

**SKRIPSI**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH SULFIDA DAERAH  
KUNYI KECAMATAN ANREAPI KABUPATEN POLEWALI MANDAR  
PROVINSI SULAWESI BARAT**

**Disusun dan diajukan oleh**

**AGUSSALIM  
D061171315**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH SULFIDA DAERAH  
KUNYI KECAMATAN ANREAPI KABUPATEN POLEWALI MANDAR  
PROVINSI SULAWESI BARAT


Disusun dan diajukan oleh

**AGUSSALIM**  
**D061171315**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal **22** dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

  
**Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T.**  
**NIP. 196911231 198903 1 019**

Pembimbing Pendamping

  
**Dr. Ir. M. Fauzi Arifin, M.Si**  
**NIP. 19581203 198601 1 001**

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

  
**Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T.**  
**NIP. 19690924 199802 1 001**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Agussalim  
NIM : D061171315  
Program Studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Studi Alterasi dan Mineralisasi Bijih Sulfida Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi  
Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 April 2022  
Yang Menyatakan



(Agussalim)

## SARI

Daerah penelitian terletak di daerah Kunyi, Kecamatan Anreapi, Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat sekitar 268 km dari Kabupaten Gowa. Secara astronomis daerah penelitian terletak pada  $119^{\circ}23'10''$  -  $119^{\circ}23'30''$  Bujur Timur dan  $3^{\circ}22'05''$  -  $3^{\circ}22'15''$  Lintang Selatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian dan mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih serta mengetahui tipe endapan hidrotermal pada daerah penelitian. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis petrografi, mineragrafi, dan *atomic absorption spectrometry* (AAS).

Berdasarkan himpunan mineral alterasi maka tipe alterasi pada daerah penelitian yaitu tipe alterasi filik *overprinting* propilitik. Tipe ini dicirikan dengan kehadiran mineral serisit, kalsit, klorit, dan kuarsa. Adapun tekstur khusus mineral bijih berupa *open space filling (comb)* dan *replacement*. Berdasarkan pengamatan hubungan antar asosiasi mineral bijih terdapat 3 (tiga) tahap pembentukan mineral bijih, dimulai dengan pembentukan mineral pirit, kemudian kalkopirit dan kovelit, dan terakhir mineral oksida. Dengan berbagai parameter yaitu mineral alterasi berupa kuarsa, serisit, kalsit, dan klorit, mineral bijih berupa pirit, kalkopirit, kovelit, dan mineral oksida, mineral *gangue* berupa kuarsa, serisit, dan klorit, bentuk endapan yang didominasi oleh jenis sebaran, dan tekstur bijih berupa *open space filling (comb)* dan *replacement*, serta logam ekonomis berupa Au, Cu, Fe, Mn, Zn, Ag, Pb, Al, Sb, dan Mo. Maka tipe endapan hidrotermal pada daerah Kunyi merupakan tipe endapan epitermal sulfidasi rendah.

**Kata kunci:** Alterasi, Mineralisasi, Tekstur Khusus.

## **ABSTRACT**

*The research area is located in the Kunyi area of Anreapi District, Polewali Mandar regency, West Sulawesi, about 268 km from Gowa regency. Astronomically the study area is located at 119°23'10"-119°23'30" East Longitude and 3°22'05"- 3°22'15" South Latitude. The purpose of this study was to determine the characteristics of alteration and mineralization in the study area and to determine the formation of ore minerals and to determine the type of hydrothermal deposit in the study area. The method used is petrography and mineragraphy analysis and also atomic absorption spectrometry (AAS) method.*

*Based on the mineral association, the alteration zoning in the study area is the filik overprinting propilitik alteration type. This type is characterized by an abundance of quartz, calcite, sericite and chlorite minerals. As for the special texture such as open space filling (comb) and replacement. Based on the observation of the relationship between ore mineral associations, there are 3 (three) stages of ore mineral formation, starting with the formation of pyrite minerals, then chalcopyrite and covelite, and finally oxide minerals. With various parameters, namely the alteration mineral found in the form of quartz, calcite, sericite, and chlorite, ore minerals in the form of pyrite, chalcopyrite, covelite, and oxide minerals, gangue minerals in the form of quartz, sericite, and klorit, the sediment form is dominated by the type of disseminated, special textures in the form of open space filling (comb) and replacement, and economical metals in the form of Au, Cu, Fe, Mn, Zn, Ag, Pb, Al, Sb, and Mo. So the type of hydrothermal deposit in the Kunyi area is a low sulfidation epithermal deposit type.*

**Keywords:** *Alteration, Mineralization, Special Texture.*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“Studi Alterasi dan Mineralisasi Bijih Sulfida Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat”**.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis dalam menyusun laporan penelitian ini, antara lain :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Ir. M. Fauzi Arifin M.Si sebagai Dosen Penasehat Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T. dan Dr. Ir. M. Fauzi Arifin M.Si sebagai Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan saran dan masukannya.
4. Bapak Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T. dan Safruddin, S.T.,M. Eng. sebagai Dosen Penguji Skripsi.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya.
6. Seluruh Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuannya.
7. Kedua orang tua atas segala doa, materi dan dukungannya serta kasih sayangnya yang selalu tercurah kepada penulis.

8. Kepada kanda Achmad Rivai Jamal S.T. yang telah memberikan sarannya selama penulisan laporan.
9. Kepada kanda Muh. Reski S.T. yang telah menemani ke lokasi penelitian.
10. Teman-teman mahasiswa Geologi angkatan 2017 (RAPTORZ) atas segala bantuan dan dukungannya.
11. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membentuk karakter dan kepribadian saya.
12. Satuan Komando Lapangan BE HMG FT-UH yang telah memberikan banyak pengalaman selama jadi mahasiswa serta sebagai wadah dalam meningkatkan pemahaman keilmuan.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala saran dan bantuan yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan di dalamnya, baik dalam penulisan maupun penyusunan, oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan tulisan selanjutnya.

Semoga apa yang dilakukan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat bernilai ibadah disisi Allah SWT. Aamiin.

Makassar, 22 April 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>SARI .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Geologi Regional .....	5
2.1.1 Geomorfologi Regional .....	5
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	6
2.1.3 Struktur Geologi Regional .....	7
2.1.4 Sumber Daya Mineral Dan Energi.....	8
2.2 Alterasi Hidrotermal .....	8
2.3 Zona Alterasi Hidrotermal .....	12
2.4 Endapan Hidrotermal .....	18
2.5 Endapan Epitermal.....	19
2.5.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi .....	23
2.5.2 Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah .....	25
2.6 Tekstur Khusus Mineral.....	27



2.6.1	Tekstur Primer .....	27
2.6.2	Tekstur Sekunder .....	30
2.7	Paragenesa Mineral Bijih .....	34
<b>BAB III</b>	<b>METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1	Metode Penelitian .....	35
3.2	Tahapan Penelitian .....	36
3.2.1	Tahap Persiapan .....	36
3.2.2	Tahap Pengambilan Data .....	36
3.2.3	Tahap Pengolahan Data .....	37
3.2.4	Tahap Analisis dan Interpretasi .....	37
3.2.5	Tahap Penyusunan Laporan .....	38
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1	Geologi Daerah Kunyi .....	40
4.1.1	Geomorfologi Daerah Kunyi .....	40
4.1.1.1	Satuan Geomorfologi Daerah Kunyi .....	40
4.1.1.2	Sungai .....	41
4.1.2	Stratigrafi Daerah Kunyi .....	43
4.1.2.1	Satuan Granit .....	43
4.2	Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Daerah Kunyi .....	46
4.2.1	Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal Daerah Kunyi .....	46
4.2.1.1	Tipe Alterasi Hidrotermal Daerah Kunyi .....	57
4.2.1.2	Mineral Bijih Daerah Kunyi .....	57
4.2.1.3	Tekstur Khusus Mineral Daerah Kunyi .....	58
4.2.1.4	Paragenesa Mineral Bijih Daerah Kunyi .....	61
4.2.2	Tipe Endapan Daerah Kunyi .....	62
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>66</b>
5.1	Kesimpulan .....	66
5.2	Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>68</b>

## **LAMPIRAN**

- Deskripsi Petrografi
- Deskripsi Mineragrafi
- Peta Stasiun Pengamatan
- Peta Geomorfologi
- Peta Geologi
- Peta Zona Alterasi dan Mineralisasi

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi penelitian .....	4
2.1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Djuri dkk., 1998) .....	5
2.2 Mineral Indikator sebagai Geotermometer (Reyes, 1990) .....	11
2.3 Stabilitas suhu dari mineral alterasi hidrothermal pada endapan epithermal (Henley dkk., 1983 dalam White dkk., 1995) .....	12
2.4 Himpunan mineral alterasi dalam sistem hidrothermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH larutan (Corbett dan Leach, 1996) .....	14
2.5 Model Skema tipe endapan epitermal (Hedenquist dan Lowenstern, 1994).....	20
2.6 Model skematik sistem endapan HS (Arribas dkk., 1995).....	24
2.7 Model skematik endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk, 2000).....	26
2.8 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian (Guilbert dan Park, 1986)..	30
2.9 Kenampakan yang menunjukkan tekstur <i>replacement</i> (Guilbert dan Park, 1986).....	31
2.10 Kenampakan yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur Penggantian (Guilbert dan Park, 1986) .....	32
2.11 Kenampakan tekstur akibat proses pendinginan (Evans,1987).....	33
3.1 Diagram alir penelitian.....	39
4.1 Kenampakan satuan geomorfologi perbukitan denudasional dengan arah foto N185 <sup>0</sup> E pada daerah Kunyi .....	41
4.2 Kenampakan Sungai Mandatte yang merupakan jenis sungai periodik dengan arah foto N48 <sup>0</sup> E.....	42
4.3 Kenampakan Sungai Mandatte dengan tipe genetik sungai insekuen dengan arah foto N231 <sup>0</sup> E.....	42
4.4 Kenampakan singkapan Granit pada daerah Kunyi pada stasiun 3 dengan arah foto N171 <sup>0</sup> E.....	44
4.5 Kenampakan petrografi granit pada sayatan ST 05 yang tersusun oleh mineral Ortoklas (Ort), Kuarsa (Qz), dan Mineral Opak (Mo) .....	44
4.6 Kenampakan megaskopis conto batuan pada stasiun 01 yang mengalami alterasi dimana dijumpai mineral alterasi berupa kuarsa (Qz) dan klorit (Chl), dan mineral bijih berupa pirit (Py).....	47

4.7	Kenampakan mikroskopis sayatan ST. 1 yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral sekunder berupa serisit (Ser), kuarsa (Qz), dan klorit (Chl).....	48
4.8	Fotomikrograf sayatan poles pada sayatan ST. 1 terdiri dari mineral pirit (Py). .....	48
4.9	Kenampakan batuan secara megaskopis pada stasiun 02 yang mengalami alterasi dimana dijumpai mineral alterasi berupa kuarsa (Qz) dan klorit (Chl), dan mineral bijih berupa pirit (Py) dan kalkopirit (Ccp). .....	49
4.10	Kenampakan mikroskopis sayatan ST. 2 yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral sekunder berupa serisit (Ser), kuarsa (Qz), dan klorit (Chl).....	50
4.11	Fotomikrograf sayatan poles pada sayatan ST. 2 terdiri dari mineral pirit (Py), kalkopirit (Ccp), dan kovelit (Cv). .....	50
4.12	Kenampakan megaskopis conto batuan granit pada stasiun 03 yang mengalami alterasi dimana dijumpai mineral bijih berupa pirit (Py). .....	51
4.13	Kenampakan mikroskopis sayatan ST. 3 yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral sekunder berupa kalsit (Cal) dan kuarsa (Qz) .....	52
4.14	Fotomikrograf sayatan poles pada sayatan ST. 3 terdiri dari mineral pirit (Py) dan mineral oksida (Ox). .....	52
4.15	Kenampakan megaskopis conto batuan granit pada stasiun 04 yang mengalami alterasi dimana dijumpai mineral alterasi berupa kuarsa (Qz) dan klorit (Chl), dan mineral bijih berupa pirit (Py) dan kalkopirit (Ccp). ....	53
4.16	Kenampakan mikroskopis sayatan ST. 4 yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral sekunder berupa kuarsa (Qz), serisit (Ser) dan klorit (Chl).....	54
4.17	Fotomikrograf sayatan poles pada sayatan ST. 4 terdiri dari mineral pirit (Py) kalkopirit (Ccp) dan mineral kovelit (Cv).....	54
4.18	Kenampakan megaskopis conto batuan granit pada stasiun 05 yang mengalami alterasi dimana dijumpai mineral alterasi berupa kuarsa (Qz) dan mineral bijih berupa pirit (Py). .....	55
4.19	Kenampakan mikroskopis sayatan ST. 5 yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral sekunder berupa kuarsa (Qz), serisit (Ser) dan klorit (Chl).....	56
4.20	Fotomikrograf sayatan poles pada sayatan ST. 5 terdiri dari mineral pirit (Py) dan mineral oksida (Ox). .....	56
4.21	Tekstur <i>comb</i> .....	60
4.22	Tekstur <i>replacement</i> pada pirit oleh kovelit. ....	61
4.23	Tekstur <i>replacement</i> pada pirit oleh kalkopirit. ....	61
4.24	Tekstur <i>replacement</i> pada pirit oleh kalkopirit dan kovelit .....	61

4.25	Tekstur <i>replacement</i> pada pirit oleh mineral oksida.....	61
------	--	----

## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineralnya (Guilbert dan Park, 1986).....	13
2.2	Karakteristik lapangan untuk membedakan tipe endapan epitermal (Corbett dan Leach, 1996).....	21
2.3	Karakteristik endapan LS dan HS (Hedenquist dkk., 2000).....	22
4.1	Kolom stratigrafi daerah penelitian.....	45
4.2	Data analisis kandungan unsur logam dengan metode AAS.....	56
4.3	Kisaran temperatur pembentukan tipe alterasi filik <i>overprinting</i> propilitik daerah Kunyi (Reyes, 1990 dan Henley dkk., 1983).....	57
4.4	Paragenesa mineral bijih daerah Kunyi.....	62
4.5	Karakteristik endapan mineral daerah Kunyi.....	63
4.6	Kesebandingan karakteristik tipe endapan epitermal pada daerah Kunyi	64

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemanfaatan sumber daya alam, khususnya sumberdaya mineral merupakan salah satu aspek yang paling menjanjikan untuk dikelola sebagai sumber pembiayaan dan pembangunan bagi daerah, akan tetapi pemanfaatan sumberdaya mineral ini memerlukan penyajian informasi geologi yang lengkap, akurat, dan informatif sehingga dapat dijadikan bahan acuan studi kelayakan dalam pengelolaannya.

Endapan hidrotermal merupakan salah satu endapan mineral yang memiliki hubungan yang sangat erat antara larutan hidrotermal dengan perubahan mineralogi pada batuan. Adanya kumpulan mineral ubahan dapat menjadi petunjuk dalam menentukan tipe alterasi dan mineralisasi pada suatu endapan mineral.

Salah satu daerah keterdapatan endapan mineral sulfida yang ada di Indonesia yang sangat menarik untuk dilakukan penelitian tentang endapan mineralnya yaitu pada Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat.

Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detail mengenai “*Studi Alterasi dan Mineralisasi Bijih Sulfida Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat*” agar diperoleh data yang nantinya sebagai penunjang informasi geologi

untuk mengetahui potensi yang terdapat pada daerah tersebut demi pengembangan daerah kearah yang lebih maju di masa yang akan datang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana paragenesa pembentukan mineral bijih pada daerah penelitian?
3. Apa tipe endapan hidrotermal pada daerah penelitian?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi mengenai alterasi dan mineralisasi bijih sulfida Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian.
2. Mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih pada daerah penelitian.
3. Mengetahui tipe endapan hidrotermal pada daerah penelitian.

## **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian yang akan dilakukan ini dibatasi pada identifikasi karakteristik alterasi dan mineralisasi bijih sulfida daerah Kunyi yaitu mengenai jenis mineral alterasi yang terbentuk, tipe alterasi pada daerah penelitian, mineral bijih yang terbentuk, tekstur khusus mineral, paragenesa mineral bijih dan tipe endapan hidrotermal daerah penelitian dengan melakukan analisis laboratorium

berupa analisis petrografi, mineragrafi, dan *atomic absorbtion spectrometry* (AAS).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat pada penelitian ini yakni memberikan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang ilmu geologi yang berkaitan dengan alterasi dan mineralisasi pada batuan.

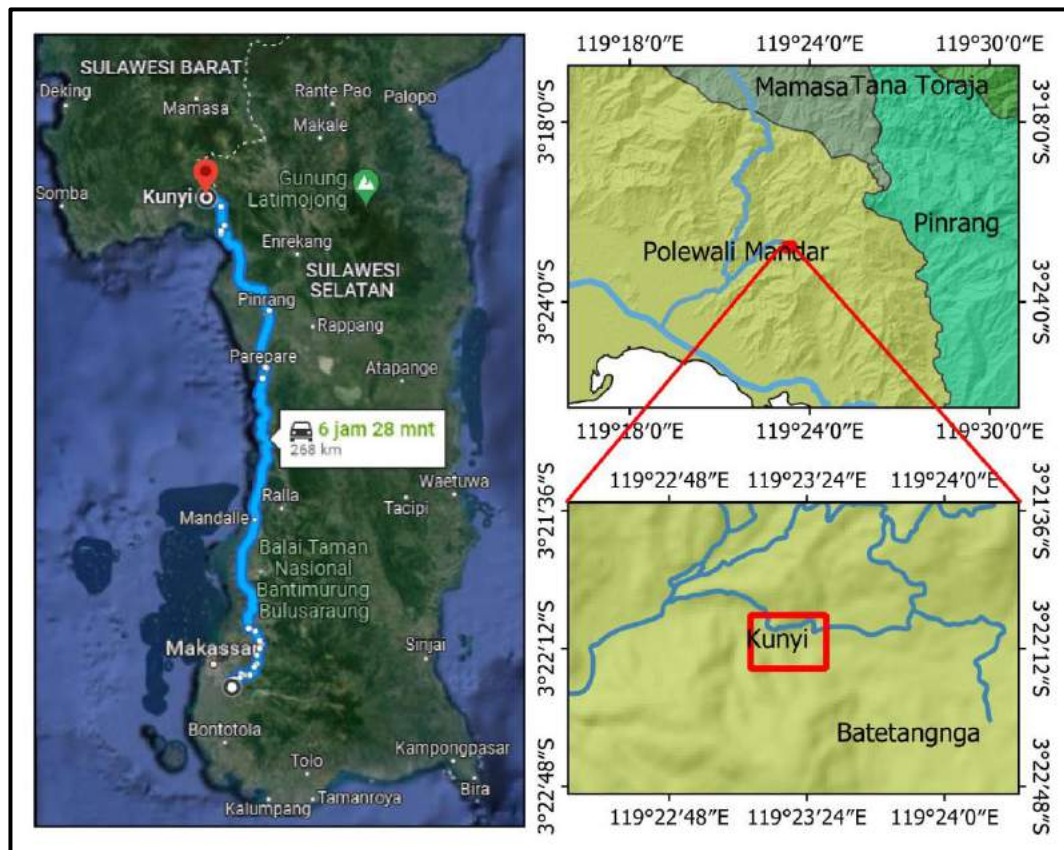
### **1.6 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam Daerah Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat. Secara astronomis daerah penelitian terletak pada pada koordinat  $119^{\circ}23'10''$  BT -  $119^{\circ}23'30''$  BT (Bujur Timur) dan  $3^{\circ}22'05''$  LS -  $3^{\circ}22'15''$  LS (Lintang Selatan)

Daerah penelitian termasuk dalam Lembar Polewali, nomor 212-52 Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 50.000 yang diterbitkan Bakosurtanal edisi I tahun 1991 (Cibinong, Bogor).

Daerah penelitian berjarak  $\pm$  268 Km dari Kabupaten Gowa ke arah utara menuju Desa Kunyi Kecamatan Anreapi Kabupaten Polewali Mandar selama  $\pm$  7 jam, dengan menggunakan kendaraan darat.



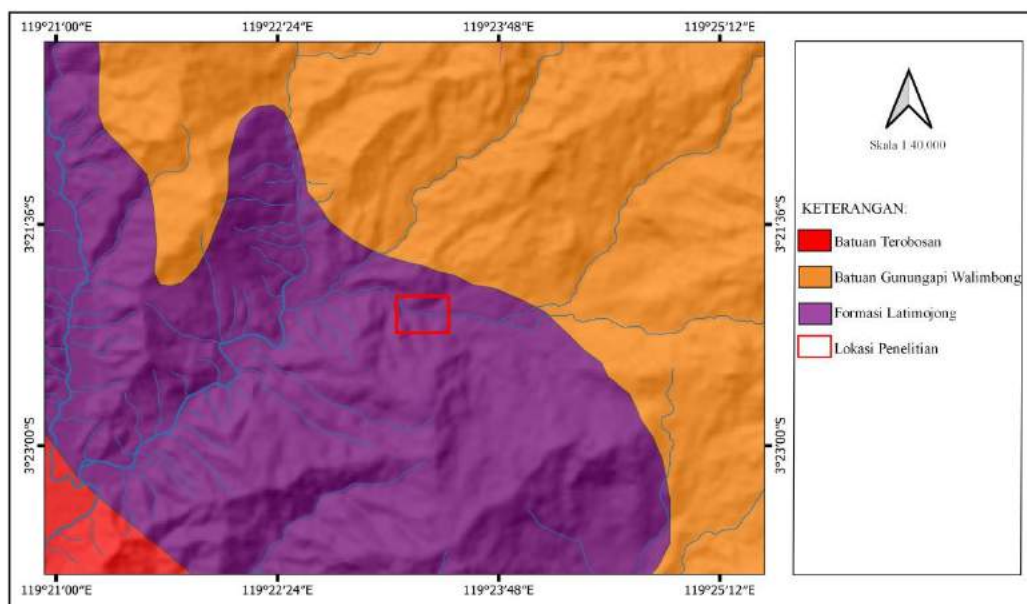


**Gambar 1.1** Peta tunjuk lokasi penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Secara regional, geologi daerah penelitian termasuk dalam Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo (Djuri dkk., 1998).



**Gambar 2.1** Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Djuri dkk., 1998)

Geologi regional daerah penelitian meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, dan sumber daya mineral dan energi yang akan dijelaskan pada sub bab berikut.

#### 2.1.1 Geomorfologi Regional

Peta Geologi Regional Lembar Majene dan Palopo bagian Barat (Djuri dkk., 1998) Ditinjau dari geomorfologi regional, daerah penelitian terletak pada Busur Sulawesi Barat bagian utara yang dicirikan oleh aktivitas vulkanik dan intrusi magma yang bersifat kalk-alkalin berkomposisi asam hingga

intermedit yang terdiri dari pegunungan, perbukitan dan dataran rendah. Daerah pegunungan menempati bagian utara, barat dan selatan, sedangkan bagian tengah merupakan perbukitan bergelombang dan bagian timur merupakan dataran rendah.

### **2.1.2 Stratigrafi Regional**

Stratigrafi regional daerah penelitian dalam Peta Geologi Regional Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo (Djuri dkk., 1998) sesuai dengan yang dijumpai di daerah penelitian sebagai berikut :

Tmpi BATUAN TEROBOSAN: Umumnya batuan beku bersusunan asam sampai menengah seperti granit, granodiorit, diorit, syenit, monzonit kuarsa, dan riolit setempat dijumpai gabro di G. Pangi. Singkapan terbesar di daerah G. Paroreang yang menerus sampai daerah G. Gandadiwata di Lembar Mamuju (Ratman dan Atmawinata, 1993 dalam Djuri dkk., 1998). Umumnya diduga Pliosen karena menerobos Batuan Gunungapi Walimbong yang berumur Miosen-Pliosen, serta berdasarkan kesebandingan dengan granit di Lembar Pasangkayu yang berumur 3,35 juta tahun (Sukamto, 1975 dalam Djuri dkk., 1998).

Tmpv BATUAN GUNUNGAPI WALIMBONG: Lava bersusun basal sampai andesit, sebagian lava bantal; breksi andesit piroksin, breksi andesit trakit; mengandung feldspatoid di beberapa tempat, diendapkan di lingkungan laut. diduga berumur Mio-Pliosen karena menjemari dengan Formasi Sekala yang berumur Miosen Tengah – Pliosen, tebalnya ratusan meter.

Kls FORMASI LATIMOJONG: Secara umum formasi ini mengalami pemalihan lemah - sedang; terdiri atas serpih, filit, rijang, marmer, kuarsit dan breksi terkersikkan; diterobos oleh batuan beku menengah sampai basa; di

Lembar Mamuju (Ratman dan Atmawinata, 1993) juga dijumpai batulempung mengandung fosil *Globotruncana* berumur Kapur Akhir, dengan lingkungan pengendapan laut dalam. Tebal formasi lebih dari 1000 m.

### **2.1.3 Struktur Geologi Regional**

Lembar Majene dan bagian barat Palopo terletak di Mendala Geologi Sulawesi Barat (Sukamto, 1975 dalam Djuri dkk., 1998). Mendala ini dicirikan oleh batuan sedimen laut dalam berumur Kapur - Paleogen yang kemudian berkembang menjadi batuan gunungapi bawah laut dan akhirnya gunungapi darat di akhir Tersier. Batuan terobosan granitoid berumur Miosen-Pliosen juga mencirikan mendala ini. Sejarah tektoniknya dapat diuraikan mulai dari jaman Kapur, yaitu saat Mendala Geologi Sulawesi Timur bergerak ke barat mengikuti gerakan tunjaman landai ke barat di bagian timur Mendala Geologi Sulawesi Barat. Penunjaman ini berlangsung hingga Miosen Tengah, saat kedua mendala tersebut bersatu. Pada akhir Miosen - Tengah sampai Pliosen terjadi pengendapan sedimen molasa secara tak selaras di atas seluruh mendala geologi di Sulawesi, serta terjadi terobosan batuan granitoid di Mendala Geologi Sulawesi Barat. Di daerah pemetaan, aktivitas ini diduga telah mengakibatkan terbentuknya lipatan dengan sumbu berarah baratlaut - tenggara, serta sesar naik dengan bidang sesar miring ke timur. Setelah itu seluruh daerah Sulawesi terangkat dan membentuk bentangalam seperti sekarang ini.

#### **2.1.4 Sumber Daya Mineral Dan Energi**

Secara setempat, yaitu di daerah utara G. Gandang dijumpai mineralisasi tembaga, timbal, seng, dan besi, yaitu pada batuan gunungapi dan pada batuan terobosan. Karena sebaran batuan gunungapi cukup luas, disertai penerobosan batuan granitoid yang cukup luas pula, maka kemungkinan di daerah ini mempunyai potensi mineral logam yang tinggi. Adanya alterasi seperti kloritisasi dan silisifikasi pada Batuan Gunungapi Lamasi juga merupakan petunjuk adanya mineralisasi. Berbagai macam batuan beku terobosan yang mempunyai potensi sangat besar untuk keperluan bahan bangunan. Adapun sumber energi yang ada adalah batubara yang tersingkap di beberapa tempat pada Formasi Toraja.

#### **2.2 Alterasi Hidrotermal**

Alterasi hidrotermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan akibat adanya interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya. Proses alterasi akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder yang kemudian disebut dengan mineral yang teralterasi (*alteration minerals*). Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks, meliputi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur yang dihasilkan dari interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling (*wall rock*) yang dilaluinya pada kondisi kimia-fisika tertentu (Pirajno, 1992).

Banyak variabel yang mempengaruhi formasi mineral alterasi dalam sistem hidrotermal. Menurut Corbett dan Leach (1996), ada 6 (enam) faktor utama yang mempengaruhi mineral alterasi, yaitu :

### 1. Temperatur

Temperatur yang meningkat akan mempengaruhi stabilitas dan akan membentuk mineral yang lebih sedikit kandungan airnya. Ini khususnya terlihat pada mineralogi silika lempung yang pada temperatur yang lebih tinggi akan membentuk urutan mineral-mineral seperti smektit, smektit-illit, illit-smektit, illit dan mika putih. Temperatur juga mempengaruhi tingkat kristalisasi suatu mineral. Temperatur yang lebih tinggi akan membentuk fase yang lebih kristalin. Contohnya kaolin dengan bentuk yang tidak teratur terbentuk pada suhu yang rendah, pada suhu yang lebih tinggi akan terbentuk mineral dengan bentuk kristal yang baik.

### 2. Komposisi kimia fluida

Komposisi fluida sangat mempengaruhi mineralogi alterasi, dengan temperatur yang akan mempengaruhi posisi batas fase. Yang lebih penting dari konsentrasi absolut adalah perbandingan unsur utama seperti  $a\text{Na}^+/a\text{H}^+$ ,  $a\text{K}^+/a\text{H}^+$ .

### 3. Konsentrasi/kepekatan

Konsentrasi absolut pada fluida hidrotermal berpengaruh pada tipe mineralogi alterasi, karena ini mempengaruhi derajat kejenuhan yang berkenaan dengan mineral-mineral tertentu.

### 4. Komposisi batuan induk

Komposisi batuan induk juga berpengaruh sangat luas pada tipe mineralogi alterasi. Mineralogi *skarn* terbentuk pada batuan induk *calcareous/gamping*. Adularia sebagai bentuk sekunder dari K-feldspar akan dijumpai pada batuan induk yang kaya potasium (contoh riolit atau monzonit).

Paragonit (Na-mika) pada kondisi tertentu merupakan produk alterasi dari albit, seperti juga monzonit yang terbentuk dari alterasi feldspar potasik.

5. Lama aktivitas atau derajat kesetimbangan

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

6. Permeabilitas

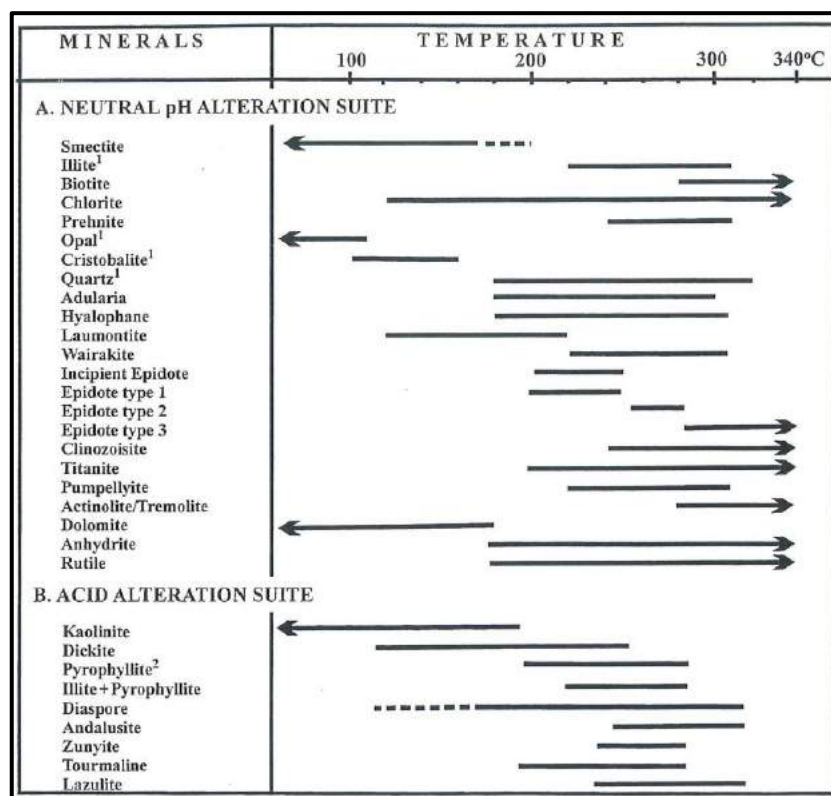
Permeabilitas memiliki pengaruh yang nyata yang membuat batuan induk berhubungan langsung dengan sirkulasi fluida hidrotermal. Alterasi filik dan argilik biasanya berbatasan langsung dengan struktur utama atau dengan sistem *vein* dimana fluida memiliki pH di bawah normal dikarenakan gas-gas yang larut, sedangkan alterasi propilitik biasanya terdapat pada batuan induk dengan permeabilitas rendah dan jauh dari jalur fluida utama.

Walaupun faktor-faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996). Henley dan Ellis (1983) dalam Sutarto (2002) mempercayai bahwa alterasi hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan dinding, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, temperatur, dan komposisi fluida.

Dalam beberapa sistem hidrotermal, pembagian mineral alterasi juga dilakukan berdasarkan kehadiran mineral lempung dan kalk-silika. Pengelompokan mineral penciri temperatur berdasarkan kehadiran mineral lempung ini didasari pengertian bahwa mineral yang sangat sensitif terhadap

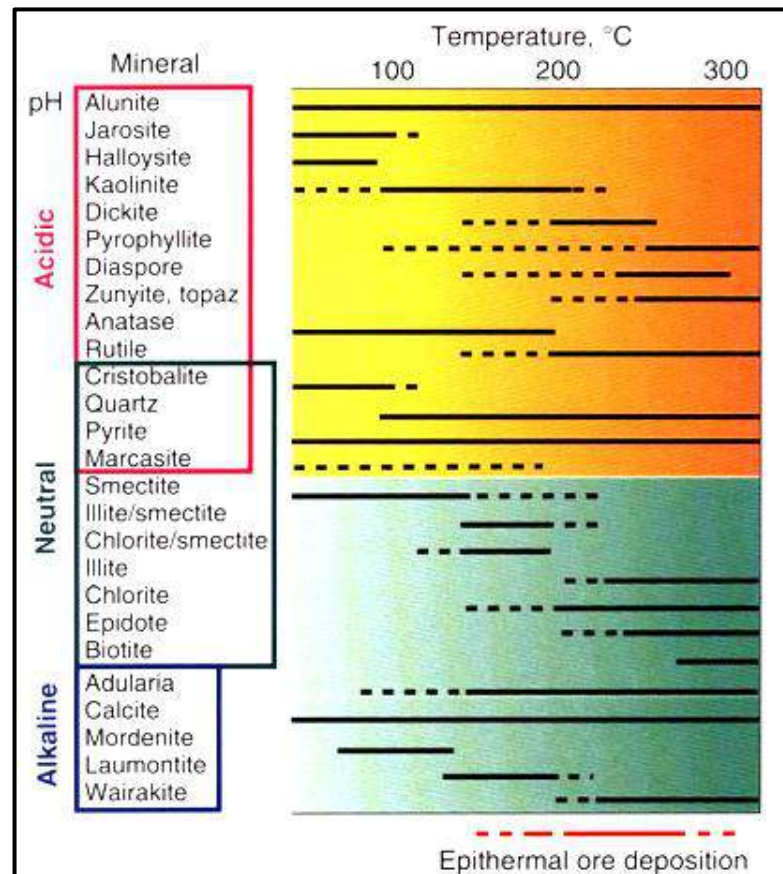
perubahan temperatur adalah mineral dengan kandungan gugus OH dan H<sub>2</sub>O, mineral tersebut meliputi mineral-mineral lempung dan zeolit. Alterasi hidrotermal merupakan konversi dari gabungan beberapa mineral membentuk mineral baru yang lebih stabil di dalam kondisi temperatur, tekanan dan komposisi hidrotermal tertentu (Reyes, 1990). Mineralogi batuan alterasi dapat mengindikasikan komposisi atau pH fluida hidrotermal (Henley dkk., 1984 dalam Hedenquist, 1998).

Kehadiran mineral-mineral hasil dari proses alterasi juga sangat bermanfaat dalam memberikan petunjuk tentang kondisi suhu dan tekanan dimana mereka terbentuk dibawah permukaan. Berikut merupakan klasifikasi yang dijadikan petunjuk untuk menentukan kondisi suhu pembentukan mineral alterasi hidrotermal.



**Gambar 2.2** Mineral Indikator sebagai Geotermometer (Reyes, 1990)





**Gambar 2.3** Stabilitas suhu dari mineral alterasi hidrotermal pada endapan epithermal (Henley dan Ellis, 1983 dalam White dan Hadenquist, 1995)

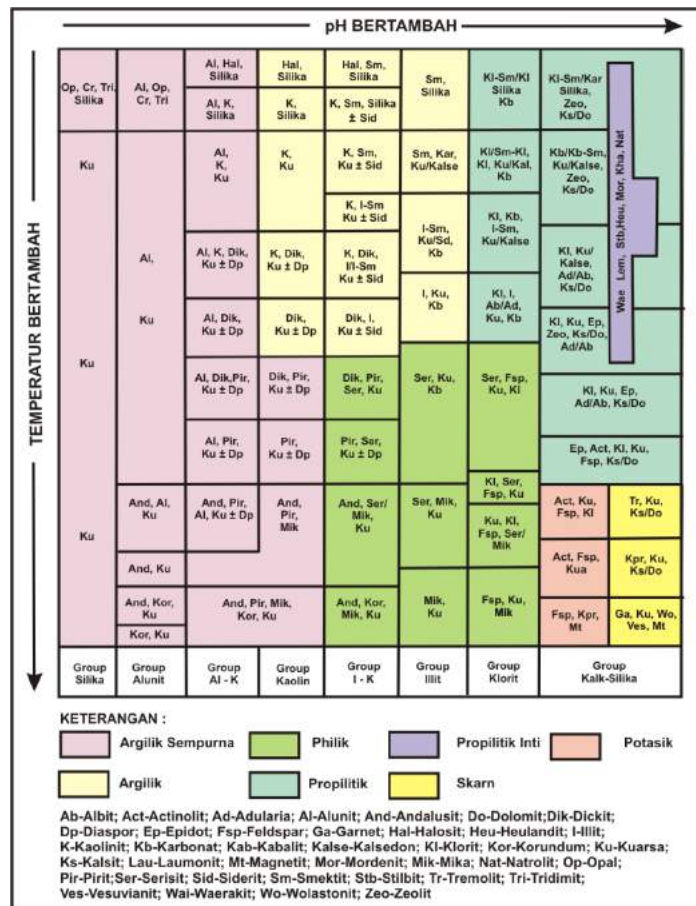
### 2.3 Zona Alterasi Hidrotermal

Umumnya pengelompokan tipe alterasi didasarkan pada keberadaan himpunan mineral-mineral tertentu yang dijumpai pada suatu endapan. Suatu daerah yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral alterasi disebut dengan zona alterasi (Guilbert dan Park, 1986). Berikut tabel pembagian tipe alterasi berdasarkan himpunan mineralnya oleh Guilbert dan Park (1986):

**Tabel 2.1** Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineralnya (Guilbert dan Park, 1986)

Tipe	Mineral Kunci	Mineral Asesoris	Keterangan
Propilitik	Klorit Epidot Karbonat	Albit Kuarsa Kalsit Pirit Lempung/illit Oksida besi	Temperatur 200 – 300°C , Salinitas beragam, PH mendekati netral , Daerah dengan permeabilitas rendah
Argilik	Smektit Montmorilonit Illit-smektit Kaolinit	Pirit Klorit Kalsit Kuarsa	Temperatur 100 – 300°C, Salinitas rendah, PH asam – netral .
Argilik lanjut (temperatur rendah)	Kaolinit Alunit	Kalsedon Kristobalit Kuarsa Pirit	Temperatur 180°C PH asam
Argilik lanjut (temperatur tinggi)	Pirofilit Diaspor Andalusit	Kuarsa Tourmalin Enargit Luzonit	Temperatur 250 – 350°C, PH asam
Potasik	Adularia Biotit Kuarsa	Klorit Epidot Pirit Illit-serisit	Temperatur > 300°C, Salinitas tinggi, Dekat dengan batuan intrusi .
Filik	Kuarsa Serisit Pirit	Anhidrit Pirit Kalsit Rutil	Temperatur 230 – 400°C, Salinitas beragam, PH asam – netral, Zona tembus air pada batas urat .
Serisitik	Serisit (illit) Kuarsa Muskovit	Pirit Illit-serisit	-
Silisifikasi	Kuarsa	Pirit Illit-serisit Adularia	-

Gambar 2.4 memperlihatkan zona alterasi yang ditunjukkan oleh himpunan mineral tertentu berdasarkan hubungan temperature dan pH larutan yang dibuat oleh Corbett dan Leach (1996).



**Gambar 2.4** Himpunan mineral alterasi dalam sistem hidrotermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH larutan (Corbett dan Leach, 1996)

Adapun macam-macam tipe alterasi yang umumnya dijumpai pada endapan hidrotermal yaitu antara lain :

**1. Propilitik**

Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit, dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur 200<sup>0</sup>-300<sup>0</sup>C pada pH mendekati netral, dengan salinitas beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah. Menurut Creasey (1966) dalam Sutarto (2002), terdapat empat kecenderungan himpunan mineral yang hadir pada tipe propilitik,

yaitu : a). klorit – kalsit – kaolinit, b). klorit – kalsit – talk, c). klorit – epidot – kalsit, d). klorit – epidot.

## **2. Argilik**

Pada tipe argilik terdapat dua kemungkinan himpunan mineral, yaitu muskovit-kaolinit-monmorilonit dan muskovit-klorit-monmorilonit. Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur  $100^0$ - $300^0$ C (Pirajno, 1992) fluida asam-netral, dan salinitas rendah.

## **3. Potasik**

Zona potasik merupakan zona alterasi yang berada pada bagian dalam suatu sistem hidrotermal dengan kedalaman bervariasi yang umumnya lebih dari beberapa ratus meter. Zona alterasi ini dicirikan oleh mineral ubahan berupa biotit sekunder, K Feldspar, kuarsa, serisit dan magnetit. Pembentukan biotit sekunder ini dapat terbentuk akibat reaksi antara mineral mafik terutama hornblend dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar maupun piroksin.

Dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali feldspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai aksesoris, serta sejumlah kecil albit, dan titanit (*sphene*) atau rutil kadang terbentuk. Alterasi potasik terbentuk pada daerah yang dekat batuan beku intrusif yang terkait, fluida yang panas ( $>300^0$ C), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat.

## **4. Filik**

Zona alterasi ini biasanya terletak pada bagian luar dari zona potasik. Batas zona alterasi ini berbentuk *circular* yang mengelilingi zona potasik yang

berkembang pada intrusi. Zona ini dicirikan oleh kumpulan mineral serisit dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pirit yang melimpah serta sejumlah anhidrit. Mineral serisit terbentuk pada proses hidrogen metasomatis yang merupakan dasar dari alterasi serisit yang menyebabkan mineral feldspar yang stabil menjadi rusak dan teralterasi menjadi serisit dengan penambahan unsur H<sup>+</sup>, menjadi mineral phylosilikat atau kuarsa. Zona ini tersusun oleh himpunan mineral kuarsa-serisit-pirit, yang umumnya tidak mengandung mineral-mineral lempung atau alkali feldspar. Kadang mengandung sedikit anhidrit, klorit, kalsit, dan rutil. Terbentuk pada temperatur sedang-tinggi (230<sup>0</sup>-400<sup>0</sup>C), fluida asam-netral, salinitas beragam, pada zona permeabel, dan pada batas dengan urat.

#### **5. Propilitik dalam ( *inner propylitic* )**

Zona alterasi pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya klorida, pH mendekati netral) umumnya menunjukkan zona alterasi seperti pada sistem porfiri, tetapi menambahkan istilah *inner propylitic* untuk zona pada bagian yang bertemperatur tinggi (>300<sup>0</sup>C), yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit (Sutarto, 2002).

#### **6. Argilik lanjut ( *advanced argilic* )**

Untuk sistem epitermal sulfidasi tinggi (fluida kaya asam sulfat), ditambahkan istilah *advanced argilic* yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit + diaspor + andalusit + kuarsa + turmalin + enargit-luzonit (untuk temperatur tinggi, 250<sup>0</sup>-350<sup>0</sup>C), atau himpunan mineral kaolinit + alunit + kalsedon + kuarsa + pirit (untuk temperatur rendah, < 180<sup>0</sup>C) (Sutarto, 2002).

## **7. Skarn**

Alterasi ini terbentuk akibat kontak antara batuan sumber dengan batuan karbonat, zona ini sangat dipengaruhi oleh komposisi batuan yang kaya akan kandungan mineral karbonat. Pada kondisi yang kurang akan air, zona ini dicirikan oleh pembentukan mineral garnet, klinopiroksen dan wollastonit serta mineral magnetit dalam jumlah yang cukup besar, sedangkan pada kondisi yang kaya akan air, zona ini dicirikan oleh mineral klorit, tremolit – aktinolit dan kalsit dan larutan hidrotermal. Garnet-piroksen-karbonat adalah kumpulan yang paling umum dijumpai pada batuan induk karbonat yang orisinil (Taylor, 1996 dalam Sutarto, 2002). Amfibol umumnya hadir pada skarn sebagai mineral tahap akhir yang menutupi mineral-mineral tahap awal. Aktinolit (CaFe) dan tremolit (CaMg) adalah mineral amfibol yang paling umum hadir pada skarn. Jenis piroksen yang sering hadir adalah diopsid (CaMg) dan hedenbergit (CaFe).

## **8. Greisen**

Himpunan mineral pada greisen adalah kuarsa-muskovit (atau lipidolit) dengan sejumlah mineral aksesoris seperti topas, turmalin, dan fluorit yang dibentuk oleh alterasi metasomatik post-magmatik granit (Best, 1982 dalam Sutarto, 2002).

## **9. Silisifikasi**

Merupakan salah satu tipe alterasi hidrotermal yang paling umum dijumpai dan merupakan tipe terbaik. Bentuk yang paling umum dari silika adalah (*Equartz*, atau  $\beta$ -*quartz*, rendah *quartz*, temperatur tinggi, atau tinggi kandungan kuarsanya ( $>573^{\circ}\text{C}$ ), tridimit, kristobalit, opal, kalsedon. Bentuk yang paling

umum adalah *quartz* rendah, kristobalit, dan tridimit kebanyakan ditemukan di batuan vulkanik. Tridimit terutama umum sebagai produk devitrifikasi gelas vulkanik, terbentuk bersama alkali felspar.

Selama proses hidrotermal, silika mungkin didatangkan dari cairan yang bersirkulasi, atau mungkin ditinggalkan di belakang dalam bentuk silika residual setelah melepaskan (*leaching*) dari dasar. Solubilitas silika mengalami peningkatan sesuai dengan temperatur dan tekanan, dan jika larutan mengalami ekspansi adiabatik, silika mengalami presipitasi, sehingga di daerah bertekanan rendah siap mengalami pengendapan (Pirajno, 1992).

## **2.4 Endapan Hidrotermal**

Larutan Hidrotermal adalah larutan panas dengan suhu 50-500°C yang berasal dari sisa cairan magma yang berasal dalam bumi yang bergerak keatas dan kaya akan komponen-komponen (kation dan anion) pembentukan mineral bijih terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi (Bateman, 1950). Larutan sisa magma ini mampu mengubah 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. Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah.

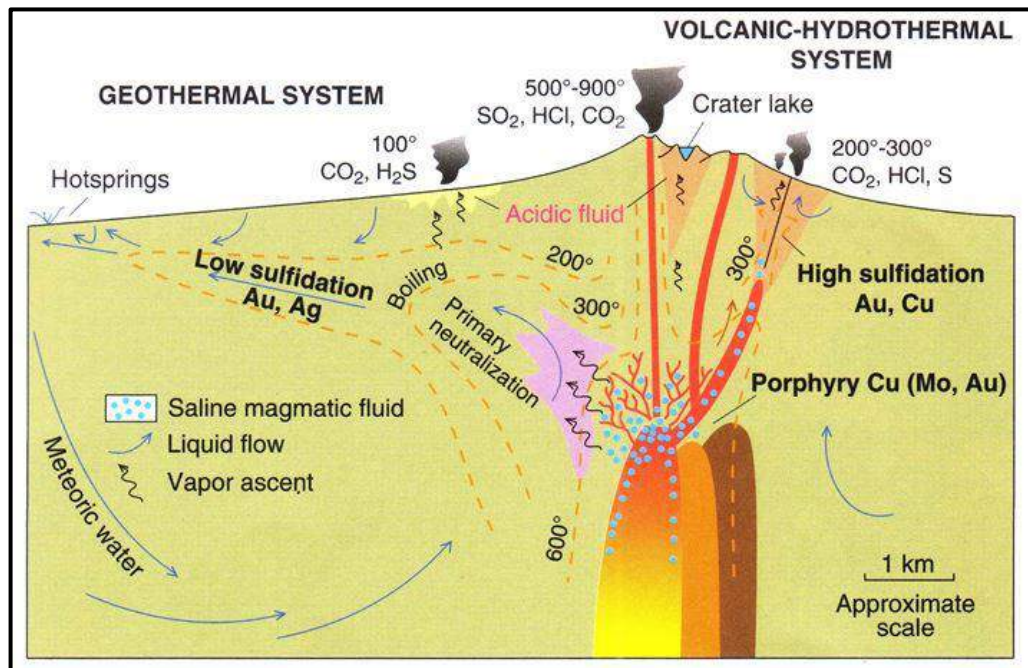
Endapan hidrotermal dicirikan dengan adanya endapan tipe urat atau *vein*, yang merupakan daerah tempat mineralisasi bijih terjadi dan membentuk tubuh diskordan (memotong tubuh batuan yang ada di sekelilingnya). Kebanyakan urat-

urat terbentuk pada zona-zona patahan atau mengisi rongga-rongga pada batuan atau daerah rekahan. Banyak endapan yang bernilai ekonomis tinggi seperti emas, tembaga, perak, logam dasar (Pb-Zn-cu) dan arsenik, merkuri dan mineral-mineral logam ekonomis lainnya yang berasosiasi dengan mineral-mineral pengotor (*gangue* mineral), seperti kuarsa dan kalsit pada batuan sampingnya dalam bentuk struktur urat. Kehadiran urat-urat ini merupakan salah satu penciri utama dari jenis endapan hidrotermal (Maulana, 2017).

## **2.5 Endapan Epitermal**

Endapan epitermal pertama kali digunakan oleh Lindgren pada 1913 untuk menjelaskan suatu endapan larutan hidrotermal yang dekat dengan permukaan (berkisar antara 50-1500 meter dari atas permukaan bumi). Tipe endapan epitermal terbentuk berkaitan erat dengan aktivitas vulkanisme pada suatu daerah. Biasanya sistem epitermal ditandai dengan munculnya manifestasi aktivitas vulkanisme dangkal di atas permukaan bumi dalam bentuk *hot spring* (mata air panas) atau *fumarole* (Maulana, 2017). Skema tipe endapan mineral epitermal dapat dilihat pada gambar 2.5.





**Gambar 2.5** Skema tipe endapan epitermal (Hedenquist dan Lowenstern, 1994)

Berdasarkan tingkat sulfidasinya atau tingkat oksidasi sulfur didalam fluida bijihnya, endapan epitermal dibagi menjadi 2 (dua) yaitu endapan epitermal sulfidasi rendah dan endapan epitermal sulfidasi tinggi.

Perbedaan tingkat sulfidasi dari endapan epitermal sangat dikontrol oleh fluida hidrotermal yang dominan dari sistem tersebut. Berdasarkan studi isotop, lingkungan endapan epitermal sulfidasi rendah sangat didominasi oleh pengaruh air meteorik, walau beberapa sistem mengandung air dan gas yang reaktif (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl) yang berasal dari pembentukan magma (Hedenquist dan Lowenstern, 1994). Adapun perbedaan kedua tipe endapan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2.2** Karakteristik lapangan untuk membedakan tipe endapan epitermal (Corbett dan Leach, 1996)

	<b>Sulfidasi Tinggi</b>	<b>Sulfidasi Rendah</b>
Batuan Vulkanik (terkait secara genetik)	Terutama <i>andesite-rhydacite</i>	<i>Andesite-rhyodacite, rhyolite</i>
Zona Alterasi	Sangat luas (umumnya beberapa km) dan menonjol secara visual	Umumnya terbatas dan visual tidak kentara
Mineral Alterasi Proksimal	<i>Crystalline alunite; Pyrophyllite</i> pada tingkat lebih dalam	<i>Sericite</i> atau <i>illite</i> ± <i>adularia roscoelite (V-mica)</i> dalam endapan yang berasosiasi dengan batuan alkali; <i>chlorite</i> dalam beberapa kasus
<i>Gangue</i> Kuarsa	Berbutir halus, masif, terutama replacement asal, <i>residual</i> , terak ( <i>vuggy</i> ) kuarsa biasanya mengandung bijih	<i>Chalcedony</i> dan (atau) kuarsa menampilkan <i>custiform, collarofm, blade, cockade</i> , dan karbonat tekstur pengganti, <i>open space filling</i>
<i>Gangue</i> Karbonat	-	Dimana-mana, umumnya
<i>Gangue</i> lainnya	<i>Barite</i> tersebar luas dengan bijih; belerang aslinya biasanya mengisi ruang terbuka	<i>Barite</i> dan (atau) <i>flourite</i> ada secara lokal; <i>Barite</i> umumnya berada diatas bijih
Sulfida abundance	10-90 vol%, terutama butir halus, sebagian dilaminasi <i>pyrite</i> 1-20 vol%, tetapi biasanya <5 vol%, terutama <i>pyrite</i>	<i>Sphalerite, galena</i> dan <i>tertrahedrite</i> umum, Cu ada terutama sebagai <i>chalcopyrite</i>
<i>Metal Present</i>	Cu,Au,As (Ag,Pb)	Au dan (atau) Ag (Zn,Pb,Cu)
<i>Metal Present Locally</i>	Bi,Sb,Mo,Sn,Zn,Te, (Hg)	Mo,Sb,As, (Te,Se,Hg)

**Tabel 2.3** Karakteristik endapan LS dan HS (Hedenquist dkk., 2000)

Endapan sulfidasi rendah			Endapan sulfidasi tinggi		
Secara genetik (berhubungan dengan batuan vulkanik)	<i>Andesite-Rhyodacite</i> (AR), <i>bimodal rhyolite-basalt</i> (RB), <i>alkali</i> (A)		<i>Andesite-Rhyodacite</i> , didominasi oleh magma <i>calc-alkalic</i>		
Kedalaman pembentukan	Dangkal	Dalam	Dangkal	Intermedit	Dalam
	0-300 m	300-800 M (jarang > 1,000 m)	<500 m	500-1000 M	(Porfiri) >1,000 M
Letak, ciri khas <i>host-rock</i>	Kubah : Batuan Piroklastik dan sedimen	Kubah : <i>Diatremes</i> (AR,A); Batuan Piroklastik dan sedimen	Kubah : <i>Vent</i> pusat; Batuan Piroklastik dan sedimen	Kubah, <i>Diatremes</i> ; Batuan Vulkanik	Kubah- <i>Diatreme</i> ; Batuan Porfiri, Vulkanik Sedimen Klastik.
Bentuk deposit	<i>Vein, Vein swarm, Stockwork, disseminated</i>	<i>Vein, breccias body, disseminated</i>	<i>Disseminated breccia dan veinlet</i>	Sulfida <i>veins</i> masif, <i>late veins/breccias</i>	<i>Dissemination veinlets</i> , breksi
Tekstur Biji	<i>Band</i> halus, <i>combs, crustiform, breksi</i>	<i>Band</i> kasar	<i>Vuggy quartz hosts replacement</i>	Sulfida <i>veins</i> masif, <i>late veins/breccias</i>	<i>Replacement</i>
Alterasi	<i>Alunite-kaolinite blanket, clay halo</i>	<i>Clays, sericite, carbonates, roscoelite, flourite</i> (A)	<i>Silicic (vuggy), alunite</i> kuarsa	<i>Silicic (vuggy), alunite</i> kuarsa, <i>phyropollite-dickite-sericite</i>	<i>Sericite, pyrophyllite</i>
Sulfida	<i>Cinnabar stibnite; pyrite/marcasite - arsenophyrite, Au-Ag selenides, Se sulfosalts, Sphalerite</i> kaya akan Fe (RB)	<i>Pyrite-Au-Ag sulfides/sulfosalt, variable sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite/tennantite</i> (AR)	<i>Enargite/luzonite, covellite, pyrite</i>	<i>Enargite/luzonite, chalcophyrite, tetrahedrite/tennantite, sphalerite, late-covellite, pyrite</i>	<i>Bornite, digenite, chalcocite, covellite</i>
Logam	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl(RB), Ag; Au rendah; , 0,1-1% logam dasar	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se(AR), Ag; Au tinggi; 2-10 (20+)% logam dasar	Au-Ag, Cu terluluhkan (Hg <i>overprint</i> )	Cu-Au-Ag-Bi-Te-Sn	Cu-Au
Fitur penting	<i>Sinter, Chalcedony blanket</i>	Beberapa sulfida intermedit-state <i>veins</i> berdekatan dengan bijih sulfida tinggi	<i>Uap-heated blanket</i>	<i>Vuggy quartz host</i>	<i>Overprinted</i> pada porfiri
Fluida	<1% NaCl, kaya gas, <220°C (RB)	3-10+% NaCl, 220-280°C+(AR)	<2 wt% NaCl	4-15+ wt% NaCl	Bervariasi
Contoh	McLaughlin, Midas, Round Mountain, Sleeper, Hishikari	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Casapalca,	Yanachoca, Pueblo Viejo, Pierina, La Coipa, Tambo,	El Indio, Lepanto, Chinkuashih, Goldfield, Lahoca	Bisbee, MM, Chuquicamata

	(Sulfida Rendah)	Victoria (Sulfida Intermedit)	Pascua, Paradise Peak, Summitville, Rodalquilar, Kasuga		
--	------------------	-------------------------------	---	--	--

### 2.5.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi

Endapan *high sulphidation system* (HS) dibentuk oleh adanya reaksi antara larutan panas yang berasal dari magma dengan air meteorik yang kemudian membentuk larutan bersifat sangat asam dan dalam kondisi oksidasi. Di situ, S hadir dalam bentuk  $\text{SO}_2$ , HCl,  $\text{H}_2\text{S}$ .  $\text{SO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  teroksidasi dan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk asam sulfur ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (Maulana, 2017).

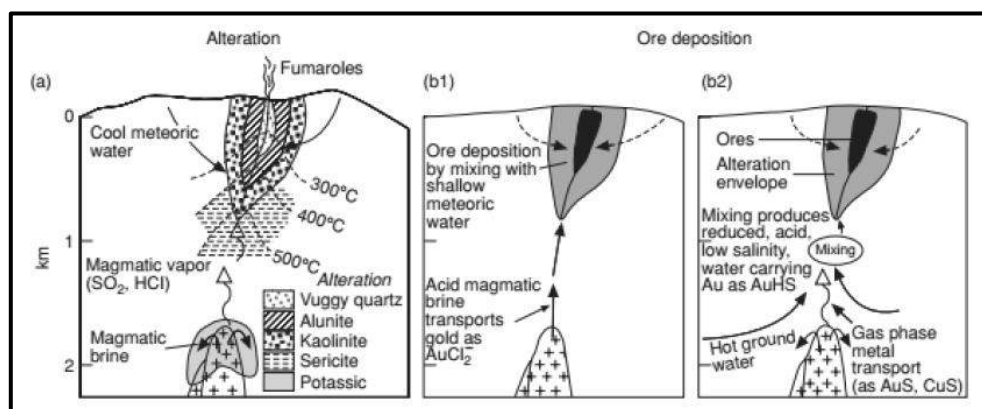
Asam sulfur ini merupakan larutan yang sangat aktif dan akan menyebabkan terjadinya *leaching* atau pencucian pada batuan sampling dan menghasilkan alterasi argilik lanjut (*advanced argillic*). Suhu dari larutan berkisar antara 200–300°C dengan pH 0–2 dan salinitas 2–5wt% setara NaCl.

Kelompok mineral yang umum dijumpai yaitu silika dengan tekstur *vuggy*, silika-alunit, *pyrophyllite-diaspore* dan dickite-kaolin. Endapan emas HS di daerah barat daya Pasifik umumnya berasosiasi dengan *energite-pyritebarite-alunite* (Corbett, 2012).

Fluida pembawa bijih terbagi menjadi dua, yaitu *volatile-rich phase* yang bergerak cepat dan *liquid-rich phase* yang bergerak agak lambat. Endapan ini juga dicirikan oleh kehadiran luzonit dan energit yang berasal dari *liquid-rich phase*. Selain itu, di beberapa tempat endapan jenis ini juga dicirikan dengan kehadiran mineral *vianciennite* sebagai indikasi *high sulfur fugacity* seperti pada endapan Radka di Bulgaria (Kouzmanow dkk., 2004)

Endapan ini dapat dijumpai berada pada batuan beku maupun pada *basement* yang mengindikasikan adanya proses *uplift* atau pengangkatan yang diakibatkan oleh kompresi. Endapannya sendiri terletak pada zona alterasi *advanced argillic* dengan volume yang besar terbentuk oleh percampuran uap magma asam dan air tanah di atas zona intrusi porfiri yang termineralisasi (Hedenquist dkk., 2000). Biasanya zona alterasi *advanced argillic* tersebut memperlihatkan kenampakan adanya zoning dari bagian proximal *vuggy silica* sampai dengan kumpulan mineral penciri *advanced argillic* seperti alunit, *pyrophyllite*, *dickite* dan *kaolinite* sampai dengan bagian distal tempat dijumpainya alterasi *argillic* (Maulana, 2017).

Kehadiran mineral alunit yang merupakan hasil alterasi dari feldspar dan merupakan salah satu penciri khas dari endapan HS disamping *vuggy silica* menunjukkan kondisi larutan yang sangat asam. Bagian tengah dari zona alterasi silikaan (*siliceous zone*) merupakan daerah utama yang mengandung bijih pada endapan HS (Maulana, 2017).



**Gambar 2.6** Model skematik sistem endapan HS (Arribas dkk., 1995). (a) Proses awal ketika uap magma yang dominan mengakibatkan proses leaching pada batuan samping dan membentuk alterasi argilik lanjutan. (b1) Tahap pengendapan bijih ketika emas diangkut dalam bentuk klorida kompleks. (b2) Tahap pengendapan bijih ketika emas ditransportasi dalam bentuk disulfida kompleks.

### 2.5.2 Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah

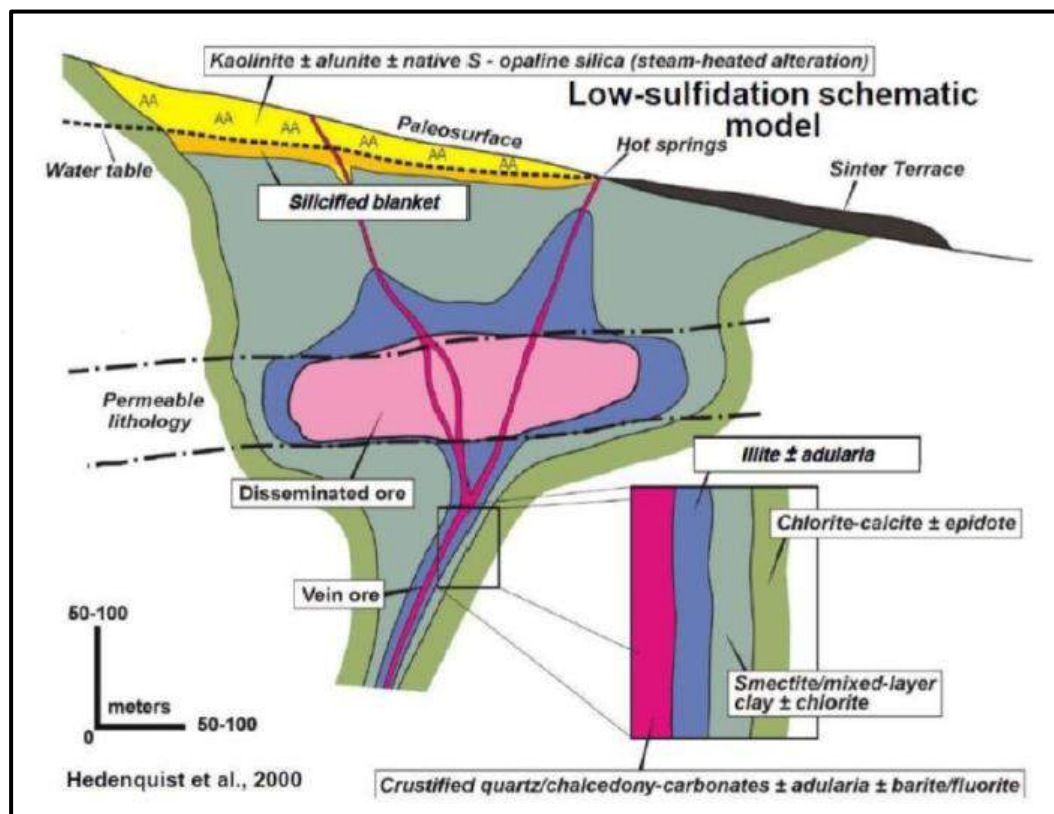
Endapan sistem sulfidasi rendah atau *low sulphidation system* (LS) dicirikan oleh larutan yang bersifat netral dalam kondisi reduksi yang mengandung S dan H<sub>2</sub>S dan memperlihatkan adanya interaksi antara komponen air meteorik dan air magmatik. Pada tipe sulfidasi rendah, pengendapan mineral bijih, terutama emas dikontrol oleh adanya proses *boiling* yang disebabkan oleh adanya penurunan tekanan dari larutan yang mencapai permukaan. Proses *boiling* biasa diindikasikan dengan adanya kristal silika yang berbentuk pipih yang menggantikan kalsit (Maulana, 2017).

Ketika mencapai permukaan larutan akan keluar dan mengkristal, mengakibatkan silika terendapkan dan membentuk undak-undak silika yang disebut dengan *silica sinter terrace*. Urat-urat yang dibentuk oleh endapan LS biasanya memperlihatkan pelapisan yang bagus, sering dijumpai terjadi perulangan antara silika dan karbonat serta memperlihatkan tekstur pengisian rekahan (*open-space filling*) (Maulana, 2017).

Pola alterasi yang ditunjukkan oleh endapan ini tidak terlalu intensif seperti yang ditunjukkan oleh endapan HS, kecuali pada batuan samping yang relatif *permeable* (Maulana, 2017).

Pada skala kecil, endapan LS umumnya dijumpai di dalam batuan vulkanik, tetapi juga bisa dijumpai pada batuan *basement*-nya. Pola alterasi pada endapan LS memperlihatkan zonasi secara lateral dari proksimal yang dicirikan oleh kuarsa-kalsedon-adularia pada urat-urat yang termineralisasi yang pada umumnya akan memperlihatkan *curstiform-collofrom banding* dan *platy*, kuarsa

dengan *lattice-texture* yang mengindikasikan proses *boiling*, sampai dengan kumpulan *illite-pyrite* dan pada bagian distal berupa kumpulan alterasi propilitik. Kehadiran illit mengindikasikan pH larutan yang cenderung normal. Ciri lain yang sangat khas pada system endapan ini yaitu banyaknya dijumpai *stockwork*, yaitu urat-urat halus yang memotong *host-rock* (Maulana, 2017).



**Gambar 2.7** Model skematik endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk, 2000).

## 2.6 Tekstur Khusus Mineral

### 2.6.1 Tekstur Primer

Tekstur primer merupakan tekstur yang terbentuk bersamaan dengan pembentukan mineral. Yang termasuk ke dalam tekstur primer adalah *melt* dan *open space filling* (Guilbert dan Park, 1986).

#### 1. Tekstur Lelehan (*Melt*)

Pertumbuhan mineral bijih dalam lelehan silikat secara umum menghasilkan pembentukan kristal euhedral-subhedral. Magnetit, ilmenit, dan platinum umumnya hadir sebagai kristal euhedral pada plagioklas, olivin, dan piroksen. Pertumbuhan tak terganggu, umumnya pada basalt yang mengalami pendinginan cepat, terkadang menghasilkan pembentukan kristal skeletal yang dapat seluruhnya/sebagian terkandung dalam gelas terpadatkan atau silikat yang mengkristal. Tekstur poikilitik silikat pada oksida atau poikilitik oksida pada silikat tidak umum hadir. Dalam lapisan kaya oksida, kristalisasi bersamaan pada kristal yang saling mengganggu mengakibatkan pembentukan kristal subhedral dengan sudut antarmuka (*interfacial angle*) yang bervariasi. Sudut antarmuka pada *triple junction* pada monomineral yang mengalami *annealing* selama pendinginan yang lambat atau selama metamorfisme umumnya mencapai 120°. Magnetit sering hadir pada proses kristalisasi, sedangkan sulfida besi umumnya mengalami pelelehan seluruhnya/sebagian, dan umumnya cenderung euhedral atau skeletal, sedangkan sulfida yang relatif tidak keras (seperti pirhotit) menunjukkan tekstur pendinginan dan *annealing*. Lelehan sulfur-besi primer (- oksigen) menghasilkan pembentukan *droplet* bundar kecil (< 100  $\mu\text{m}$ ) yang



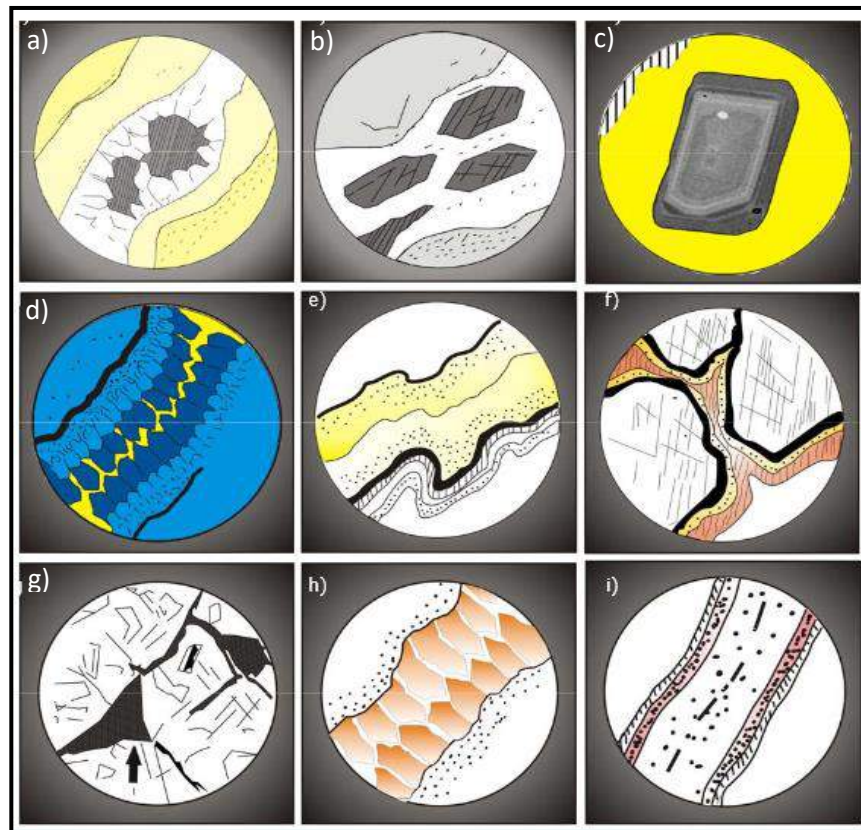
terjebak dalam basalt yang mendingin cepat dan gelas basaltik (Guilbert dan Park,1986).

## 2. **Tekstur Pengisian (*Open Space Filling*)**

Guilbert dan Park (1986) *Open space filling* merupakan tekstur yang penting untuk menentukan sejarah paragenesa endapan. Umumnya terbentuk pada batuan yang getas, pada daerah dengan tekanan yang pada umumnya relatif rendah, sehingga rekahan atau kekar cenderung bertahan. Tekstur pengisian dapat mencerminkan bentuk asli dari pori serta daerah tempat pergerakan fluida, serta dapat memberikan informasi struktur geologi yang mengontrolnya. Mineral-mineral yang terbentuk dapat memberikan informasi tentang komposisi fluida hidrotermal, maupun temperatur pembentukannya. Pengisian dapat terbentuk dari presipitasi leburan silikat (magma) juga dapat terbentuk dari presipitasi fluida hidrotermal. Daerah yang membentuk tekstur pengisian, pada umumnya cenderung membentuk struktur urat (*vein*), urat halus (*veinlets*), *stockwork*, dan breksiasi (Guilbert dan Park,1986). Kriteria tekstur pengisian dapat dikenali dari kenampakan sebagai berikut:

- a. Adanya *vug* atau *cavities*, sebagai rongga sisa karena pengisian yang tidak selesai.
- b. Kristal-kristal yang terbentuk pada pori terbuka pada umumnya cenderung euhedral seperti kuarsa, fluorit, feldspar, galena, sfalerit, pirit, arsenopirit, dan karbonat. Walaupun demikian, mineral pirit, arsenopirit, dan karbonat juga dapat terbentuk euhedral, walaupun pada tekstur penggantian.

- c. Adanya struktur *zoning* pada mineral, sebagai indikasi adanya proses pengisian, seperti mineral andradit-grosularit. Struktur *zoning* pada mineral sulit dikenali dengan pengamatan megaskopis.
- d. Tekstur berlapis, fluida akan sering akan membentuk kristal-kristal halus, mulai dari dinding rongga, secara berulang-ulang, yang dikenal sebagai *crustiform* atau *colloform*. Lapisan *crustiform* yang menyelimuti fragmen dikenal sebagai tekstur *cockade*. Apabila terjadi pengintian kristal yang besar maka akan terbentuk *comb structure*. Pada umumnya perlapisan yang dibentuk oleh pengisian akan membentuk perlapisan yang simetri.
- e. Kenampakan tekstur berlapis juga dapat terbentuk karena proses penggantian (oolitik, konkresi, pisolitik pada karbonat) atau proses evaporasi (*banded ironstone*), tetapi sebagian besar tekstur berlapis terbentuk karena proses pengisian.
- f. Tekstur *triangular* terbentuk apabila fluida mengendap pada pori di antara fragmen batuan yang terbreksikan. Kalau pengisian tidak penuh, akan mudah untuk mengenalinya. Pada banyak kasus, fluida hidrotermal juga mengubah fragmen batuan secara menyeluruh.



**Gambar 2.8** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian (Guilbert dan Park, 1986). a). *Vug* atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal *zoning*, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur *crustiform*, f). Tekstur *cockade*, g). Tekstur *triangular*, h). *Comb structure*, i). Pelapisan simetris.

## 2.6.2 Tekstur Sekunder

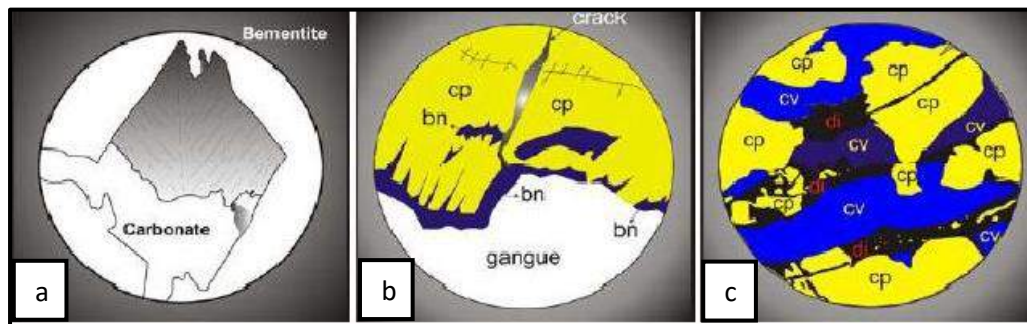
Tekstur sekunder merupakan tekstur yang terbentuk setelah pengendapan mineral. Adapun yang termasuk ke dalam tekstur sekunder, di antaranya tekstur *replacement*, dan tekstur akibat pendinginan.

### 1. Tekstur *Replacement*

*Replacement* mineral bijih oleh mineral lain selama pelapukan umum ditemukan pada banyak tipe endapan bijih. *Replacement* dapat terjadi akibat

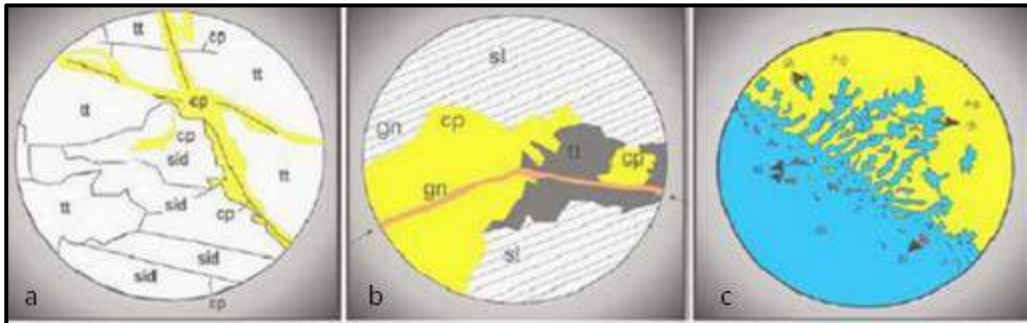
proses-proses, di antaranya adalah pelarutan dan presipitasi, oksidasi, dan difusi fase padat (Guilbert dan Park,1986).

Batas di antara mineral yang diganti dan yang mengganti umumnya tajam atau tidak beraturan (*careous*, atau tekstur *corroded*) atau *diffuse*. Beberapa jenis geometri *replacement* berupa *rim*, *zonal*, *frontal*. Tekstur *replacement* bergantung pada kondisi ketika mineral tersebut digantikan, diantaranya adalah permukaan yang tersedia untuk terjadinya reaksi, struktur kristal mineral primer dan sekunder, dan komposisi kimia mineral primer dan fluida reaktif (Guilbert dan Park,1986).



**Gambar 2.9** Kenampakan yang menunjukkan tekstur *replacement* (Guilbert dan Park, 1986).

- a. *Pseudomorf*, bementit mengganti sebagian kristal karbonat,
- b. Bornit mengganti pada bagian tepi dan rekahan kalkopirit, dan
- c. Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang berbeda.



**Gambar 2.10** Kenampakan yang menunjukkan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986).

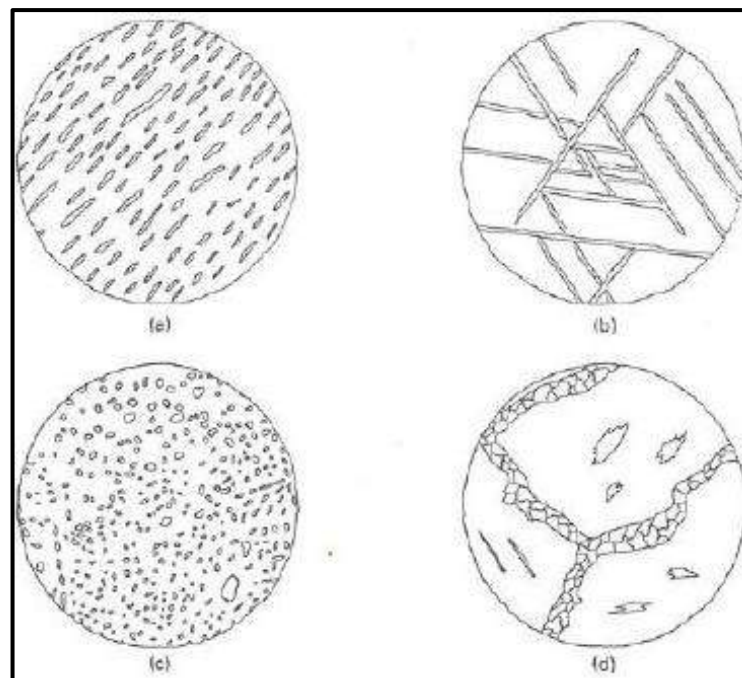
- a). Urat kalkopirit yang saling memotong, tidak memperlihatkan pergeseran,
- b). Komposisi mineral yang tidak simetris pada dinding rekahan, dan
- c). Kenampakan tumbuh bersama yang tidak teratur pada bagian tepi mineral.

Proses ubahan dibentuk oleh penggantian sebagian atau seluruhnya tubuh mineral menjadi mineral baru. Karena pergerakan larutan selalu melewati pori, rekahan atau rongga, maka tekstur *replacement* selalu perpasangan dengan tekstur pengisian. Oleh karena itu mineralogi pada tekstur *replacement* relatif sama dengan mineralogi pada tekstur pengisian. Akan tetapi, mineralogi pengisian cenderung berukuran lebih besar. Berikut beberapa contoh kenampakan tekstur *replacement* (Guilbert dan Park, 1986).

- a. *Pseudomorf*, walaupun secara komposisi sudah tergantikan menjadi mineral baru, seringkali bentuk mineral asal masih belum berubah,
- b. *Rim* mineral pada bagian tepi mineral yang digantikan,
- c. Melebarnya urat dengan batas yang tidak tegas,
- d. Tidak adanya pergeseran urat yang saling berpotongan,
- e. Mineral pada kedua dinding rekahan tidak sama, dan
- f. Adanya mineral yang tumbuh secara tidak teratur pada batas mineral lain.

## 2. Tekstur Akibat Proses Pendinginan (*Cooling*)

Mineral- mineral yang terbentuk sebagai larutan padat homogen, pada saat temperatur mengalami penurunan, komponen terlarut akan memisahkan diri dari komponen pelarut, membentuk tekstur eksolusi. Kenampakan komponen (mineral) terlarut akan membentuk inklusi-inklusi halus pada mineral pelarutnya. Inklusi- inklusi ini kadang teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur. Adanya tekstur eksolusi menunjukkan adanya temperatur pembentukan yang relatif tinggi, sekitar 300°-600°C. Proses eksolusi terbentuk dari difusi, nukleasi kristalit, dan pertumbuhan kristalit atau kristal. Depleksi material terlarut di sekitar fragmen yang besar, dikenal dengan *seriate distribution*.



**Gambar 2.11** Kenampakan tekstur akibat proses pendinginan (Evans,1987).

- a. Pemilahan mineral hematit dalam ilmenit
- b. Eksolusi lembaran ilmenit dalam magnetit
- c. Eksolusi butiran kalkopirit dalam sfalerit
- d. *Rim* eksolusi pentlandit dari pirhotit

Eksolusi hematit dan ilmenit (dalam proporsi yang bervariasi) dihasilkan dari pendinginan dan secara umum ditemukan pada banyak batuan beku dan metamorf *high - grade*. *Black sands*, yang terakumulasi di banyak lingkungan sedimen biasanya mengandung proporsi *intergrowth* hematit - ilmenit yang besar. Dikebanyakan tipe endapan, sphalerit mengandung kalkopirit dalam bentuk dispersi acak atau memanjang mengikuti orientasi kristalografi, dikenal dengan tekstur *chalcopyrite disease*. Tekstur *chalcopyrite disease* merupakan tekstur eksolusi akibat pendinginan bijih setelah penempatan (Evans, 1987).

## **2.7 Paragenesa Mineral Bijih**

Paragenesa dalam konteks mineralisasi adalah suatu metode untuk menentukan waktu pembentukan dari asosiasi mineral atau beberapa mineral yang berbeda dengan mengidentifikasi jenis mineral dan karakteristik tekstur yang hadir pada suatu lingkungan pengendapan (Craig dan Vaughan, 1981). Paragenesa ini juga sebagai alat bantu untuk mengestimasi kondisi kesetimbangan dari pembentukan mineral bijih. Untuk menentukan paragenesa diperlukan analisa detail dari sayatan poles (mineragrafi) dengan bantuan mikroskop cahaya pantul. Hal-hal yang perlu diidentifikasi dalam melakukan paragenesa mineral bijih adalah pertama dengan mengidentifikasi jenis mineral yang hadir, kemudian mengidentifikasi tekstur yang ada, dan terakhir mendiagnosa kenampakan mineral berdasarkan urutan-urutan waktu dari gabungan dua tahap sebelumnya.