

**GEOLOGI, KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI  
PADA TIPE ENDAPAN EPITERMAL SULFIDASI MENENGAH  
LAPANGAN “BAMBU”, KABUPATEN SUMBAWA BARAT,  
PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

**SARI**

Disusun Oleh:

**Faisal Salman**

**111190034**

Daerah penelitian berada di kawasan PT. Sumbawa Barat Mineral, Kabupaten Sumbawa. Stratigrafi daerah penelitian tersusun atas satuan tuf Bambu berumur Miosen Awal – Miosen Tengah dan satuan batugamping Bambu berumur Miosen Akhir – Pliosen Awal dengan hubungan tidak selaras bersudut. Morfologi daerah penelitian didominasi oleh bentuk asal struktural dengan perkembangan struktur cukup kompleks yang manifestasinya berupa pola pengaliran subdendritik. Tegasan utama yang membentuk struktur sesar pada daerah penelitian berarah relatif utara – selatan dengan produk sesar orde 1. Pergerakan sesar orde 1 ini menggenerasi keterbentukan struktur sesar orde 2 dan kekar tarik akibat tegasan berarah timur laut – barat daya dan barat laut – tenggara yang dihasilkan. Alterasi yang berkembang terbagi kedalam 4 zona diantaranya zona alterasi silisik (Kuarsa), zona alterasi argilik lanjut (Pirofilit + Illit + Kuarsa ± Kaolin), zona alterasi argilik (Kaolin + Illit + Montmorillonit ± Kuarsa), dan zona alterasi propilitik (Klorit ± Smektit ± Kuarsa). Mineral bijih yang dapat ditemukan dengan urutan keterbentukan awal – akhir yaitu pirit, kalkopirit, galena, sfalerit, kalkosit, kovelit, azurit dan malasit. Persebaran alterasi dan mineralisasi daerah penelitian bersumber dari *jog dilational* yang menjadi jalur Bergeraknya fluida hidrotermal. Daerah penelitian memiliki potensi logam berharga dengan komoditas Cu, Ag- Au, dan *base metal* yang dibawa oleh mineralisasi pada tipe endapan epithermal sulfidasi menengah.

**Kata Kunci:** Alterasi, Mineralisasi, Paragenesa, Epitermal Sulfidasi Menengah

**GEOLOGY, ALTERATION AND MINERALIZATION  
CHARACTERISTICS IN INTERMEDIATE SULFIDATION  
EPITHERMAL DEPOSIT AT "BAMBU" FIELD, WEST SUMBAWA  
DISTRICT, WEST NUSA TENGGARA PROVINCE**

**ABSTRACT**

**Faisal Salman**

**111190034**

*The research area is in the area of PT. Sumbawa Barat Mineral, Sumbawa Regency. The stratigraphy of the study area is composed of Bambu tuff units of Early Miocene – Middle Miocene age and Bambu limestone units of Late Miocene – Early Pliocene age with angular unconformity. The morphology of the study area is dominated by forms of structural origin with the development of quite complex structures whose manifestations are subdendritic flow patterns. The main stresses that form the fault structure in the study area are relatively north-south with a 1st order fault product. This movement of the 1st-order fault generates the formation of the 2nd-order fault structure and the extensional joint due to the resulting northeast-southwest and northwest-southeast directional firms. The alteration that develops is divided into 4 zones including the silic alteration zone (Quartz), the advanced argillic alteration zone (Pyrophyllite + Illite + Quartz ± Kaolin), the argillic alteration zone (Kaolin + Illite + Montmorillonite ± Quartz), and the propylitic alteration zone (Chlorite ± Smectite ± Quartz). Ore minerals that can be found in the order of early – late formation are pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, chalcocite, covellite, azurite and malachite. The distribution of alteration and mineralization of the research area comes from the dilational jog which is the channel way of hydrothermal fluids. The research area has the potential for precious metals with Cu, Ag-Au, and base metal commodities carried by mineralization in intermediate type of sulfidation epithermal deposits.*

**Key Word:** *Alteration, Mineralization, Paragenesis, Intermediate Sulfidation Epithermal*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Endapan Epithermal merupakan endapan yang terbentuk pada temperatur dan tekanan rendah – sedang, serta terbentuk pada kedalaman <1 – 1,5 km, dimana didominasi oleh hidrotermal meteorik namun juga mengandung HCl, CO<sub>2</sub> & H<sub>2</sub>S. Keterdapatan mineralisasi bijih bernilai ekonomis dapat dibawa oleh tipe endapan yang memiliki karakteristik alterasi dan mineralisasi yang berbeda – beda sehingga perlu dilakukan penelitian dan kajian yang mendetil dalam tahapan eksplorasinya.

Pulau Sumbawa merupakan bagian dari busur kalk-alkali Kenozoikum vulkanik, busur Banda dalam, yang masih aktif hingga saat ini. Busur tersebut sebagian besar dibentuk oleh subduksi di utara kerak samudera India. Struktur sesar regional (Pulau Sumbawa) didominasi arah utama NW-SE dan NE-SW. Sebagian besar diduduki oleh formasi vulkanik Tersier yang endapan mineralnya terkumpul di daerah tersebut. Pulau Sumbawa pada bagian baratdaya terdapat endapan porfiri tembaga-emas di daerah Batu Hijau. Tipe endapan porfiri ini akan berhubungan dengan keterbentukan tipe endapan epitermal yang mendapat kontrol struktur dan menghasilkan endapan mineral bijih berharga seperti emas, perak dan tembaga namun dengan karakteristik yang berbeda dengan tipe endapan porfiri. Menurut Sillitoe dan Hedenquist (2003), tipe endapan epitermal dapat dibedakan menjadi 3 yaitu sulfidasi tinggi, sulfidasi menengah, dan sulfidasi rendah. Ketiga jenis tipe endapan tersebut dapat memiliki karakteristik pencirinya masing masing dengan parameter jenis *hostrock*, mineral alterasi, mineral silika, mineral karbonat, mineral penyerta, mineral bijih, dan komoditi logam berharga yang dibawanya. Perbedaan tipe endapan pada tiap – tiap prospek dinilai perlu dibahas untuk mengetahui serangkaian proses seperti apa yang mendukung pembentukan alterasi dan mineralisasi bijih pembawa komoditi logam berharga yang dapat diamati saat ini.

Dengan dasar hal – hal diatas maka penting untuk dilakukan penelitian oleh penulis untuk membedakan karakteristik alterasi dan mineralisasi daerah penelitian, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat yang dikelola oleh PT. Sumbawa Barat Mineral sehingga dapat menjadi acuan dalam proses eksplorasi dan eksploitasi mineral bijih pada tipe endapan epitermal sulfidasi menengah.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Secara umum, topik permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini meliputi kondisi geologi, seperti:

- 1) Pola pengaliran apa saja yang berkembang pada daerah penelitian?
- 2) Bentuk lahan apa saja yang berkembang pada daerah penelitian?
- 3) Bagaimana urutan stratigrafi daerah penelitian?
- 4) Struktur geologi apa saja yang berkembang pada daerah penelitian?
- 5) Bagaimana Sejarah geologi daerah penelitian?
- 6) Apa saja potensi positif dan negatif pada daerah penelitian?

Terkait dengan karakteristik alterasi dan mineralisasi yang akan dibahas pada penelitian ini mencakup beberapa topik permasalahan, seperti:

- 7) Mineral alterasi apa saja yang hadir pada daerah penelitian?
- 8) Bagaimana zonasi alterasi yang terbentuk pada daerah penelitian?
- 9) Mineral bijih apa saja yang hadir pada daerah penelitian?
- 10) Bagaimana tekstur mineral bijih yang terbentuk pada daerah penelitian?
- 11) Tekstur kuarsa apa saja yang berkembang pada daerah penelitian?
- 12) Bagaimana urutan terbentuknya mineralisasi pada daerah penelitian?
- 13) Faktor apa yang mengontrol alterasi dan mineralisasi daerah penelitian?
- 14) Bagaimana karakteristik tipe endapan yang terbentuk pada daerah penelitian?

## **I.3 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari dilaksanakannya kegiatan penelitian tugas akhir ini adalah untuk memenuhi syarat kelulusan pendidikan sarjana Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dengan menerapkan ilmu yang telah dipelajari selama perkuliahan secara langsung dilapangan

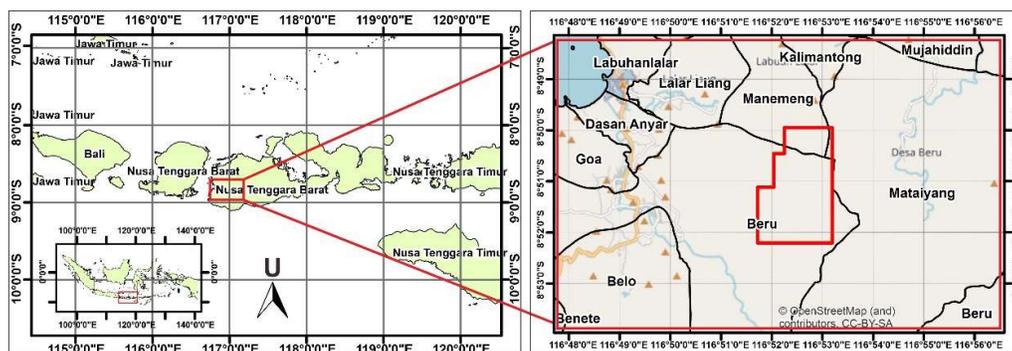
pada daerah penelitian di PT. Sumbawa Barat Mineral, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat

Adapun tujuan dari dilaksanakannya kegiatan ini, yaitu untuk:

- Mengetahui dan menjelaskan kondisi geologi daerah penelitian yang mencakup pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi
- Mengetahui dan menjelaskan proses alterasi yang terbentuk pada daerah penelitian
- Mengetahui dan menjelaskan proses dan paragenesa mineralisasi bijih yang terbentuk pada daerah penelitian
- Mengetahui keterkaitan antara kondisi geologi terhadap alterasi dan mineralisasi
- Mengetahui urutan – urutan sejarah geologi yang terjadi pada daerah penelitian
- Mengetahui potensi – potensi positif dan negatif yang terdapat pada daerah penelitian.

#### I.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada wilayah izin usaha pertambangan PT. Sumbawa Barat Mineral, Lapangan “Bambu” , Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Perjalanan menuju lokasi penelitian dapat ditempuh dengan perjalanan darat selama 1 jam 30 menit dari Bandar Udara Internasional Lombok menuju Pelabuhan Kayangan. Kemudian melanjutkan perjalanan laut selama 2 jam untuk sampai di Pelabuhan Poto Tano, Kabupaten Sumbawa Barat untuk kemudian sampai di lokasi penelitian.



Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian

## **I.5 Hasil Penelitian**

Hasil kegiatan penelitian tugas akhir adalah pembahasan terperinci mengenai kondisi geologi daerah penelitian dan karakteristik alterasi dan mineralisasi pada tipe endapan epithermal yang dilakukan melalui pendekatan – pendekatan geologi. Hasil penelitian akan disajikan melalui beberapa *output* penelitian, yaitu:

- a. Peta lokasi pengamatan (geologi dan alterasi)
- b. Peta geomorfologi dan penampang sayatan geomorfologi
- c. Peta geologi dan penampang sayatan geologi
- d. Peta zonasi alterasi dan penampang alterasi
- e. Peta persebaran mineralisasi
- f. Analisis Petrografi
- g. Analisis Mineragrafi
- h. Analisis XRD
- i. Analisis XRF

## **I.6 Manfaat Penelitian**

Dari hasil kuliah lapangan pemetaan geologi ini dapat diambil manfaat bagi:

1. Mahasiswa
  - Meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menerapkan ilmu perkuliahan di lapangan
  - Meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan masalah dengan pendekatan geologi
  - Melatih diri dalam melakukan penelitian dan pemetaan sesuai dengan prosedur yang efektif dan efisien
2. Universitas
  - Menambah pustaka dari hasil penelitian tugas akhir dalam bentuk laporan
3. Perusahaan
  - Memberikan data dan hasil analisis terkini pada daerah penelitian di PT. Sumbawa Barat Mineral

## **BAB II**

### **TAHAPAN DAN METODOLOGI PENELITIAN**

#### **II.1 Tahapan dan Metode Penelitian**

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan metode pemetaan geologi dengan objek batuan *fresh*, batuan teralterasi, dan *vein* yang terindikasi. Penelitian ini terbagi menjadi 4 tahapan, yaitu:

1. Tahap pendahuluan.
2. Tahap pengambilan data lapangan. Metode yang digunakan, yaitu:
  - a. Observasi
  - b. *Loop mapping*
3. Tahap analisis dan studio. Metode yang digunakan, yaitu:
  - a. Analisis petrografi
  - b. Analisis mineragrafi
  - c. Analisis *X-Ray Diffraction (XRD)*
  - d. Analisis *X-Ray Fluorecence (XRF)*

##### **II.1.1 Tahap Pendahuluan**

Tahapan pendahuluan merupakan tahapan persiapan untuk melakukan penelitian. Diawali dengan pembuatan proposal, perijinan, persiapan perlengkapan dalam penelitian dalam bentuk alat dan bahan, kajian pustaka yang meliputi studi literatur yakni pengumpulan data-data dari peneliti sebelumnya seperti gambaran geologi, struktur geologi, alterasi, dan mineralisasi. Selain studi literatur, peneliti juga melakukan bimbingan dengan dosen pembimbing yang dapat menunjang kegiatan penelitian

##### **II.1.2 Tahap Pengambilan Data Lapangan**

Tahapan ini dilakukan pada daerah telitian dengan tujuan untuk memperoleh data primer di lapangan. Metode – metode yang digunakan dalam tahapan ini antara lain:

- a. Observasi

Metode Observasi dilakukan dengan melakukan pengamatan pada sebuah singkapan di lapangan dengan memperhatikan kondisi singkapan terhadap objek

sekitar, kondisi singkapan secara megaskopis dan melakukan deskripsi lithologi. Kemudian dari data observasi dan deskripsi litologi maka akan didapatkan data variasi litologi. Pada umumnya kegiatan observasi menggunakan lintasan geologi yang telah direncanakan sebelumnya. Selain itu pada tahapan ini juga dilakukan *sampling* dan dokumentasi untuk menunjang hasil penelitian.

b. *Loop Mapping*

Metode ini dilakukan untuk melakukan pemetaan dengan pengambilan data geologi yang tersebar secara merata pada daerah telitian. Metode ini biasanya dibantu dengan melihat *grid* pada peta sehingga setiap *grid* tersebut setidaknya memiliki lokasi pengamatan yang dapat diambil data geologi secara lengkap.

### II.1.3 Tahap Analisis

Setelah pengambilan data, tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah tahapan analisis data. Data-data yang diambil dari pemetaan kemudian dianalisis di studio dan laboratorium. Analisis struktur geologi berupa arah tegasan utama yang mengontrol pengendapan mineral logam, dan juga menentukan karakteristik *vein* berdasarkan analisis variasi tekstur, arah, dan komposisi *vein* yang terisi mineral mineral ubahan dan logam. Kemudian penentuan zona alterasi dan zona mineralisasi untuk mengetahui tipe endapan hidrotermal dengan data deskripsi batuan secara megaskopis dan mikroskopis yang didapat dari analisis laboratorium yang tertuang dalam peta alterasi dan peta mineralisasi.

Analisis data yang dilakukan di laboratorium menggunakan sampel batuan yang diambil secara *selective sampling* saat pemetaan. Analisis yang dilakukan meliputi:

a. Analisis Petrografi

Analisa ini berupa sayatan tipis batuan dengan menggunakan mikroskop polarisasi refraksi yang bertujuan untuk mengetahui tipe, tekstur, dan komposisi mineral non opak (transparan) yang primer maupun telah berubah sebagai penyusun batuan asal maupun batuan yang telah berubah atau teralterasi. Tujuan analisa dapat menjelaskan tentang genesa batuan, intensitas dan tipe alterasi. Pada

analisa ini kehadiran mineral logam pada sayatan tipis batuan tidak dapat dibedakan jenisnya dan biasa disebut dengan mineral opak.

b. Analisis Mineragrafi

Analisa ini berupa sayatan poles dengan menggunakan mikroskop polarisasi refleksi. Analisa ini berfungsi untuk mengetahui komposisi kehadiran mineral bijih, serta tekstur mineralogi. Tujuan analisa ini dapat menjelaskan paragenesa, fase terbentuknya, ukuran butir, distribusi mineral bijih.

c. Analisis *X-Ray Diffraction (XRD)*

Analisa ini digunakan untuk menganalisa variasi (jenis) mineral lempung. Analisa ini menggunakan *oriented clay mineral aggregates*. *Oriented clay mineral aggregates* meliputi tahapan *air-dried clay (AD)* dan *solvating* dengan menggunakan *Ethylene Glycol (EG)*, Hasil dari analisa ini dapat mengetahui jenis mineral lempung yang terkandung di suatu batuan. Tujuan dilakukan analisa ini untuk melengkapi data yang menentukan tipe alterasi dan temperatur pembentukannya dilihat dari kehadiran mineral lempung.

d. Analisis *X-Ray Fluorecence (XRF)*

Analisis ini digunakan untuk mengetahui jenis dan nilai dari unsur yang terdapat pada sampel batuan yang dianalisa. Nilai unsur diukur dalam persentase ppb (*part per billion*) dan ppm (*part per million*). Prinsip yang digunakan dalam penentuan unsur/elemen berdasarkan interaksi sinar X dengan bahan/sampel. Bahan/sampel yang dianalisis dapat berbentuk serbuk atau bongkahan, berat minimal 2 gram. Tujuan analisa ini untuk mengetahui jenis dan nilai kuantitatif dari unsur yang ekonomis seperti Emas (Au), Tembaga (Cu), Perak (Ag), Besi (Fe), Galena (Pb), dan Zinc (Zn).

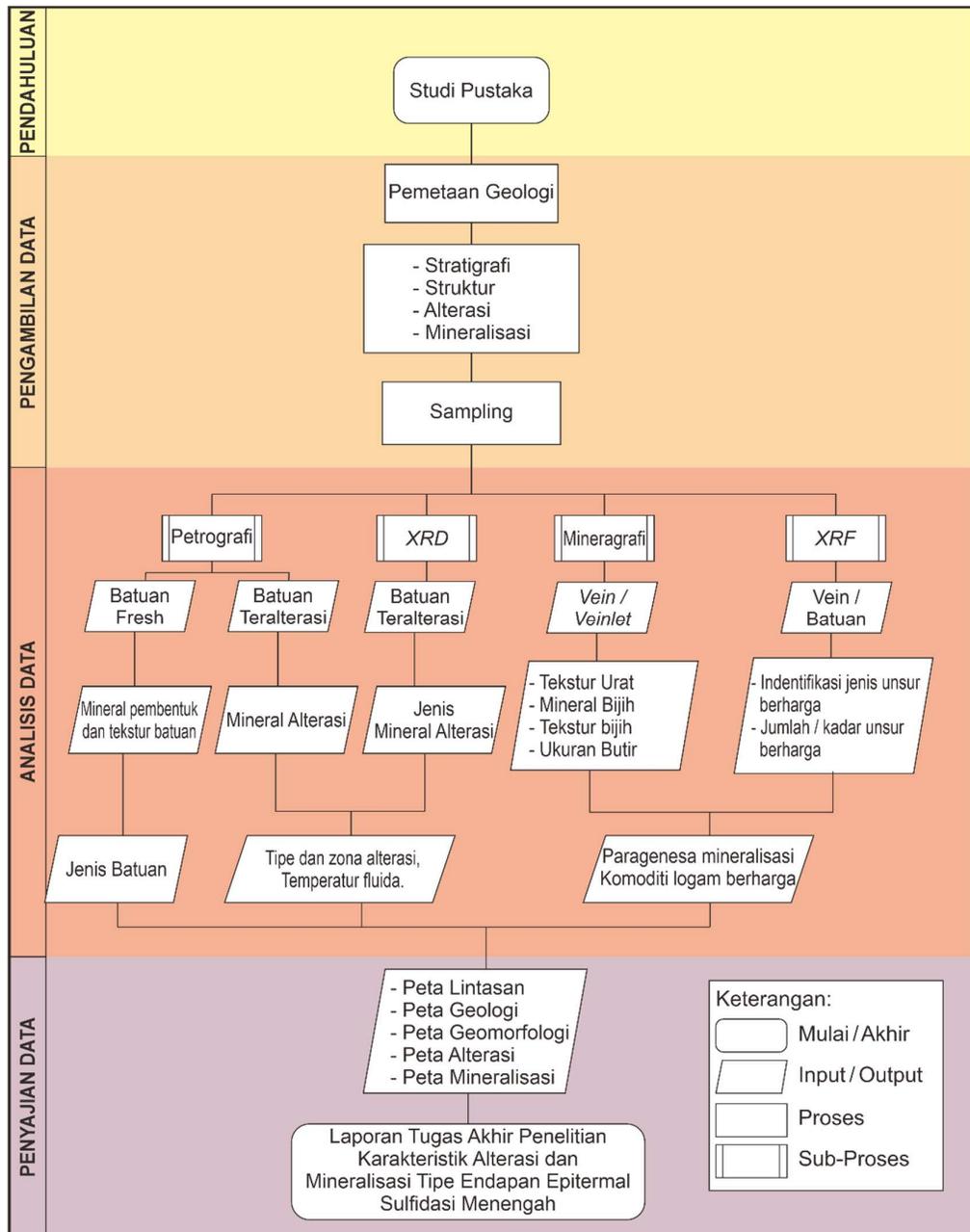
#### **II.1.4 Tahap Penyusunan Laporan**

Tahapan ini merupakan kesimpulan dari pengambilan data dan analisa laboratorium yang tertuang dalam bentuk laporan skripsi. Materi yang dibahas berupa kondisi geologi, alterasi, dan mineralisasi. Dalam penyusunan laporan skripsi disertai bimbingan dosen agar tujuan penelitian dapat tercapai dengan maksimal.

## **II.2 Data dan Peralatan Penelitian**

Adapun data-data yang diperlukan dari penelitian berupa data primer dan datasekunder seperti:

1. Data Primer:
  - a. Data pemerian sampel batuan
  - b. Data pengukuran data struktur geologi daerah telitian
  - c. Data morfologi daerah telitian
  - d. Data stratigrafi daerah telitian
  - e. Data koordinat dan lintasan lokasi pengamatan
  - f. Sketsa dan foto singkapan
2. Data Sekunder / studi pustaka:
  - a. Peta geologi penelitian terdahulu
  - b. Publikasi peneliti terdahulu
3. Peralatan yang dibutuhkan selama pengambilan data lapangan adalah:
  1. Lup
  2. GPS
  3. Kompas
  4. Palu
  5. Peta Daerah Penelitian
  6. Clipboard
  7. Peralatan Tulis lengkap
  8. Plastik sampel
  9. Kamera
  10. Sepatu lapangan
  11. Hcl 0,1 M



**Gambar 2. 1** Bagan alir penelitian tugas akhir

## II.3 Dasar Teori

### II.3.1. Endapan Hidrotermal

Larutan hidrotermal merupakan cairan yang memiliki temperatur tinggi (100 - 500°C) sisa pendinginan magma yang mampu merubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil (Bateman, 1981). Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah. Interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya (*wall rocks*) akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder (*alteration minerals*). Proses terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder akibat interaksi batuan dengan larutan hidrotermal disebut dengan proses alterasi hidrotermal.

Endapan hidrotermal merupakan endapan yang dihasilkan oleh proses pergantian mineral-mineral lama oleh mineral baru dibawah pengaruh larutan hidrotermal. Proses ini pada dasarnya merupakan proses pelarutan dan pengendapan serentak, dimana mineral yang telah diganti oleh mineral baru tanpa perubahan volume karena mineral baru akan menempati ruang yang sama dengan mineral yang digantikan (Bateman, 1950).

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pembentukan Endapan Hidrotermal adalah:

- Adanya larutan hidrotermal
- Adanya rongga batuan sebagai jalan Bergeraknya larutan
- Adanya tempat untuk mengendapkan mineral
- Adanya reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya endapan mineral
- Konsentrasi cukup tinggi dari larutan mineral sehingga menjadi deposit

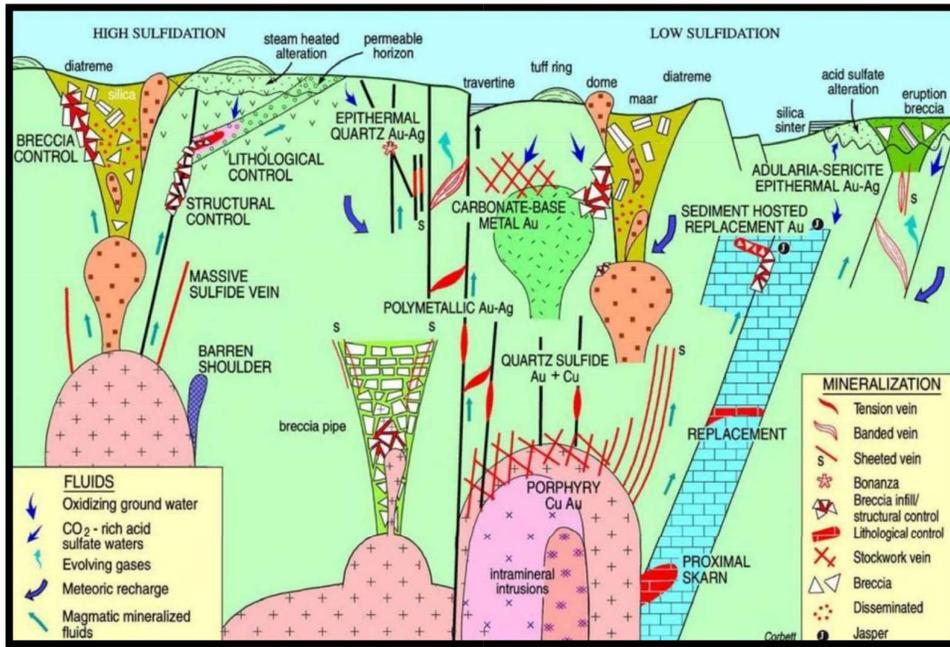
Karakteristik dari tipe endapan hidrotermal adalah adanya urat yang mengandung senyawa sulfida, yang terbentuk akibat adanya pengisian rekahan atau celah-celah batuan sekelilingnya. Tidak semua endapan hidrotermal berupa urat,

namun dapat juga berbentuk massa-massa yang tidak beraturan atau berupa urat yang secara keseluruhan mengganti batuan yang telah ada.

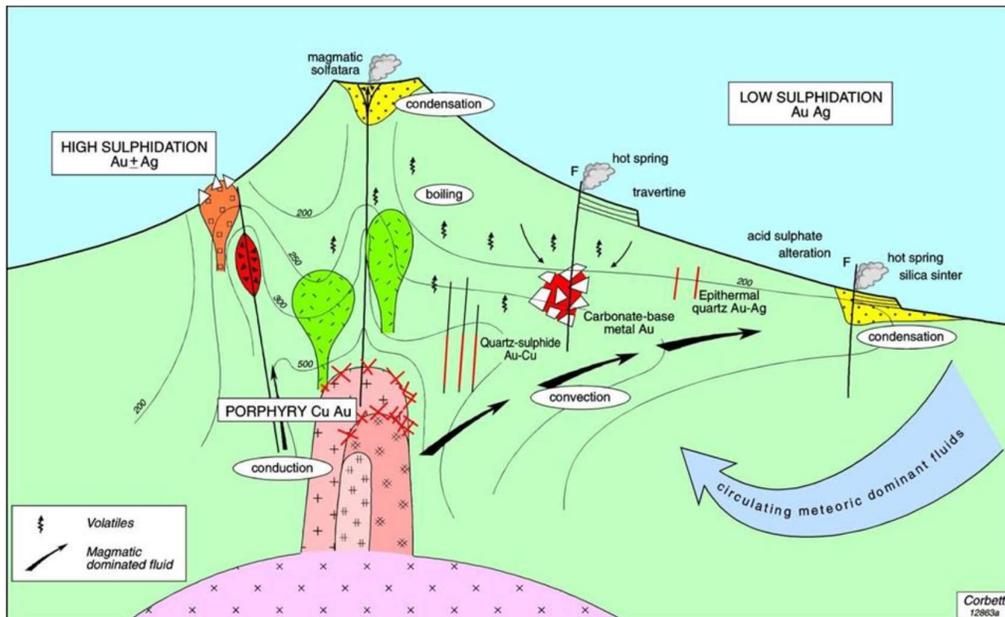
Endapan epitermal logam dasar dan mulia terdapat berbagai macam jenisnya, mencerminkan perbedaan dari tektonik, batuan beku dan stuktur geologi yang terbentuk, dan melibatkan banyak proses didalam pembentukannya. Kebanyakan dari endapan epitermal terbentuk dalam suatu level kerak bumi yang dangkal, dimana perubahan tiba-tiba dalam kondisi fisik dan kimiawinya menghasilkan endapan logam dan hadir bersama ubahan hidrotermal (White dan Hedenquist, 1990).

Larutan magmatik yang mengandung unsur-unsur logam akan bercampur dengan fluida meteorik dan lainnya yang kemudian menghasilkan mineralisasi dari batuan. Fluida panas yang muncul dalam batuan reservoir kemudian melarutkan host rock, mengakibatkan adanya alterasi, sehingga adanya perubahan ini dapat menjadi sebagai acuan untuk temperatur pembentukan alterasi. Larutan hidrotermal ini membawa unsur-unsur logam yang ekonomis seperti Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn, Mo, dan lain-lain. Unsur-unsur ini dapat berkumpul jadi satu atau terpisah-pisah membentuk endapan bijih yang termineralisasi.

Adanya interaksi antar fluida membentuk endapan yang bervariasi berdasarkan salinitas fluida magmatiknya, yaitu endapan porfiri, endapan epitermal sulfidasi tinggi, dan epitermal sulfidasi rendah (Corbett, 2008) (Gambar 2.2). Sedangkan (Hedenquist dkk, 2000) membagi endapan epitermal menjadi tiga yakni endapan epitermal sulfidasi tinggi, sulfidasi menengah, dan sulfidasi rendah. Pembagian tipe epitermal dapat berdasarkan stase oksidasi pada fluida sulfur nya (Hadenquist, 1987).



**Gambar 2. 2** Konseptual sistem aliran fluida dan model endapan epitermal Au serta endapan porfiri Au-Cu di lingkungan sirkum pasifik (Corbett dan Leach,1996)



**Gambar 2. 3** Model mineralisasi Au-Cu-Ag pada *magmatic arc* (Corbett dan Leach, 1996)

### II.3.2 Alterasi Hidrotermal

Fluida epitermal dicirikan dengan temperturnya berkurang bersamaan dengan berkurangnya kedalaman dan bertambahnya jarak dari aliran fluida. Arah aliran fluida dapat diketahui dengan memetakan mineral alterasi hidrotermal yang terdapat di dalam *vein* dan batuan induknya. Dalam hal ini, geothermometer mineral alterasi dapat digunakan untuk menentukan tingkat ubahan suatu sistem yang mengindikasikan paleotemperatur yang rendah, sementara indikasi paleotemperatur yang tinggi menunjukkan terdapatnya kementerian bijih epitermal ke arah lebih yang lebih dalam (Hedenquist, 1997).

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses alterasi hidrotermal. Menurut Corbett dan Leach (1996) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses alterasi hidrotermal antara lain:

#### 1. Temperatur dan tekanan

Temperatur yang meningkat akan mempengaruhi stabilitas dan akan membentuk mineral yang lebih sedikit kandungan airnya. Ini khususnya terlihat pada mineralogi silikat lempung yang pada temperatur yang lebih tinggi akan membentuk urutan mineral-mineral sebagai berikut: smektit, smektit-illit, illit-smektit, illit dan mika putih.

Temperatur juga mempengaruhi tingkat kristalinitas suatu mineral. Temperatur yang lebih tinggi akan membentuk fasa yang lebih kristalin. Seperti pada kaolin, kaolin dengan bentuk yang tidak teratur terbentuk pada suhu yang rendah, pada suhu yang tinggi akan terbentuk dikit dengan bentuk kristal yang bagus.

Berikut temperatur pembentukan dari beberapa mineral alterasi yang dibuat berdasarkan (Hedenquist,1997; Lawless dan white, 1997; Corbett dan Leach, 1996) (Tabel 2.1).

**Tabel 2. 1** Suhu pembentukan dari beberapa mineral alterasi (berdasarkan Hedenquist,1997; Lawless dan white , 1997; Corbett dan Leach, 1996).

Mineral Alterasi	Hedenquist, 1997	Lawless dan White, 1997	Corbett dan Leach, 1996
Kaolin	< 200° C	< 220° C	< 150° - 200° C
Dikit	150° 250° C	200° 250° C	150° 250° C
Smektit	< 220° C	< 150° sampai 200° C	<100° 150° C
Illit-smektit	150° 220° C	150° 230° C	100° 200° C
Illit	> 200° C	230° 300° C	200° 250° C
Serisit	-	> 270° C	>200° -250° C
Klorit-smektit	100° 180° C	< 230° C	-
Klorit	> 120° 300° C	< 300° C	-
Pyrophyllit	> 100° 300° C	> 260° C	200° 250° C
Paragonit	-	> 260° C	-
Epidot	> 200° 300° C	> 240° C	180° 300° C
Prehnit	-	210° 300° C	250° 300° C
Kalsit	< 300° C	< 300° C	-
Ankerit	-	> 120° C	-
Phengit	-	-	> 250° 300° C

## 2. Permeabilitas

Permeabilitas akan menjadi lebih besar pada kondisi batuan yang terrekahkan serta pada batuan yang berpermeabilitas tinggi hal tersebut akan mempermudah pergerakan fluida yang selanjutnya akan memperbanyak kontak reaksi antara fluida dengan batuan. Permeabilitas memiliki pengaruh yang nyata yang membuat batuan induk berhubungan langsung dengan sirkulasi fluida hidrotermal. Alterasi philik dan argilik biasanya berbatasan langsung dengan struktur utama atau dengan sistem *vein* dimana fluida memiliki pH di bawah normal dikarenakan gas-gas yang larut, sedangkan Alterasi propilitik biasanya

terdapat pada batuan induk dengan permeabilitas rendah dan jauh dari jalur fluida utama.

3. Komposisi kimia dan konsentrasi larutan hidrotermal

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

4. Komposisi batuan sampling

Komposisi batuan sampling sangat berpengaruh terhadap penerimaan bahan larutan hidrotermal sehingga memungkinkan terjadinya alterasi.

5. Lama aktifitas atau derajat kesetimbangan

Durasi dari sistem hidrotermal, atau waktu selama permeabilitas masih terbuka, menentukan apakah kesetimbangan telah tercapai antara sirkulasi fluida dan batuan induk.

### 2.3.2. Klasifikasi Alterasi Hidrotermal

Creasey (1966) membuat klasifikasi alterasi hidrotermal pada endapan tembaga porfiri menjadi empat tipe yaitu propilitik, argilik, potasik, dan himpunan kuarsa serisit pirit. Lowell dan Guilbert (1970) membuat model alterasi – mineralisasi juga pada endapan bijih porfiri, serta menambahkan istilah zona filik untuk himpunan mineral kuarsa, serisit, pirit, klorit, rutil, kalkopirit. Corbett dan Leach (1997) membagi mineral alterasi berdasarkan pH menjadi beberapa grup antara lain:

1. Mineral Grup Silika (*Silica Group Minerals*)

Mineral silika adalah mineral alterasi yang stabil terjadi pada fluida dengan pH sangat rendah (umumnya di bawah pH 2, Stoffregen, 1987), dalam kondisi yang sangat asam ini, opalin silika, kristobalit, dan tridimit ditemui dalam lingkungan permukaan tingkat atas dari sistem hidrotermal klorida, biasanya pada suhu <100°C (Corbett dan Leach, 1997). Dalam kondisi pH fluida yang lebih tinggi, silika amorf ditemui pada suhu <100C. Kuarsa biasa hadir pada suhu tinggi, sedangkan kalsedon lokal terjadi pada suhu sedang (umumnya di antara 100°C – 200°C). Kuarsa atau silika telah dimasukkan dalam semua himpunan mineral karena fluida hidrotermal (dalam sistem geotermal aktif) umumnya jenuh silika (Corbett dan Leach, 1997). Dalam dilusi, kuarsa lingkungan epitermal ke mesotermal (yaitu, <300°C – 350°C) akan

tersimpan/terdeposi hingga pendinginan, dengan solubilitas maksimal yang terjadi sekitar 350°C. Oleh karena itu, pendinginan cairan bersuhu tinggi dengan cepat pada daerah atas *upflow conduit* cairan akan membentuk *silica cap* pada sistem tersebut. Pada suhu 300 - 350°C, penurunan tekanan dan salinitas memiliki pengaruh sedang terhadap deposisi kuarsa, sedangkan di bawah 300°C pengaruh tersebut cukup kecil, kecuali di bawah perubahan kondisi yang cepat. Alterasi pada kondisi asam umumnya menghasilkan pembentukan batuan induk yang sangat kaya silika. Pada pH cairan <2, hampir seluruh kation kecuali silika (dan sedikit Fe, Al, dan Ti) terkikis dari batu (Stoffregen, 1987), dan hal ini menghasilkan pembentukan kuarsa residual *vuggy* (White, 1991). Selain itu, kompleks sulfat - silika pada cairan pH rendah dapat menyebabkan supersaturasi silika (Corbett dan Leach, 1997), dan dengan demikian deposisi mineral sulfat, seperti alunit atau barit, dari cairan - cairan tersebut dapat menghasilkan presipitasi mineral kelompok silika. Pada suhu tinggi (>300 - 400°C), tekanan, salinitas cairan, serta suhu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap deposisi silika, sehingga solubilitas kuarsa meningkat bermakna dengan peningkatan tekanan dan suhu. Oleh karena itu, penurunan tekanan yang cepat kemungkinan berhubungan dengan perubahan tekanan dari lithostatik ke hidrostatik pada lingkungan porfiri, dapat menghasilkan *over* saturasi silika, dan menimbulkan perkembangan *stockwork vein* kuarsa.

## 2. Mineral Grup Alunit (*Alunite Group Minerals*)

Pada pH fluida sedikit lebih tinggi dari 2, alunit terbentuk bersama dengan mineral silika pada rentang suhu yang luas (Stoffregen, 1987). Alunit terbentuk berasosiasi dengan andalusit pada suhu tinggi (biasanya >350°C - 400°C), dan dengan korundum pada suhu lebih tinggi (>400°C - 450°C) (Corbett dan Leach, 1997).

## 3. Mineral Grup Kaolin (*Kaolin Group Minerals*)

Kelompok mineral kaolin (pada table 2.2) berasal dari fluida pH cukup rendah (sekitar pH 4; Reyes, 1990, dalam Corbett dan Leach, 1997), dan terbentuk bersamaan dengan kelompok mineral di bawah kisaran pH fluida transisi (pH 3 - 4; Stoffregen, 1987). Halosisit terjadi terutama sebagai produk pelapukan supergen. Kaolinit terbentuk pada kedalaman dangkal di bawah kondisi suhu rendah (<150 °C -200°C) dan pirofilit pada kedalaman kerak yang lebih dalam pada suhu lebih tinggi (<200°C - 250°C).