

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Penginderaan Jauh**

Penginderaan jauh adalah ilmu, seni, dan teknik untuk memperoleh informasi suatu objek, daerah, dan atau fenomena analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa harus kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Penginderaan jauh merupakan peran penting dalam eksplorasi mineral yang digunakan untuk mengisolasi potensi endapan bijih berdasarkan model penginderaan jauh. Penggunaan penginderaan jauh dapat mengurangi biaya eksplorasi dengan berfokus pada penelitian permukaan bumi yang lebih rinci pada daerah yang lebih menjanjikan. Menggunakan teknologi penginderaan jauh, eksplorasi dapat menentukan luasnya permukaan tanah yang akan dilakukan penelitian lebih lanjut yang rinci dalam waktu sesingkat mungkin.

##### **3.1.1 Jenis-jenis Penginderaan Jauh**

Berdasarkan jenis sensor dan detektor yang digunakan, proses perekaman, mekanisme perekaman dan spectrum elektromagnetik yang digunakan, citra penginderaan jauh dapat digolongkan menjadi citra foto dan citra nonfoto.

Dua tipe radar yang sering digunakan adalah RAR (*Real Aperture Radar*) dan SAR (*Synthetic Aperture Radar*). *Real Aperture Radar* juga sering disebut dengan SLAR (*Side Looking Airborne Radar*). Kedua tipe ini sebenarnya adalah sistem radar dengan pemancaran sinyal searah yang biasanya menggunakan pesawat terbang.

*Synthetic Aperture Radar* menggunakan pemrosesan sinyal untuk mensintesis beberapa rangkaian rekaman pantulan sinyal yang tertangkap sensor.

Citra Landsat 8 diketahui memiliki 11 band. Di antaranya band *Visible*, *Near Infrared* (NIR), *Short Wave Infrared* (SWIR), *Panchromatic* dan *Thermal*. Band 1,2,3,4,5,6,7 dan 9 mempunyai resolusi spasial 30 meter, band 8 mempunyai resolusi spasial 15 meter, sementara band 10 dan 11 resolusi spasialnya 100 meter.

Untuk melakukan analisis dari Citra Landsat tersebut, diperlukan kombinasi *band* untuk mendapatkan tampilan Citra sesuai dengan tema atau tujuan dari analisis. Detail kegunaan kombinasi *band* adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1**  
Kombinasi *Band* pada Landsat 8

Aplikasi	Kombinasi Band
<i>Natural Color</i>	4, 3, 2
<i>False Color (Urban)</i>	7, 6, 4
<i>Color Infrared (Vegetation)</i>	5, 4, 3
<i>Agriculture</i>	6, 5, 2
<i>Atmospheric Penetration</i>	7, 6, 5
<i>Healthy Vegetation</i>	5, 6, 2
<i>Land Water</i>	5, 6, 4
<i>Natural With Atmospheric Removal</i>	7, 5, 3
<i>Shortwave Infrared</i>	7, 5, 4
<i>Vegetation Analysis</i>	6, 5, 4
<i>Topography Texture</i>	6, 4, 2
<i>Silica Content in Rocks</i>	10, 11, 7
<i>Density Slicing</i>	4/2, 6/7, 5/6
<i>Alteration Hydrothermal</i>	4/2, 6/7, 5 or 4/2, 6/7, 10

Sumber : Esri, 2015

Citra SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) ialah citra yang menggambarkan data elevasi resolusi tinggi yang mempresentasikan topografi bumi dengan cakupan global (80% luasan dunia). Data SRTM adalah data elevasi muka bumi yang dihasilkan dari satelit atau hasil dari penginderaan jauh dengan teknologi *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Data ini dapat digunakan untuk melengkapi informasi ketinggian dari produk peta 2D, seperti kontur, profil. SRTM memiliki resolusi yang rendah dan banyak digunakan sebagai informasi untuk

pekerjaan lapangan serta dimanfaatkan untuk membuat peta kontur dan lereng (*slope*).

Data elevasi hasil dari penginderaan jauh biasa disebut dengan data *Digital Elevation Model* (DEM), di Indonesia memiliki DEMNAS yang memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11,25m).

### 3.1.2 Penginderaan Jauh untuk Geologi & Eksplorasi Mineral

Metode pemetaan geologi ini menggunakan data penginderaan jauh berupa citra satelit Landsat ETM dan citra radar (TerraSAR X). Metode ini diharapkan mampu menghasilkan data yang akurat, valid, dan terkini yang memungkinkan untuk membuat peta interpretasi geologi dalam waktu yang relatif singkat.

Adapun beberapa hal yang dapat diperoleh dari hasil interpretasi foto udara yang berhubungan dengan eksplorasi mineral, seperti pemetaan pola kelurusan regional yang berhubungan dengan lokasi pertambangan, pemetaan pola rekahan lokal yang mungkin mengontrol keberadaan cebakan mineral, deteksi hidrotermal dari batuan teralterasi yang berasosiasi dengan cebakan mineral, serta basis data pemetaan geologi.

#### 1. Basis Data untuk Pemetaan Geologi

Selain untuk mengetahui lokasi cebakan mineral melalui pengamatan kelurusan, rekahan, dan alterasi batuan. Interpretasi geologi berdasarkan data penginderaan jauh dimaksudkan untuk pemutakhiran peta geologi regional. Proses verifikasi atau *ground check* juga dilakukan dalam tahapan interpretasi yang dimaksudkan untuk memperoleh data-data primer berupa informasi litologi

dan struktur geologi sebagai dasar dan acuan pada interpretasi geologi berbasis penginderaan jauh (*Remote Sensing*).

Dalam interpretasi citra untuk pemetaan geologi dapat memperhatikan unsur rona pada citra landsat. Rona adalah cerah-gelapnya citra yang mencerminkan ukuran banyaknya cahaya yang dipantulkan oleh suatu objek dan direkam oleh citra hitam putih. Batuan yang segar, apabila kandungan silika, atau mineral kuarsanya semakin banyak, ronanya akan semakin cerah. Rona dapat dihasilkan oleh batuan induk segar, tanah hasil pelapukan batuan, tubuh air, vegetasi, objek budaya, relief, dan kekasaran permukaan (Soetoto, 2015).

Way (1973) menyebutkan bahwa beragam rona dapat dibagi menjadi :

1. Rona seragam (*uniform*) ditunjukkan oleh objek yang mempunyai tingkat kecerahan sama di setiap bagian.
2. Rona *mottled*, tampak berupa rona cerah dan gelap dengan bentuk yang relatif bundar dan berukuran relatif sama, berselang-seling.
3. Rona *banded*, tampak berupa rona cerah dan gelap berselang-seling, seperti berkas atau pita yang lurus atau meliuk-liuk.
4. Rona *scrabbled*, tampak berupa rona yang cerah dan gelap dengan bentuk yang tidak menentu dan ukuran bervariasi. (Tabel 3.2)

**Tabel 3.2**  
Klasifikasi Rona

Rona	Objek
Seragam ( <i>Uniform-tone</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluvium</li> <li>• Batuan sedimen horizontal dan tebal dengan kandungan air dan tekstur yang seragam.</li> </ul>
<i>Mottled-tone</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batugamping karst</li> <li>• Dataran <i>till</i></li> <li>• Dataran pesisir</li> <li>• Cekungan infiltrasi pada teras</li> <li>• Dataran banjir</li> </ul>
<i>Banded-tone</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Meander scroll</i> pada dataran banjir</li> <li>• <i>Ancient outwash channels</i></li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gelembur gelombang</li> <li>• Pematang pantai</li> <li>• Bukit pasir linier</li> <li>• Gawir berbatuan sedimen berlapis</li> <li>• Batuan metamorf berfoliasi</li> </ul>
<i>Scrabbled-tone</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daerah kering dengan deposit alkali dipermukaan bumi</li> <li>• Lava muda dan tua</li> <li>• Sawah basah dan kering luas bervariasi dan bentuk tidak teratur</li> <li>• Bayangan bukit dengan ukuran bervariasi dan tidak teratur.</li> </ul>

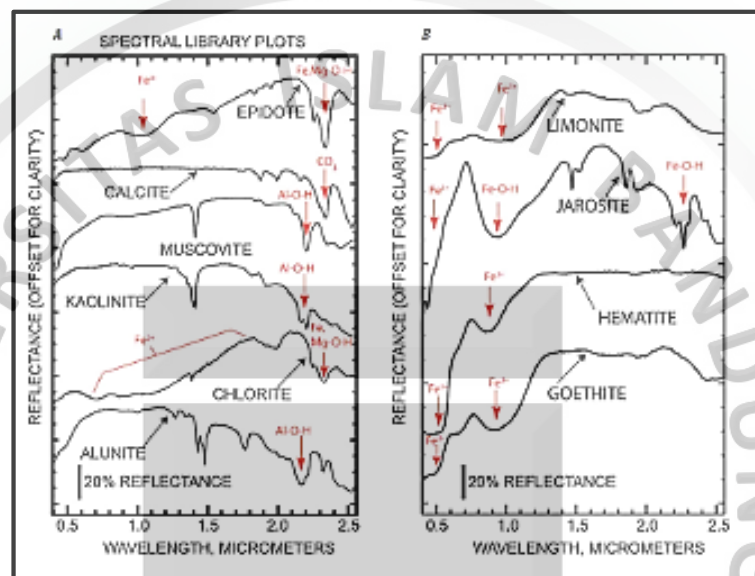
Sumber : Way (1973) dalam Soetoto, 2015

## 2. Pemetaan Alterasi Hidrotermal

Mineral biasanya akan terakumulasi pada tubuh batuan induk oleh media fluida bertemperatur tinggi. Fluida ini akan bereaksi kimiawi dengan batuan induk hingga membentuk batuan teralterasi dengan susunan kimia tambahan berupa mineral yang dibawa oleh fluida tersebut. Adanya zona alterasi dapat menjadi indikator kemungkinan keberadaan cebakan mineral. Kehadiran alterasi hidrotermal dapat diketahui dengan mengambil beberapa kombinasi saluran yang memiliki nilai reflektansi tinggi terhadap mineral mineral alterasi hidrotermal. Saluran 4 (0.636 – 0.673  $\mu\text{m}$ ), saluran 2 (0.452 – 0.512  $\mu\text{m}$ ), saluran 5 (0.851 – 0.879  $\mu\text{m}$ ), saluran 6 (1.566 – 1.651  $\mu\text{m}$ ), saluran 7 (2.107 – 2.294  $\mu\text{m}$ ), dan saluran 10 (10.60 – 11.19  $\mu\text{m}$ ) digunakan dalam menentukan persebaran mineral alterasi hidrotermal (Pour, 2014).

Pada beberapa saluran, dilakukan metode rasio yaitu metode membagi nilai panjang gelombang suatu saluran dengan saluran yang lain untuk memperjelas kenampakan suatu objek di permukaan bumi yang sulit atau tidak dapat dilihat oleh saluran tunggal (Amin Beiranvand, 2014). Rasio dilakukan pada beberapa saluran, yaitu pada saluran 4 dirasioikan dengan saluran 2, dan saluran

6 dirasiakan dengan saluran 7 untuk mendapatkan nilai pantulan yang semakin baik dari mineral alterasi hidrotermal di permukaan. Pada kombinasi saluran 4/2, 6/7, dan 5, keberadaan mineral hasil alterasi hidrotermal terekam sebagai warna oranye muda, selain itu, sistem drainase dan pemukiman terekam sebagai warna merah. Vegetasi terekam sebagai warna biru kehijauan hingga hijau.



Sumber : Clark dkk, 1993 dalam Pour, 2014

**Gambar 3.1**  
**Reflektansi dari Mineral Alterasi Hidrotermal**

Mineral alterasi hidrotermal akan memiliki reflektansi yang khas pada panjang gelombang tertentu, sehingga dengan mencocokkannya dengan panjang gelombang pada salah satu/lebih saluran (*band*) dapat diperoleh tampilan yang jelas dari mineral alterasi hidrotermal tersebut di permukaan bumi.

### 3. Interpretasi Pola Kelurusan

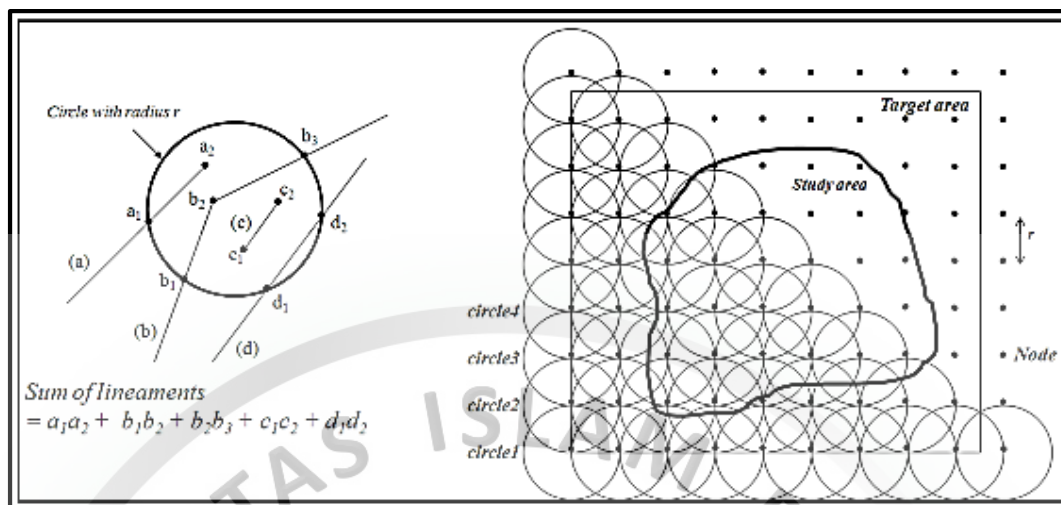
Kelurusan adalah garis dalam citra atau peta yang mengikuti kecenderungan bentuk linier. Pola kelurusan dimungkinkan mencerminkan fenomena bawah permukaan (O'Leary dkk, 1976). Pengaruh bawah permukaan benar (*valid*) jika asal mula kelurusan tersebut dikontrol oleh struktur geologi seperti lipatan, patahan dan retakan. Pemetaan kelurusan dari citra penginderaan



jauh memberikan informasi yang berguna untuk studi eksplorasi mineral dan gas (Rowan, 1995). Sebab dengan memahami pola kelurusan yang mengontrol pembentukan cebakan mineral maka dapat ditentukan daerah-daerah yang berpotensi menjadi daerah mineralisasi sebagai bahan eksplorasi tahap selanjutnya. Beberapa gambaran umum yang membantu identifikasi kelurusan adalah : topografi, batas batuan, cabang sistematis sungai, jajaran vegetasi (Sarp Gulcan, 2005)

Pola kelurusan memiliki kisaran panjang dari ratusan hingga ribuan kilometer, dan telah ditemukan banyak deposit mineral melalui eksplorasi yang dilakukan sepanjang pola kelurusan. Dengan bantuan foto udara, geologist mampu memberikan evaluasi tentang hubungan antara cebakan mineral dengan pola kelurusan.

Interpretasi kelurusan morfologi melalui citra SRTM dilakukan dengan digitasi secara langsung terhadap fitur-fitur kelurusan morfologi. Perhitungan densitas kelurusan morfologi yang dilakukan berupa perhitungan *lineament count density* yang bertujuan untuk mengetahui konsentrasi dan pola penyebaran kelurusan-kelurusan morfologi (Kim, 2003). Caranya adalah dengan membagi daerah penelitian ke dalam *grid* dengan interval yang tetap, kemudian perhitungan densitas kelurusan yang berada pada sebuah luasan lingkaran radius  $r$  (Gambar 3.1). *Output* dari analisis ini merupakan peta densitas jumlah kelurusan daerah penelitian dengan satuan  $n/km^2$  (*count of lineaments/km<sup>2</sup>*).



Sumber : Kim, 2003

Gambar 3. 2

Kiri : Metode Perhitungan *Lineament Count Density* Dalam Sebuah Lingkaran.  
 Kanan : Susunan Lingkaran Pada Setiap Node Dengan Radius dan Interval Grid  $r$

### 3.2 Pemineralan Emas

Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara  $2,5 \pm 3$  (skala Mohs). Emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan letakan (placer).

#### 3.2.1 Genesa Emas Primer

Pada umumnya emas ditemukan di dalam rekahan-rekahan batuan dan dalam bentuk mineral yang terbentuk dari proses magmatisme dan vulkanisme, bergerak berdasarkan adanya panas di dalam bumi. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal yang membentuk tubuh bijih dengan kandungan utama silika. Cebakan emas primer mempunyai bentuk sebaran berupa urat/*vein* dalam batuan beku, kaya besi dan berasosiasi dengan urat kuarsa.



Cebakan primer merupakan cebakan yang terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan batuan. Bahan galian yang termasuk kategori ini bervariasi mulai dari cebakan bijih (logam, emas-perak, tembaga, mangan, timbal, dll). Bentuk cebakan primer dapat berupa urat maupun porfiri.

### 3.2.2 Kontrol Pemineralan Emas

Dalam pembentukan bahan galian emas terdapat beberapa faktor pengontrol pemineralannya yaitu sebagai berikut :

#### 1. Struktur Geologi

Emas primer dapat berupa urat ataupun masif, keterbentukan tersebut diakibatkan adanya intrusi ataupun sesar sehingga membentuk kekar yang kemudian terisi larutan hidrotermal dan menjadi lokasi zona pemineralan emas tersebut. Adapun jenis-jenis kekar dalam pemineralan emas yaitu :

##### a. Kekar Gerus (*Shear Joint*)

Kekar yang bersifat tertutup membentuk pola saling berpotongan membentuk sudut lancip searah dengan gaya utama. Kekar ini terjadi akibat *stress* yang cenderung menggelincir bidang satu sama lainnya yang berdekatan.

##### b. Kekar Tarikan (*Tensional Joint*)

Kekar yang terbentuk dengan arah tegak lurus dari arah gaya tarikannya. Tubuh batuan yang didapati kekar jenis ini akan saling menjauhi akibat *stress* pada arah yang berlawanan.

Kekar tarik dapat menjadi tempat pengendapan mineral-mineral logam dan non-logam, umumnya bagian mineralisasi terendapkan di sekitar atau di dalam rekahan. Mineral mengisi kekar yang terbuka yang kemudian dialiri oleh fluida hidrotermal. Meskipun tidak semua kekar dan rekahan membawa mineral ekonomis, tetapi dapat ditandai dengan adanya *veinlet* dan tau kumpulan alterasi

mineral silikat dan sulfida. Alterasi mineral inilah yang digunakan oleh geologist sebagai penunjuk endapan bijih (Guilbert & Park, 1986).

## 2. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal ialah perubahan mineral dan komposisi kimiawi yang terjadi pada batuan ketika batuan berinteraksi dengan larutan hidrotermal. Larutan hidrotermal merupakan suatu cairan panas yang berasal dari kulit bumi yang bergerak ke atas dengan membawa komponen pembentuk mineral bijih. Larutan hidrotermal pada suatu sistem dapat berasal dari air magmatik, air meteorik, atau air yang berisi mineral yang dihasilkan selama proses metamorfisme yang menjadi panas di dalam bumi dan menjadi larutan hidrotermal. Ketika terjadi kontak batuan dengan larutan hidrotermal, maka terjadi perubahan mineralogi dan perubahan kimia antara batuan dan larutan, di luar kesetimbangan kimia dan kemudian larutan akan mencoba kembali membentuk kesetimbangan.

Perubahan-perubahan yang terjadi pada batuan tergantung pada beberapa hal, yaitu :

- Temperatur.
- Sifat kimia larutan hidrotermal.
- Konsentrasi larutan hidrotermal.
- Komposisi batuan sampling.
- Durasi aktivitas hidrotermal.
- Permeabilitas.

Reaksi hidrotermal pada fase tertentu akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu tergantung dari temperatur dan pH fluida dan disebut sebagai himpunan mineral, sehingga dengan munculnya mineral alterasi tertentu akan menunjukkan komposisi pH larutan dan temperatur fluida. Mineral-mineral

hidrotermal yang menjadi penunjuk temperatur pembentukan mineral yang terbentuk dari alterasi batuan pada kondisi pH netral.

Ada beberapa jenis ubahan batuan atau alterasi, di antaranya adalah :

- Albitisasi (*albitization*) merupakan proses penggantian (umumnya) plagioklas kalsium (*calcic plagioclase*) oleh mineral albit.
- Argilisasi (*argillization*) merupakan penggantian (*replacement*) atau ubahan felspar menjadi mineral lempung seperti kaolin dan monmorilonit. Ubahan ini biasanya terjadi di sekitar urat terminalisasikan.
- Epidotisasi (*epidotization*) merupakan proses ubahan hidrotermal, di mana plagioklas dengan membebaskan anortit membentuk epidot dan zoisite. Proses ini sering disertai khloritisasi dan sangat khas bertalian dengan proses malihan.
- Karbonatisasi (*carbonatization*) merupakan proses pelapukan kimia yang melibatkan transformasi mineral yang mengandung kalsium, magnesium, kalium, natrium dan besi menjadi karbonat atau bikarbonat dari logam-logam itu yang disebabkan oleh karbon dioksida dalam air. Pembentukan atau penggantian oleh karbonat.
- Khloritisasi (*chloritization*) merupakan proses penggantian atau perubahan mineral tertentu sehingga terbentuk khlorit.
- Serisitisasi (*sericitization*) merupakan proses ubahan hidrotermal yang mengakibatkan penggantian muskovit oleh serisit.
- Propilitisasi (*Propylitization*) – andesit yang mengalami ubahan hidrotermal yang meyerupai *greenstone* dan mengandung mineral kalsit, khlorit, epidot, serpentin, kuarsa, pirit. *Lindgren, 1933, dalam Mineral Deposits, hal. 457-458* menyebutkan bahwa ubahan ini ditandai oleh mineral-mineral khlorit

dan pirit, kadang-kadang epidot, di beberapa tempat disertai adanya karbonat dan serisit. Batuan yang mengalami ubahan ini berwarna hijau kotor, biasanya terdapat di sekitar urat pembawa bijih. Ubahan ini biasanya dialami oleh andesit dan basalt, kadang-kadang oleh riolit. Jenis ubahan tersebut di atas biasanya bertalian erat dengan jenis mineralisasi tertentu seperti logam dasar (Cu, Pb, Zn) dan logam mulia (Au, Ag).

- Greisenisasi (*greisenization*) merupakan proses ubahan hidrotermal di mana felspar dan muskovit berubah menjadi agregat kuarsa, topas, turmalin dan lepidolit karena kegiatan uap air yang mengandung F (*fluorine*). Proses ini biasanya berlangsung pada batuan granit yang mengalami ubahan pneumatolit (*pneumatolytical alteration*) sehingga terbentuk batuan yang terdiri dari kuarsa (berbutir besar), mika dan turmalin. Mineral-mineral ikutan dalam greisen biasanya terdiri dari turmalin, fluorit, rutil, kasiterit, dan wolframit.

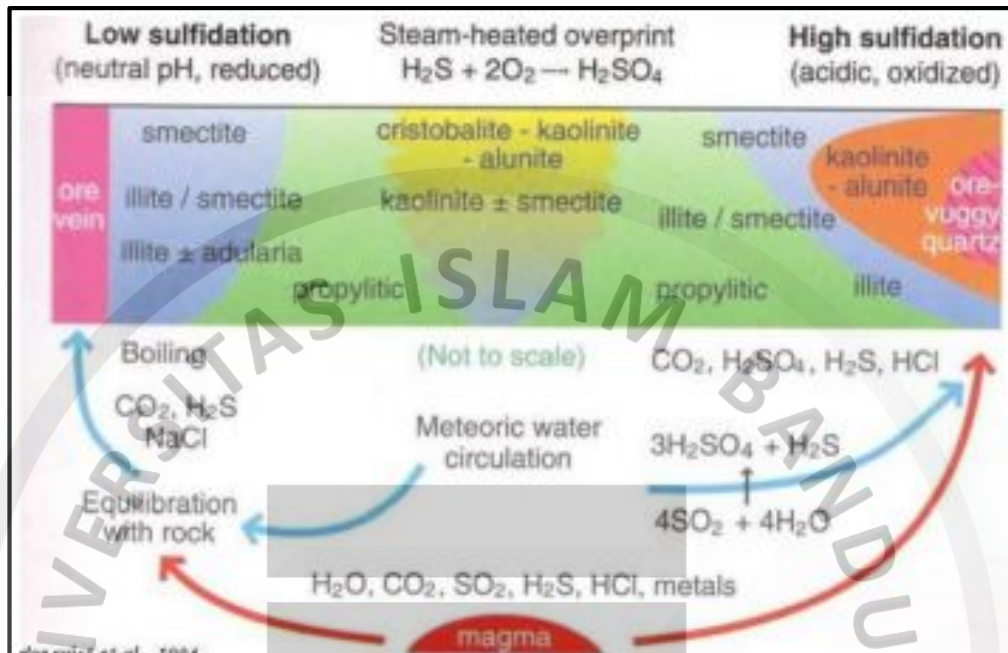
### 3. Endapan Epitermal

Endapan epitermal adalah endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan umumnya terletak pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan. Endapan ini umumnya ditemukan pada batuan yang mengalami breksiasi dan teralterasi. Logam ekonomis utama adalah emas (Au). Berdasarkan mineral-mineral alterasi dan mineral bijihnya, terdapat 2 tipe yaitu :

#### a. *Ephitermal Low Sulfidation*

Endapan epitermal sulfidasi rendah dicirikan oleh larutan hidrotermal yang bersifat netral dan mengisi celah-celah batuan. Terbentuk dengan pH *near-neutral*, dimana terdapat kontribusi dominan dari sirkulasi air meteorik yang dalam dan

mengandung  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ , dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Tipe ini berasosiasi dengan alterasi *smectite*, *illite*, dan *adularia*.



Sumber : Hedenquist et al, 1996

**Gambar 3.2**  
Hubungan Endapan Epitermal dan Zona Alterasi

b. *Ephitermal High Sulfidation*

Endapan epitermal sulfidasi tinggi terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200-3000C), fluida ini didominasi oleh fluida magmatik dengan kandungan acidic yang tinggi yaitu berupa  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ . Tipe ini berasosiasi dengan alterasi *smectite*, *illite*, dan *kaolinite-alunite*.