

SKRIPSI

**ALTERASI DAN MINERALISASI GRANIT DAERAH SUNGAI PAGU
KABUPATEN SOLOK SELATAN PROVINSI SUMATRA BARAT**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD IQBAL HUSEN
D061171311**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ALTERASI DAN MINERALISASI GRANIT DAERAH SUNGAI PAGU
KABUPATEN SOLOK SELATAN PROVINSI SUMATRA BARAT**

Disusun dan diajukan oleh :

**MUHAMMAD IQBAL HUSEN
D061171311**

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L. M.T.
NIP. 1959020 219860 1 001



Dr. Ir. Hj. Rohava Langkoke, M.T.
NIP. 19581210 198601 2 001

*Ace y sidiq
- snyau*

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002

SARI

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam wilayah daerah Sungai Pagu, Kabupaten Solok Selatan, Sulawesi Selatan. Secara geografis terletak pada koordinat sampai dengan $101^{\circ}07'02,36''$ BT - $101^{\circ}14'59,4''$ BT dan $2^{\circ}56'00''$ LS - $2^{\circ}59'00''$ LS. Penelitian dengan judul “Alterasi dan Mineralisasi Granit Daerah Sungai Pagu Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatera Barat” dimaksudkan untuk mengetahui potensi sumber daya batuan granit daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi yang terjadi serta mengetahui tipe endapan hidrotermal pada batuan granit daerah penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode geologi lapangan serta pengolahan data meliputi pengamatan petrografi, mineragrafi, dan analisis *atomic absorption spectrometry* (AAS).

Mineral alterasi yang terbentuk pada daerah penelitian yaitu kuarsa, serisit, dan klorit dan mineralisasi berupa pirit, kalkopirit, sfalerit, dan mineral oksida dengan tekstur khusus mineral berupa tekstur *open space filling (comb)* dan *replacement*. Adapun tipe alterasi pada daerah penelitian yaitu tipe alterasi silisik yang terbentuk pada kisaran suhu 210°C - 300°C dan tipe alterasi filik yang terbentuk pada kisaran suhu 140°C - 300°C . Tipe endapan hidrotermal pada daerah Sungai Pagu merupakan tipe endapan epitermal sulfidasi rendah (*Epithermal Low Sulfidation*).

Kata kunci : *Alterasi, Mineralisasi, Epithermal Low Sulfidation.*

ABSTRACT

Administratively The research area is included in the Sungai Pagu area, South Solok Regency, South Sulawesi. Geographically located at coordinates up to 101°07'02.36" E - 101°14'59.4" E and 2°56'00" S - 2°59'00" S. The study entitled "Granite Alteration and Mineralization of the Pagu River Area, South Solok Regency, West Sumatra Province" is intended to determine the potential of granite rock resources in the research area. The purpose of this study is to determine the characteristics of alteration and mineralization that occur and determine the type of hydrothermal deposits in granite rocks in the study area. The methods used in this study are field geology methods and data processing including petrographic observations, mineragraphy, and analysis atomic absorbtion spectrometry (AAS).

Alteration minerals formed in the study area are quartz, serisite, and chlorite and mineralization in the form of pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and oxide minerals with special mineral textures in the form of open space filling (comb) and replacement textures. The types of alterations in the research area are silicic alteration types formed in the temperature range of 210oC-300oC and phyrice alteration types formed in the temperature range of 140oC-300oC. The type of hydrothermal deposits in the Pagu River area is a type of epithermal low sulfidation deposits.

Keywords: *Sungai Pagu, Alteration, Mineralization, Ephithermal Low Sulfidation.*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan pemetaan geologi dengan judul **“Alterasi dan Mineralisasi Granit Daerah Sungai Pagu Kabupaten Solok Selatan Provinsi Sumatra Barat”** ini bisa diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam juga senantiasa kita kirimkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menjadi teladan terbaik bagi umat manusia.

Laporan pemetaan ini di buat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Deprtemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan laporan pemeteaan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T. sebagai pembimbing utama yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T. sebagai pembimbing pendamping yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga selama memberikan bimbingan dalam pengerjaan laporan ini.
3. Bapak Dr. Ir. Hamid Umar, Ms. dan Prof. Dr.Eng. Adi Maulana, S.T. M.Phil. selaku dosen penguji atas segala masukan dan bimbingannya kepada penulis.

4. Kepala Departemen Teknik geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya.
5. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan baik secara materil maupun moril.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya.
7. Para staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.
8. Saudara Agussalim yang telah menemani penulis selama mengambil data di lapangan.
9. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Geologi UNHAS, terkhusus pada angkatan 2017 (R17PTORZ) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari banyaknya ketidaksempurnaan yang terdapat pada tulisan ini. Olehnya itu penulis sangat mengaharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Akhir kata semoga pada tulisan ini dapat bernilai positif bagi para pembaca maupun penulis.

Makassar, Juni 2023

Penyusun

Muhammad Iqbal Husen

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SARI	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Letak, Waktu dan Kesampaian Daerah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Geologi Regional	4
2.1.1 Geomorfologi Regional	4
2.1.2 Stratigrafi Regional	5
2.1.3 Struktur Geologi regional.....	6
2.2 Alterasi Hidrotermal	7
2.2.1 Faktor yang Memengaruhi Proses Alterasi	8
2.2.2 Zona Alterasi	9
2.2.3 Endapan Epitermal	15
2.2.3.1 Pembagian Endapan Epitermal	15
2.2.3.2 Tekstur Endapan Epitermal	22
2.3 Tekstur Khusus Mineral	27
2.3.1 Tekstur Primer	27
2.3.2 Tekstur Sekunder	31

2.4	Paragenesa Mineral Bijih	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Metode Penelitian	35
3.2	Tahapan Penelitian	35
3.2.1	Persiapan	36
3.2.2	Kegiatan lapangan	36
3.2.3	Evaluasi dan Pengolahan Data	37
3.2.4	Ciri Litologi	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Geologi Daerah Penelitian	38
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian.....	38
4.1.1.1	Sungai	39
4.1.2	Stratigrafi Daerah Penelitian	41
4.1.2.1	Satuan Granit	41
4.2	Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian	44
4.2.1	Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian	44
4.2.1.1	Tipe Alterasi Hidrotermal Daerah Penelitian	53
4.2.1.2	Mineral Bijih Daerah Penelitian	54
4.2.1.3	Tekstur Khusus Mineral Daerah Penelitian	55
4.2.1.4	Paragenesa Mineral Bijih Daerah Penelitian	57
4.2.2	Tipe Endapan Mineral Daerah Penelitian	58
BAB V PENUTUP		62
7.1	Kesimpulan	62
7.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		
Deskripsi Pertografi Batuan		
LAMPIRAN LEPAS		
1. Peta Stasiun		
2. Peta Geomorfologi		
3. Peta Pola Aliran dan Tipe Genetik Sungai		

4. Peta Struktur Geologi
5. Peta Geologi
6. Peta Bahan Galian

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian	3
Gambar 2.1	Peta Geologi Lembar Pananinan	13
Gambar 2.2	Diagram hubungan antara suhu–pH dan jenis alterasi serta himpunan mineral-mineral pencirinya. (Corbett & Leach (1996) dalam Maulana (2017))	14
Gambar 2.3	Skema tipe endapan epitermal. (Hedenquist & Lowenstern (1994) dalam Maulana (2017))	15
Gambar 2.4	Model konseptual dari endapan hidrotermal yang memperlihatkan pembagian endapan epitermal menjadi <i>high</i> dan <i>low sulphidation</i> , tembaga porfiri, dan endapan skarn (Corbett (2009) dalam Maulana (2017))	16
Gambar 2.5	Model skematik sistem endapan HS (Arribas, dkk. (1995) dalam Maulana (2017)). (a) Proses awal ketika uap magma yang dominan mengakibatkan proses leaching pada batuan sampling dan membentuk alterasi argilik lanjutan. (b1) Tahap pengendapan bijih ketika emas diangkut dalam bentuk klorida kompleks. (b2) Tahap pengendapan bijih ketika emas tertransportasi dalam bentuk bisulfida kompleks	20
Gambar 2.6	Model skematik dari sistem endapan low-sulphidation. (Hedenquist, dkk. (2000) dalam Maulana (2017))	22
Gambar 2.7	Kenampakan tekstur khusus pada endapan mineral bijih. (Morrison dkk., 1990) dalam Maulana (2017))	27
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	31
Gambar 2.9	Kenampakan yang menunjukkan tekstur replacement (Guilbert dan Park, 1986). a.Pseudomorf, bementit mengganti sebagian kristal karbona, b. Bornit mengganti pada bagian tepi dan rekahan	

	kalkopirit, dan c. Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang berbeda.	32
Gambar 2.10	Kenampakan tekstur akibat proses pendinginan (Evans,1987). a. Pemilahan mineral hematit dalam ilmenite b. Eksolusi lembaran ilmenit dalam magnetit c. Eksolusi butiran kalkopirit dalam sfalerit. d. Rim eksolusi pentlandit dari pirhotit	33
Gambar 3.1	Diagram alir	37
Gambar 4.1	Kenampakan bentangalam perbukitan pada daerah penelitian. Difoto dengan arah N 327° E	39
Gambar 4.2	Kenampakan singkapan dengan tingkat pelapukan tinggi. Difoto dengan arah N 12° E	39
Gambar 4.3	Kenampakan sungai periodik pada daerah penelitian. Difoto dengan arah N 89° E	40
Gambar 4.4	Kenampakan tipe genetik sungai insekuen pada daerah penelitian. Difoto dengan arah N 223° E	41
Gambar 4.5	Foto <i>close up</i> singkapan granit pada stasiun pengamatan 001- RO. Difoto dengan arah N 297° E	42
Gambar 4.6	Kenampakan mikroskopis granit pada stasiun 001-RO dengan komposisi mineral terdiri dari ortoklas (Ort), piroksin (Prx), kuarsa (Qz), dan mineral opak (Opq)	43
Gambar 4.7	Kenampakan singkapan batuan granit yang teroksidasi kuat dan <i>vein</i> kuarsa	45
Gambar 4.8	Kenampakan mikroskopis sayatan 001-CH yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral alterasi berupa mineral serisit (Ser), klorit (Chl), ortoklas (Ort), piroksin (Px), kuarsa (Qz), dan Opaq (Opq)	45
Gambar 4.9	Fotomikrograf sayatan poles 001-CH terdiri dari mineral pirit (Py), kalkopirit (Cp), sfalerit (Sph), dan Mineral Oksida (Ox)	46
Gambar 4.10	Foto <i>close up</i> singkapan granit pada stasiun pengamatan 003- RO. Difoto dengan arah N 206° E	46

Gambar 4.11	Kenampakan mikroskopis sayatan 003-RO yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral alterasi berupa mineral ortoklas (Ort), kuarsa (Qz), piroksin (Prx), dan opaq (Opq)	47
Gambar 4.12	Fotomikrograf sayatan poles 003-RO terdiri dari mineral pirit (Py), kalkopirit (Cp) dan sfalerit (Sph)	48
Gambar 4.13	Foto <i>close up</i> singkapan granit pada stasiun pengamatan 005- RO. Difoto dengan arah N 273° E	49
Gambar 4.14	Kenampakan mikroskopis sayatan 005-RO yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral alterasi berupa mineral ortoklas (Ort), kuarsa (Qz), piroksin (Prx), dan opaq (Opq)	49
Gambar 4.15	Fotomikrograf sayatan poles 005-RO terdiri dari mineral pirit (Py), kalkopirit (Cp), dan sfalerit (Sph)	50
Gambar 4.16	Foto <i>close up</i> singkapan granit pada stasiun pengamatan 007- RO. Difoto dengan arah N 297° E	51
Gambar 4.17	Kenampakan mikroskopis sayatan 007-RO yang menunjukkan kehadiran beberapa mineral alterasi berupa mineral ortoklas (Ort), kuarsa (Qz), piroksin (Prx), dan opaq (Opq)	51
Gambar 4.18	Fotomikrograf sayatan poles 007-RO terdiri dari mineral pirit (Py) dan kalkopirit (Cp)	52
Gambar 4.19	Tekstur <i>Comb</i> Pada Stasiun 001-CH	56
Gambar 4.20	Tekstur replacement pada pirit oleh kalkopirit	57
Gambar 4.21	Tekstur replacement pada pirit oleh sfalerit dan mineral oksida.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert & Park (1986) dalam Maulana (2017))	35
Tabel 2.2	Karakteristik lapangan untuk membedakan tipe endapan epitermal (Corbett & Leach (1996) dalam Maulana (2017))	35
Tabel 4.1	Kolom stratigrafi daerah penelitian	43
Tabel 4.2	Data analisis kandungan unsur logam dengan metode AAS	52
Tabel 4.3	Kisaran temperatur pembentukan tipe alterasi sierisitik pada stasiun 001-CH daerah Sungai Pagu (Reyes, 1990 dan Henley dan Ellis, 1983)	53
Tabel 4.4	Kisaran temperatur pembentukan tipe alterasi sierisitik pada stasiun 001-CH daerah Sungai Pagu (Reyes, 1990 dan Henley dan Ellis, 1983)	54
Tabel 4.5	Paragenesa mineral bijih daerah Sungai Pagu	58
Tabel 4.6	Karakteristik endapan mineral daerah Sungai Pagu	59
Tabel 4.7	Kesebandingan karakteristik tipe endapan epitermal pada daerah penelitian	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Sumatera Barat memiliki kondisi fisiografis yang kompleks yaitu: wilayah pegunungan vulkanik, perbukitan lipatan tersier, dan wilayah dataran rendah. Wilayah pegunungan vulkanik terletak pada bujur tengah Provinsi Sumatera Barat yang membentang dari bagian selatan hingga utara provinsi dan adanya Patahan Semangko di tengahnya. Lalu juga terdapat perbukitan lipatan tersier membentang di bagian timur pegunungan vulkanik tersebut.

Dari adanya perbukitan lipatan ini, di beberapa daerah memiliki deposit batu bara. Selain batu bara, Provinsi Sumatera Barat juga memiliki potensi barang tambang lain seperti yaitu emas (Au), disusul dengan adanya timah hitam (Pb), seng (Zn), mangan (Mn), batu bara, batu besi, batu galena, dan masih banyak jenis lainnya. Dengan demikian banyak anggapan bahwa Provinsi Sumatera Barat merupakan daerah yang memiliki potensi tambang yang sangat kaya dan luas. Seperti yang kita tahu, sektor pertambangan dibagi menjadi 3 bagian yaitu golongan A, golongan B, dan golongan C.

Berdasarkan laporan Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sumatera Barat (2014), kabupaten-kabupaten yang memiliki cadangan emas adalah Lima puluh kota, Sijunjung, Pasaman, Pesisir Selatan, Solok, Solok Selatan, dan Dharmasraya. Pada wilayah-wilayah tersebut, kandungan emasnya telah lama dieksploitasi oleh masyarakat dengan cara tradisional yaitu dengan cara mendulang emas serta dilakukan penyaringan secara mekanis dengan mesin pompa dan sedot.

Salah satu daerah penghasil barang tambang yaitu Kabupaten Solok Selatan yang memiliki potensi besar untuk menghasilkan emas dan bijih besi. Keberadaan tambang emas ini terdapat di sejumlah lokasi seperti: Sungai Batujuaro, Sungai Batang Hari, Sungai Sapek, Sungai Bangko, Sungai Kandi, Sungai Palabihan dan Sungai Simabu. Dari potensi tersebut maka dilakukanlah eksplorasi awal guna mengetahui alterasi dan mineralisasi sebagai data parameter potensi keterdapatan emas di lokasi penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana penyebaran alterasi dan kondisi mineralisasi batuan granit pada daerah penelitian.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini membahas mengenai kondisi alterasi dan mineralisasi batuan granit pada daerah penelitian.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi sumber daya batuan granit daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi yang terjadi serta mengetahui tipe endapan hidrotermal pada batuan granit daerah penelitian.

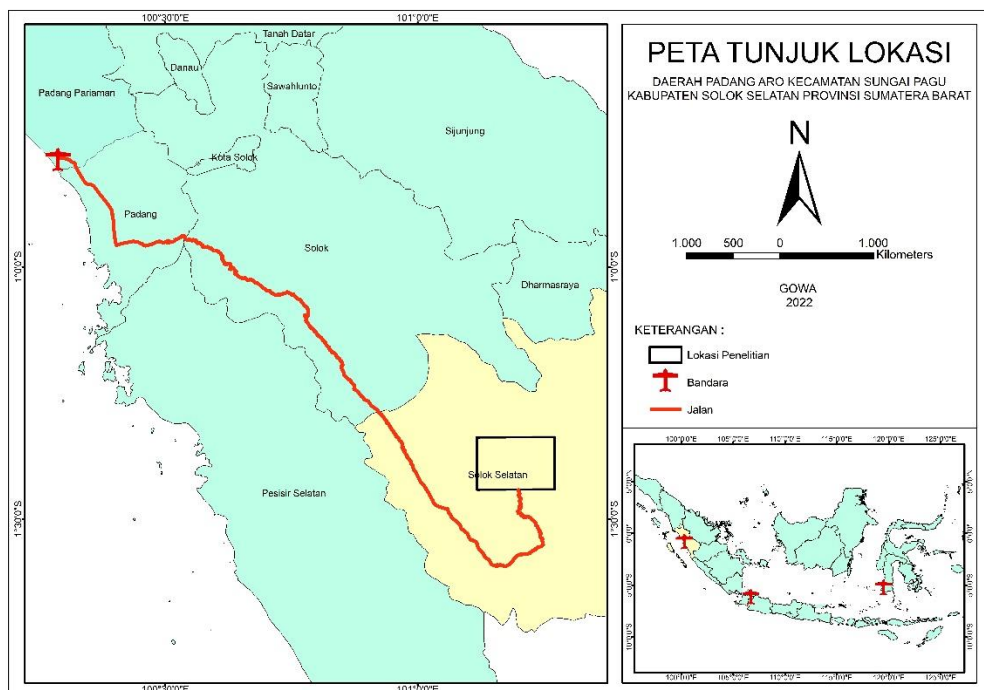
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai potensi mineral-mineral melalui kondisi alterasi dan mineralisasi yang terjadi.

1.6 Letak, Waktu dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk Kecamatan Sungai Pagu, Kabupaten Solok Selatan, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat $101^{\circ}07'02,36''$ sampai dengan $101^{\circ}14'59,4''$ BT dan $01^{\circ}20'16,82''$ sampai dengan $01^{\circ}26'28,25''$ LS. Penelitian ini dilakukan selama 8 hari yaitu mulai tanggal 15 agustus – 27 agustus 2022.

Akses menuju lokasi dapat ditempuh dari Makassar - Jakarta - Padang dengan penerbangan reguler selama sekitar 3 jam 45 menit. Dilanjutkan perjalanan dimulai dari Kota Padang menuju Padang Aro dengan kendaraan roda empat melalui jalan provinsi yang cukup bagus dengan jarak tempuh sekitar 5-6 jam. Untuk selanjutnya dari Padang Aro menuju area penyelidikan dapat ditempuh sekitar 4-5 jam dengan menggunakan kendaraan roda empat dengan kondisi jalan tanah dan sebagian berbatu.



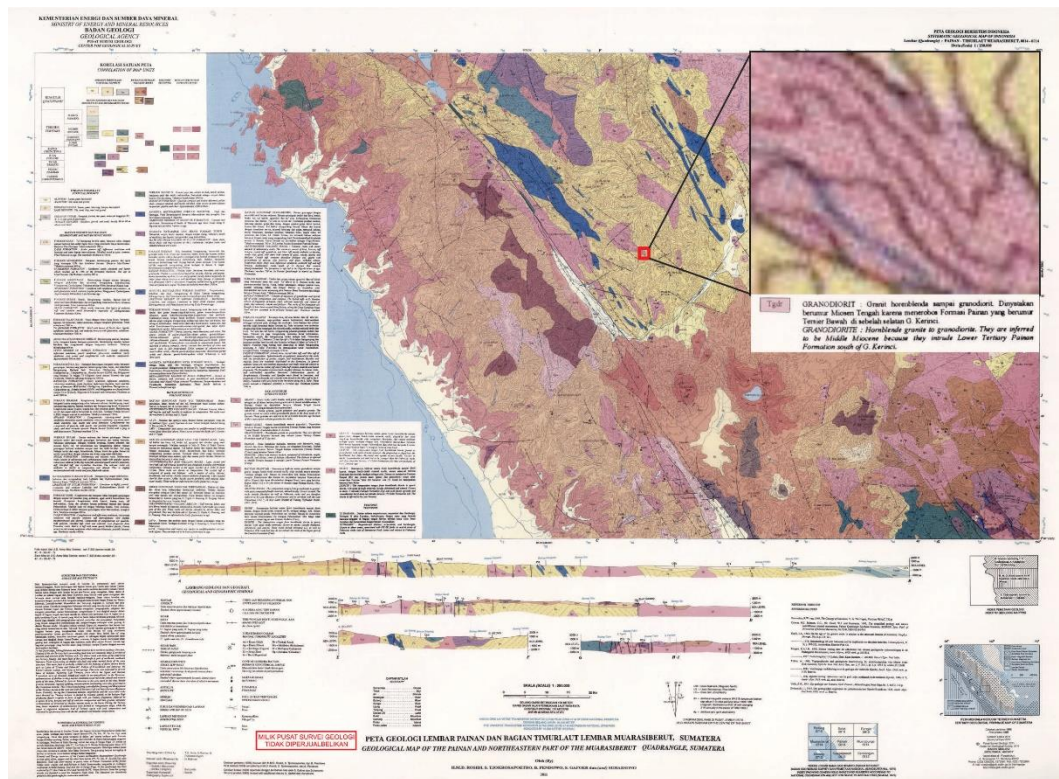
Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Geologi regional daerah penelitian termasuk pada Peta Geologi Regional Lembar Painan skala 1:250.000 (S. Gatoer dan Suharsono, dkk., 1996).



Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Paninan

2.1.1 Geomorfologi Regional

Fisiografi Pulau Sumatera merupakan suatu pulau yang memiliki orientasi fisiografi berarah barat laut dan terletak di bagian barat Paparan Sunda dan di selatan Lempeng Eurasia. Pulau ini memiliki dimensi panjang sekitar 1.760 km dan lebar 400 km dan kisaran luas sekitar 435 km². Geografi yang khas dari Pulau Sumatera yaitu adanya Pegunungan Bukit Barisan di sebelah barat pulau ini dan

memanjang pada seluruh panjang pulau dalam bentuk sabuk yang sempit, paralel, dan umumnya berjarak hanya beberapa puluh kilometer dari pantai baratdaya.

Secara fisiografi, Pulau Sumatera terbagi atas 6 zona fisiografi (Gambar 2.1), yaitu:

- a. Zona Jajaran Barisan
- b. Zona Semangko
- c. Zona Pegunungan Tigapuluh
- d. Zona Kepulauan Busur Luar
- e. Zona Paparan Sunda
- f. Zona Dataran Rendah dan Berbukit

Berdasarkan pembagian zona di atas dan sesuai dengan letak geografisnya, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Jajaran Barisan. Zona ini dicirikan oleh topografi yang kasar, tersusun dari batuan sedimen malihan dan batuan beku yang terpotong oleh lembah - lembah yang dikontrol oleh sesar.

2.1.2 Stratigrafi Regional

Susunan stratigrafi regional di daerah penelitian berurutan dari formasi batuan termuda sampai formasi batuan tertua sebagai berikut:

- a. Batuan Granitan (Kgr), susunannya berkisar antara granodioritan sampai granit dengan bintik - bintik mineral mafik. Batuan ini berupa *stock*. Batuan ini menerobos batuan Paleozoikum dan Mesozoikum sehingga diasumsikan batuan ini berusia Kapur.

- b. Anggota Batugamping Formasi Barisan (Pbl), batugamping terhablur dan pejal berwarna abu-abu muda sampai tua. Batuan berusia Karbon hingga Perm.
- c. Formasi Barisan (Pb) berupa filit dengan komposisi mika, serisit, klorit dan kuarsa. Terdapat pula batusabak, batugamping, batutanduk dan *greywake* meta. Terdapat urat kuarsa hasil sulfida magmatik. Tebalnya diperkirakan 3500 m. batuan berusia Karbon hingga Perm.

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Secara umum arah struktur geologi di lembar Painan adalah baratlaut - tenggara. Pada batuan pra-Tersier selain arah tersebut terdapat arah timurlaut - baratdaya dan utara - selatan. Perlipatan pada batuan Tersier mempunyai kemiringan pada umumnya tidak lebih dari 20 derajat, sedangkan pada batuan pra-Tersier lebih tajam. Sesar utama di daerah ini adalah bagian dari sesar Sumatera yang berarah baratlaut-tenggara dan berupa sesar geser mengangan yang berkaitan dengan pembentukan gunung berapi. Selain itu terdapat pula yang berarah timurlaut- baratdaya dan utara-selatan.

Orogenesa pertama terjadi pada Mesozoikum Tengah, mengakibatkan batuan berumur Paleozoikum dan Mesozoikum Awal mengalami perlipatan, pensesaran, metamorfisme, dan penerobosan oleh tubuh granit. Orogenesa pertama ini menghasilkan pola struktur berarah baratlaut-tenggara, sejajar dengan batas penyebaran batuan Pra-Tersier. Orogenesa kedua terjadi pada Kapur Akhir - Eosen, menghasilkan pola struktur berarah utara - selatan yang berkaitan dengan transform fault. Pola struktur yang dihasilkan oleh orogenesa pertama dan kedua ini

membentuk konfigurasi batuan dasar yang berupa *half graben*, *horst*, dan *fault block*. Orogenesa ketiga terjadi pada Plio- Plistosen, menghasilkan pola struktur berarah barat laut-tenggara dan depresi ke arah timur laut (De Coster,1974). Pola struktur Plio-Pleistosen ini dibentuk oleh:

- a. Semangko Wrench Fault.
- b. Perlipatan-perlipatan dengan arah barat laut - tenggara.
- c. Patahan yang berasosiasi dengan perlipatan dan juga peremajaan sesar - sesar Pra-Tersier.

2.2 Alterasi Hidrotermal

Hal yang sangat penting dalam mengenali endapan bijih tipe terutama endapan magmatik dan hidrotermal adalah kehadiran kumpulan mineral tertentu pada batuan yang dilalui oleh larutan hidrotermal sebagai respons akibat adanya reaksi antara larutan dengan batuan sampling. Kumpulan mineral tersebut hadir dalam bentuk zona dan antara zona yang satu dengan yang lainnya dibatasi dengan adanya kehadiran mineral-mineral khas. Proses ini disebut dengan alterasi hidrotermal dan daerah tempat pengaruh interaksi larutan tersebut dengan batuan sampling atau *wall rock* disebut dengan *wall rock alteration* yang pada umumnya akan membentuk zona kumpulan mineral-mineral tertentu yang terbentuk dari hasil ubahan akibat larutan hidrotermal (Maulana, 2017).

Alterasi hidrothermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan akibat adanya interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan tersebut. 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 karena terjadi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh akibat adanya interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling (*wall rock*) yang dilaluinya pada kondisi fisika-kimia tertentu (Pirajno, 2009).

Ada tiga hal yang menjadikan penyelidikan terhadap proses alterasi sangat penting dalam mempelajari suatu endapan hidrotermal, yaitu;

- a. komposisi kimia dan struktur dari mineral-mineral yang terbentuk dari hasil proses alterasi merupakan respons terhadap kondisi pembentukannya. Oleh karena itu, mineral atau kumpulan mineral-mineral alterasi akan memberikan informasi tentang kondisi kimia-fisika dari proses hidrotermal yang terjadi;
- b. mineral-mineral alterasi pada umumnya dijumpai pada zona yang akan menggambarkan kondisi pembentukannya;
- c. mengenali zonasi mineral-mineral hasil alterasi akan sangat membantu dalam mengidentifikasi jalur dari larutan hidrotermal yang akan membawa kita kepada jalur mineralisasi.

Alterasi hidrotermal meliputi proses-proses geokimia seperti proses hidrasi, hidrolisis, reaksi redoks, dan sulfidasi serta proses-proses lainnya.

2.2.1 Faktor yang Memengaruhi Proses Alterasi

Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal adalah suhu, kimia fluida (pH), komposisi batuan sampling, durasi aktivitas hidrotermal dan permeabilitas. Namun, faktor kimia fluida (pH) dan suhu merupakan faktor yang paling berpengaruh (Corbett dan Leach, 1996).

a. Suhu

Suhu merupakan hal yang paling penting dalam proses alterasi karena hampir semua reaksi kimia yang terjadi diakibatkan oleh adanya kenaikan suhu.

b. Permeabilitas

Permeabilitas dari suatu batuan akan menentukan intensitas pengaruh larutan hidrotermal terhadap batuan dan kecepatan presipitasi mineral-mineral baru. Batuan yang memiliki permeabilitas kecil akan menyebabkan tingkat pengaruh alterasi yang tidak signifikan.

c. Komposisi awal dari batuan

Komposisi kimia awal dari batuan yang terkena larutan hidrotermal akan menentukan komponen-komponen yang akan terbentuk akibat proses alterasi.

d. Komposisi fluida

pH dan komposisi fluida mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam menentukan tingkat kecepatan dan jenis mineral-mineral hidrotermal yang terbentuk.

Proses alterasi hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral atau mineral *assemblage* (Guilbert & Park, 1986). Hal ini menyebabkan kehadiran himpunan mineral tertentu dalam suatu ubahan batuan akan mencerminkan komposisi pH larutan dan suhu fluida tipe alterasi tertentu.

2.2.2 Zona Alterasi

Suatu zona yang memperlihatkan adanya penyebaran himpunan mineral-mineral tertentu yang terbentuk dari hasil proses alterasi disebut sebagai zona

alterasi (*alteration zone*). Penggunaan istilah zona dan tipe terkadang membingungkan untuk pemula, namun hendaknya hal ini tidak untuk terlalu dipermasalahkan. Beberapa ahli telah melakukan pengelompokan alterasi berdasarkan parameter yang berbeda-beda, namun pada intinya pengelompokan tersebut untuk mempermudah dalam mempelajari proses alterasi yang terjadi (Lowell & Guilbert, 1970; Thomson & Thomson, 1996).

Umumnya pengelompokan tersebut didasarkan pada keberadaan himpunan mineral-mineral tertentu yang dijumpai pada suatu endapan. Tabel 2.1 memperlihatkan zona alterasi yang ditunjukkan oleh himpunan mineral tertentu dan tipe mineralisasinya berdasarkan hubungan antara suhu dan pH larutan yang dibuat oleh Guilbert & Park (1986).

Adapun macam macam macam alterasi yang umum dijumpai pada endapan hidrotermal menurut Adi Maulana (2017) antara lain:

a. Potasik

Jenis alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral ubahan berupa biotit sekunder, k-feldspar, kuarsa, serisit, dan magnetit. Biotit sekunder hadir akibat reaksi antara mineral-mineral mafik terutama hornblende dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar, maupun piroksin. Selain itu, tipe alterasi ini dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali felspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai asesori, serta sejumlah kecil albit dan titanit (*sphene*) atau rutil.

Alterasi potasik terbentuk pada daerah yang dekat dengan batuan beku intrusif porfiri, fluida yang panas ($>300^{\circ}\text{C}$), salinitas tinggi, dan dengan karakter

magmatik yang kuat. Alterasi ini diakibatkan oleh penambahan unsur potasium (K) pada proses metasomatis dan disertai dengan banyak atau sedikitnya unsur kalsium dan sodium di dalam batuan yang kaya akan mineral aluminosilikat. Mineralisasi yang umumnya dijumpai pada zona ubahan potasik ini terbentuk menyebar tempat mineral tersebut merupakan mineral-mineral sulfida yang terdiri atas pirit maupun kalkopirit dengan rasio yang relatif sama.

b. Filik

Tipe alterasi ini biasanya terletak pada bagian luar dari zona potasik terutama pada endapan tembaga porfiri. Batas zona alterasi ini berbentuk circular yang mengelilingi zona potasik yang berkembang pada intrusi pada endapan tembaga porfiri. Zona ini dicirikan oleh kumpulan mineral serisit (mika halus) dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pirit yang melimpah serta sejumlah anhidrit. Mineral bijih yang dijumpai berupa kalkopirit, tembaga dan native gold (emas). 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^+ , menjadi mineral filosilikat atau kuarsa. Zona ini tersusun oleh himpunan mineral kuarsa-serisit-pirit, dengan kehadiran pirit yang sangat melimpah yang umumnya tidak mengandung mineral-mineral lempung atau alkali feldspar. Zona ini terbentuk akibat influks air yang memiliki suhu yang lebih rendah dan fluida asam-netral, salinitas beragam, pada zona permeabel, dan pada batas dengan urat.

c. Argilik

Zona ini terdiri atas mineral lempung argilik seperti kaolinit dan montmorilonit. Kehadiran zona ini menandakan semakin intensnya kehadiran influks air meteorik yang memiliki suhu dan nilai pH yang lebih rendah. Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur 100°–300°C (Pirajno, 1992), fluida asam-netral, dan salinitas rendah.

d. Argilik lanjut (*advanced argilic*)

Pada 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 suhu tinggi, 250°–350°C), atau himpunan mineral kaolinit-alunit-kalsedon-kuarsa-pirit (untuk suhu rendah <180°).

e. Propilitik

Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit, dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur 200°–300°C pada pH mendekati netral, dengan salinitas beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah.

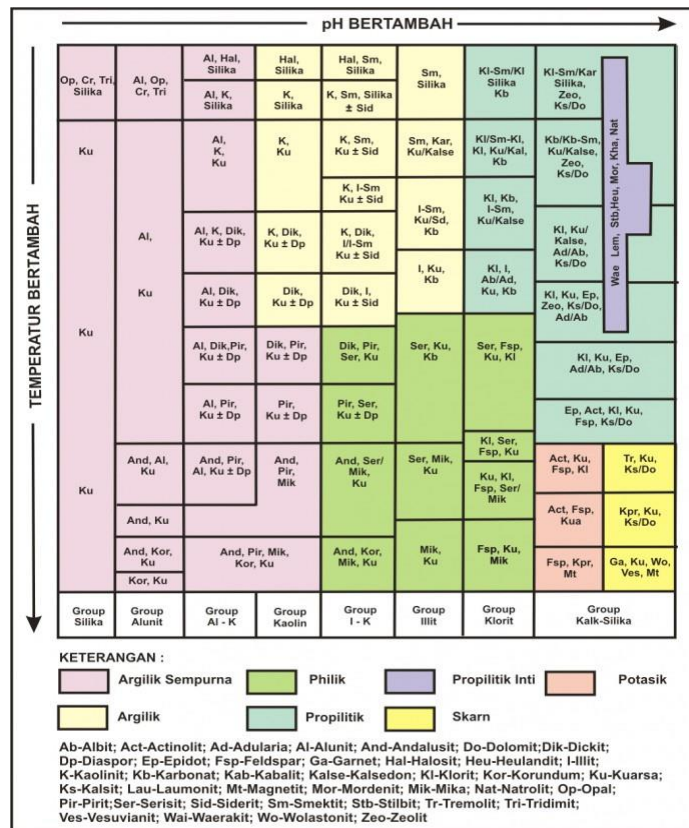
f. Propilitik dalam (*inner propilitik*)

Tipe alterasi ini dijumpai 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 bersuhu tinggi (>300°C) yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit.

Tabel 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert & Park (1986) dalam Maulana (2017))

Tipe	Mineral Kunci	Mineral Asesori	Keterangan
Argilik	Smektit,monmorilonit illite-smektit,kaolinit	Pirit, klorit, kalsit, kuarsa	Suhu 100–300°C, salinitas rendah, pH asam-netral
Propilitik	Klorit, epidot, karbonat	Albit, kuarsa, kalsit, pirit, lempung,oksida besi	Suhu 200–300°C, salinitas bervariasi, pH mendekati netral, permeabilitas rendah
Potasik	Adularia, biotit, kuarsa	Klorit, epidot, pirit, illit- serisit	Suhu >300°C, salinitas tinggi, dekat dengan intrusi
Filik	Kuarsa, serisi, pirit	Anhidrit, pirit,kalsit, rutil	Suhu 230–400°, 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	
Argilik lanjut (suhu rendah)	Kaolinit, alunite	Kalsedon, kristobalit, kuarsa, pirit	Suhu 180°C, pH asam
Argilik lanjut (suhu tinggi)	Pirofilit, diaspor, andalusit	Kuarsa, turmalin, energite, luzonit	Suhu 250–350°C, pH asam

Corbett dan Leach (1996) mengemukakan bahwa komposisi batuan sampling mempunyai peran yang sangat penting dalam mengontrol mineralogi alterasi. Mineralogi skarn yang dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral karbonat akan terbentuk pada batuan karbonatan, sementara kehadiran kumpulan mineral adularia dan K-felspar menunjukkan lingkungan batuan yang kaya akan kandungan potasium (K). Paragonit (Na-mika) akan hadir pada proses alterasi pada batuan yang kaya akan mineral dengan kandungan sodium (Na) seperti albit. Kehadiran muskovit menegaskan proses alterasi yang terjadi pada batuan kaya akan unsur potasik (K). Jenis alterasi juga mempunyai hubungan yang erat dengan temperatur dan pH dari batuan dan larutan hidrotermal. Gambar 2.1 memberikan gambaran hubungan dari ketiga hal tersebut.



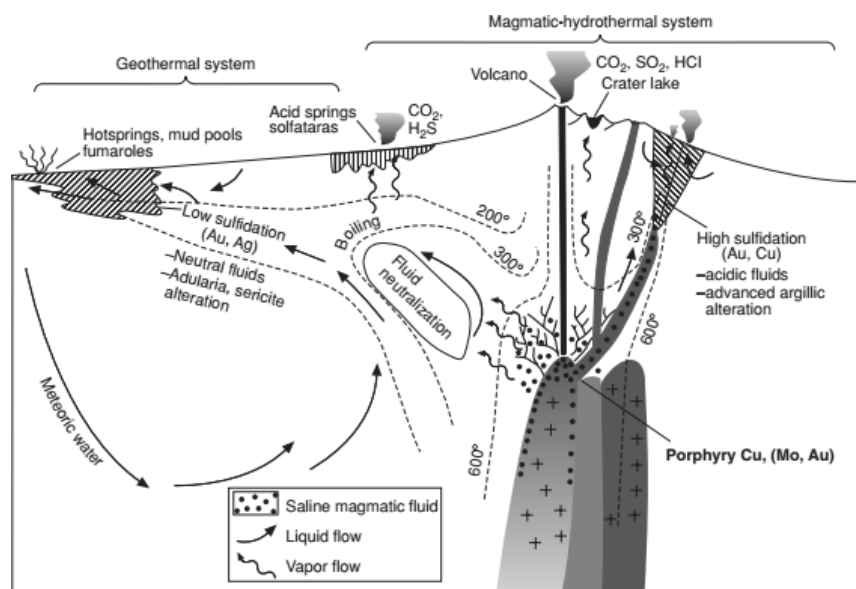
Gambar 2.2 Diagram hubungan antara suhu–pH dan jenis alterasi serta himpunan mineral-mineral pencirinya. (Corbett & Leach (1996) dalam Maulana (2017))

Zona alterasi di atas sering kali dijumpai tidak berurutan dan saling tumpang tindih satu sama lain yang disebut dengan *overprinting*. Pola alterasi tersebut akan sangat bergantung dari jenis endapan hidrotermal dan umumnya setiap jenis endapan akan memperlihatkan zonasi alterasi yang berbeda satu sama lainnya. Pada umumnya, zonasi alterasi yang dijumpai pada endapan epitermal akan memperlihatkan perubahan secara lateral dari tubuh batuan pembawa larutan hidrotermal ataupun dari tubuh *vein*, sedangkan untuk endapan tembaga porfiri, zonasi alterasi akan membentuk seperti sebuah penampang yang menyerupai halo yang berasosiasi dengan tubuh intrusi (Maulana, 2017).

2.2.3 Endapan Epitermal

Istilah 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*.

Endapan epitermal terbentuk dari larutan yang dilute (yang mengandung $\text{NaCl} < \text{dari } 5 \text{ wt\%}$) yang mengalami proses boiling (mendidih) pada suhu antara $200\text{--}300^\circ\text{C}$. Skema tipe endapan mineral jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



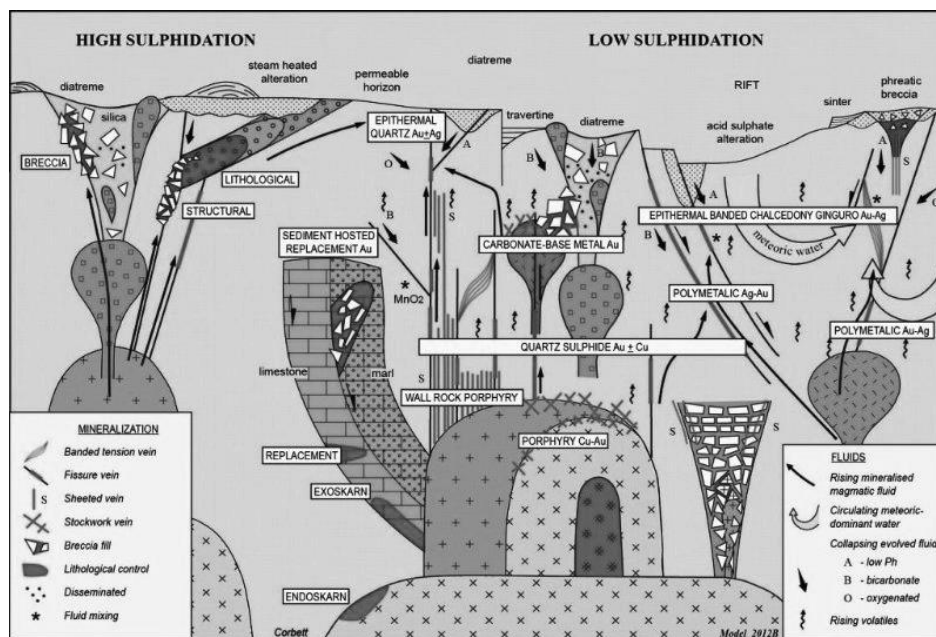
Gambar 2.3 Skema tipe endapan epitermal. (Hedenquist & Lowenstern (1994) dalam Maulana (2017))

2.2.3.1 Pembagian Endapan Epitermal

Secara umum, endapan epitermal terbagi atas dua tipe berdasarkan tingkat sulfidasinya atau tingkat oksidasi sulfur di dalam fluida bijihnya, yaitu:

- endapan tipe *high sulphidation* (sulfidasi tinggi; HS) yang terbentuk pada sistem vulkanik-hidrotermal;
- endapan tipe *low sulphidation* (sulfidasi rendah; LS) yang terbentuk pada sistem geotermal (Hedenquist, dkk., 2000; Corbett, 2013).

Walaupun kedua jenis endapan ini dihasilkan oleh sistem batuan beku yang sama, keduanya memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Penampang skematik kedua sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Model konseptual dari endapan hidrotermal yang memperlihatkan pembagian endapan epitermal menjadi *high* dan *low sulphidation*, tembaga porfiri, dan endapan skarn (Corbett (2009) dalam Maulana (2017)).

Istilah sulfidasi digunakan untuk menunjukkan kestabilan mineral-mineral pembawa sulfur. Untuk lebih jelasnya, perbedaan antara kedua tipe endapan ini dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Karakteristik lapangan untuk membedakan tipe endapan epitermal (Corbett & Leach (1996) dalam Maulana (2017))

	Sulfidasi Tinggi	Sulfidasi Rendah
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 di atas bijih
Sulfida <i>abundance</i>	10-90 vol%, terutama berbutir 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)

A. Sistem Endapan Sulfidasi Tinggi (*High Sulphidation*)

Endapan *high sulphidation system* 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 SO_2 , HCl, H_2S . SO_2 dan H_2S teroksidasi dan bereaksi dengan H_2O membentuk asam sulfur (H_2SO_4). 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 $200^\circ\text{--}300^\circ\text{C}$ dengan pH 0–2 dan salinitas 2–5 wt% 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-pyrite- barite-alunite* (Corbett, 2012).

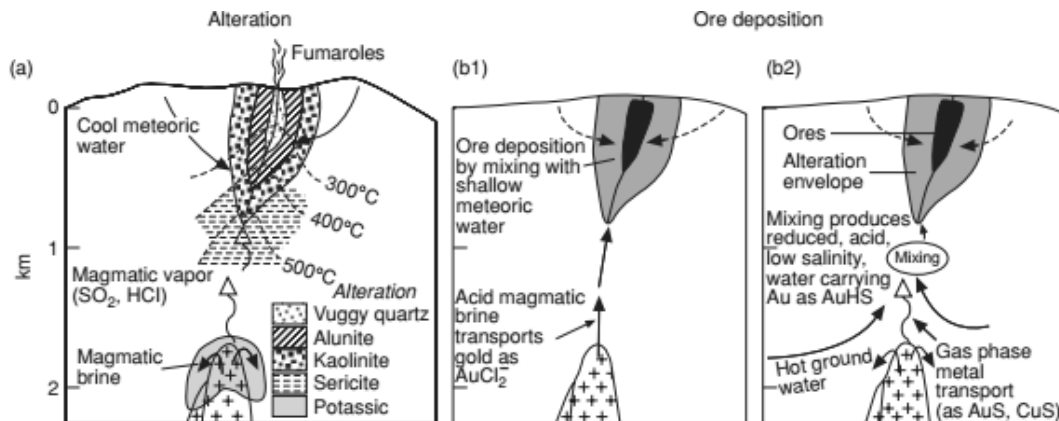
Fluida pembawa bijih terbagi menjadi dua, yaitu *volatile-rich phase* yang bergerak cepat dan *liquid-rich phase* yang bergerak agak lambat. Endapan ini juga dicirikan oleh kehadiran luzonit dan energit yang berasal dari *liquid-rich phase*. Selain itu, di beberapa tempat endapan jenis ini juga dicirikan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

Secara lokal, sistem endapan HS ditemukan menyebar luas pada daerah busur vulkanik. Endapan berkisar dari tipe yang dikontrol oleh struktur dan dengan kedalaman yang tinggi seperti *El-Indio*, sampai dengan endapan yang mempunyai

host-rock dangkal atau yang dikontrol oleh *breccia* seperti halnya Yanachoca (Peru), Pierina di Chile (Sillitoe, 1999). Pada skala regional, HS ditemukan berasosiasi dengan busur vulkanik yang bersifat *calc-alkaline* yang didominasi oleh gunung api andesitik. Pada umumnya HS terbentuk di bagian atas dari endapan porfiri tembaga-emas-molibdenum.

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., 1995; 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*.

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. Skema sistem endapan HS ini bisa dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Model skematik sistem endapan HS (Arribas, dkk. (1995) dalam Maulana (2017)). (a) Proses awal ketika uap magma yang dominan mengakibatkan proses leaching pada batuan sampling dan membentuk alterasi argilik lanjutan. (b1) Tahap pengendapan bijih ketika emas diangkut dalam bentuk klorida kompleks. (b2) Tahap pengendapan bijih ketika emas tertransportasi dalam bentuk bisulfida kompleks.

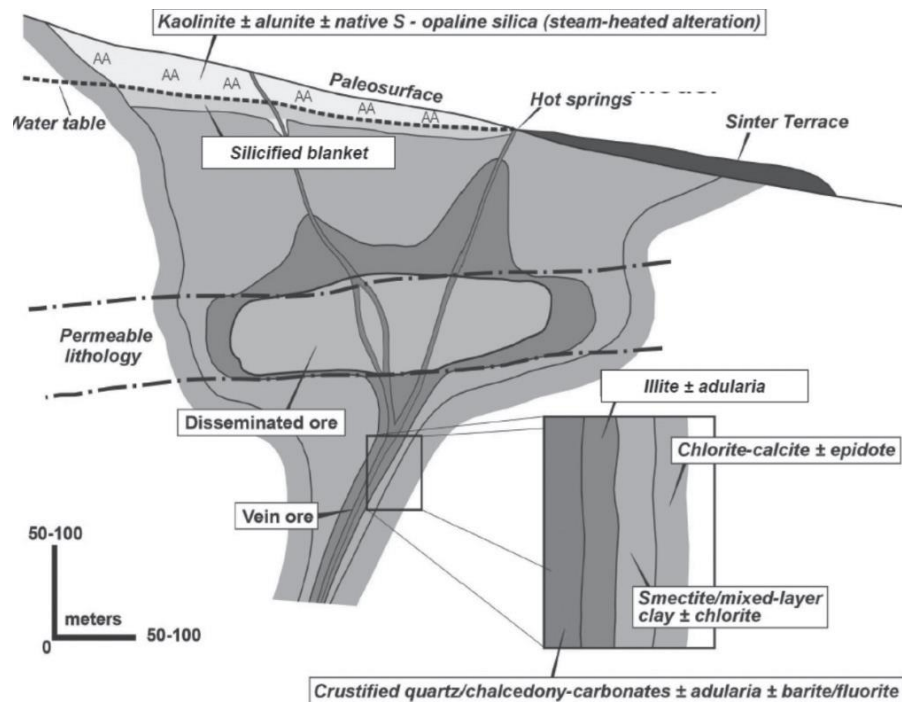
B. Sistem Endapan Sulfidasi Rendah (*Low Sulphidation*)

Endapan sistem sulfidasi rendah atau *low sulphidation system* dicirikan oleh larutan yang bersifat netral dalam kondisi reduksi yang mengandung S dan H₂S 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.

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 perlapisan yang bagus, sering dijumpai terjadi perulangan antara silika dan karbonat serta memperlihatkan tekstur pengisian rekahan (*open-space filling*).

Pola alterasi yang ditunjukkan oleh endapan ini tidak terlalu intensif seperti yang ditunjukkan oleh endapan HS, kecuali pada batuan samping yang relatif permeabel. Alterasi batuan samping membentuk zonasi yang pada bagian dalam didominasi oleh mineral lempung jenis *illite-smectite* dan di beberapa tempat ditutupi oleh zona alterasi sulfat asam dengan ciri adanya kristobalit, kaolin, dan sedikit alunit (Gambar 2.5).

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-colloform 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 sistem endapan ini yaitu banyaknya dijumpai *stockwork*, yaitu urat-urat halus yang memotong *host-rock*.



Gambar 2.6 Model skematik dari sistem endapan low-sulphidation. (Hedenquist, dkk. (2000) dalam Maulana (2017))

2.2.3.2 Tekstur Endapan Epitermal

Menurut Maulana (2017) salah satu hal yang paling penting dalam mempelajari endapan epitermal, terutama untuk membedakan antara sistem endapan LS dan HS adalah dengan mempelajari tekstur *vein* atau urat.

Pada endapan sistem LS yang mengandung emas, reaksi antara larutan hidrotermal dan batuan sampang memakan waktu yang relatif lama. Akibatnya, larutan menjadi encer dan netral yang menyebabkan silika akan larut. Silika selanjutnya akan mengalami presipitasi pada urat-urat sebagai kuarsa. Presipitasi kuarsa ini diikuti oleh presipitasi emas dan menghasilkan urat-urat yang berlapis yang setiap lapisan uratnya mewakili tahapan yang berbeda.

Seperti yang sudah dijelaskan di atas, endapan sistem LS biasanya memperlihatkan zonasi lateral dari zona proksimal yaitu kuarsa-kalsedon-adularia

pada daerah mineralisasi, yang umumnya menampilkan tekstur perlapisan *crustiform-colloform* dan pipih (*lattice-textured quartz*).

Di sisi lain, endapan sistem HS dihasilkan oleh larutan (didominasi oleh gas seperti SO₂, HF, dan HCl) yang langsung berasal dari magma yang panas. Larutan tersebut kemudian bereaksi dengan air tanah dan membentuk asam kuat. Larutan asam kuat ini akan melarutkan batuan sampling yang dilewatinya dan hanya meninggalkan silika, yang pada umumnya dalam bentuk seperti bunga karang atau sponge yang disebut dengan *vuggy silica*. Zoning berkembang dari *vuggy silica* sampai dengan kumpulan mineral alterasi *advanced argillic* yaitu alunit, *pirophyllite*, *dickite* dan *kaolinite* sampai dengan alterasi argilik. Bentuk dari endapan mineral biasanya ditentukan oleh penyebaran *vuggy silica* yang pada umumnya membentuk tubuh bijih menyerupai jamur (*mushroom-shaped ore body*) (Robert, dkk., 2007). Sifat batuan *host-rock* akan sangat penting dalam membentuk tekstur-tekstur lainnya seperti *granular silica*, *massive quartz*, dan *quartz-alunite texture*.

Morrison dkk. (1990) membuat klasifikasi tekstur kuarsa pada endapan epitermal yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Tekstur kuarsa dikelompokkan berdasarkan genetiknya, yaitu tekstur pertumbuhan primer, rekristalisasi, dan tekstur penggantian.

a. Tekstur pertumbuhan primer

Tekstur pertumbuhan primer (*primary growth texture*) yaitu tekstur yang menunjukkan presipitasi atau pertumbuhan dalam tahap awal kristalisasi di *open space*. Termasuk dalam tekstur ini yaitu antara lain:

- *chalcedonic texture*: dicirikan oleh kuarsa kristalin yang memperlihatkan kilap lemak yang mengindikasikan silika yang terbentuk pada suhu rendah dan umumnya pada kedalaman yang dangkal di atas zona *up flow* dan kemungkinan menindih daerah mineralisasi,
- *saccharoidal texture*: dicirikan oleh kumpulan butiran masif yang berwarna putih susu atau mempunyai kilap kaca dengan bentuk menyerupai kumpulan gula,
- *comb texture*: memperlihatkan sebuah kumpulan kristal-kristal yang euhedral-subhedral membentuk seperti gigi yang menyerupai sisir. tekstur ini terbentuk akibat adanya pengisian celah oleh larutan- larutan hidrotomal yang selanjutnya mengakibatkan pembentukan mineral di sepanjang dinding bagian dalam rekahan. kristal-kristal kemudian ini tumbuh ke bagian tengah dari rekahan sehingga bentuk atau morfologinya menyerupai sisir,
- *zone crystal*: merupakan kelompok dari lapisan atau kristal; setiap kristal memiliki zona yang berwarna terang dan *milky* yang saling berselingan,
- *colloform texture*: yaitu tekstur yang memperlihatkan adanya kesan perlapisan kalsedon yang halus dengan bentuk *botrydal* di penampang dan permukaan seperti ginjal (lonjong),
- *crustiform texture*: yaitu tekstur yang memperlihatkan perlapisan yang mempunyai orientasi paralel terhadap dinding urat (*vein*) dan dipertegas oleh adanya perbedaan pada komposisi mineral dan warnanya. tekstur ini terbentuk akibat dari pengisian rekahan pada dinding bukaan secara

rhythmically atau berlapis dan berulang, pada umumnya bentuk atau morfologi tekstur ini mempunyai bentuk berlapis dan berulang-ulang atau mempunyai *rhythme*.

b. Tekstur rekristalisasi

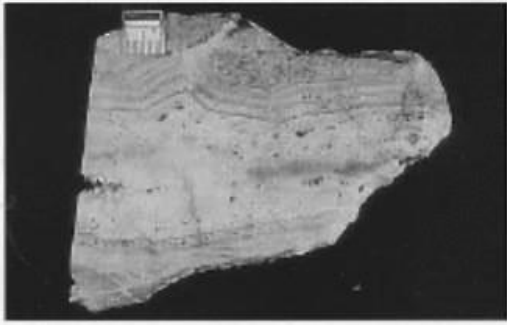
Tekstur ini terbentuk akibat perubahan fase metastabil atau silika amorf (misalnya, silika gel kalsedon, opal, kristobalit) menjadi kuarsa (Dong, dkk 1995).

- *moss texture*: yaitu tekstur yang dicirikan oleh kenampakan seperti kumpulan buah anggur,
- *microplumose texture*: yaitu tekstur mikroskopis yang menunjukkan adanya bulu-bulu pada kristal kuarsa.

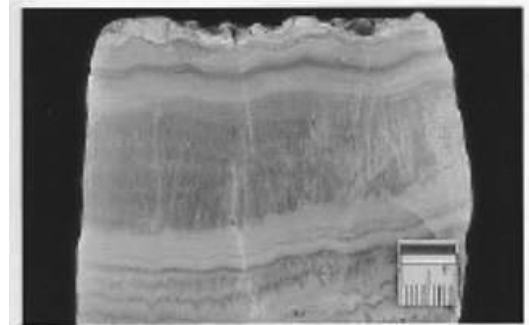
c. Tekstur penggantian

Tekstur penggantian atau *replacement* merupakan tekstur hasil dari produk silika yang menggantikan sebagian atau seluruhnya *-pseudomorphs-precipitates* mineral sebelumnya (misalnya, karbonat, sulfat, adularia) (Morrison dkk, 1990). Tekstur penggantian ini biasanya hadir akibat adanya perubahan pada komposisi larutan dan batuan sampling.

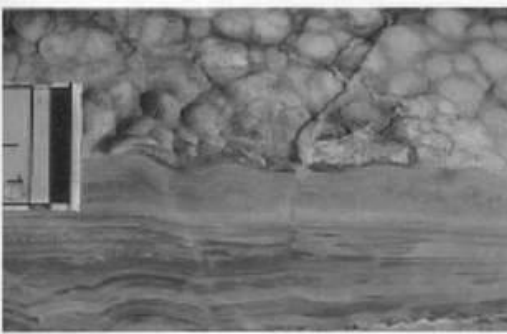
- *mold texture*: yaitu tekstur yang memperlihatkan adanya bekas pelarutan atau penggantian sebagian dari mineral yang mudah larut dalam urat kuarsa,
- *bladed texture*; yaitu tekstur yang menunjukkan kumpulan kuarsa kristalin yang tersusun dalam bentuk pipih.



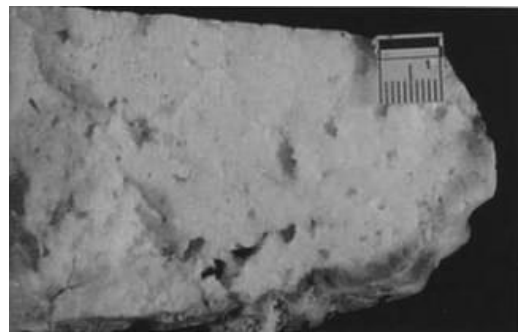
Comb



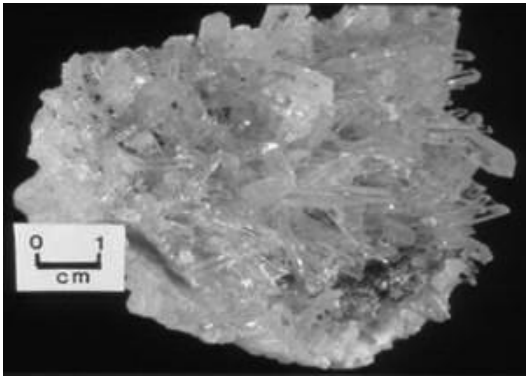
Colloform Banded



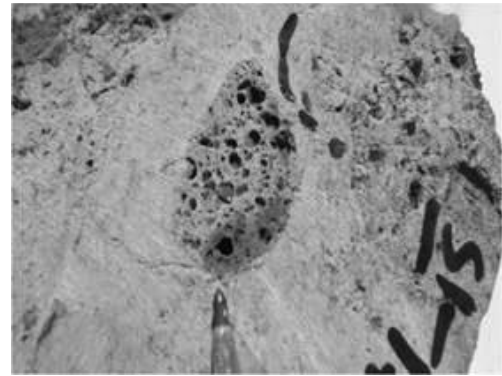
Crustiform Banded



Saccharoidal



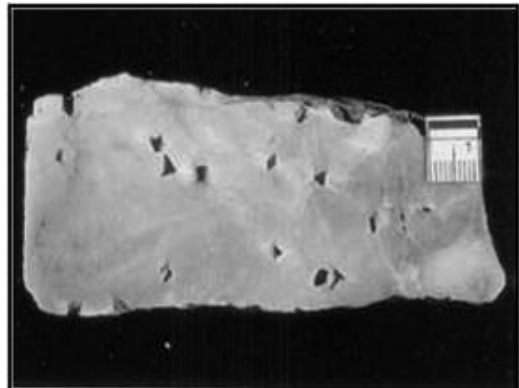
Crystalline



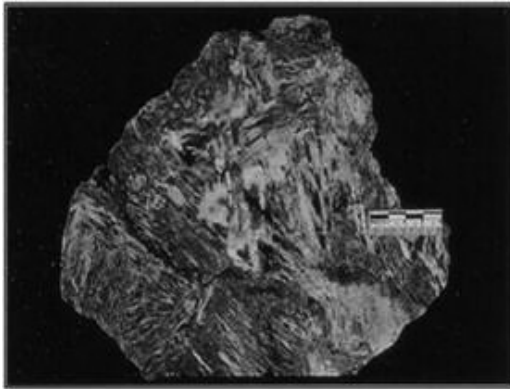
Vuggy silica



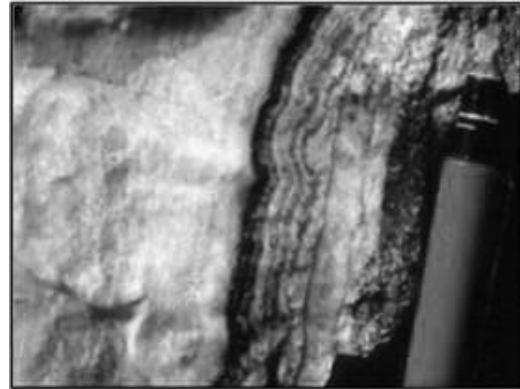
Moss



Mold



Paralel bladed



Banded texture

Gambar 2.7 Kenampakan tekstur khusus pada endapan mineral bijih. (Morrison dkk., 1990) dalam Maulana (2017)).

Tekstur pada urat LS meliputi *crustiform bands kalsedon*, *bladed quartz* dan *open-space fillings*, yang kesemuanya mengindikasikan lingkungan dangkal. Tekstur diseminasi kurang umum pada endapan LS, walaupun tetap hadir pada *vein* yang memotongnya. Tekstur *colloform bands* juga sangat umum terbentuk pada lingkungan yang sangat dangkal, disebabkan oleh adanya akumulasi silika koloidal, dan merupakan tempat bagi emas pada urat LS kadar-tinggi.

Tekstur pada endapan HS tidak terlalu bervariasi dan umumnya didominasi oleh zona silisik masif hingga *vuggy*. Kelimpahan dan ukuran *vugs* ini bergantung pada kondisi awal *host-rock* dan tingkat silisifikasinya (Hedenquist dkk., 2000).

2.3 Tekstur Khusus Mineral

2.3.1 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).

A. 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).

B. Tekstur Pengisian (Open Space Filling)

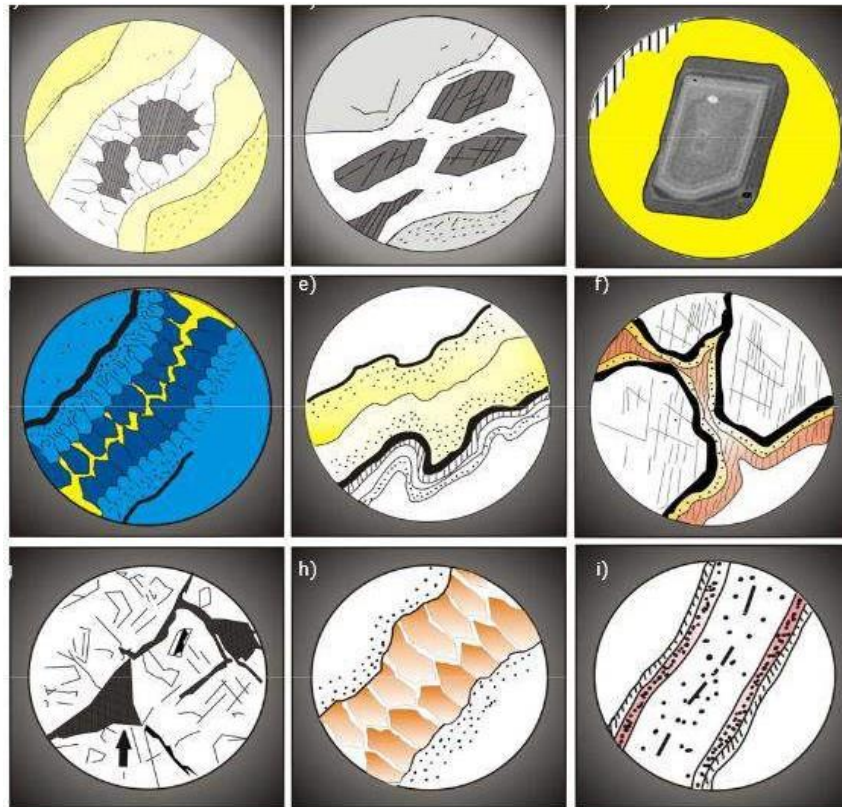
Guilbert dan Park (1986) Open space filling merupakan tekstur yang penting untuk menentukan sejarah paragenesa endapan. Umumnya terbentuk pada batuan yang getas, pada daerah dengan tekanan yang pada umumnya relatif rendah,

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:

- 1) Adanya vug atau cavities, sebagai rongga sisa karena pengisian yang tidak selesai.
- 2) 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.
- 3) Adanya struktur zoning pada mineral, sebagai indikasi adanya proses pengisian, seperti mineral andradit-grosularit. Struktur zoning pada mineral sulit dikenali dengan pengamatan megaskopis.
- 4) 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 penggantian kristal yang

besar maka akan terbentuk comb structure. Pada umumnya perlapisan yang dibentuk oleh pengisian akan membentuk perlapisan yang simetri.

- 5) 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.
- 6) 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.

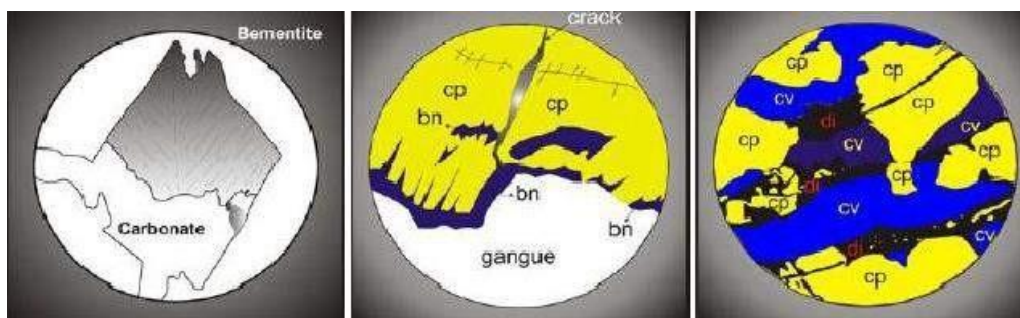
2.3.2 Tekstur Sekunder

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

A. 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).

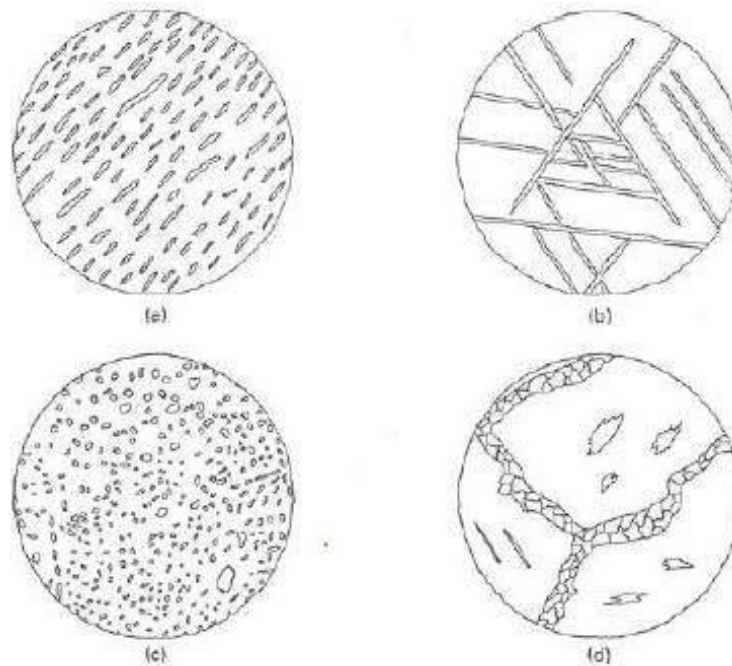
Batas di antara mineral yang diganti dan yang mengganti umumnya tajam atau tidak beraturan (careous, atau tekstur corroded) atau diffuse. Beberapa jenis geometri replacement berupa rim, zonal, frontal. Tekstur replacement bergantung pada kondisi ketika mineral tersebut digantikan, diantaranya adalah 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.

B. 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 300o-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 2.10 Kenampakan tekstur akibat proses pendinginan (Evans,1987). a. Pemilahan mineral hematit dalam ilmenite 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).

2.4 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.