasi dari citra aslinya.

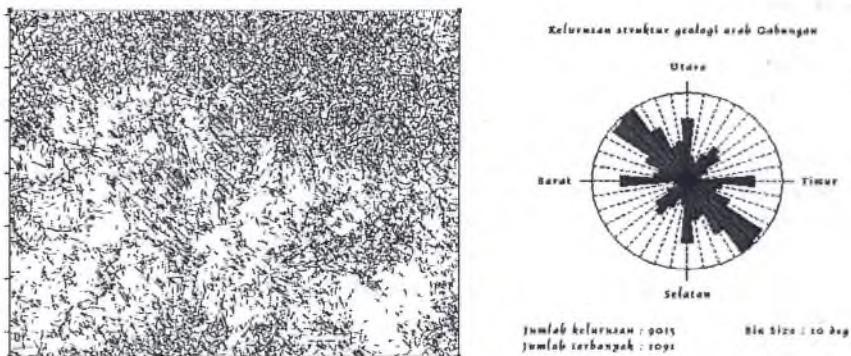
## HASIL PENGOLAHAN DATA

### Ekstraksi Kelurusan

Operator yang digunakan untuk operasi deteksi tepi ini adalah operator gradien dan operator kompas. Pada operator gradien digunakan filter Sobel sedangkan pada operator kompas digunakan filter berarah. Tujuan dari pemakaian dua operator ini adalah mencari filter yang paling bagus untuk digunakan pada daerah penelitian ini. Pada Operasi *Smoothing* filter yang digunakan adalah *low pass* dan median. Dari contoh pengujian, untuk *low pass* filter, karena filter ini melakukan perata-rataan dengan bobot yang sama ke semua arah maka terlihat bahwa filter ini tidak hanya melakukan penekanan terhadap noise melainkan juga menekan ciri tepi dengan sama baiknya sedangkan untuk filter median diimplementasikan dengan jendela [3 x 3] dan [5 x 5].

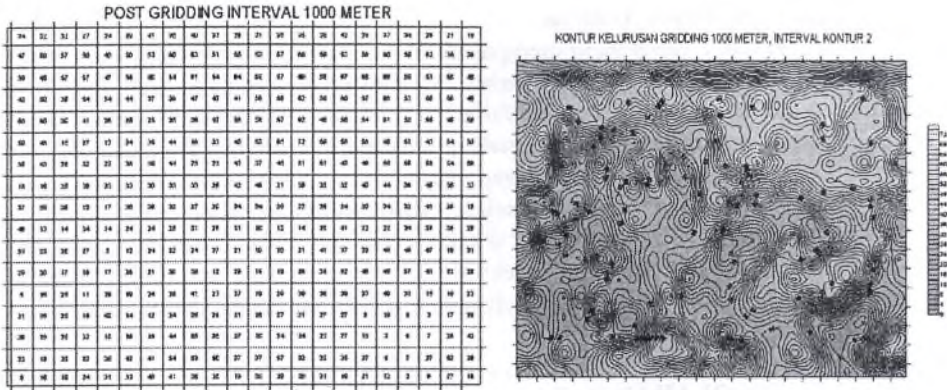
Dari matriks citra yang dihasilkan tampak operator median lebih baik menekan noise. Intensitas citra sepanjang tepi tetap dipertahankan. Hasil operator gradien menggunakan filter Sobel melakukan penonjolan pada arah diagonal. Pada filter berarah setiap filter memberikan penonjolan tepi dan penekanan noise yang baik pada masing-masing arah. Untuk pengolahan citra pada daerah penelitian digunakan filter berarah, dari hasil perbandingan menunjukkan filter ini dapat menekan noise paling baik dan ciri tepi yang ditonjolkan cukup baik.

Representasi hasil pengolahan citra digital ditampilkan dalam bentuk kontur densitas, tabel, dan diagram rose. Dari kontur densitas daerah-daerah dengan nilai densitas yang tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah dengan tingkat kerapatan/kepadatan kelurusan yang tinggi (*high density fracture*).

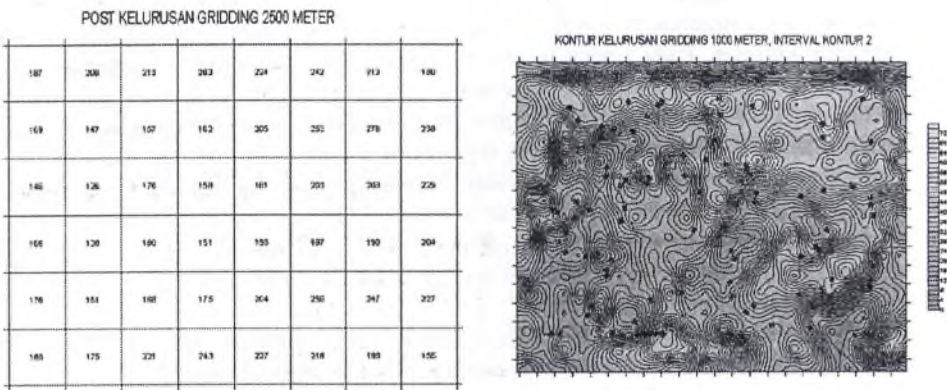


Gambar 3. Citra biner hasil filter dan diagram rose arah gabungan





Gambar 4. Kontur densitas grid 1 km



Gambar 5. Kontur densitas grid 2.5 km

**Pendeteksian Daerah Alterasi dengan Analisis Spektral**

Perbandingan nilai spektral terhadap 166 buah titik di lapangan yang terbagi ke dalam tiga kelas yaitu alterasi positif, alterasi negatif dan non alterasi. Daerah alterasi positif adalah daerah yang diindikasikan sebagai daerah alterasi dan memiliki kandungan mineral. Daerah alterasi negatif adalah daerah yang diindikasikan sebagai daerah alterasi tetapi tidak memiliki kandungan mineral. Sedangkan daerah non alterasi adalah daerah yang dinyatakan sebagai daerah bukan alterasi.

Pemilihan kelas obyek didasarkan pada posisi sebenarnya di lapangan, dengan asumsi, kelas tersebut adalah kelas yang dominan dalam menentukan kelas spektral yang terekam. Masing-masing kelas alterasi dikelompokkan lagi menjadi 3 kelas dominan. Alterasi positif terdiri dari kelas daerah penambangan, PETI, dan lain-lain. Alterasi negatif terdiri dari kelas lahan terbuka, sawah dan lain-lain. Kelas bukan alterasi terdiri dari pemukiman, sawah dan lain-lain.

Alterasi positif kelas lain-lain terdiri dari:

1. Kebun yang berbatasan dengan hutan sekunder
2. Sawah yang berbatasan dengan hutan sekunder
3. Lahan terbuka
4. Sawah
5. Daerah bekas tambang



Alterasi negatif kelas lain-lain terdiri dari:

1. Pemukiman
2. Sawah yang berbatasan dengan hutan sekunder
3. Perkebunan
4. Kebun yang berbatasan dengan hutan sekunder.

Bukan alterasi kelas lain-lain terdiri dari:

1. Lahan terbuka
2. Hutan sekunder.

Kendala yang diperoleh di lapangan adalah sulitnya menjangkau daerah alterasi yang berada di hutan primer, karena kondisi hutan yang sulit ditembus, serta kondisi pepohonan yang sangat rapat sehingga tidak memungkinkan masuknya cahaya matahari yang mengakibatkan tidak berfungsinya alat penelitian seperti GPS dan spektrometer.

Perbandingan nilai dilakukan dengan cara mengambil lokasi titik di lapangan dengan menggunakan GPS, kemudian titik titik tersebut diplotkan pada citra Landsat. Selanjutnya dicatat nilai-nilai digital dari tiap piksel dimana titik lapangan berada. Dari hasil yang diperoleh diketahui metoda yang paling baik untuk mendeteksi daerah alterasi adalah metode band ratio. Kendala yang masih sulit dipecahkan adalah sulit terpisahkannya nilai-nilai dari kelas sawah, pemukiman dan tanah terbuka (alterasi). Ketiganya memiliki nilai spektral yang sangat berdekatan.



Gambar 6. Lokasi pengamatan daerah alterasi di daerah sekitar Gunung Halimun, Banten-Jawa Barat

#### **Pendeteksian daerah alterasi dengan Metode Band Ratio**

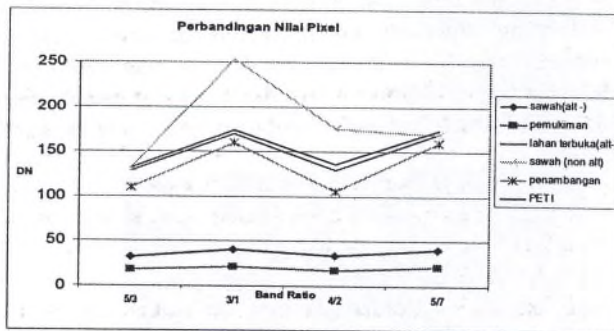
Pendeteksian daerah alterasi dengan menggunakan metode band ratio dilakukan dengan cara mencoba kombinasi yang telah dilakukan oleh Sabin di Nevada. Diperoleh kombinasi band untuk penentuan daerah daerah potensial emas yaitu ratio band 5 dan 7 ( $5/7$ ) yang ditempatkan pada layer Red, ratio band 3 dan 1 ( $3/1$ ) yang ditempatkan pada layer Green, dan ratio band 3 dan 5 ( $3/5$ ) yang ditempatkan pada layer Blue. Pada penelitian ini dilakukan pula kombinasi band sebaliknya untuk mengetahui ratio mana yang paling baik dalam menunjukkan perbedaan nilai spektral dari obyek.

Kombinasi band ratio yang dilakukan adalah sebanyak 14 buah, yaitu kombinasi  $1/3$ ,  $2/4$ ,  $3/1$ ,  $3/5$ ,  $3/7$ ,  $4/2$ ,  $4/5$ ,  $4/7$ ,  $5/3$ ,  $5/4$ ,  $5/7$ ,  $7/3$ ,  $7/4$ , dan  $7/5$ . Dari hasil pengolahan terlihat bahwa kombinasi band ratio  $3/1$ ,  $4/2$ ,  $5/3$ , dan  $5/7$  dapat

memisahkan kelas-kelas secara kontras, seperti terlihat pada tabel dan grafik berikut:

Tabel 1. Perbandingan nilai Pixel dengan menggunakan metode Band Ratio 5/3, 3/1, 4/2 dan 5/7

obyek	5/3	3/1	4/2	5/7
sawah(alt -)	32,28	40,21	33,47	40,21
pemukiman	18,11	21,52	17,38	21,52
lahan terbuka(alt-)	128,80	169,83	129,33	169,83
sawah (non alt)	133,16	253,10	175,43	169,01
penambangan	109,85	159,8	105,5	160,00
PETI	131,84	173,99	136,30	173,99



Grafik 1. Perbandingan nilai Pixel dengan menggunakan metode Band Ratio 5/3, 3/1, 4/2 dan 5/7

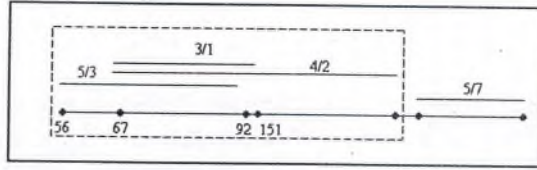
Dari empat kombinasi yang dapat mengkontraskan perbedaan nilai spektral, yakni ratio band 3 dan 1, ratio band 4 dan 2, ratio band 5 dan 3, ratio band 5 dan 7 akan dicari rentang nilai optimum yang dapat menonjolkan kelas sawah, pemukiman dan daerah alterasi.

Perbandingan distribusi data untuk kelas yang dimaksud dengan nilai-nilai batas (dalam skala 256 nilai) dari tiap kombinasi diperoleh hasil seperti tertera pada tabel 2 dan gambar 7.

Tabel 2. Batas nilai maksimum dan minimum spektral dalam interval 0-255 untuk masing-masing kombinasi band ratio 3/1, 4/2, 5/3, dan 5/7

Band Ratio	batas minimum	Batas maksimum
3/1	67	94
4/2	67	125
5/3	56	92
5/7	130	151





Gambar 7. Distribusi sebaran nilai spektral untuk masing-masing kombinasi band ratio 3/1, 4/2, 5/3, dan 5/7

Berdasarkan sebaran nilai untuk masing-masing kombinasi band ratio 3/1, 4/2, 5/3, dan 5/7 diharapkan dapat diperoleh sebaran nilai yang dapat mewakili distribusi kelas tersebut. Berdasarkan perbandingan distribusi nilai tersebut distribusi untuk band ratio 5/7 memiliki nilai yang tinggi dan dapat dianggap terpisah dari distribusi kombinasi band ratio lain. Oleh karena itu band ratio 5/7 tidak akan dipakai untuk proses berikutnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan komposit dari ketiga kombinasi tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan distribusi sebaran daerah kemungkinan alterasi.

Komposit dengan band ratio 3/1 4/2 5/3 (gambar 6.9) memperlihatkan daerah-daerah kemungkinan alterasi di dominasi oleh warna merah dan sedikit warna ungu. Hasil tumpang tindih citra komposit band ratio dengan interpretasi visual untuk daerah alterasi memperlihatkan hasil 100% sama untuk daerah homogen, yaitu daerah hutan primer. Sedangkan untuk daerah yang tidak homogen, hasil tumpang tindih memperlihatkan hanya sekitar 60% ketepatan, karena setelah dilakukan pengecekan lapangan ternyata merupakan daerah pesawahan, pemukiman, dan tanah terbuka.

Dari kedua informasi yang diperoleh dapat dihasilkan titik-titik lokasi daerah kemungkinan mineralisasi. Dari hasil pengkelasan kembali menggunakan metode klasifikasi terawasi citra komposit citra band ratio yang terdiri dari band 3/1, 4/2 dan 5/3 menunjukkan bahwa hasilnya hampir sama dengan operasi band ratio 3/1. Hal ini menunjukkan bahwa band 3/1 memiliki dominasi yang kuat pada penentuan kelas ini.

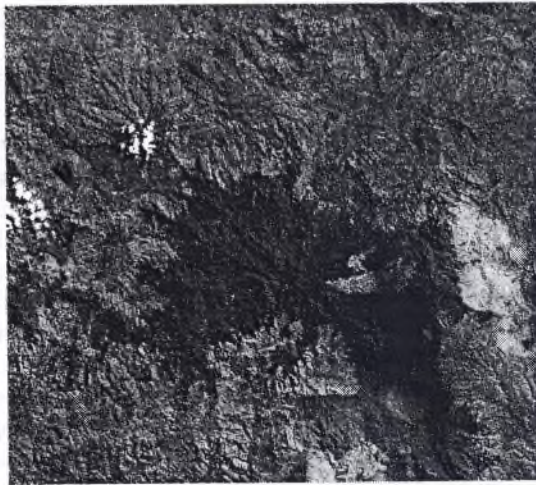


Gambar 8. Citra komposit band ratio R=3/1, G=4/2, B=5/3

### Pendeteksian daerah alterasi dengan Metode PCA

Metode *principle component* merupakan metode yang dipakai dalam mereduksi data dari suatu citra. Sehingga kombinasi yang dilakukan akan disesuaikan dengan hasil yang telah diperoleh dari kedua proses sebelumnya. Karena hasil yang baik hanya diperlihatkan dari proses band ratio maka proses yang dilakukan disesuaikan dengan hasil yang diperoleh dari kombinasi band ratio 3/1, 4/2, 5/3, dan 5/7.

Metode PCA yang menghasilkan citra komposit yang kontras, akan tetapi nilai pixel dari hasil proses metode ini tidak dapat dianalisis karena pola signature yang dihasilkan sangat bervariasi. Komposit hasil Principal Component Analysis menghasilkan citra kontras sehingga hanya dapat digunakan untuk interpretasi secara visual saja.



Gambar 9. Komposit hasil Principal Component Analysis  
untuk band R57 G42 B31

### Penafsiran Geologi

Hasil interpretasi visual dari citra Landsat (gambar 6.9), batuan intrusi diperlihatkan oleh berbagai kenampakan seperti penonjolan bukit yang mempunyai resistensi kuat terhadap erosi, tekstur topografi kasar-sangat kasar, berbentuk kerucut tegar dan padat, pola torehan berbentuk radial seperti kenampakan pada titik 1, 2 dan 3. Kenampakan tubuh intrusi akan menjadi lebih jelas apabila perbedaan kekerasan berbeda dengan batuan di sekitarnya. Tubuh intrusi batuan beku ini pada umumnya memberikan indikasi akan terdapatnya suatu cebakan mineral.

Selain daripada itu pada citra juga dapat dilihat dengan jelas struktur rekahan yang diperlihatkan oleh goresan-goresan lurus dalam berbagai ukuran berupa kelurusan lembah, pematang bukit, sungai seperti diperlihatkan pada titik 4, 5, dan 6 (gambar 10). Pada skala regional struktur kelurusan, struktur berukuran besar diperlihatkan oleh segmen yang terputus dan orientasi dari bentuk topografi yang tersusun secara menerus dalam ekstensi cukup panjang seperti yang diperlihatkan





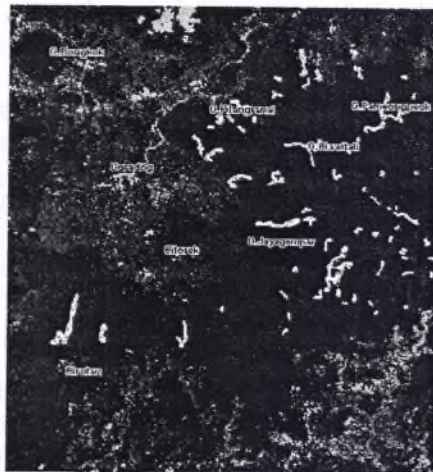


hampir seluruh daerah disusun oleh batuan vulkanik, kehadiran batuan lempung sedimen sulit dibayangkan. Oleh karena sebaran bukaan cenderung berkaitan dengan struktur rekahan dan tidak jauh dari sebaran tubuh intrusi bukaan tersebut diperkirakan sebagai lempung akibat ubahan hidrotermal. Sebaran dari perkiraan batuan ubahan hidrotermal dari hasil pemrosesan digital dan penafsiran manual diperlihatkan oleh gambar 11.

Daerah penelitian disusun oleh batuan-batuan volkanik dan piroklastik yang bersifat menengah sampai asam, andesitis sampai dasitis, dan telah mengalami alterasi dari tingkat menengah - sedang. Sekitar 40 conto batuan telah dikoleksi dari daerah penelitian, namun hanya sekitar 8 conto batuan yang terpilih untuk analisis petrografi, dan 6 conto untuk analisis mineragrafi.

Analisis petrografi dilakukan untuk mengetahui komposisi mineralogi, proses alterasi dan genesa batuan, sedangkan mineragrafi dilakukan untuk mengetahui komposisi dan paragenesa pembentukan mineral bijih. Conto-conto yang terpilih tersebut adalah CWC, GJL B, Psr. Ipis, CSL B, Hn BX V, GHLM, Tuf dan HVa. Hasil identifikasi mineralogy secara petrografi, dapat dilihat pada tabel 1. di bawah.

Proses alterasi yang dapat diamati dari pengamatan secara petrografi adalah proses *replacement* dan *overprint*. Berdasarkan kehadiran kelompok mineral-mineral alterasi dan intensitasnya tipe alterasi daerah Cirotan propilitik sampai filik-sedikit potasik. Batuan-batuan yang disusun oleh kelompok mineral ubahan bertipe potasik ditunjukkan oleh contoh CWC, GJL B, psr. Ipis, dan CSL B, yang dicirikan oleh kehadiran/fenomena kristalisasi mineral k-felspar, kehadiran muskovit meski telah digantikan oleh kelompok propilitik (seperti klorit dan karbonat), dan pada beberapa bagian digantikan oleh serisit, karbonat, epidot, dan silika. Selain batuan bertipe propilitik yang menggantikan tipe potasik. Tipe propilitik dicirikan oleh kehadiran kelompok mineral ubahan klorit, karbonat epidot dan silika. Kelompok batuan yang mengalami ubahan bertipe propilitik adalah HN BxV, GHLM, Tuf, HVA. Sementara itu dapat diamati pula beberapa kali intrusi hidrotermal memebentuk silika bertekstur colloform mengisi rongga vesicular batuan.



Sebaran daerah alterasi hidrotermal hasil interpretasi manual

Gambar 11. Kombinasi band ratio 5/4,7/4,3/7 dengan sebaran ubahan hidrotermal



## PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil penafsiran geologi secara visual dan hasil pemrosesan digital di daerah penelitian, beberapa informasi geologi yang berkaitan dengan proses pembentukan cebakan mineral di daerah ini dapat dikemukakan seperti di bawah ini. Secara garis besar daerah penelitian memperlihatkan suatu kompleks gunungapi yang ditunjukkan oleh bekas kaldera Citorek yang berbentuk poligonal di sebelah barat, depresi Ciantenherang di sebelah timur dan kemungkinan depresi Gunungjulang di sebelah utara. Di antara ketiga depresi tersebut terdapat tinggian pegunungan dengan G.Sanggabuana dan G. Kendeng sebagai puncaknya. Bentuknya yang masih memperlihatkan kerucut dengan pola aliran radial memberi kesan suatu tubuh gunungapi yang telah terkelupas penutupnya.

Beberapa tubuh intrusi yang dianggap sebagai sumber larutan hidrotermal dan atau batuan pembawa mineral tersebar di bagian tengah, berupa tubuh intrusi berukuran relatif besar dan intrusi-intrusi kecil di sekitarnya. Tubuh G. Sanggabuana dan G. Kendeng serta memperlihatkan tubuh intrusi besar yang merupakan inti dari tubuh gunungapi tersebut. Di sebelah barat dan utara dari G. Sanggabuana bukit-bukit kecil berbentuk bulat, tegar dan menonjol dari sekelilingnya terlihat dengan jelas. Secara umum sebaran tubuh-tubuh intrusi memanjang pada arah baratlaut-tenggara serta mengelompok di sekitar G.Sanggabuana, terutama di bagian barat. Sebaran dari tubuh intrusi tampaknya mempunyai hubungan erat dengan pola dan arah struktur kelurusan di daerah tersebut.

Pola kelurusan struktur utama berarah baratlaut-tenggara yang melalui G. Kendeng, G. Cibarengkok, G. Sanggabuana, G. Ciawitali, G. Pilangraya dan G. Bongkok. Diperkirakan struktur kelurusan ini merupakan kelurusan regional yang merupakan bagian dari tren struktur Sumatra. Sangat boleh jadi struktur tersebut adalah dari jenis sesar mendatar sesuai dengan posisinya terhadap arah kompresi utama. Selain arah tersebut struktur rekahan berkembang pula pada arah utara-selatan dan utara timurlaut. Struktur pada arah ini tidak menggeser struktur yang berarah baratlaut-tenggara sehingga diperkirakan merupakan struktur *subsidiary* yang kemungkinan besar merupakan jenis struktur *tensional*. Depresi Citorek yang dibatasi oleh rekahan poligonal diduga terbentuk secara lokal dalam kaitannya dengan pembentukan struktur kaldera. Pola rekahan yang serupa juga terlihat di depresi Gunungjulang.

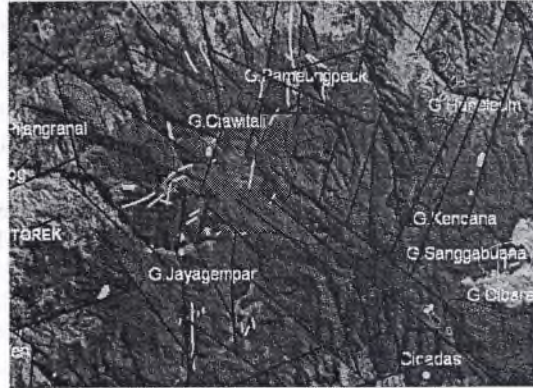
Kenampakan dan sebaran gejala ubahan hidrotermal hanya baik diidentifikasi di daerah yang tertutup hutan dari bukaan yang tersebar sepanjang lembah sungai dan lereng terjal. Bukaan tersebut sebagian tampak karena longoran pada lereng dan hasil torehan sungai. Cek lapangan yang dilakukan di sekitar Pongkor menunjukkan hampir 80% berasosiasi dengan ubahan hidrotermal, dan sebagian kecil lainnya merupakan lahan pemukiman dan bukaan lahan pertanian. Dari kenampakan umum penafsiran gejala ubahan hidrotermal pada areal lahan pertanian sangat sulit dan tidak dianjurkan untuk dilakukan.

### a. Komplek vulkanik G. Sanggabuana

Di daerah ini sebaran tubuh intrusi, sebaran ubahan hidrotermal dan pola struktur rekahan sangat dominan. Sebaran urat kuarsa yang mengandung emas umumnya tersebar di bagian luar dari tubuh intrusi besar (pusat vulkanik), hampir sebagian besar berasosiasi erat dengan sebaran ubahan hidrotermal. Arah urat kuarsa yang berarah utara-selatan dan utara timurlaut serta utara



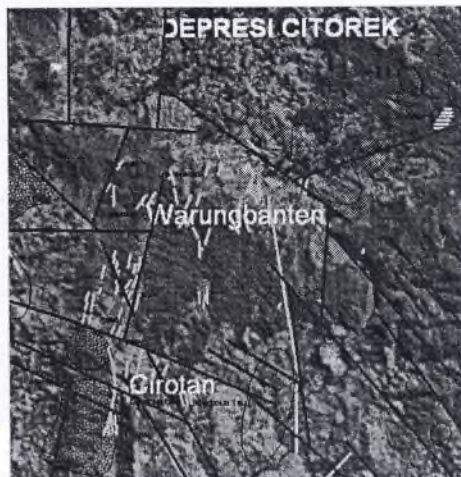
baratdaya kemungkinan besar berhubungan dengan rekahan *tensional*, sebagian kecil berhubungan dengan arah sesar/rekahan utama yang berarah baratlaut-tenggara. Mineralisasi yang terdapat di Cikidang, Ciawitali dan Pameungpeuk kemungkinan besar berkaitan dengan sistem vulkanisme Sanggabuana. Sebaran ubahan hidrotermal yang banyak tersebar di sebelah selatan dan tenggara G. Sanggabuana, seperti sekitar Cisono merupakan daerah yang menarik untuk dilakukan penyelidikan lapangan lebih lanjut.



Gambar 12. Daerah mineralisasi kompleks Sanggabuana

**b. Komplek Depresi Citorek**

Pola sebaran mineralisasi di sekitar depresi Citorek kemungkinan besar berbeda dengan pola Sanggabuana. Mineralisasi dalam bentuk urat-urat kuarsa yang terdapat di Lebak Sembada, Cimari, Cirotan, Sopal, Cipangleseran dan Ciusul tampaknya dikontrol oleh rekahan sisi kaldera sebelah selatan melalui rekahan berarah utara-selatan. Sebagian dari mineralisasi di Ciawitali kemungkinan merupakan bagian dari sistem mineralisasi depresi Citorek. Di daerah ini sebaran gejala ubahan hidrotermal tidak sebaik di Sanggabuana, atau kemungkinan kurang dapat dikenal karena sebagian besar daerah ini merupakan lahan pertanian.



Gambar 13. Daerah Mineralisasi Citorek



c. **Komplek Pongkor**

Mineralisasi yang terdapat di G. Pongkor dari citra Landsat tampaknya merupakan sistem tersendiri, terlepas dari sistim mineralisasi Sanggabuana. Sebaran ubahan hidrotermal yang tersebar cukup luas tampaknya berkaitan dengan struktur rekahan yang berarah barat-laut-tenggara, demikian pula arah urat kuarsa yang terdapat di daerah ini. Urat kuarsa yang berarah barat-laut-tenggara kemungkinan berkaitan dengan struktur mendatar yang searah dengan arah sesar Sumatra dan urat kuarsa yang berarah utara-selatan kemungkinan berkaitan dengan rekahan *tensional*. Sumber dari mineralisasi tidak dapat diperkirakan dengan baik, kemungkinan berkaitan dengan proses terbentuknya depresi Ciantenherang dan atau depresi Gunungjulung. Apabila demikian halnya kemungkinan umur mineralisasi Pongkor lebih muda dari Sistim Sanggabuana dan Citorek karena pembentukan depresi Ciantenherang diduga berumur lebih muda dari kedua kompleks vulkanik di atas berdasarkan derajat erosi yang lebih muda dari derajat erosi kedua kompleks vulkanik tersebut.



Gambar 14. Daerah Mineralisasi Pongkor

**KESIMPULAN**

1. Beberapa informasi geologi yang berkaitan dengan proses pembentukan cebakan mineral di daerah ini berupa poligonal, daerah depresi, tubuh, pola kelurusan struktur, kenampakan dan sebaran gejala ubahan hidrotermal.
2. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan band ratio dan PCA daerah alterasi yang berada pada daerah yang homogen (misal: hutan primer) dapat dipetakan dengan baik.
3. Penentuan sebaran ubahan hidrotermal dengan menggunakan algoritma yang ada belum memperlihatkan efektifitasnya
4. Kendala yang timbul pada daerah yang dekat dengan aktifitas manusia adalah sulitnya membedakan antara daerah alterasi dengan daerah pemukiman dan sawah. Ketiganya memberikan pantulan spektral yang berada pada nilai yang berdekatan sehingga sulit untuk dipisahkan.
5. Proses analisis spektral hanya dapat menunjukkan sebaran dan belum dapat membedakan tipe alterasi dan mineralisasi.

6. Pemrosesan digital pada dasarnya adalah ekstraksi secara otomatis dari suatu atau beberapa obyek/benda dengan suatu perhitungan matematik. Pemrosesan digital untuk ekstraksi struktur kelurusan dan turunannya (diagram frekuensi jurus dan kerapatan struktur rekahan) memberikan gambaran tentang kondisi geologi yang bermanfaat dalam eksplorasi dan dapat diaplikasikan lebih lanjut.
7. Dalam kaitannya dengan kegiatan eksplorasi mineral di daerah Kubah Bayah, interpretasi dan pemrosesan data memperlihatkan korelasi yang baik dengan data hasil survei lapangan. Sehingga dalam hal tertentu dapat memberikan alternatif dalam konsep eksplorasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT atas selesainya penelitian dan tulisan ini. Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada Bapak Suwijanto, atas bimbingan dan ide-ide cemerlangnya; Emanuel Taufan, Iwan Setiawan dan Bapak Sutarman yang telah membantu dalam pengambilan dan pengolahan data lapangan. Kepala Puslit Geoteknologi-LIPI dan staf, Pejabat Komitmen DIPA, serta kepada rekan-rekan peneliti dan teknisi serta kepada jajaran staf Unit Geomin Pongkor, PT. Aneka Tambang yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashley, R.P., 1974. *Goldfield Mining District: Nevada Bureau of Mines and Geology Report 19*, p.49-66.
- Hayba, D.O., P.M. Bethke, P.Heald and N.F.Foley., 1986. *Geologic, Mineralogic and Geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal preceous-metal deposits.*, in *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems.*, Reviews in Econ.Geol., Soc.Econ.Geologist. v.2., p.129-167.
- Henley, R.W., 1986. *The Geothermal framework of epithermal deposits.*, in *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems.*, Reviews in Econ.Geol., Soc.Econ.Geologist. v.2., p.1-24.
- Hunt, G.R. and R.P.Ashley, 1978. *Spectra of altered rocks in the visible and near infrared.*, Econ Geol.,v.74, p.1613-1629.
- Lestiana, H., Mukti, M.M., Taufan, E., dan Suwijanto, 2003. *Pengembangan pemrosesan digital data penginderaan jauh untuk eksplorasi mineral.* Laporan penelitian Puslit Geotek. LIPI (tidak dipublikasikan).
- MacDonald, G.D. and L.C. Arnold, 1994. *Geological and geochemical zoning of the Grasberg Igneous Complex, Irian Jaya, Indonesia.*, Journ Geochem.Exploration, v.50, NOS 1-3, p.143-178.
- Meldrum, S.J., R.S.Aquino, R.I. Gonzales, R.J. Burke, Suyudi, A., Irianto, B., and D.S. Clarke, 1994. *The Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa Island, Indonesia.*, Journ Geochem.Exploration, v.50, NOS 1-3, p.203-220.
- Rowan, L.C., P.H.Wetlaufer, A.F.H.Goetz, F.C.Billingsley and J.H.Stewart, 1974, *Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in Southern Nevada by the use of computer-enhanced ERTS images.*, U.S.Geological Survey Professional Paper 883.
- Rowan, L.C., A.F.H.Goetz and R.P.Ashley, 1977. *Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in the visible and near infrared.*, Geophysics, v.42, p.522-535.
- Sabin Jr, F.F, 1986. *Remote Sensing Principal and Interpretation* ,2nd ed., W.H. Freeman and Company, New York, p.279-313.
- Sillitoe, R.H., 1994. *Indonesian mineral deposit-introductory comments, comparisons and speculations.*, Journal of Geochem.Exploration, v.50, NOS 1-3, p.1-11.
- Wijewickrema N.R, S., Paplinski, A.P.,2005. *Principle Component Analysis for the Approximation of an Image as an Ellipse.*, WSGC POSTER preceedings., ISBN 80-903100-8-7., WSCG'2005, January 31-February 4, 2005, Plzen, Czech Republic. UNION Agency- Science Press.



## **Ore Mineralisation and Petrology of the Altered Hydrothermally Rock of Cupunagara Regency, Cisolak, Subang, West Java**

**I. Setiawan and S. Indarto**

*Research Centre for Geotechnology (LIPI)*

**Abstract.** Cupunagara area located at the NNE part of the Sunda Volcanic Complex, in the north end of the West Java Basin, and dominated by volcanic rocks (lava, pyroclastic, and intrusive) range from basalt through andesite to dacite in composition belong to back arc type, derived from the same magma source with different fractionation level. Most of the samples have high LOI values indicating that to more or less they have been hydrothermally altered. Hydrothermal processes resulted in potassic, phyllic, propylitic and argillic alteration zones, quartz veins, and fine-grained sulphide ore. Indications of overprinting other zones by the argillic zone and the remnants of quartz vein within the argillic zone are found in some locations. Overprinting indications supported by the coexistence (interlayer) of high temperature (illite and chlorite) and low temperature (kaolinite and smectite) clay minerals, suggest that the high temperature hydrothermal fluid (forming potassic, phyllic, and propylitic zones) had been replaced by the low temperature hydrothermal fluid (forming argillic zone). Mineralization is indicated by formation ore sulphide such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and goethite which are showing solid solution and replacement textures. Assay analysis suggests that Au, Ag, and Pb concentration preferable in the propylitic zone. The type of mineralization in the studied area is a vein-complex low-sulphide deposit formed in a transition zone between epithermal and mesothermal zones.

**Keywords:** Cupunagara area, Calc-Alcaline, Back Arc Type, Argillic, epithermal vein-complex low-sulphide-mesothermal, low sulphidation.

### **INTRODUCTION**

The studied Area, located in the Cupunagara area, Cisolak District, Subang Regency, West Java. This area composed by Cibitung Caldera in the west cut by the Cupunagara Caldera in the east. A number of volcanic cones surround the studied area, such as: Canggak Mt. in the east, Pasir Bedil Mt. in the northeast, Pasir Batulawang Mt. in the northwest, Bukit Tunggul Mt. in the south, and Kadaka Mt. in the southeast. Both calderas are open to the north and colloval deposit of volcanic material is deposited at their bases. And the hydrothermal activity indicated by mineralized veins, and hydrothermal breccia (Sudarsono et al., 2005 and Bronto et al., 2004).

Mineralisation concept concerning the eruption centre has been proved to be helpful in finding new deposits (Bronto et al., 2003); however, the genetic and potential of mineralisation related to eruption center still need to be explained.

This paper is aimed to show the distribution and genetic of hydrothermal alteration and mineralisation in the studied area, through the study of geochemistry, petrography, XRD, fluid inclusions, and mineragraphy. Laboratory works had been done in Optical Mineralogy Lab. of Geotechnology Research Centre (petrography and XRD), ActLabs-Canada (Rock chemistry), and Tekmira (Assay of ore mineral).

## GEOLOGICAL SETTING

The studied area lies in the north north-eastern part of the Sunda Volcanic Complex, occupied by Cibitung and the Cupunagara northward-opening Calderas of the old volcano (Bronto et al., 2004), consist by Tertiary to Quaternary volcanic rocks which are dominated by interlayering basalt, tuff, and breccia, distributed in the south scarp of the calderas and several narrow window along the Cibitung, Ciwangun, and Cibadak rivers. According to (Bemmelen, 1949) and (Utoyo, 2004), lithologies in the studied area derived from volcanisms which were initiated during the Oligo-Miocene (Cibitung volcanism) through the Miocene-Pliocene (Cupunagara volcanism) to the Late Middle Quaternary. Most of the Tertiary volcanic rocks have been hydrothermally altered, whilst that of Quaternary generally unaltered. These rocks are divided into: lava, pyroclastic, and intrusive rocks comprised by the intrusion body of the Orem Mountain in the eastern side of the Cupunagara Caldera. Other intrusive rocks are exposed in the Geulis and Kembar Mountains composed by pyroxene andesite. Interlayering unaltered andesitic lava and pyroclastic distributed in the northwestern of the Batulawang Mountain (Lbt), and covering the northeastern of the Pasir Bedil Mountain (Lpb), the eastern and the northeastern of the Canggak Mountain (Lgc). The basaltic to pyroxene andesitic collovium deposit (Kol) distributed in the southern of the base of the calderas (Sudarsono et al., 2005) (Figure 1).

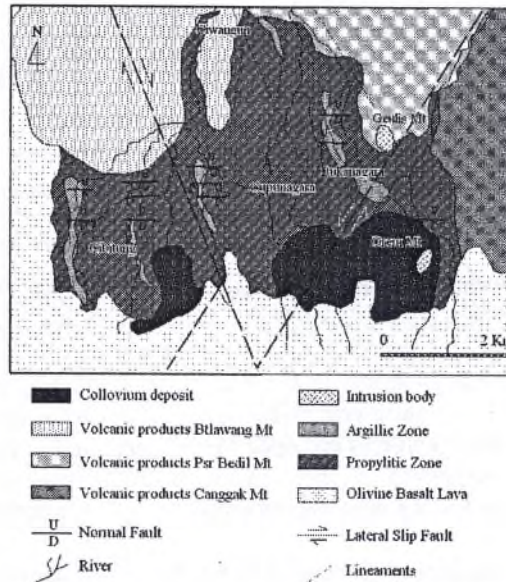


Figure 1. Geological Map of the Cupunagara Area, Subang, West Java.



## RESULT

### Geochemistry

#### Major elements

Ten representative samples were analysed for their major and trace elements content (Table 1). The SiO<sub>2</sub> value ranges from 48 – 61.3 % suggest that most of the samples are intermediate (andesitic), except sample CWG-03A which is basaltic, and in general, can be classified as Calk-Alkaline as indicated by their CaO > (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) contents. The exceptions are samples CBT01, CWG-3F and CWG-3 which their CaO are less than the K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O contents. Two of the samples (CBT-2 and ORE-02) are relatively unaltered as indicated by their LOI contents which are < 2%. LOI content that included in geochemical analysis reflects the volatile concentration such as H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, and S, combined within the lattice of silicate minerals (Lechler and Desiletes, 1987, in Rolinson, 1993), and may resulted from carbonate addition (Smith, 1996); The oxide of relatively immobile such as Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>, and mobile CaO and Na<sub>2</sub>O elements display a significant fractionation trends (Figure 2) suggesting that all the volcanic rocks derived from one magma source with different fractionation level. The composition of relatively immobile (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>) and mobile elements (CaO and Na<sub>2</sub>O) suggests that alteration processes occur by the breakdown of mafic minerals (pyroxene and amphibole), in line with this is the depletion in MgO content. One sample from the Cibitung river shows depletion in MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, and K<sub>2</sub>O suggesting that alteration processes occur by the breakdown of feldspar and mafic minerals

Table.1. Major and trace elements content of the rocks in the studied area

Sample code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
CPN 01B	55.6	17.17	8.06	0.176	3.33	7.02	3.18	2.13	0.822	0.25	2.13
CPN 2/CKR	56.09	18.61	7.12	0.046	0.7	5.29	3.22	1.91	0.64	0.25	6.06
CBT 01	61.23	16.96	5.52	0.167	1.53	5.35	3.42	2.43	0.591	0.19	2.53
CBT 06 C	57.33	18.15	6.48	0.314	2.96	4.23	2.48	0.77	0.795	0.25	5.78
CBT 02	55.87	17.19	8.42	0.153	3.71	7.61	3.03	1.71	0.859	0.22	1.44
ORE 02A (1)	59.38	16.7	6.46	0.136	3.61	6.8	3.17	2.31	0.678	0.19	0.64
ORE 02A (2)	59.27	16.62	6.44	0.136	3.6	6.78	3.18	2.4	0.674	0.19	0.64
CWG 03	61.42	18.47	4.81	0.151	0.28	5.24	3.64	2.21	0.561	0.23	2.97
CWG 03A	48.08	18.17	9.89	0.271	3.41	5.54	2.49	1.12	0.884	0.47	6.65
CWG 03F	59.56	17.87	6.33	0.22	0.21	5.11	3.45	1.99	0.565	0.23	4.37

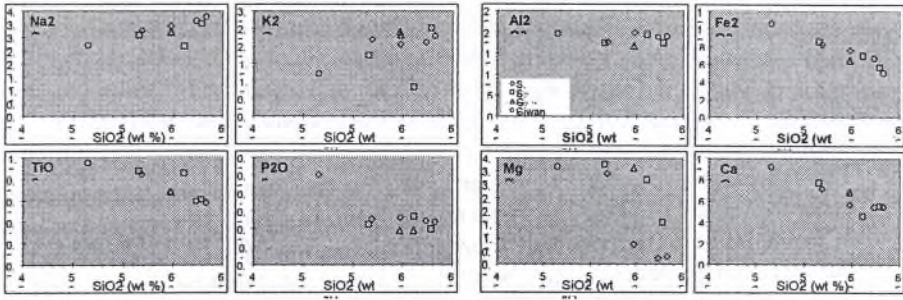


Figure 2. Harker Diagram of immobile and mobile major elements of the rocks in studied area show a significant fractionation trends.

**Rare Earth Elements**

Due to the limited space, table of the REE data are not given in the text. The facts that the volcanic rocks in the studied area derived from a magma source are in line with the RRE data (Zulkarnain in Sudarsono 2005). The spider diagrams in Figure 3. show all the rocks have similar pattern. They are significantly enriched in LREE with the ratio of the rocks to the chondrites for La is >50. They also are slightly depleted in Ho. These facts suggest that all the rocks come from a magma source. The difference in fractionation level is shown by the variety in rock's composition that is, ranging from basaltic to dasitic. In Geological Map published by the Geology R&D these rocks are classified as undifferentiated volcanic rocks. Plotting of Y versus Nb/Zr\*100 for all samples give a figure that all the rocks were formed by a volcanism in the Back Arc Side.

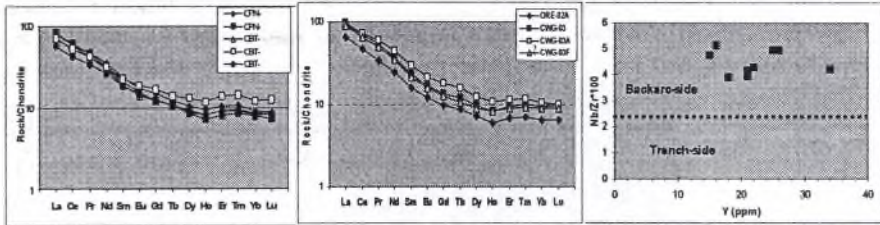


Figure 3. REE spider diagram and plot of Y versus Nb/Zr\*100 of volcanic rocks in the studied area, for discussion see text.

**Petrography**

Two types of andesitic lava are recognized, the pyroxene andesite (>15% pyroxene, no olivine) and basaltic andesite. The first type, the pyroxene andesite exposed in the Cikaruncang Area (CGR-3B), showing porphyritic and hyalo-ophitic textures, phenocryst (0.2-4)mm, composed of plagioclase, pyroxenes (augite and hypersthene), hornblende which partly altered to iron oxides, and opaque minerals as phenocryst. The groundmass of the rock composed of microlite plagioclase and glass (Figure 2). The second type, the basaltic andesite exposed in the Cibitung (CBT-01) and Ciwangun (CWG-03, CWG-3A) Areas, showing porphyritic texture, phenocryst (0.3-3)mm composed of plagioclase (dominant of labradorite), lamprobolite, pyroxenes (hypersthene>>augite), and few opaque minerals.



Volcanic glass builds the groundmass part (Figure 4). Sample of basaltic andesite from the Cibitung (CBT-01) is unaltered suggesting that this rock is the product of Quaternary volcanism.

Basaltic lavas are found in almost all observation locations, they are porphyritic, phenocrysts are 0.2-4 mm composed of plagioclase (labradorite>>andesine, partly altered into carbonate), pyroxenes (hypersthene and augite, few have been altered into biotite), olivine, lamprobolite, and opaque minerals. Volcanic glass and microlite plagioclase altered into carbonate + chlorite + clays, constitute the ground mass (Figure 2). These rocks can be divided based on olivine percentage content, into: basalt porphyry and andesitic basalt (olivine < 5%), and olivine basalt (olivine > 5%). These rocks interlayer with lava and can be divided into breccia tuff, vitric crystal tuff, and lithic vitric crystal tuff. The breccia tuff exposed in the Cikendung and Cibitung (CBT-04) Rivers, and the Cupunagara (CPN-09) Area generally had been propylitized and argillitized very often contains pyrite. The fragments of the breccias display a porphyritic texture with phenocryst is 0.1-4 mm strongly altered to carbonate and small amount of adularia. The volcanic glass composes of the ground mass had been altered into clay + chlorite + silica. The vitric crystal tuff is 0.2-3 mm grained clastic composed of volcanic glass, plagioclase, pyroxene, and hornblende. The rock generally altered into chlorite + silica + carbonate + epidote + sericite + clays ± opaque. Sample from the Cibitung (CBT) has an intermediate to basic composition, whilst samples from the Cupunagara (CPN-3D) and Cigarok (CGR-2B) have acidic composition. The lithic vitric crystal tuff is found as boulders in the Ciwangun river, microscopically display of 0.5-3 mm grained clastic, composed of plagioclase (mostly andesine) as fragments and matrix, olivine, pyroxene partly altered to mica + clays, olivine, opaque, and fossiliferous limestone as fragments. Volcanic glass and cryptocrystalline minerals compose the matrix. The intrusive rocks in the studied area consist of the basaltic andesite of Orem Mt. and hornblende diorite dyke in the Cikendung. River (Figure 4). The basaltic andesite is interpreted as the near surface intrusion, no indication of contact with the surrounding rocks. Sample No. ORE-01A displays porphyritic and hyalo-ophitic textures, phenocryst sizes range from 0.2-2 mm composed of plagioclase (labradorite>>andesine), pyroxenes (augite, hypersthene) partly altered to micas, alkali feldspar partly altered to mica (biotite), hornblende altered to oxide minerals, olivine, opaque, and secondary quartz fills the spaces in the groundmass. The groundmass is built by volcanic glass and microlite plagioclase. Boulders of hornblende diorite are found in the Cikendung River, their source is presumed as dyke. Microscopically, displays ophytic texture, holocrystalline, grain size of crystal 0.2-4 mm composed of plagioclase (dominated by Labradorite, Andesine), hornblende (lamprobolite), pyroxene (augite, hypersthene). Unaltered, this rock is interpreted as the heat source for the alteration processes in the studied area (Indarto, 2006).

Most of the rocks in the studied area have been variably altered. The alteration of basalt porphyry resulted in alteration assemblage consisting chlorite, carbonate, epidote, silica, sericite, muscovite, biotite and clays (Figure 5). Overprinting feature is shown by carbonate replacing muscovite (CPN 3). The assemblage of chlorite, carbonate, and clays replaced sericite is observed in andesite porphyry and latite. While, the assemblage of chlorite, carbonate, epidote, sericite, silica, clays, and ore replaces the original mineralogy of tuff. Boulders of hornblende diorite are found in the Cikendung River characterised by very coarse hornblende crystals (up to 4 mm) composing 35% of rock's mineralogy. Alteration



assemblage presents as chlorite, carbonate, epidote, sericite, silica, k-feldspar, and glass (vitrification product).

### **X-Ray Diffraction**

XRD analyses on four samples from the argillitized rock shows the presence of Illite, smectite, halloysite (CKD 2A), Illite-chlorite, Chlorite (CKD 2E), kaolinite, chlorite, and smectite (CPN 7), and kaolinite, smectite (CBT 5A). The coexistences of chlorite and illite (high temperature clays) with smectite and kaolinite (low temperature clays) indicate that at least two hydrothermal processes had been occurred in the studied area. This is supported by the presence of goethite which is associated with the argillic alteration zone (Fig. 6).

### **Fluid Inclusions**

Seven quartz vein samples collected from the Cibitung, Cigarok, and Cupunagara Area contain fluid inclusions, in which one sample from the Cibitung displays lattice (boiling) texture. Two types of fluid inclusions are present within the samples, respectively primary and secondary origin fluid inclusions. The first type inclusion homogenizes from 164.3 to 236.5°C and melts from -2.1 to -0.8°C, whilst the second type homogenizes from 162 to 324.6°C and melts from -1.1 to -0.2 °C. Sample No. CBT09 displays the coexistence of the vapour-rich and the liquid-rich fluid inclusions, indicating that the inclusions have been formed by boiling hydrothermal fluids (Sumantri and Setiawan, 2006) (Fig. 7).

### **Mineragraphy**

Seven samples, which are analysed for their ore mineralogy, contain pyrite, sphalerite, chalcopyrite, and goethite (Fig. 8). Pyrite is always in intergrowth (exsolution) relationship with shalerite (CBT 4, CBT 5, CPN 3F, and CPN 9B), and as cavity filling. The ratio of pyrite to sphalerite is up to 90%:10%. Pyrite and sphalerite also in association with chalcopyrite and goethite in some samples (CPN 3G, CKD 6, and CPN 3). The ratio of pyrite : sphalerite : chalcopyrite is up to 85%:10%:5%. Chalcopyrite shows simplelocking texture with pyrite. Goethite presents as secondary mineral resulted from the replacement of pyrite, composing up to 25% from total rock's volume.

## **DISCUSSION**

Alteration processes in the studied area resulted in the association of chlorite, carbonate, epidote, sericite, silica, k-feldspar, clay minerals, and ore. Muscovite and biotite are also rarely present in a very small amount within samples from the Cikendung River, the Tunggul Hill, and the Orem Mountain.

According to Corbett and Leach (1995) the altered rocks in the Cupunagara can be classified into: 1). Potassic zone, characterized by muscovite and biotite. 2). Phyllic zone, characterized by sericite, k-feldspar, and silica. 3). Propylitic zone, characterized by chlorite, carbonate, and epidote, sometimes in association with illite and silica, and interlayered illite-klorit. 4). Argillic zone, characterized by clays such as chlorite-halloysite, smectite-chlorite, and kaolinite, smectite; in association with pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and goethite



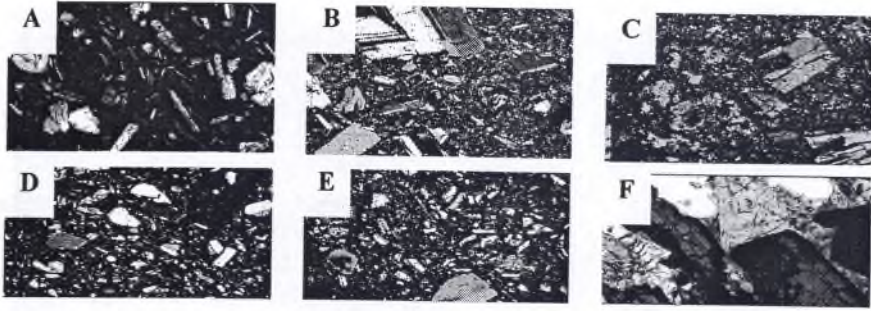


Figure 4. Photomicrographs of A. Pyroxene andesite (CGR-3B). B. Basaltic andesite (CBT-01). C. Basalt porphyry (CBT-02). D. Olivine basalt (CPN-01). E. Basaltic andesite composes Orem Mt. (ORE-01A) and F. Hornblende diorite from the Cikendung river (CKD-3C).

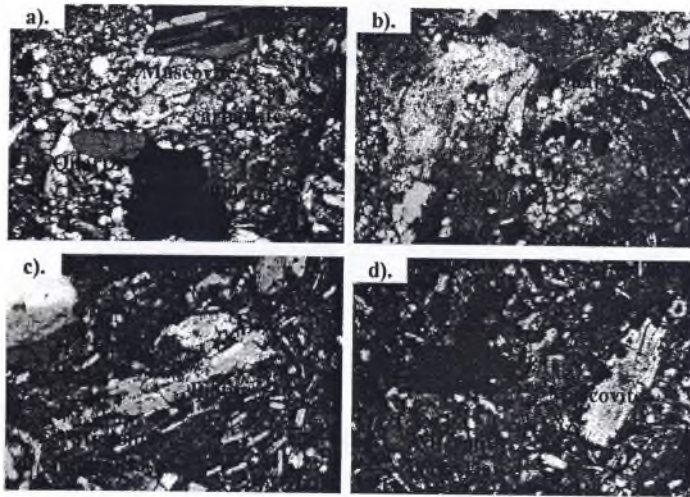


Figure 5a) and b). Photomicrographs of sample no. CPN 3, show the replacement of carbonate by clays and cut by quartz veinlet. c) and d). Photomicrographs of basalt show secondary biotite and muscovite. Sample code. CKD 2F.

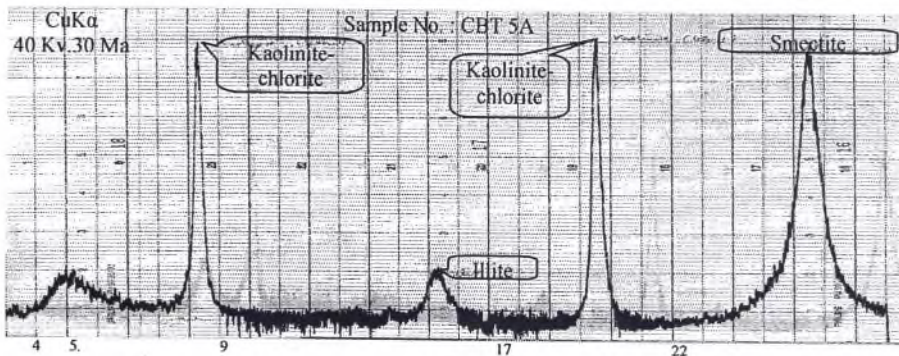


Figure 6. Diffractogram of sample no. CBT 5A, showing clay minerals consist of smectite, illite, and interlayer kaolinite-chlorite.

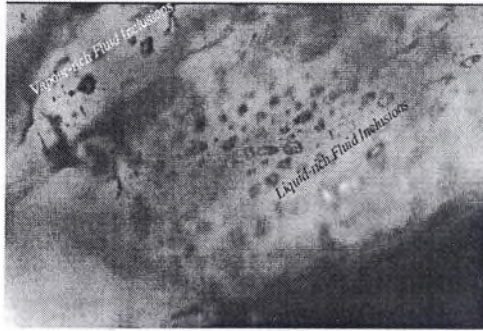


Figure 7: Photomicrograph of primary, two-phased, fluid inclusions showing boiling indications by the coexistence of the liquid-rich (transparent) and the vapour-rich (dark, at the top left) inclusions. Sample No. CBT 09 from the Cibitung River. Magnification 10x.

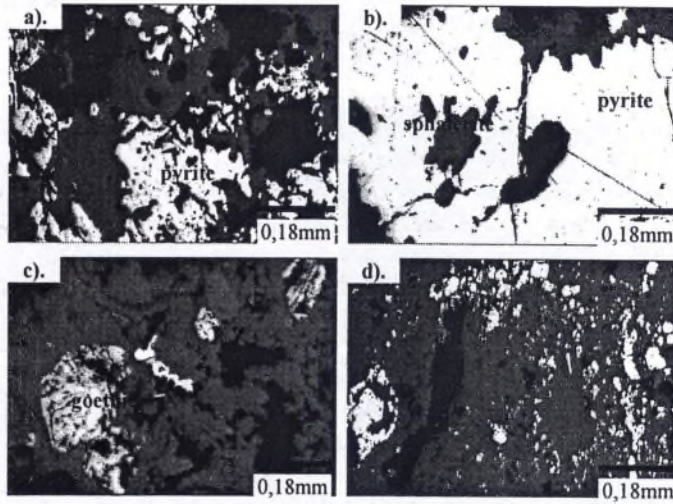


Figure 8. Photomicrographs of ore mineralogy: a) pyrite, pale yellow, worm like. b). Evolution texture of pyrite and sphalerite (CKD 6), c) pyrite replaced by goethite, with chalcopyrite, and as cavity filling mineral (CPN 3). d). granular pyrite (PN 9B).

Table 2. Ore minerals assay results of Cupunagara area

Sample code	Assay of ore minerals					
	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Mo (ppm)
CPN	0,20	19,23	5,30	0,50	14,40	0,58
CPN 2	0,87	15,80	16,10	0,20	575,80	0,23
CPN 2C	0,21	11,10	19,90	0,30	17,80	0,40
CPN 3G	0,28	37,20	71,20	7,10	31,40	0,60
CBT 4A	1,40	28,60	30,40	0,40	78,40	0,33
CPN 9A	0,15	0,20	47,90	1,30	13,40	1,79
CBT 9B	0,50	7,20	17,50	1,20	46	0,65
CKD 6	1,20	25,12	22,90	0,10	81,10	1,45



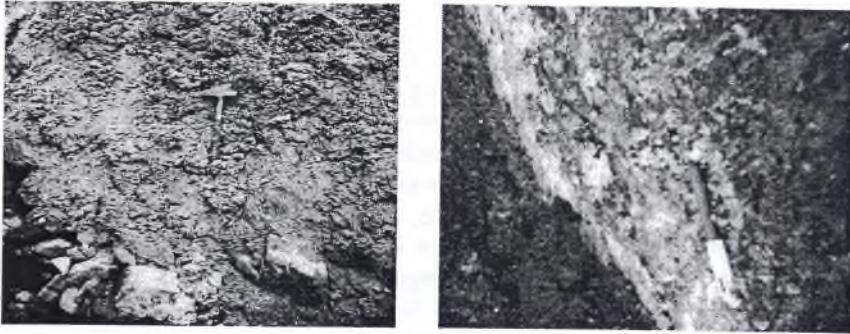


Figure 9. The exposures of the argillic alteration zone. The argillitized rock containing fragments of remnant quartz vein in the Cibitung River (left photo). The previously silicified rocks altered into argillite in Meong Mountain (right photo)

The potassic and phyllic zones exposed in some places close to caldera scarp area (the Cikendung River, the Tunggul Hill, and the Orem Mountain), this indicates that probably both zones were widely distributed in this area which was in association with porphyry mineralisation system, prior to overprinting processes by the argillic zone.

The propylitic zone is widely distributed, occupies most of the central part of the calderas. The formation of this zone is associated by the formation of silicified zone, quartz veins, pyrite, sphalerite, and chalcocopyrite. Assay analyses of the ore show the presence of Au, Ag, and Mo (0.23 ppm (CPN2) to 1.97ppm (CPN 9)) suggest the existence of a porphyry system in similarity with the model proposed by Corbet (2002).

The argillic zone, exposed as “windows” in the Cikendung, Cibitung, Bukanagara, Cigarok, and Cikaruncang Rivers, mostly distributed in NW – SE trending zones. In some locations, this zone contains the remnant of quartz veins, and shows overprinting features over the propylitic zone (Figure 9). The concentration of silver, copper and Pb are significant within this zone compared to the propylitic zone.

Overprinting features displayed in the studied area suggest that at least two hydrothermal activities had been occurred, correlated to magma differentiation processes (from basalt through andesite to diorite) and to tectonic periods which acted as the trigger of the activities. The corelation with tectonic periods is suggested by the controlling factor of the NW-SE and the NE-SW trend fault to the distribution of argillic alteration zone (Sudarsono, 2006, in this proceeding).

In general there is a tendency in alteration distribution pattern, in which the propylitic zone is distributed in the Cikendung and the Tunggul Mountain Areas (at the base of the caldera, southern part of the studied area) up to the Cibitung area where the propylitic zone is substituted by the argillic zone. This pattern suggests that the center of hydrothermal activity which was responsible in argillic zone formation located around the Cupunagara and Cigarok Areas.

According to the presence of alteration mineral assemblage and mineralisation, texture and structure and fluid inclusions temperature, mineralisation of the observation area is a vein complex with low sulphidation formation belong to epithermal and mesothermal transition.



## CONCLUSIONS

The lithology of Cupunagara dominated by andesitic to basaltic volcanic rocks consists of lavas, pyroclastic, and intrusive rocks. The immobile and mobile major element data give a significant fractionation trend suggesting that the rocks in the studied area derived from a calc-alkaline magma source with different fractionation level. Similar pattern, enriched in LREE, and slightly depleted in Ho are features that support the major element data, that is, the rocks in the studied area derived from a magma source with different degree of fractionation. As indicated by Y versus Nb/Zr\*100 diagram, the tectonic environment for the rocks in the studied area is Back Arc Side.

Volcanic rocks in the Cupunagara Area have been variably altered characterized by the alteration assemblage consisting chlorite, carbonate, epidote, silica, sericite, k-feldspar, muscovite, biotite, and clay minerals. This assemblage is very common in the argillic, propylitic, phyllic, and potassic alteration assemblages. The phyllic and potassic alteration assemblages indicate that a porphyry mineralisation system exists in the depth. Ore minerals consist of pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and goethite.

Quartz veins in Cupunagara, Subang, West Java represent the remnants of destructive Plio-Pleistocene hydrothermal activities. The veins have been formed during the Oligo-Miocene hydrothermal activities, and have subsequently been destroyed by the acidic nature of the hydrothermal fluid of the Plio-Pleistocene hydrothermal activities.

The propylitic alteration assemblage in association with quartz veins and silicified rocks have been destroyed by the acid nature of the latter hydrothermal fluid which formed the argillic alteration assemblage which in turn controlled by the NW-SE trend faults.

## REFERENCES

- Bronto, S., Achnan K. dan Utoyo, H., 2004. Penemuan Sumber baru Mineralisasi di Daerah Cupunagara, Kecamatan Cisalak Kabupaten Subang Jawa Barat. Electronic Proceeding the 33<sup>th</sup> PIT IAGI. Bandung
- Corbet G., 2002. Epithermal Gold For Explorationist, AIG Journal-Applied Geoscientific Practice and Research in Australia
- Indarto, I., 2006. Petrography and geochemistry of volcanic rocks at Cupunagara Area, Subang Regency, West Java. This proceeding
- Rollinson H., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman Group UK Limited
- Sudarsono, Indarto, I., Sumantri, T.A.F., Setiawan, I., Kuswandi, and Zaenal, 2005. Model Mineralisasi sistem hidrotermal di Daerah Cupunagara, Kabupaten Subang, Jawa Barat (Sub GT07), Laporan Penelitian Proyek Penelitian Sumberdaya Mineral dan Mitigasi Bencana Kebumihan, Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI, Bandung.
- Sumantri dan Setiawan, 2006. Fluid Inclusion Study of Quartz Vein in Hydrothermal Mineralisation, Cupunagara, Subang Regency, West Java.
- Smith D.W., Craw D., Koons P.O., 1996. Tectonic hydrothermal gold mineralisation in the outboard zone of the Southern Alps, New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, Vol 39, p.201-209, The Royal Society of New Zealand.



Utoyo, H., Mesker, H.J. Dirk, Bronto, S., and Kaspar, L.B., 2004. K-Ar age of volcanic rocks in Cipunegara, Subang, West Java. Electronic Proceeding of the 33<sup>th</sup> PIT IAGI. Bandung.

Van Bemmelen, R.W., 1949. The Geology of Indonesian. Vol. 1A. Government Printing Office. The Hague : 732 pp.