

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI
PADA BLOK X PT. BUMI SUKSESINDO, TUJUH BUKIT,
PESANGGARAN, BANYUWANGI, JAWA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

**FERNANDA DZIKRI AL GHIFARI
D061 19 1057**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI
PADA BLOK X PT. BUMI SUKSESINDO, TUJUH BUKIT,
PESANGGARAN, BANYUWANGI, JAWA TIMUR****Disusun dan diajukan oleh****FERNANDA DZIKRI AL GHIFARI
D061 19 1057**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Strata (S1) pada Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI
PADA BLOK X PT. BUMI SUKSESINDO, TUJUH BUKIT,
PESANGGARAN, BANYUWANGI, JAWA TIMUR****Disusun dan diajukan oleh****FERNANDA DZIKRI AL GHIFARI
D061191057**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pembimbing Utama

Menyetujui,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T.
NIP. 19671119 199802 2 001



Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19650928 200003 1 002

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fernanda Dzikri Al Ghifari
NIM : D061 19 1057
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

***“Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Pada Blok X
PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran,
Banyuwangi, Jawa Timur.”***

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan dari tugas akhir ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 8 Oktober 2024

Yang menyatakan



Fernanda Dzikri Al Ghifari
NIM. D061 19 1057

ABSTRAK

FERNANDA DZIKRI AL GHIFARI. *Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Pada Blok X PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran, Banyuwangi, Jawa Timur.* (dibimbing oleh Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T. dan Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM.)

Secara administratif Daerah Penelitian terletak di Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat $108^{\circ}02'30,2''$ BT - $108^{\circ}02'53,9''$ BT (Bujur Timur) dan $8^{\circ}37'39,4''$ LS - $8^{\circ}37'18,9''$ LS (Lintang Selatan) penelitian dengan judul "*Karakteristik Alterasi Dan Mineralisasi Pada Blok X PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran, Banyuwangi, Jawa Timur*" dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis litologi, tipe alterasi, jenis mineralisasi bijih, dan mengetahui korelasi antara mineralisasi dengan tipe alterasi pada daerah penelitian.

Metode penelitian yang digunakan adalah deskripsi *core logging*, petrografi, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan mineragrafi.

Berdasarkan hasil interpretasi dan pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya, zona alterasi pada daerah penelitian dibagi menjadi zona *Silica-Alunite*, zona *Silica-Clay*, zona *Clay-Silica*, zona *Illite-Dickite*, dan zona *Epidote-Chlorite*. Adapun mineral bijih yang dijumpai yaitu pirit, kalkopirit, arsenopirit, bornit, sfalerit, dan kovelit sedangkan mineral lempung yang terdapat pada daerah penelitian berupa *illite*, *dickite*, *kaolinite*, dan *montmorillonite*. Melalui pengamatan secara mineragrafi didapatkan tekstur khusus mineral bijih berupa *infilling*, *integrowth*, dan *replacement*.

Kata kunci : Tujuh Bukit, Alterasi, Mineralisasi, Mineral bijih, XRD

ABSTRACT

FERNANDA DZIKRI AL GHIFARI. *Characteristics of Alteration and Mineralization in Block X PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran, Banyuwangi, East Java. (Supervised by Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T. and Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM.)*

Administratively, the research area is located in Pesanggaran Sub-district, Banyuwangi Regency, East Java Province. Geographically the research area is located at the coordinates 108°02'30.2" East - 108°02'53.9" East (East Longitude) and 8°37'39.4" LS - 8°37'18.9" LS (South Latitude) research with the title "Characteristics of Alteration and Mineralization in Block X PT Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran, Banyuwangi, East Java" intended to determine the characteristics of alteration and mineralization in the research area. The purpose of this study is to determine the type of lithology, type of alteration, type of ore mineralization, and determine the correlation between mineralization and alteration type in the study area.

The research methods used are core logging description, petrography, *X-Ray Diffraction* (XRD), and mineragraphy.

Based on the results of interpretation and data processing that has been done before, the alteration zone in the research area is divided into *Silica-Alunite* zone, *Silica-Clay* zone, *Clay-Silica* zone, *Illite-Dickite* zone, and *Epidote-Chlorite* zone. The ore minerals found are pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, bornite, sphalerite, and covellite while the clay minerals found in the study area are illite, dickite, kaolinite, and montmorillonite. Mineragraphic observations revealed special textures of ore minerals in the form of infilling, integrowth, and replacement.

Keywords : Tujuh Bukit, Alteration, Mineralization, Ore Minerals, XRD

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum waharahmatullahi wabarakatuh.

Bismillahirrahmanirrahim. Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI PADA BLOK X PT. BUMI SUKSESINDO, TUJUH BUKIT, PESANGGARAN, BANYUWANGI, JAWA TIMUR” dapat berjalan dengan baik. terselesaikannya laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat kelulusan Program Strata 1 pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak, diantaranya:

1. Bapak **Mochammad Hafid Rahadi, S.T.**, dan **Rob Taube** sebagai *Senior Geos* dan *Geos Manager* PT. Bumi Suksesindo selaku pembimbing studi yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama kerja praktik.
2. **Kedua Orang tua** dan **seluruh keluarga** penulis, yang tidak henti-hentinya memberikan dorongan serta dukungan baik moril maupun materil serta doa restu tiada henti yang menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
3. Ibu **Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T.** selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi waktu dalam segala bimbingan dan masukan selama penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak **Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T., IPM.** selaku Dosen Pembimbing yang telah memberi waktu dalam segala bimbingan, masukan, dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Bapak **Dr. Ir. Kaharuddin MS, M.T.** selaku Dosen Penguji yang memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan Skripsi.
6. Bapak **Dr. Ir. H. Hamid Umar, M.S.** selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan Skripsi.
7. Bapak **Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T.** selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah memberikan saran dan masukan di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

8. Bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng.** selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. **Bapak dan Ibu Dosen** Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan didikannya.
10. **Bapak dan Ibu Staf** Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.
11. Kakanda **Extivonus Kiki Fransikus, S.T., Riansyah Widisaputra, S.T., Nada Salsabila Deva, S.T., Mohammad Heriyanto, S.T., Dhofaeri Wildan, S.T.**, dan kakanda *Geoscience Study* PT. Bumi Suksesindo yang telah membantu, membina, serta mengarahkan penulis.
12. Kakanda **Achmad Rivai Jamal, S.T., Sudirman, S.T.**, dan saudara **Abimanyu A. Nasaruddin, S.T.**, yang telah membantu buah pikir dalam laporan penulis.
13. Teman-teman **Teknik Geologi angkatan 2019 (Jaeger 19)** atas segala bantuan dan dukungannya selama kehidupan perkuliahan penulis.
14. Seluruh anggota **Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH)** yang telah memberi dukungan dan dinamika baik selama dalam kehidupan berhimpunan.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu, atas segala bantuan maupun dorongan dalam segala bentuk apapun yang telah diberikan selama ini.

Di dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini tidak terlepas dari kekurangan dan kekeliruan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari pembaca yang bersifat membangun demi perbaikan proposal ini. Atas perhatiannya penulis ucapkan terimakasih.

Gowa, 8 Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 . Latar Belakang	1
1.2 . Rumusan Masalah	2
1.3 . Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.4 . Manfaat Penelitian	2
1.5 . Batasan Masalah	3
1.6 . Lokasi Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tatanan Geologi Regional	4
2.1.1 Geologi Regional	4
2.1.2 Stratigrafi Regional	5
2.1.3 Struktur Geologi Regional	7
2.2 Alterasi Hidrotermal	10
2.3 Zona Alterasi.....	11
2.4 Endapan Hidrotermal	14
2.5 Breksi Hidrotermal.....	15
2.5.1 <i>Magmatic Breccias</i>	16
2.5.2 <i>Phreatomagmatic Breccias</i>	17
2.5.3 <i>Phreatic Breccias</i>	19
2.6 Endapan Epitermal.....	21
2.6.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi (<i>High Sulfidation</i>).....	27
2.6.2 Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah (<i>Low Sulfidation</i>).....	29
2.7 Mineralisasi Hidrotermal	31
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Tahapan Penelitian.....	32
3.2.1 Tahap Persiapan	32
3.2.2 Tahap Pengambilan Data.....	33
3.2.3 Tahap Pengolahan Data.....	33
3.2.4 Tahap Penyusunan Laporan	32
3.3 Tahap Interpretasi dan Analisis Data	33
3.3 Tahap Penyusunan Laporan	34
3.5 Diagram Alir	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Litologi Daerah Penelitian	36
4.1.1 Satuan <i>Diorite</i>	37
4.1.2 Satuan <i>Tonalite</i>	39

4.1.3	Satuan <i>Phreatomagmatic Breccia</i>	41
4.1.4	Satuan <i>Dacite</i>	43
4.2.	Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian	45
4.2.1	Zona Alterasi Hidrotermal	45
4.2.1.1	Zona <i>Silica + Alunite</i> (Tipe <i>Advanced Argillic</i>)	46
4.2.1.2	Zona <i>Silica + Clay</i> (Tipe <i>Advanced Argillic</i>)	47
4.2.1.3	Zona <i>Clay + Silica</i> (Tipe <i>Advanced Argillic</i>)	48
4.2.1.4	Zona <i>Illite + Dickite</i> (Tipe <i>Argillic</i>).....	49
4.2.1.5	Zona <i>Epidote + Chlorite</i> (Tipe <i>Propylitic</i>)	50
4.2.2	Mineral Bijih Daerah Penelitian.....	53
4.2.2.1	Jenis Mineral Bijih	53
4.2.2.2	Tekstur Mineral Bijih Daerah Penelitian	56
4.2.2.3	Paragenesa Mineral Bijih Daerah Penelitian.....	57
4.3.	Tipe Endapan Mineral Sulfida Daerah Penelitian.....	58
BAB V KESIMPULAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Tunjuk Daerah Penelitian	3
Gambar 2 Geologi regional daerah penelitian.....	4
Gambar 3 Peta Geologi Tujuh Bukit Project (Hellman, 2011)	6
Gambar 4 Pola Struktur Regional Jawa Timur (Sribudiyani dkk, 2003).....	8
Gambar 5 Peta Struktur dan Diatrem Kompleks Daerah Penelitian (Harrison, 2017).....	9
Gambar 6 Himpunan mineral alterasi berdasarkan suhu dan pH pembentukannya (Cobert dan Leach, 1996)	11
Gambar 7 Mineral Alterasi penunjuk temperature (Hedenquist, 1995).....	13
Gambar 8 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Reyes, 1990 dalam White dan Hedenquist, 1995)	14
Gambar 9 Pembagian endapan hidrotermal (Cobert and Leach, 1997 dalam Sutarto, 2010)	15
Gambar 10 Pembagian breksi hidrotermal secara genetic (Corbett and Leach, 1998).....	16
Gambar 11 Model <i>Magmatic Breccias</i> (Corbett and Leach, 1997)..	16
Gambar 12 Model <i>Phreatomagmatic Breccia</i> (Corbett and Leach, 1977).	18
Gambar 13 Model <i>Phreatic Breccias</i> (Corbett and Leach, 1997).....	19
Gambar 14 Karakteristik Pipa Breksi Hidrotermal (Corbett and Leach, 1997).....	21
Gambar 15 Penyebaran Endapan porfiri dan epitermal di Indonesia (Harrison, dkk .2017).....	21
Gambar 16 Skema tipe endapan epitermal sub-vulkanik (Hedenquist, 1996).....	23
Gambar 17 Perbedaan kimiawi endapan epitermal sulfidasi rendah dan epitermal sulfidasi tinggi (White dan Hedenquist, 1995).....	24
Gambar 18 Fase alterasi dan mineralisasi pada tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi (Corbett dan Leach, 1997).....	27
Gambar 19 Model skematik sistem endapan HS (Arribas dkk., 1995 dalam Maulana, 2017). (a) Proses awal ketika uap magma yang dominan mengakibatkan proses <i>leaching</i> 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 tertranspotasi dalam bentuk bisulfida kompleks	29
Gambar 20 Model skematik dari alterasi pada sistem endapan <i>low-sulfidation</i> (Hedenquist dkk., 2000)	30
Gambar 21 Diagram Alir Metode dan Tahapan Penelitian	35

Gambar 22 Pemodelan <i>drill hole</i> secara keseluruhan (a) dan Pemodelan <i>drill hole</i> dengan <i>Plan View</i> (b).....	37
Gambar 23 Kenampakan megaskopis litologi <i>diorite</i>	38
Gambar 24 Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang terdapat pada litologi <i>diorite</i> dengan kondisi beberapa mineral teralterasi	38
Gambar 25 Kenampakan megaskopis litologi <i>tonalite</i>	40
Gambar 26 Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang terdapat pada litologi <i>tonalite</i> dengan kondisi mineral berubah dengan <i>Chlorite</i>	40
Gambar 27 Kenampakan megaskopis litologi <i>phreatomagmatic breccia</i>	42
Gambar 28 Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang terdapat pada litologi <i>phreatomagmatic breccia</i> dengan kondisi mineral berubah dengan <i>Alunite</i>	42
Gambar 29 Kenampakan megaskopis litologi <i>dacite</i>	44
Gambar 30 Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang terdapat pada litologi <i>dacite</i>	44
Gambar 31 <i>Handspecimen</i> alterasi <i>Silica-Alunite</i> (a) dan <i>Silica</i> (b).....	46
Gambar 32 <i>Handspecimen</i> alterasi <i>Silica + Clay</i> (Tipe <i>Advanced Argillic</i>).....	47
Gambar 33 <i>Handspecimen</i> alterasi <i>clay + silica</i> (Tipe <i>Advanced Argillic</i>)	48
Gambar 34 <i>Handspecimen</i> alterasi <i>illite + dickite</i> (Tipe <i>Argillic</i>)	50
Gambar 35 <i>Handspecimen</i> alterasi <i>illite + chlorite</i> (a) dan <i>chlorite + epidote</i> (b) (Tipe <i>Propylitic</i>)	51
Gambar 36 Difraktogram XRD pada sampel batuan alterasi (a. UHGZ-23-143-45; b. UHGZ-23-144-99).....	52
Gambar 37 Mineral <i>pyrite</i> dengan tekstur <i>infilling</i> dan <i>intergrowth</i> dengan mineral <i>covellite</i> pada UHGZ-23-144-43 (a) dan mineral <i>pyrite</i> tekstur <i>replacement</i> dengan mineral <i>chalcopyrite</i> pada UHGZ-23-143-97 (b) 53	
Gambar 38 Mineral <i>chalcopyrite</i> dengan tekstur <i>infilling</i> dan <i>replacement</i> dengan mineral <i>covellite</i> pada UHGZ-23-144-43 (a) dan mineral <i>chalcopyrite</i> tekstur <i>intergrowth</i> dengan mineral <i>arsenopyrite</i> pada UHGZ-23-143-40 (b)	54
Gambar 39 Mineral <i>arsenopyrite</i> dengan tekstur <i>infilling</i> dan <i>intergrowth</i> dengan mineral <i>chalcopyrite</i> pada UHGZ-23-144-103 (a) dan mineral <i>chalcopyrite</i> tekstur <i>replacement</i> dengan mineral <i>shpalerite</i> pada UHGZ-23-144-103 (b).....	54
Gambar 40 Mineral <i>bornite</i> dengan tekstur <i>infilling</i> dan <i>replacement</i> dengan mineral <i>chalcopyrite</i> dan <i>covelite</i> pada UHGZ-23-144-43 (a) dan mineral <i>bornite</i> tekstur <i>replacement</i> dengan mineral <i>covelite</i> pada UHGZ-23-144-43 (b)	55

- Gambar 41 Mineral *sphalerite* dengan tekstur *infilling* dan *integrowth* dengan mineral *chalcopyrite* dan *pyrite* pada UHGZ-23-143-97 (a) dan mineral *sphalerite* tekstur *replacement* dengan mineral *chalcopyrite* pada UHGZ-23-144-103 (b).....55
- Gambar 42 Mineral *covelite* dengan tekstur *infilling* dan *replacement* dengan mineral *pyrite* pada UHGZ-23-144-43 (a) dan mineral *covelite* tekstur *infilling* dan *replacement* dengan mineral *chalcopyrite* pada UHGZ-23-143-43 (b)56

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Karakteristik endapan <i>Low Sulfidation</i> dan <i>High Sulfidation</i> (Hedenquist dkk., 2000).....	25
Tabel 2 Perbedaan antara LS dan HS pada <i>southeast pacific rim</i> (Corbett dan Leach, 1997).....	26
Tabel 3 Perbedaan Karakteristik Epitermal Sulfidasi Tinggi, Sulfidasi Menengah dan Sulfidasi Rendah (Hedenquist dan Silitoe, 2003).....	26
Tabel 4 Mineralogi bijih pada endapan epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi (modifikasi White dan Hedenquist, 1995)	27
Tabel 5 Karakteristik tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi (White, 1991).....	28
Tabel 6 Data <i>Drill Hole</i>	36
Tabel 7 Persebaran satuan <i>diorite</i> dari data <i>drill hole</i>	39
Tabel 8 Persebaran satuan <i>tonalite</i> dari data <i>drill hole</i>	41
Tabel 9 Persebaran satuan <i>phreatomagmatic breccia</i> dari data <i>drill hole</i>	43
Tabel 10 Persebaran satuan <i>dacite</i> dari data <i>drill hole</i>	45
Tabel 11 Temperatur pembentukan zona alterasi <i>Silica + Alunite</i> (modifikasi Hedenquist, dkk., 1995)	47
Tabel 12 Temperatur pembentukan zona alterasi <i>Silica + Clay</i> (modifikasi Hedenquist, dkk., 1995)	48
Tabel 13 Temperatur pembentukan zona alterasi <i>clay+silica</i> (modifikasi Hedenquist, dkk., 1995)	49
Tabel 14 Temperatur pembentukan zona alterasi <i>clay+silica</i> (modifikasi Hedenquist, dkk., 1995)	50
Tabel 15 Temperatur pembentukan zona alterasi <i>illite + chlorite</i> (modifikasi Hedenquist, dkk., 1995)	51
Tabel 16 Data analisis kandungan mineral dengan metode XRD	52
Tabel 17 Karakteristik Endapan Epitermal “X”	59
Tabel 18 Kesebandingan karakteristik tipe endapan epitermal pada daerah penelitian	60

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam dan sumber daya geologi. Di setiap daerah di Indonesia selalu memiliki kekayaan geologi yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia dan teknologi. Kebutuhan manusia dalam pemanfaatan sumber daya alam khususnya sumber daya geologi bisa menjadi aspek yang dapat mendukung perkembangan sumber daya mineral khususnya endapan hidrotermal dengan berpedoman pada disiplin ilmu geologi.

Geologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai kebumihan, yang berkaitan dengan sifat fisik, komposisi, sejarah maupun proses pembentukannya. Hubungan antara geologi dan endapan mineral berkaitan dengan alterasi dan mineralisasi pada perubahan mineralogi suatu batuan.

Bahan baku mineral dan sumber daya energi telah memainkan peran penting dalam dunia ekonomi. Akibat permintaan bahan bijih tinggi, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi mineral bijih ini menjadi semakin meningkat. Hal ini kemudian mendorong individu, perusahaan, dan yang paling penting Ahli Geologi untuk mengambil risiko dan mendorong batas mereka di bidang eksplorasi dan eksploitasi untuk memaksimalkan kedua kegiatan tersebut. Menurut data *United States Geological Survey* (USGS), Indonesia menduduki peringkat ketujuh sebagai negara yang memiliki cadangan mineral emas yaitu sekitar 2,3 % dari cadangan mineral emas dunia.

Bahan galian emas merupakan salah satu dari bahan galian yang bersifat vital bagi negara. Di pulau Jawa, terdapat beberapa daerah yang memiliki prospek keberadaan emas dengan estimasi yang cukup besar salah satunya berlokasi di Provinsi Jawa Timur yang kemudian dikelola oleh PT. Bumi Suksesindo. Faktor yang mendukung keberadaan emas pada suatu area dipengaruhi oleh berbagai hal, salah satunya ialah kondisi geologi. Keberadaan emas di alam banyak ditemukan dalam bongkahan batuan dengan ciri berasosiasi dengan mineral seperti kalkopirit (CuFeS_2), kovelit (CuS), pirit (FeS_2) dan kuarsa (SiO_2). (Widyastuti, 2016).

Interpretasi dan analisis karakteristik dari alterasi dan mineralisasi bahan galian perlu dilakukan pada setiap tahapan eksplorasi.

Hal tersebut yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detil mengenai “Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Pada Blok X PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Pesanggaran, Banyuwangi, Jawa Timur.” agar diperoleh data yang nantinya dapat digunakan sebagai penunjang informasi geologi terkait alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian di masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana genesa dan karakteristik litologi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana karakteristik tipe dan penyebaran alterasi pada daerah penelitian?
3. Bagaimana jenis-jenis mineral bijih pada daerah penelitian?
4. Bagaimana Karakteristik Tipe Endapan Hidrotermal pada daerah penelitian?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk adalah untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi sulfida pada Blok X PT. Bumi suksesindo.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui genesa dan jenis litologi pada daerah penelitian.
2. Mengetahui tipe-tipe alterasi pada daerah penelitian.
3. Mengetahui jenis mineral bijih pada daerah penelitian.
4. Mengetahui korelasi antara mineralisasi sulfida dengan tipe alterasi pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

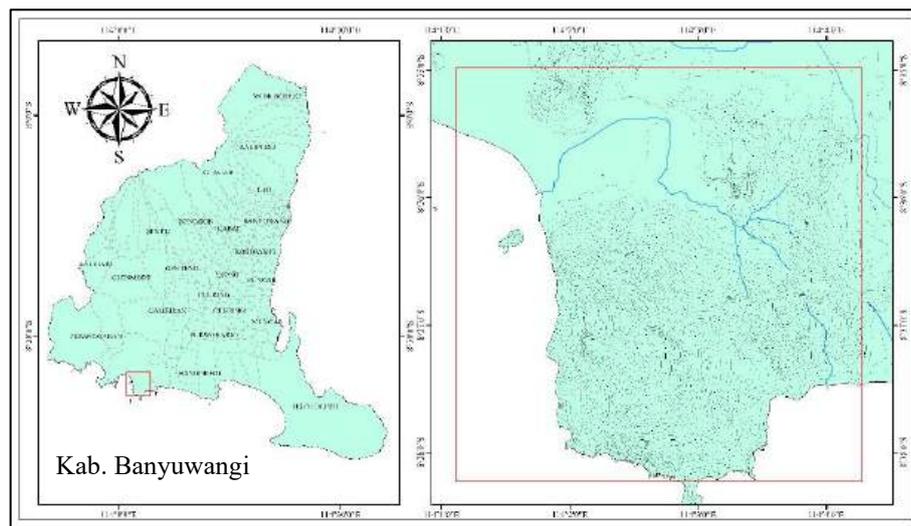
Adapun manfaat pada penelitian ini yakni memberikan pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang ilmu geologi yang berkaitan dengan alterasi dan mineralisasi pada batuan di masa yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian yang akan dilakukan ini penulis membatasi pembahasan masalah pada identifikasi karakteristik litologi, alterasi, dan mineralisasi dari data bor, yaitu mengenai jenis litologi, mineral alterasi yang terbentuk, tipe alterasi, mineral bijih yang terbentuk, tekstur khusus mineral, paragenesa mineral bijih dan tipe endapan hidrotermal daerah penelitian dengan melakukan analisis laboratorium berupa analisis petrografi, mineragrafi serta pemodelan *core* menggunakan aplikasi *Leapfrog*.

1.6 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian masuk ke dalam Kontrak Karya (KK) PT. Bumi Suksesindo yang berada di daerah Tujuh Bukit, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur dan secara astronomis terletak pada koordinat $108^{\circ}02'30,2''\text{BT}$ - $108^{\circ}02'53,9''\text{BT}$ dan $8^{\circ}37'39,4''\text{LS}$ - $8^{\circ}37'18,9''\text{LS}$ dan secara geografis terletak sekitar 65 km di selatan Kabupaten Banyuwangi. Perjalanan dari Kabupaten Banyuwangi, digunakan kendaraan roda dua milik pribadi selama kurang lebih 125 menit menuju Pos 6 PT. Bumi Suksesindo di Desa Sumberagung, kemudian menggunakan bus milik PT. Bumi Suksesindo menuju *site* dan *Coreshed* di Tujuh Bukit selama 10 menit.

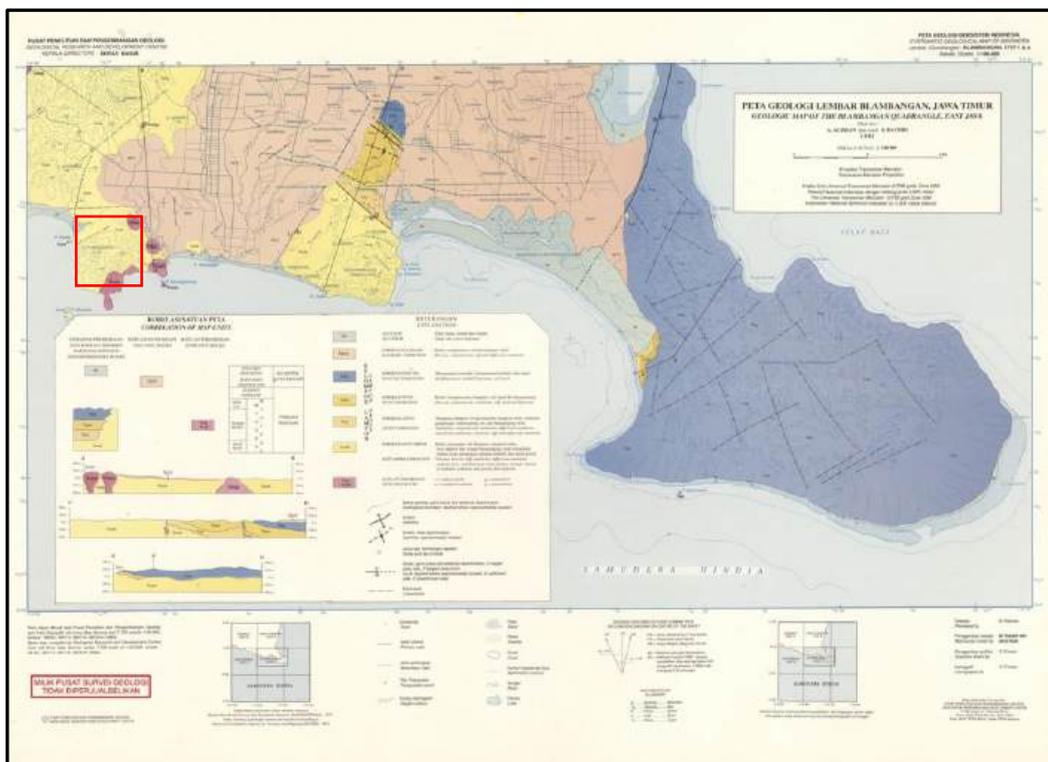


Gambar 1 Peta Tunjuk Daerah Penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tataunan Geologi Regional

Pada tataunan geologi regional daerah penelitian mencakup dengan gambaran stratigrafi regional dan struktur regional daerah penelitian. Geologi regional daerah tertuang dalam peta geologi lembar Blambangan, Jawa Timur, dengan skala 1: 100.000 (A. Achdan dan S. Bachri,1993).



Gambar 2 Geologi regional daerah penelitian

2.1.1 Geologi Regional

Secara fisiografi wilayah Tujuh Bukit dan sekitarnya merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur, yang sebagian besar disusun oleh batuan-batuan beku plutonik dan vulkanik, batuan klastik vulkanik, maupun batugamping. Geomorfologi bentuk asal yang terdapat pada daerah penelitian dibagi berdasarkan beberapa aspek geomorfologi yang terdiri dari aspek morfografi, aspek morfometri dan aspek morfogenesis yang didasarkan menurut klasifikasi Verstappen (1985)

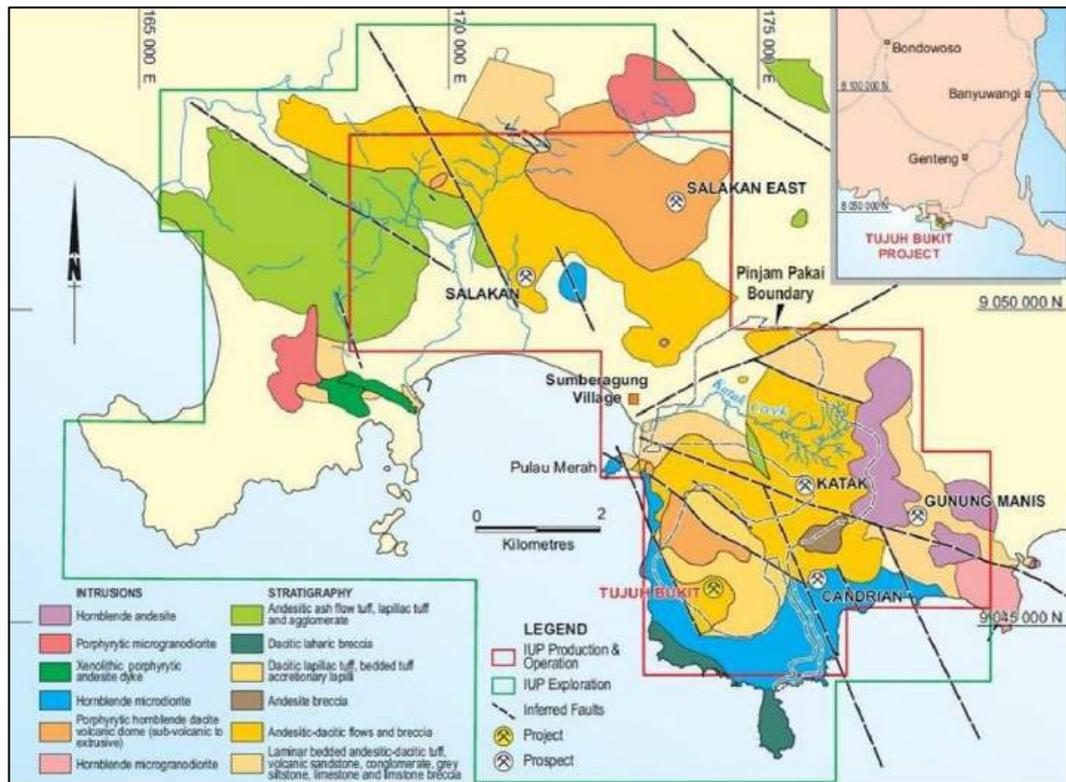
menjadi dua bentuk asal yaitu bentuk asal struktural dan bentuk asal antropogenik. Bentuk asal struktural dibagi menjadi satu satuan bentuk lahan, yaitu perbukitan struktural. Bentuk asal antropogenik dibagi menjadi empat satuan bentuk lahan, yaitu satuan bentuk lahan bukaan tambang, satuan bentuk lahan *hauling road*, satuan bentuk lahan pit dan satuan bentuk lahan sump.

Adapun Geologi Regional Tujuh Bukit bermula pada Kala Miosen Bawah (20,67 juta tahun lalu) Batuan induk sedimen vulkano terendapkan di Tujuh Bukit. Sebagian besar tersusun oleh material vulkanik klastik, beberapa perlapisan lava andesit, dan kontak batugamping juga terendapkan di Tujuh Bukit. Dilanjutkan dengan adanya peristiwa *phreatomagmatic explosion* yang terletak di zona basin dengan arah NW-SE, menghasilkan *Phreatomagmatic Breccia* pra-porfiri (BXg 1) sebagai awal atau aktivitas magmatik di Tujuh Bukit. Setelah peristiwa vulkanisme eksplosif melambat, peristiwa efusif mulai mengembangkan *Volcanic Dasit* (Vda) sub-aerial di permukaan. Magma induk yang naik menghasilkan *Precursor Diorite* (IPdi). Peristiwa kristalisasi ini menghasilkan residu magma yang kaya uap, pada tahap selanjutnya residu magma ini akan menjadi endapan porfiri Tujuh Bukit. Cekungan tarik-menarik teraktifkan kembali selama periode ini, memberikan ruang naik bagi residu magma untuk menghasilkan endapan porfiri. Pembuatan endapan porfiri dengan *Old Tonalite* (IPTo) dengan stok kuarsa tinggi (porfiri intermineral) dan *Young Tonalite* (IPTy) dengan stok kerja rendah (porfiri intermineral akhir). Skarnifikasi terjadi pada kontak dengan batugamping. Peristiwa pasca porfiri terjadi selama periode ini dengan *Hypabyssal Dacite* (IHda), *Phreatomagmatic Breccia 2* (BXg 2) dan ditutup dengan *Dacite Dome* (IDMda). Peristiwa pasca porfiri sangat terkait dengan proses overprint argilik sulfidasi tinggi. Proses ini tidak hanya menghasilkan sulfidasi tinggi epitermal di permukaan tetapi juga memperkaya dan mereposisi Cu-Au-Mo di sekitar *Hypabyssal Dacite* (IHda) dan *Phreatomagmatic Breccia 2* (BXg 2). Saat ini zona yang diperkaya ini disebut sebagai Upper High Grade Zone Tujuh Bukit (UHGZ).

2.1.2 Stratigrafi Regional

Regional daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah pertambangan PT. Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit, Banyuwangi. Daerah penelitian termasuk ke dalam peta geologi regional lembar Blambangan, Jawa Timur (Achdan dan Bachri, 1993).

Berdasarkan peta geologi regional lembar Blambangan dilihat dari susunan stratigrafinya memiliki urutan dari yang tua menuju ke muda adalah sebagai berikut:



Gambar 3 Peta Geologi Tujuh Bukit Project (Hellman, 2011)

- a. Formasi Batuampar merupakan formasi yang terdiri dari litologi yang didominasi oleh batuan vulkanik seperti breksi vulkanik dan tuf. Kehadiran material vulkanik yang tinggi menjadi bukti bahwa daerah tersebut merupakan lingkungan gunungapi yang sudah mengalami proses erosional sangat tinggi hingga sampai ke bagian dasarnya. Formasi ini juga dapat ditemukan litologi batupasir, batugamping dan sisipan lava andesit. Litologi yang menyusun formasi ini sebagian besar sudah mengalami proses alterasi kuat sebagai indikasi terjadinya proses hidrotermal di daerah tersebut. Formasi ini juga dapat ditemukan batuan yang berperan sebagai *hostrock* dalam terjadinya proses mineralisasi. Formasi Batuampar berumur mulai dari Miosen Awal hingga akhir Miosen Tengah.
- b. Formasi Jaten merupakan formasi yang terdiri dari litologi dominan batupasir dengan variasi berupa batupasir konglomeratan, batupasir tufan, batupasir gampingan. Litologi batugamping, tuf, batugamping tufan dan

batulempung juga hadir pada formasi ini. Formasi Jaten ini berumur awal Miosen Tengah. Beberapa tempat menunjukkan adanya hubungan kontak menjari antara Formasi Jaten dengan dengan Formasi Batuampar

c. Formasi Wuni merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa breksi, konglomerat, batupasir, tuf, napal dan batugamping. Formasi Wuni memiliki umur Miosen Tengah. Hubungan berupa kontak menjari antara Formasi Wuni dengan Formasi Batuampar dapat ditemukan di beberapa lokasi.

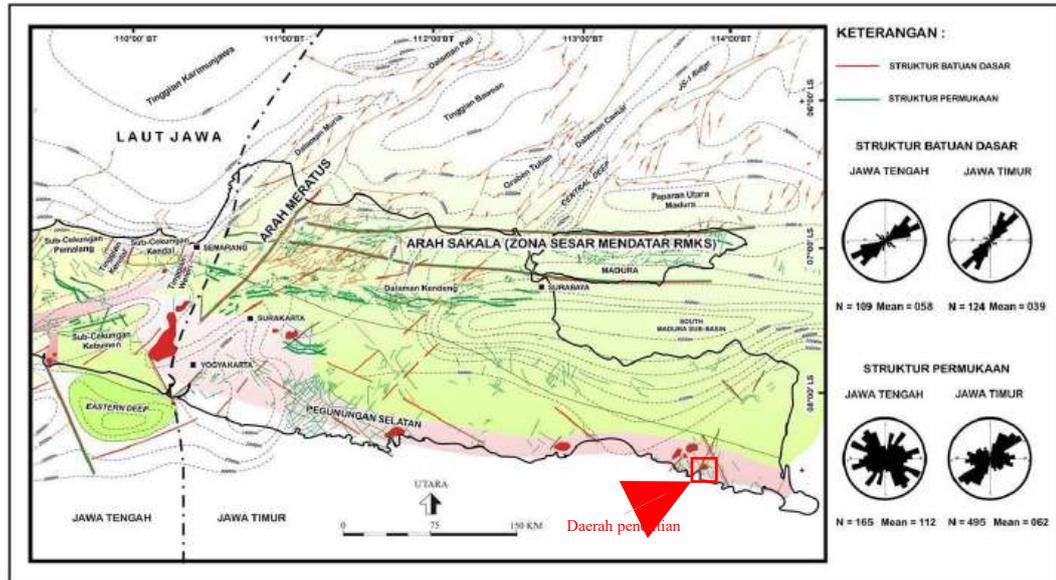
d. Batuan Intrusif dengan umur Miosen Tengah dapat ditemukan pada batuan intrusif berupa andesit porfiritik dan granodiorit. Hal ini sesuai dengan umur terjadinya proses vulkanisme besar-besaran yang terjadi di sepanjang pantai Selatan pulau Jawa. Intrusi batuan ini yang kemungkinan besar memicu terjadinya proses hidrotermal sehingga dapat menghasilkan berbagai macam batuan alterasi dan terjadi proses mineralisasi.

e. Formasi Punung merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa batugamping terumbu, batugamping berlapis dan napal. Keberadaan Formasi Punung menjadi penanda berakhirnya proses vulkanisme yang ditandai dengan kehadiran terumbu. Umur dari Formasi Punung adalah akhir Miosen Tengah dan menunjukkan hubungan kontak menjari dengan Formasi Batuampar di beberapa tempat.

f. Formasi Kalibaru merupakan satuan batuan yang terdiri dari litologi berupa breksi, konglomerat, tuf dan batupasir tufan. Formasi Kalibaru ini berumur Plistosen. Persebarannya cukup luas di sebelah timur dari daerah penelitian di daerah Tujuh Bukit, Banyuwangi.

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah Jawa Timur, oleh Sribudiyani, dkk (2003) dijelaskan bahwa pola struktur utama yang berkembang di wilayah Jawa Timur adalah pola sakala yang berarah barat-timur dan pola meratus yang berarah Timur Laut-barat daya. Daerah tersebut banyak terbentuk struktur geologi berupa sesar, kekar dan lipatan yang berpengaruh terhadap pembentukan sesar, kekar dan lipatan minor disekitarnya.



Gambar 4 Pola Struktur Regional Jawa Timur (Sribudiyani dkk, 2003)

Berdasarkan hasil penelitian di daerah tujuh bukit yang dilakukan oleh Hellman (2011) didapatkan beberapa pola struktur geologi berupa sesar utama dengan arah relatif Barat Laut – Tenggara. Hal ini terlihat dari adanya pola kelurusan-kelurusan dari morfologi. Kemungkinan besar pola struktur geologi berarah Barat Laut – Tenggara ini yang menjadi pengontrol utama terjadinya sesar dan kekar minor yang berkembang di daerah penelitian. Sesar utama tersebut kemungkinan besar juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya proses alterasi dan mineralisasi di daerah Tujuh Bukit dan sekitarnya dengan tipe endapan porfiri dan epitermal.

Berdasarkan analisis struktur geologi dapat dilihat pada peta pola struktur di daerah Tumpang Pitu terdapat dua sesar besar yang berarah Barat Laut (NW) – Tenggara (SE) dan Timur Laut (NE) - Barat Daya (SW). Dua sesar besar inilah yang menjadi pengendali utama terbentuknya sesar minor di kawasan Tumpang Pitu. Terdapat pola struktur yang berkembang di antara dua sesar besar ini, yaitu sesar “struktur yang subur secara metalogentik” atau pada pola ini terjadinya mineralisasi.

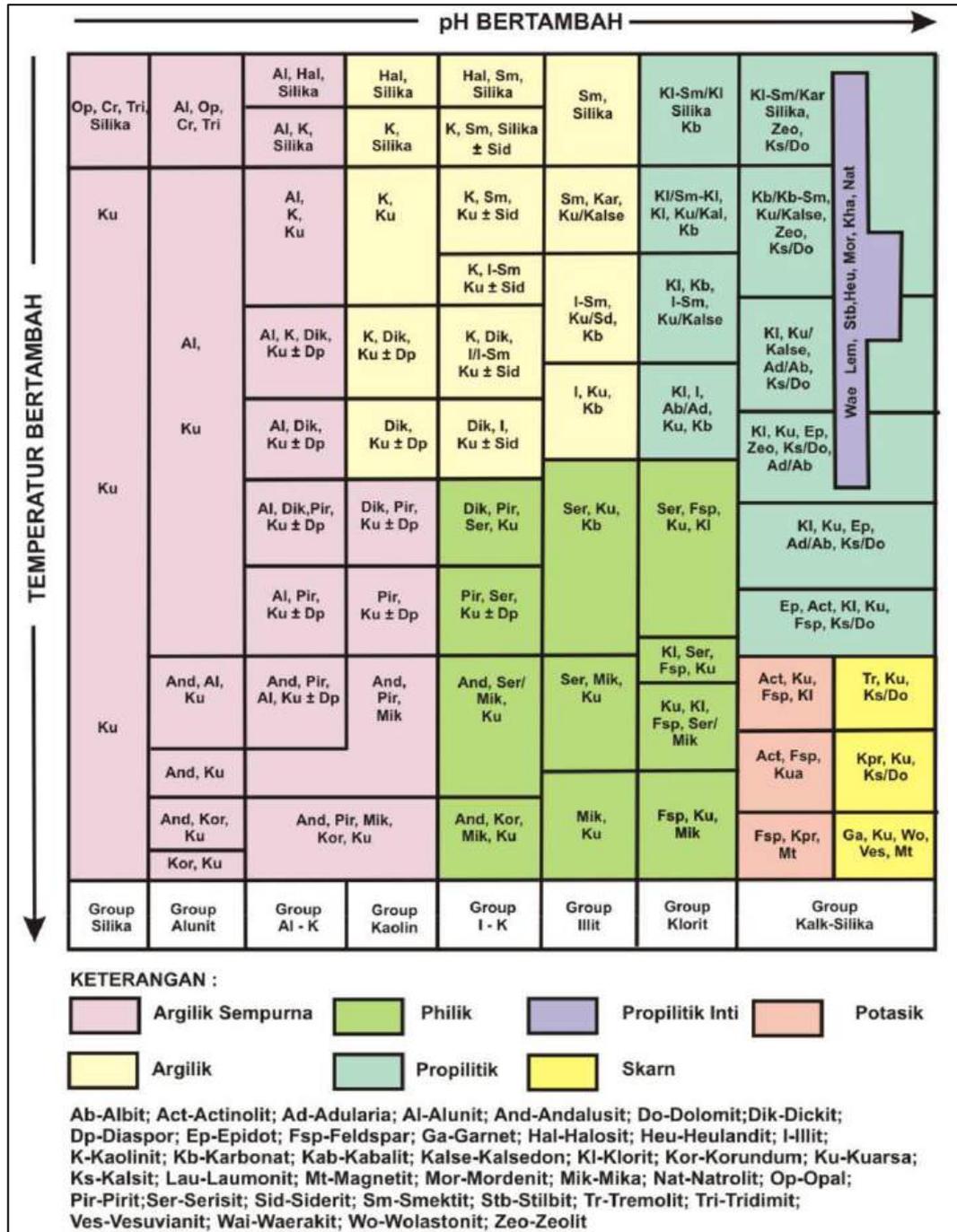
Tumpangpitu adalah bagian dari tren beberapa mineralisasi *tonalite porphyry-stocks* yang bersarang menyusup di sepanjang dua jalur struktural berarah Barat Laut (NW) di daerah Tujuh Bukit.

2.2 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal 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. Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena terjadi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh akibat adanya interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling yang dilaluinya pada kondisi fisika-kimia tertentu (Pirajno, 1992). Proses alterasi hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral (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.

Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal adalah temperatur dan tekanan, kimia fluida (pH dan Eh), karakteristik batuan sampling, konsentrasi dan lamanya aktivitas hidrotermal (Browne, 1991 dalam Cobert dan Leach, 1996). Namun, faktor kimia fluida (pH dan Eh) dan temperatur merupakan faktor yang paling berpengaruh (Corbett dan Leach, 1996).

- a. Suhu merupakan hal yang paling penting dalam proses alterasi karena hampir semua reaksi kimia yang terjadi diakibatkan oleh adanya kenaikan suhu.
- b. 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 yang terkena larutan hidrotermal akan menentukan komponen-komponen yang akan terbentuk akibat proses alterasi.
- d. Komposisi fluida pH mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam menentukan tingkat kecepatan dan jenis mineral-mineral hidrotermal yang terbentuk.



Gambar 6 Himpunan mineral alterasi berdasarkan suhu dan pH pembentukannya (Cobert dan Leach, 1996)

2.3 Zona Alterasi

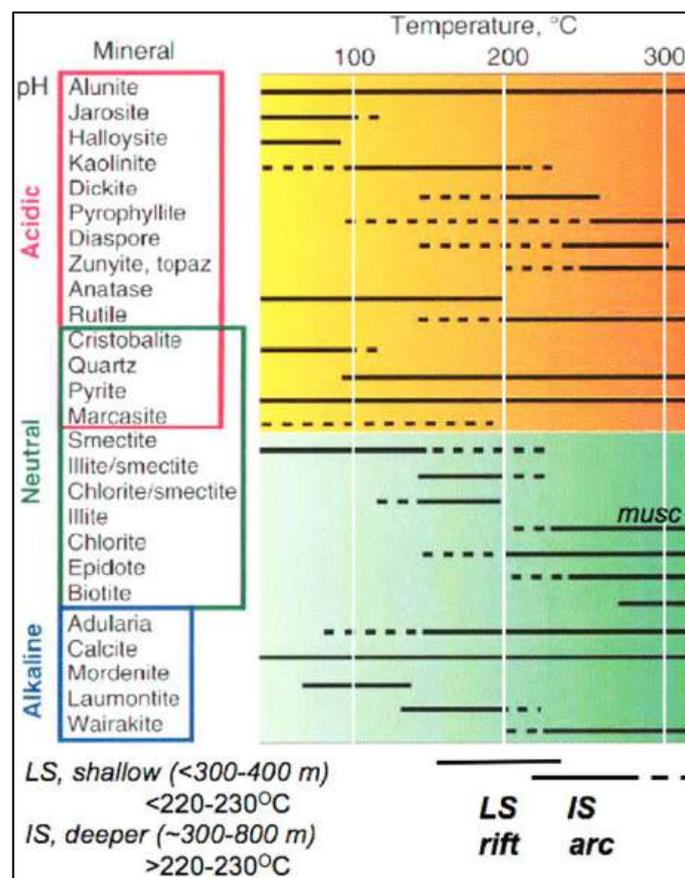
Proses alterasi hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral atau *mineral assemblage* (Guilbert & Park, 1986). Hal ini menyebabkan kehadiran himpunan mineral tertentu dalam suatu ubahan batuan akan mencerminkan komposisi pH larutan dan suhu fluida tipe

alterasi tertentu. Penyebaran suatu himpunan mineral alterasi yang sama di suatu daerah disebut sebagai zona alterasi (Guilbert dan Park, 1986). Berdasarkan pada kumpulan mineral, temperatur dan pH fluida hidrotermal, maka zona alterasi dapat dibagi menjadi:

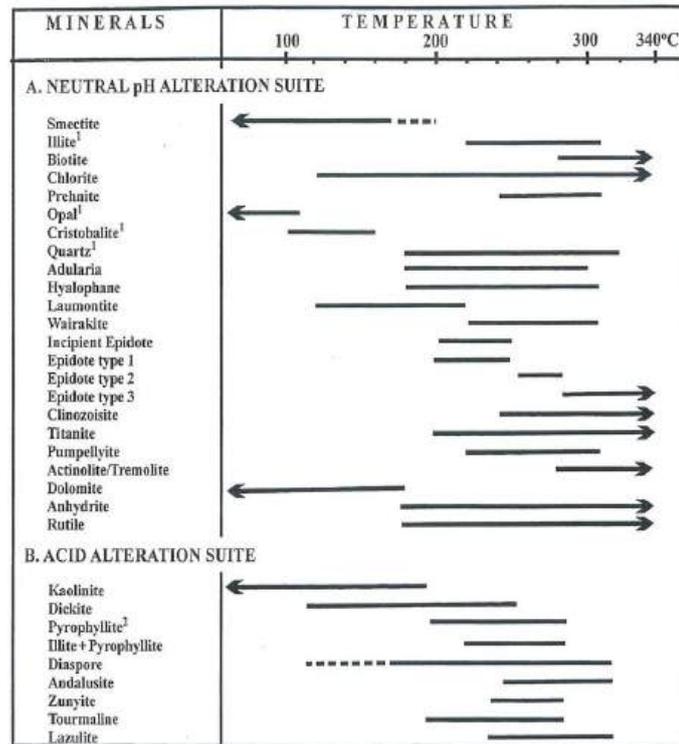
- a. Zona Argilik Lanjut (*Advanced argillic*), merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu 250°C – 350°C untuk temperatur tinggi dengan penciri himpunan mineral berupa pirofilit, diaspor, andalusit, turmalin dan kuarsa. Temperatur rendah dari zona argilik lanjut berada pada suhu 180°C dengan mineral penciri berupa mineral kaolinit, alunit, kalsedon, kuarsa dan pirit. Zona ini terbentuk oleh pH fluida asam.
- b. Zona Argilik, merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu <230°C dengan kondisi fluida dengan pH asam-netral. Zona argilik dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral lempung seperti kaolinit, montmorilonit, smektit dan illit.
- c. Zona Filik, merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu 200°C – 400°C dengan kondisi pH netral hingga asam. Mineral penciri dari zona filik adalah kehadiran mineral kuarsa, serisit dan pirit. Zona filik umumnya terbentuk dekat dengan terbentuknya mineralisasi seperti pada *vein*.
- d. Zona Propilitik, merupakan zona alterasi yang terbentuk pada suhu antara 200°C - 300°C dengan kondisi pH netral-alkali. Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral klorit, kalsit dan epidot. Kehadiran mineral kuarsa, adularia, albit, serisit dan anhidrit juga terkadang dapat dijumpai pada zona ini.
- e. Zona Propilitik Inti, 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.
- f. Zona Skarn 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, klinopiroksin 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).

g. Zona Potasik, merupakan zona yang keberadaannya paling dekat dengan intrusi. Zona alterasi ini suhu fluida hidrotermal yang dapat mencapai lebih dari 300°C dengan tingkat salinitas yang tinggi. Mineral penciri dari zona potasik adalah k-feldspar, biotit sekunder dan magnetit. Zona ini kehadiran aktinolit, epidot, klorit dan anhidrit rutil dan albit muncul dalam jumlah sedikit.



Gambar 7 Mineral Alterasi penunjuk temperature (Hedenquist, 1995)



Gambar 8 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Reyes, 1990 dalam White dan Hedenquist, 1995)

2.4 Endapan Hidrotermal

Endapan Hidrotermal adalah endapan yang terbentuk pada system hidrotermal. Sistem hidrotermal adalah suatu sistem dimana terjadi fluida panas (50° hingga >500°C), secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi, di bawah permukaan bumi (Pirajno, 1992). Dua komponen utama dalam sistem hidrotermal adalah sumber panas dan sumber fluida. Sirkulasi hidrotermal menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding menjadi tidak stabil, dan cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, yang dikenal sebagai alterasi (ubahan) hidrotermal. Endapan mineral hidrotermal terbentuk karena sirkulasi fluida hidrotermal yang melindi (*leaching*), mentransport, dan mengendapkan mineral-mineral baru sebagai respon terhadap perubahan kondisi fisik maupun kimiawi (Pirajno, 1992).

	ENDAPAN MAGMATIK	ENDAPAN HIDROTERMAL					
	MAGMATIK	GREISSEN	PORFIRI	SKARN	EPITERMAL H.S	EPITERMAL L.S.	M.S.V
Intrusi	subvulkanik granitik-andesitik	Pluton granitik	subvulkanik granitik-andesitik	subvulkanik granitik-andesitik	Andesitik	Andesitik	Dasitik/granitik
Host Rocks	granitik-andesitik	Pluton Granitik	granitik-andesitik	karbonat	Vulkanik, sedimen	Vulkanik, sedimen	Vulkanik klastik
Tipe Ubahan	Potasik, filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Greisen	Potasik, filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Potasik, skarn, profilitik	Advanced argilik, profilitik, argilik	Filik, argilik, profilitik, advanced argilik	Silisic, intermediete argilic
Mineral Ubahan	biotit, KF, Kuarsa, serisit, pirit, illit, epidot, klorit, kalsit, kaolini, alunit	Topas, kuarsa, muskovit, turmalin	biotit, KF, Kuarsa, serisit, pirit, illit, epidot, klorit, kalsit, kaolini, alunit	Gamet, Diopsid, magnetit, wolastonit, tremolit, biotit, klorit	Kaolinit, alunit, diaspor, pirofilit, illit	Serisit, illit, klorit, epidot, kalsit, adularia, kaolinit	Barit, gipsum, anhidrit, illit, kuarsa
Mineral Bijih utama	Kromit, pendlandit, magnetit	kasiterit, wolframit, scheelite	Bornit, kalkosit, kalkopirit, molibdenit	Bornit, kalkosit, kalkopirit, molibdenit	Enargir, luzonit, tenantit	Sfalerit, Galena, kalkopirit	Sfalerit, galena, kalkopirit
Komoditi logam	Cr, Ni, Pt	Sn, W	Cu, Mo, Au, Sn, W	Cu, Mo, Au, Sn, W	Au, Cu, Ag	Au, Ag	Zn, Pb, Cu, Au, As
Tekstur Utama	Diseminasi, Stockwork	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-Stockwork, urat	Diseminasi-replacement masif	Urat, stockwork	Masif, berlapis
Keterangan Lain		Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	Zona ubahan umumnya konsentris, tonase besar dengan kadar rendah	equivalen dengan sistem gunung api masif	equivalen dengan geothermal aktif	Berasosiasi dengan vulkanisme bawah laut

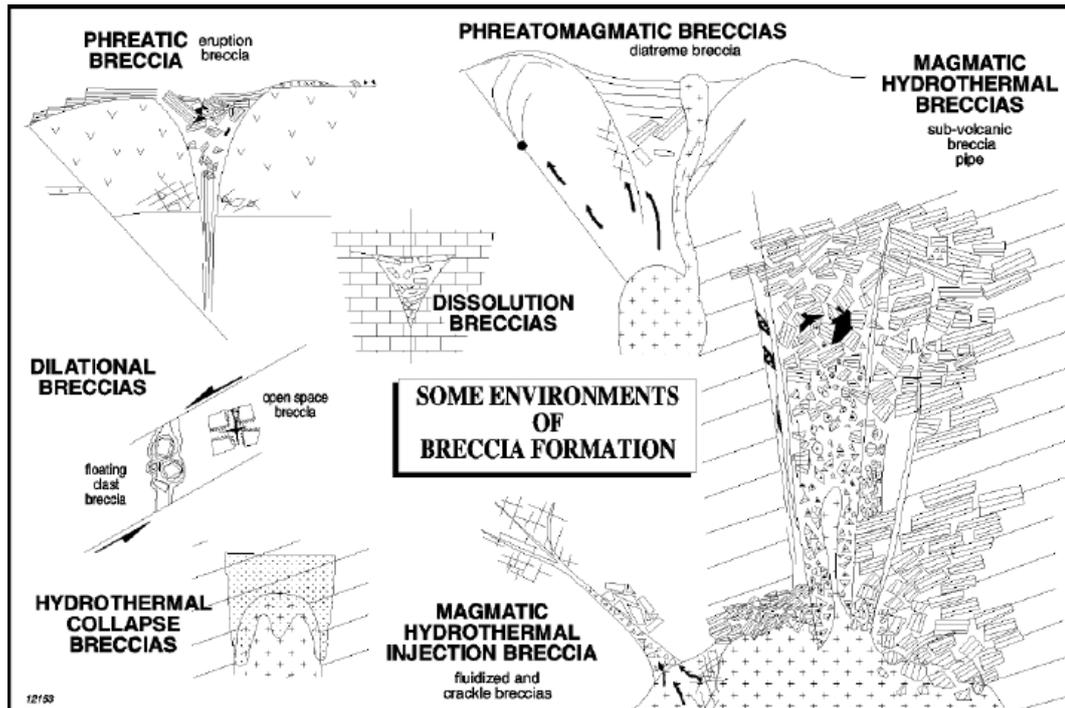
Gambar 9 Pembagian endapan hidrotermal (Cobert and Leach, 1997 dalam Sutarto, 2010)

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 Breksi Hidrotermal

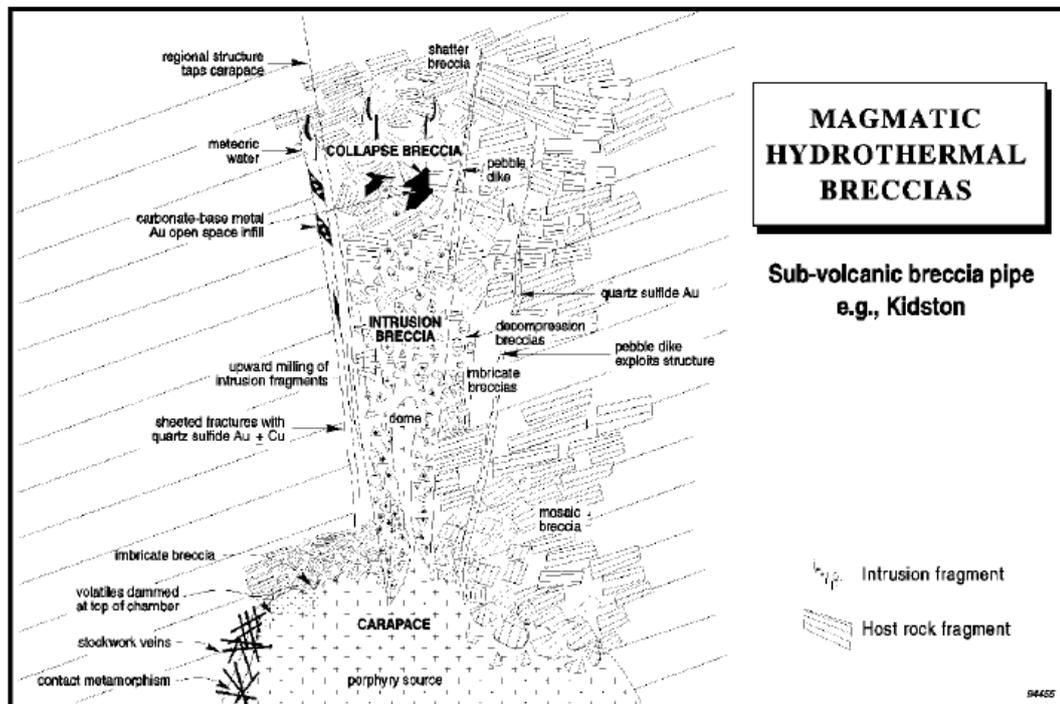
Pada endapan hidrotermal erat kaitannya dengan adanya breksi hidrotermal. Berdasarkan genetiknya atau lingkungan pembentukannya dikategorikan sebagai berikut:

- Magmatic Breccias*
- Phreatomagmatic Breccias*
- Phreatic Breccias*



Gambar 10 Pembagian breksi hidrotermal secara genetis (Corbett and Leach, 1998)

2.5.1 Magmatic Breccias



Gambar 11 Model Magmatic Breccias (Corbett and Leach, 1997)

Magmatic Breccias disebut juga sebagai “carapace breccias” yaitu produk cairan hidrotermal hasil pembekuan magma yang dilepaskan pada kedalaman level porfiri dan tidak keluar ke permukaan. Terkait secara spasial dengan intrusi porfiri

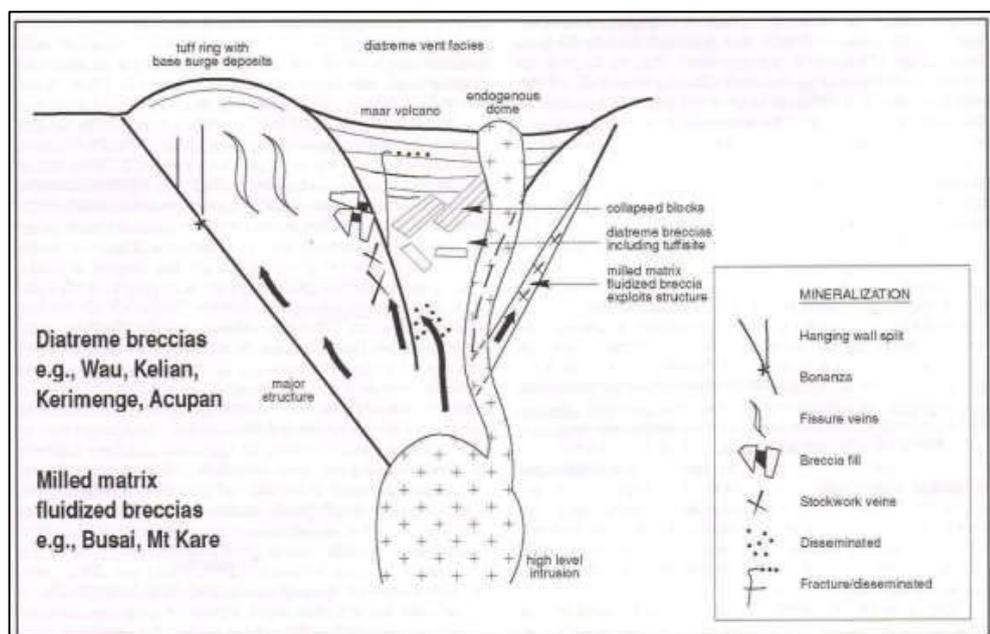
dan *dyke* tetapi meluas secara sub-vertikal. *Magmatic Breccias* dicirikan dengan keterlibatan proses magmatisme yang nyata dalam proses breksiasi, alterasi, dan komposisi fluida bijih. Breksi ini terbentuk akibat adanya fraksinasi dari intrusi magma yang menyebabkan pelepasan atau *exsolution* dari fase volatil yang tidak dapat bercampur pada pendidihan kedua dan melebihi tekanan litostatik yang menghasilkan variasi derajat rekahan hidrolik batuan. Volatile, mungkin berasal dari sumber magma besar di kedalaman, terkumpul dan menjadi terlalu tertekan dalam karena intrusi dingin. Pergerakan pada struktur pengendali dapat mematahkan magmatik yang memungkinkan volatil terlepas secara eksplosif. Proses ini dapat terjadi beberapa kali karena fraksinasi magmatik dan eksolusi lebih lanjut terjadi. Fluida pembawa logam menggunakan *sheeted fractures* untuk keluar dari lelehan pada kedalaman serta breksiasi yang digerakan oleh volatile.

Karakteristik *Magmatic Breccias* umumnya tipe breksi ini bergeometri berupa pipa sub-vertikal hingga bodi tabular. Bodi dan fase tunggal atau ganda. Biasanya memiliki diameter 50-300m. Fragmen umumnya berasal dari magmatik dan batuan asal, berupa *shingle tabular breccias* dalam kondisi kolaps, *milled fragment* dalam kondisi injeksi. Matriks berupa *rock flour* dan *open space*. Pada kondisi intrusi didominasi fragmen *introduced intrusive*, pada kondisi collapse didominasi fragmen lokal. Bentuk fragmen umumnya angular hingga *sub-rounded* (*rounded* secara lokal) yang berasal dari intrusi dalam sebuah pengisian matriks hidrotermal dengan matrik klastik minor lokal. Mineral pengisi biasanya menunjukkan suhu dan salinitas tinggi (seperti Turmalin, Feldspar). Mineral alterasi yang umum terkait adalah *sericite-quartz*, *biotite*, *k-feldspar*, *actinolite*, dan *biotite*.

2.5.2 Phreatomagmatic Breccias

Phreatomagmatic Breccias terbentuk akibat interaksi langsung antara magma dan air tanah yang telah berubah menjadi uap. *Phreatomagmatic Breccias* juga dikenal sebagai breksi diatrema. Kontak antara magma yang naik dan air tanah menghasilkan flashing air menjadi uap dan fragmentasi eksplosif batuan asal. Fluidisasi material dapat terjadi, menghasilkan pencampuran fragmen dan suatu pengolahan derajat tinggi. Breksi Phreatomagmatik umumnya merupakan produk

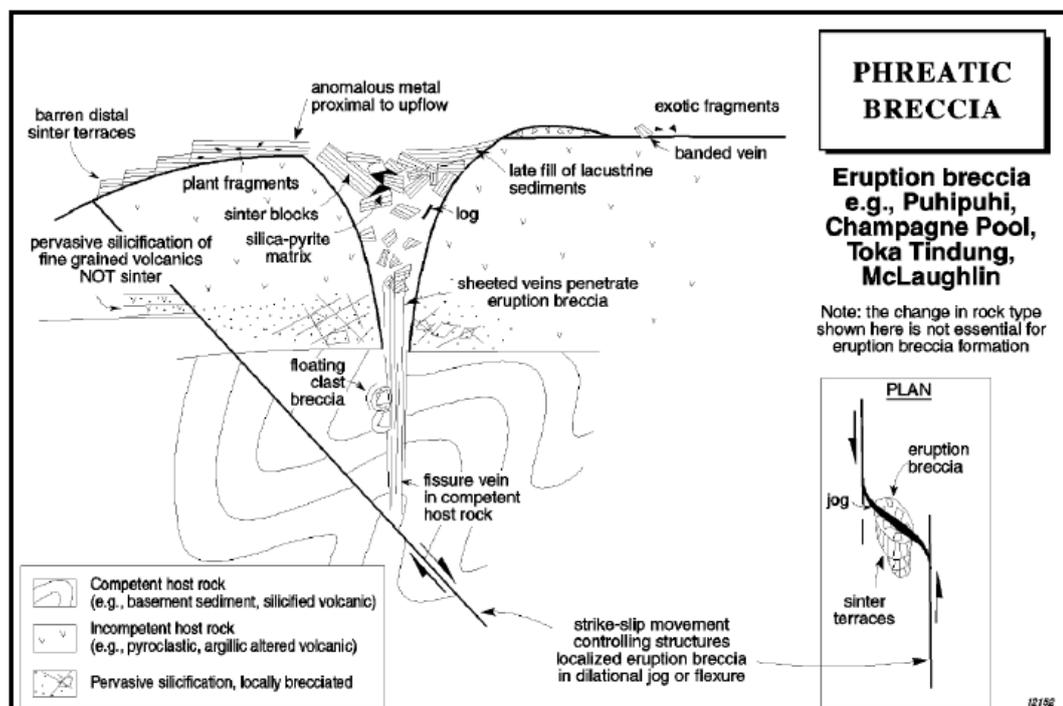
dari berbagai tahap interaksi magma dan air. Istilah *diatreme* digunakan untuk menggambarkan *breccia-filled conduit* (Sillitoe, 1985, Sillitoe dan Bonham, 1984) yang dapat terdiri dari *surficial maar volcano*, *endogenous domes* dan fitur-fitur lain, meskipun tidak semua breksi terbentuk oleh proses ini terlampiaskan ke permukaan. Istilah lapangan non-genetik *milled matrix fluidized breccia* dapat digunakan selama pemetaan geologis untuk menggambarkan breksi freatomagmatik sebelum identifikasi hubungan lapangan yang cukup untuk menempatkannya dalam lingkungan geologi yang khas diatreme. Breksi Freatomagmatik menampilkan hubungan yang kuat dengan intrusi porfiri tingkat tinggi, umumnya sebagai kompleks *flow dome*. *Diatremes phreatomagmatic* secara langsung melibatkan magma dan biasanya berakhir menjadi *dykes*. Badan breksi memberikan jalan lateral hingga penurunan *fractured wallrock*, meskipun batas antara *milled breccias* dan *fractured wallrock* mungkin tajam. Dalam ekspresi permukaan diatreme terlepas keluar pada gunung api maar atau *tuff ring*, maars di mana lantai *vent floor* telah terekskavasi di sekitar permukaan tanah. *Tuff ring* terjadi di atas diatreme kecil yang tidak menembus secara signifikan pada *country rock*. Selain itu pada kondisi lingkungan geologinya breksi freatomagmatik pada pembentukannya terkait dengan *vent facies* didalam diatreme, *tuff ring* fasies keluar dari diatreme.



Gambar 12 Model *Phreatomagmatic Breccias* (Corbett and Leach, 1997)

Karakteristik *Phreatomagmatic Breccias* biasanya fragmen polimik *subrounded* hingga *rounded* dari *wallrock matrix supported* dalam *rock flour* dengan atau tanpa semen hidrotermal. Fragmen umumnya mengalami alterasi hidrotermal. Fragmen dapat berupa fragmen *juvenile intrusion*, *local accretionary lapili*, dan *tuffisite* yang *termilled*kan baik serta matriks dapat berupa *milled* dan fluidasi claypirit yang teralterasi. *Accretionary lapilli* merupakan diagnostik keterlibatan air dalam pembentukan breksi. Di dekat base fragmen juvenile diatreme ‘whispy’ dapat terjadi dan merupakan indikasi keterlibatan magma. Menuju bagian atas diatreme, inklusi blok / fragmen sedimen permukaan berbutir halus dan kayu dapat terjadi di dalam breksi dan mensugestikan posisi dekat permukaan. Namun, fragmen batuan dinding dapat mengalami pengangkutan vertikal yang cukup besar dan blok besar dari material dekat permukaan atau *basement* dapat terjadi di dalam tubuh breksi yang berjarak 100 m di bawah posisi mereka. Fragmen pirit masif yang bulat, jika ada, disimpulkan sebagai indikasi komponen volatile magmatik awal. Sebagian besar breksi terisi oleh matriks dari material batuan yang pecah dan mengandung sedikit *open space*.

2.5.3 Phreatic Breccias



Gambar 13 Model *Phreatic Breccias* (Corbett and Leach, 1997)

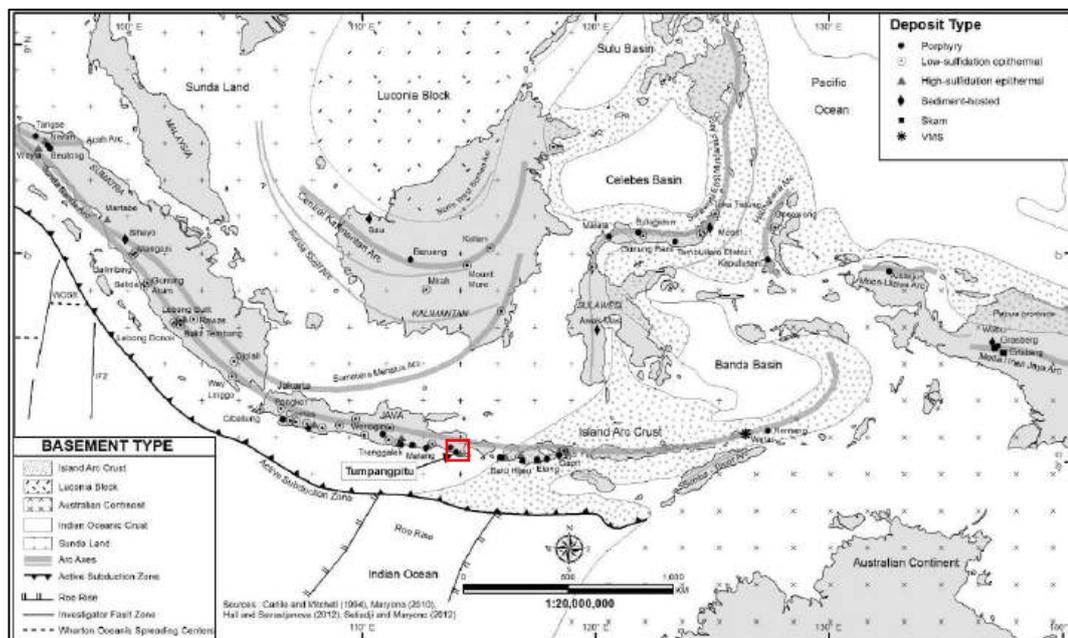
Phreatic breccias terbentuk akibat ekspansi uap dan gas dari air tanah yang bersirkulasi, tetapi digerakkan oleh panas magmatik. Keterlibatan volatil magmatik tidak penting. Breksi ini juga disebut sebagai *hydrothermal eruption breccias*. Sistem *phreatic breccias* (artinya air yang dikonversi menjadi uap) terjadi sebagai ledakan yang didorong oleh uap pada tingkat kerak dangkal, dan secara luas setara dengan breksi ledakan hidrotermal dari Baker et al. (1986), dan breksi letusan dari Nelson dan Giles (1985), dan Hedenquist dan Henley (1985a). Air tanah yang bersirkulasi di atas magma yang mendingin terpanaskan dan memberi tekanan ke level subsurface dangkal dimana flashing dapat terjadi, menyebabkan perekahan dan breksiasi. Dapat terbentuk pada permukaan membentuk *sinter outflow* serta terjadi pula pada *cone-shaped pipe vent* dan *tuff ring facies*. Biasanya terjadi dekat dengan permukaan (<1-200m di bawah tanah) dan berasosiasi dengan aktivitas hidrotermal permukaan.

Karakteristik *Phreatic Breccias* umumnya memiliki geometri *irregular* tetapi biasanya seperti *pipe dike* atau juga *pebble dike* dan berdiameter hingga 500m. Fragmen umumnya berasal dari lingkungan lokal yang umumnya berbentuk angular. Matrik umumnya berupa silika dan pirit. Derajat pencampuran *Clast*, pembulatan dan proporsi matriks tergantung pada umur panjang breksiasi. Biasanya breksi bawah permukaan bersifat monomik hingga polimik, *Clast-supported* dengan *Clast angular* hingga *rounded*. Produk breksi dekat permukaan dan permukaan (erupsi) cenderung mengandung lebih banyak matriks, dan lebih banyak polimik dan umumnya volume relatif tipis dan kecil pada produk letusan gunung berapi. *Accretionary lapilli* umumnya di dekat permukaan. *Clasts* dan *matrix* umumnya teralterasi kuat, umumnya untuk suhu rendah, mineral pH rendah, seperti silika, lempung dan sulfur. Umumnya alterasi hidrotermal suhu rendah, *accretionary lapilli*, berasosiasi dengan aktivitas mata air panas dan fumarolik. Fragmen terkelupas (*Exfoliated*) dan fragmen sinter juga dapat terjadi.

	MAGMATIC	PHREATOMAGMATIC	PHREATIC
Common name	<ul style="list-style-type: none"> sub volcanic breccia pipes magmatic hydrothermal breccia pipes 	<ul style="list-style-type: none"> diatreme breccia milled matrix fluidized breccia 	<ul style="list-style-type: none"> eruption breccia
Origin	<ul style="list-style-type: none"> violent exsolution of volatiles from intrusion 	<ul style="list-style-type: none"> venting of volatiles and rapid heating of ground waters 	<ul style="list-style-type: none"> depressurisation of geothermal waters
Level	<ul style="list-style-type: none"> deep at porphyry level need not vent 	<ul style="list-style-type: none"> intermediate diatreme vents milled matrix fluidized breccia exploits structure 	<ul style="list-style-type: none"> surficial form sinter outflows
Intrusive activity	<ul style="list-style-type: none"> porphyry-derived, dykes 	<ul style="list-style-type: none"> endogenous domes 	<ul style="list-style-type: none"> none exposed
Style of mineralization	<ul style="list-style-type: none"> quartz-sulfide gold ± copper, grading to carbonate-base metal gold 	<ul style="list-style-type: none"> carbonate-base metal gold high sulfidation gold-copper 	<ul style="list-style-type: none"> adularia-sericite epithermal gold-silver
Alteration	<ul style="list-style-type: none"> sericite-quartz biotite, K-feldspar actinolite, epidote 	<ul style="list-style-type: none"> illite to smectite disseminated fine crystalline pyrite 	<ul style="list-style-type: none"> silica-fine pyrite/marcasite
Form	<ul style="list-style-type: none"> intrusion styles dominated by introduced intrusive fragments collapse styles dominated by local fragments 	<ul style="list-style-type: none"> vent facies within diatreme tuff ring facies thrown out of diatreme 	<ul style="list-style-type: none"> cone-shaped pipes vent and tuff ring facies
Fragments	<ul style="list-style-type: none"> magmatic and local tabular shingle breccias in collapse styles milled fragments in injection styles 	<ul style="list-style-type: none"> juvenile intrusion fragments characteristic local accretionary lapilli tuffites are well milled 	<ul style="list-style-type: none"> locally derived, commonly angular
Matrix	<ul style="list-style-type: none"> rock flour, open space 	<ul style="list-style-type: none"> milled and fluidized clay-pyrite altered 	<ul style="list-style-type: none"> silica-pyrite
Examples	<ul style="list-style-type: none"> Kidston, San Cristobal, Golden Sunlight, Mt Leyshon 	<ul style="list-style-type: none"> Wau, Kelian, Acupan, Kerimenge, Lepanto, Tolukuma 	<ul style="list-style-type: none"> Champagne Pool, Puhupuhi, Toka Tindung, McLaughlin

Gambar 14 Karakteristik Pipa Breksi Hidrotermal (Corbett and Leach, 1997)

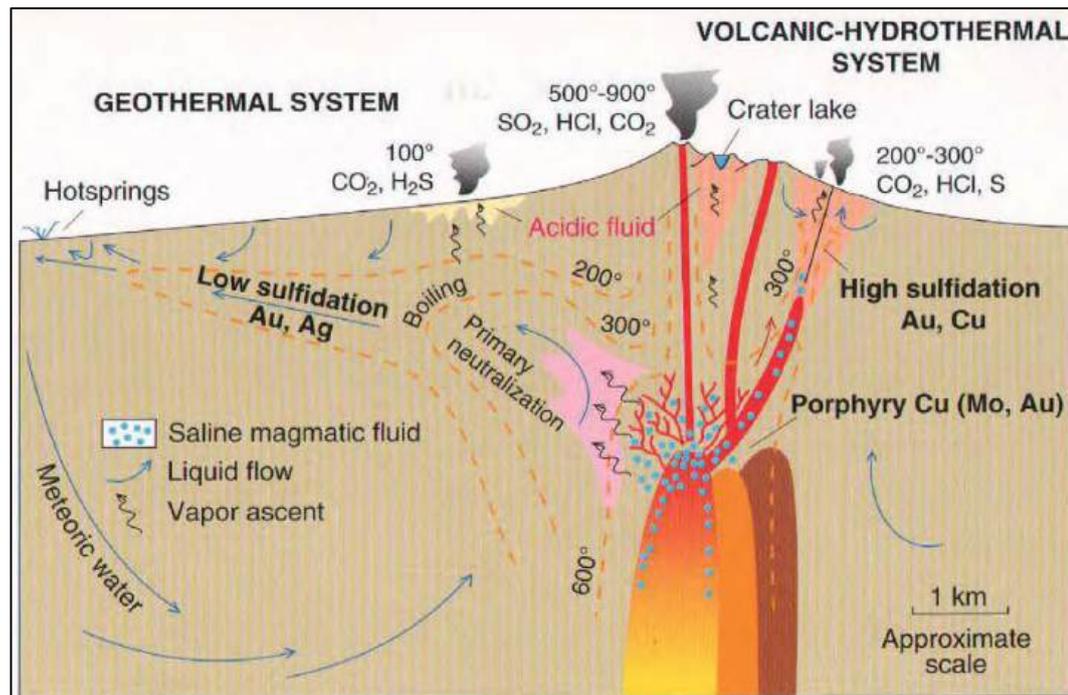
2.6 Endapan Epitermal



Gambar 15 Penyebaran Endapan porfiri dan epitermal di Indonesia (Harrison, dkk .2017)

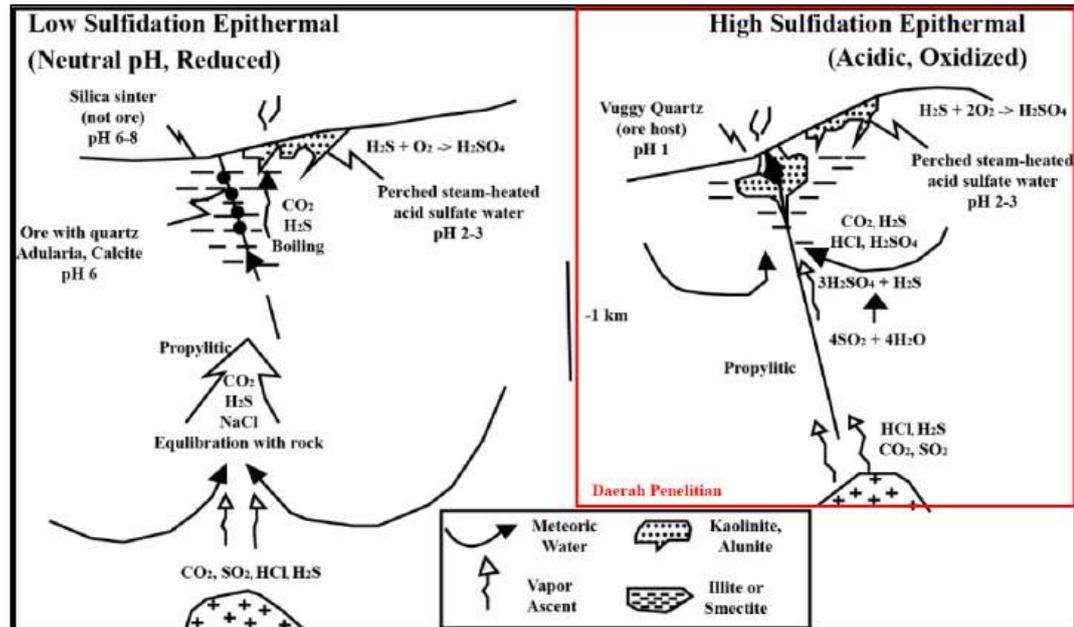
Endapan epitermal merupakan salah satu endapan mineral sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan berada pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons dkk, 2005). Istilah epitermal pertama kali digunakan oleh Lindgren pada 1913 untuk menjelaskan suatu endapan larutan hidrotermal yang dekat dengan permukaan (berkisar antara 50-1500 meter dari atas permukaan bumi). Endapan epitermal terbentuk di bagian dangkal dari sistem hidrotermal bersuhu tinggi, sistem hidrotermal yang umumnya berkembang di busur gunung berapi. Endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1.000 m di bawah permukaan dengan suhu yang relatif rendah (50°C–200°C) dengan tekanan yang rendah atau kurang dari 100 atm dan dominan berasal dari fluida meteorik yang memiliki salinitas tinggi (Pirajno, 2009). Endapan epitermal biasanya banyak ditemukan sebagai zona lemah yang mengalami proses breksiasi dan alterasi dalam tingkat tinggi. Endapan ini banyak ditemukan *vein* yang tidak menerus di sepanjang zona sesar. Terdapat dua tipe endapan epitermal yaitu epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah yang didasarkan pada sifat kimia fluida, alterasi dan mineraloginya (Hedenquist dkk, 1996).

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). Endapan epitermal terbentuk dari larutan yang *dilute* (yang mengandung NaCl < dari 5 wt%) yang mengalami proses *boiling* (mendidih) pada suhu antara 200–300°C.



Gambar 16 Skema tipe endapan epitermal sub-vulkanik (Hedenquist, 1996)

Endapan ini memiliki ciri-ciri berupa *host rock* yang umumnya merupakan batuan vulkanik dengan sifat asam hingga intermediet. Endapan epitermal sulfidasi tinggi ini biasanya dikontrol oleh struktur berupa sesar regional ataupun intrusi sub-vulkanik. Endapan epitermal Sulfidasi rendah terbentuk dari fluida sisa magma yang bergerak jauh dari tubuh intrusi dan bercampur dengan fluida meteorik di dekat permukaan. Endapan ini didominasi oleh fluida meteorik dengan pH netral karena mengandung unsur CO₂, NaCl dan H₂S. Batuan dinding yang terdapat pada endapan epitermal sulfidasi rendah umumnya merupakan andseit alkali, riodasit, riolit ataupun batuan alkali. Struktur yang berkembang pada sistem epitermal sulfidasi rendah adalah berupa urat, *cavity filling*, urat breksi, tekstur *colloform*, dan sedikit *vuggy* (Corbett dan Leach, 1997). Bentuk endapan yang ada didominasi oleh urat kuarsa yang mengisi ruang terbuka (*open space*), tersebar (*disseminated*) dan umumnya terdiri dari urat-urat breksi (Hedenquist dkk, 1996).



Gambar 17 Perbedaan kimiawi endapan epitermal sulfidasi rendah dan epitermal sulfidasi tinggi (White dan Hedenquist, 1995)

Berdasarkan tingkat sulfidasinya atau tingkat oksidasi sulfur didalam fluida bijihnya, endapan epitermal dibagi menjadi dua, yaitu endapan epitermal sulfidasi rendah (*Low Sulfidation*) dan endapan epitermal sulfidasi tinggi (*High Sulfidation*). Adapun perbedaan kedua tipe endapan ini dapat dilihat tabel 1 dan tabel 2

Tabel 1 Karakteristik endapan *Low Sulfidation* dan *High Sulfidation* (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>calcalkalic</i>		
Kedalaman pembentukan	Dangkal	Dalam	Dangkal	Intermedit	Dalam
	0-300 M	300-800 M (jarang >1.000 M)	>500 M	500 - 1.000 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>Diatremes</i> ; Batuan porfiri, vulkanik sedimen klastik
Bentuk deposit	<i>Vein, vein swarm, stockwork, disseminated</i>	<i>Vein, breccias body, disseminated</i>	<i>Disseminated breccia</i> dan <i>veinlet</i>	<i>Sulfida veins masif, late veins/breccias</i>	<i>Dissemination veinlets, breccia</i>
Tekstur bijih	<i>Fine bands, combs, crustiform,</i>	<i>Coarse bands</i>	<i>Vuggy quartz host replacement</i>	<i>Sulfida veins masif, late veins/breccias</i>	<i>Replacement</i>
Alterasi	<i>Alunite-kaolinite blanket, clay halo</i>	<i>Claysericite, carbonates, roscoelite, flourite</i> (A)	<i>Silicic (vuggy), alunite</i> kuarsa	<i>Silicic (vuggy), alunite</i> kuarsa, <i>phyropollitedickite-sericite</i>	<i>Sericite, pyrophyllite</i>
Sulfida	<i>Cinnabar stibnite; pyrite/marcasite-arsenophyrite, AuAg selenides, Se sulfosalts, sphalerit kaya</i>	<i>Pyrite-Au-Ag sulfides/sulfosalt, variable sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite/tenna</i>	<i>Enargite/luzonite, covellite, pyrite</i>	<i>Enargite/luzonite, chalcophyrite, tetrahedrite/tenna tite, sphalerite, late-covellite, pyrite</i>	<i>Bornite, digenitem chalcocite. Covellite</i>
Logam	Au-Ag-As-Sb-SeHg-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-TeSn	Cu-Au
Fitur penting	<i>Sinter, Chalcedony blanket</i>	Beberapa sulfida intermedit-state <i>veins</i> berdekatan dengan bijih sulfida tinggi	Uap-heated <i>blanket</i>	<i>Vuggy quartz host</i>	<i>Overprinted</i> pada porfiri
Fluida	<1% NaCl, kaya gas, <220°C	3-10+% NaCl, 220-280°C+(AR)	<2 wt% NaCl	4-15+ wt% NaCl	Bervariasi
Contoh	(<i>McLaughlin, RB</i>) <i>Midas, Round Mountain, Sleeper, Hishikari</i> (Sulfida Rendah)	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Casapalca	Yanachoca, Pueblo Viejo, Pierina, La Coipa, Tambo, Pascua, Paradise Peak, Summitville, Rodalquilar, Kasuga	El Indio, Lepanto, Chinkuashih, Goldfield, Lahoca	Bisbee, MM, Chuquincamata

Tabel 2 Perbedaan antara LS dan HS pada *southeast pacific rim* (Corbett dan Leach, 1997)

	Low Sulfidation	High Sulfidation
Fluid	Dilute H ₂ S-dominant	Seine, SO ₂ -dominant
Alteration	Generally neutral alteration adjacent to structures dominated by sericite/illitic clays → peripheral propylitic veins dominated by quartz ± carbonate	Characteristic zoned pervasive acid alteration from: residual (vuggy) quartz → alunite → kaolin minerals → illite minerals → propylitic
Associated minerals	Low % pyrite galena, sphalerite, chalcocopyrite	High % pyrite engargite - luzonite
Metals : Economic Accessory	Au ± Ag Pb, Zn, Cu As, Te, Hg, Sb at high levels	Au ± Cu As Te at high levels
Gold fineness	Variable fineness with depth high fineness (silver-poor) at depth low fineness (silver-rich) at high levels	High fineness (silver-poor)
Form of mineralization	Veins common with crystalline phases at depth, banded at shallow levels	Matrix to brecciated hosted in competent wall rock alteration
Structure	Pre-existing fractures at depth Subsidiary dilational structures at higher levels Magmatic, diatreme and eruption breccias	Dilational structural and permeable lithological control Diatreme breccias common

Tabel 3 Perbedaan Karakteristik Epitermal Sulfidasi Tinggi, Sulfidasi Menengah dan Sulfidasi Rendah (Hedenquist dan Sillitoe, 2003)

	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
	Oxidized magma	(Reduced magma) ¹		Subalkaline magma	Alkaline magma
Type example	El Indio, Chile (vein); Yanacocha, Peru (disseminated)	Potosi, Bolivia	Bagulo, Philippines (Au-rich); Fresnillo, Mexico (Ag-rich)	Midaas, Nevada	Emperor Fiji
Genetically related volcanic rocks	Mainly andesite to rhyodacite	Rhyodacite	Principally andesite to rhyodacite but locally rhyolite	Basalt to rhyolite	Alkali basalt to trachyte
Key proximal alteration minerals	Quartz-alunite/ APS; quarts-pyrophyllite/ dickite at depth	Quartz-alunite/ APS; quarts-dickite at depth	Sericite, adularia generally uncommon	Illite/smectite-adularia	Roscoelite-elite adularia
Silica gangue	Massive fine-grained silicification and vuggy residual quartz		Vein-filling crustiform and comb quartz	Vein filling crustiform and colloform chalcedony and quartz; carbonate replacement texture	Vein-filling crustiform and colloform chalcedony and quartz; quartz deficiency common in early stages
Carbonate gangue	Absent		Common, typically including manganese varieties	Present but typically minor and late	Abundant but not manganese
Other gangue	Barite common, typically late		Barite and manganese silicates present locally	Barite uncommon; fluorite present locally	Barite, celestite, and/or fluorite common locally
Sulfide abundance	10-90 vol %		5->20 vol %	Typically <1-2 vol % (but up to 20 vol % where borted by basalt)	2-10 vol %
Key sulfide species	Enargite, luzonite, famatinite, covellite	Acanthite, stibnite	Sphalerite, galena, tetrahedrite-tennantite, chalcocopyrite	Minor to very minor arsenopyrite ± pyrrhotite, minor sphalerite, galena, tetrahedrite-tennantite, chalcocopyrite	
Main metals	Au, Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag	
Minor metals	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	
Te and Se species	Tellurides common; selenides present locally	None known but few data	Tellurides common locally; selenides uncommon	Selenides common; telluride present locally	Tellurides abundant; selenides uncommon

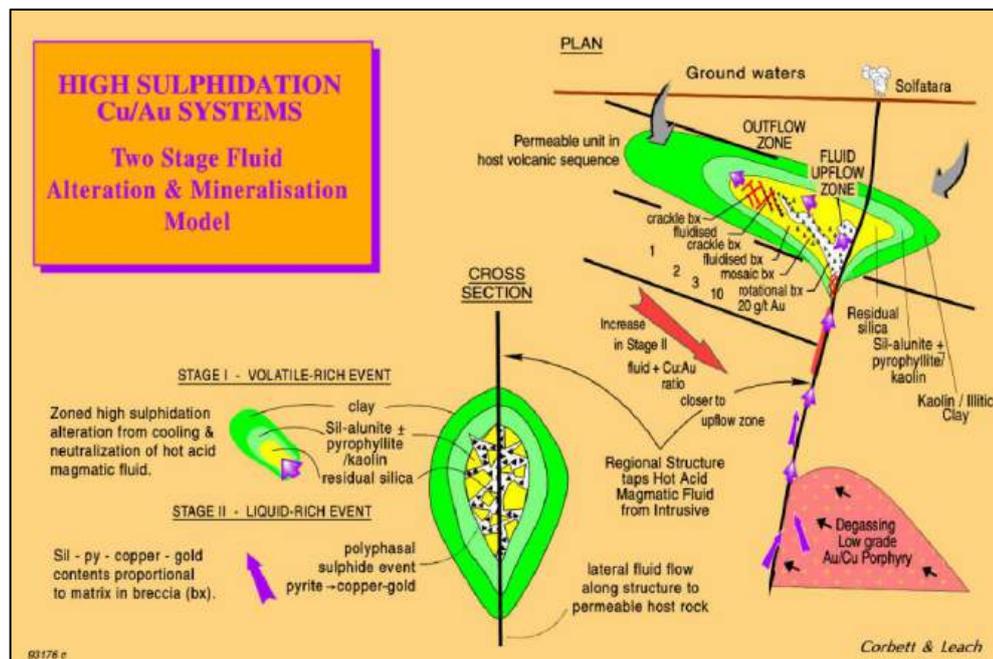
APS = aluminum-phosphate-sulfate minerals
¹ see text for elaboration of this lithocap-hosted style of mineralization

Tabel 4 Mineralogi bijih pada endapan epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi (modifikasi White dan Hedenquist, 1995)

Mineral	Low Sulphidation	High Sulphidation
pyrite	Ubiquitous (abundant)	Ubiquitous (abundant)
sphalerite	Common (variable)	Common (very minor)
galena	Common (variable)	Common (very minor)
chalcopyrite	Common (very minor)	Common (minor)
enargite-luzonite	Rare (very minor)	Ubiquitous (variable)
tennantite-tetrahedrit	Common (very minor)	Common (variable)
covellite	Uncommon (very minor)	Common (minor)
stibnite	Uncommon (very minor)	Rare (very minor)
orpiment	Rare (very minor)	Rare (very minor)
realgar	Rare (very minor)	Rare (very minor)
arsenopyrite	Common (minor)	Rare (very minor)
cinnabar	Uncommon (minor)	Rare (very minor)
electrum	Uncommon (variable)	Common (minor)

2.6.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi (*High Sulfidation*)

Endapan epitermal sulfidasi tinggi merupakan endapan epitermal yang terbentuk akibat fluida *acidic* atau fluida bersifat asam yang menyebabkan adanya reaksi dengan batuan dinding (*wall rock*) sehingga menghasilkan suatu karakteristik zona alterasi dengan dicirikan oleh kemunculan tekstur *vuggy silica*. Sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi ini terjadi pada sistem magmatik-hidrotermal yang didominasi oleh fluida hasil pembekuan magma. Di situ, sulfur hadir kandungan SO_2 , HCl , H_2S . SO_2 dan H_2S dalam bentuk *liquid* dan *vapor* bereaksi dengan H_2O membentuk asam sulfur (H_2SO_4) (Maulana, 2017).



Gambar 18 Fase alterasi dan mineralisasi pada tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi (Corbett dan Leach, 1997)

Asam *sulfide* ini merupakan larutan yang sangat aktif dan akan menyebabkan terjadinya *leaching* atau pencucian pada batuan samping 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.

Pembentukan endapan epitermal sulfidasi tinggi dimulai dengan fase awal berupa naiknya fluida bersifat asam dan panas yang kaya akan volatil melalui rekahan ataupun zona lemah pada batuan. Interaksi fluida bersifat asam dengan batuan samping menghasilkan zona alterasi yang dimulai dari bagian terdalam yang dekat dengan jalur keluarnya fluida yaitu zona masif silika (silisik), zona kuarsa-alunit (argilik lanjut), zona lempung (argilik) dan bagian terluar merupakan zona propilitik (Corbet dan Leach, 1997).

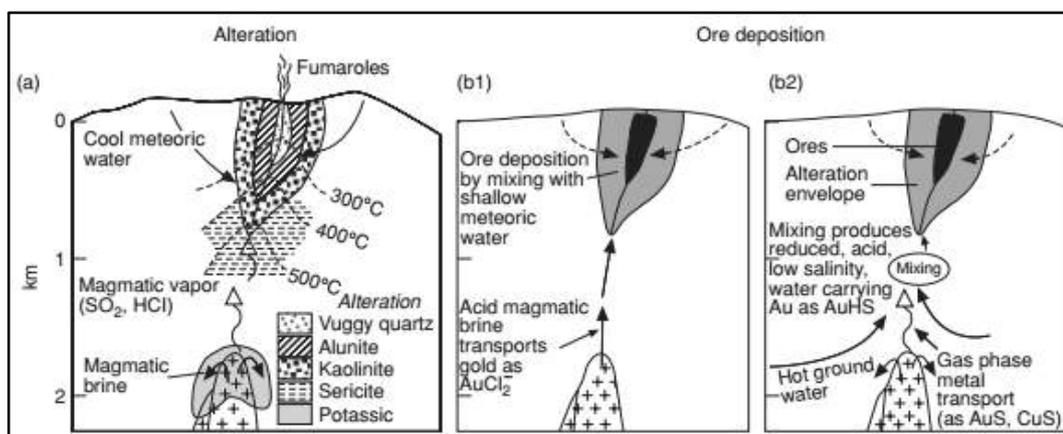
Tabel 5 Karakteristik tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi (White, 1991)

	Nansatsu type	El Indio type	Temora type
Form of deposit	disseminated local veins	veins	disseminated
Geometry of deposit	cone or irregular, flaring upwards	planar veins	large irregular shoots
Deformation	undeformed	undeformed	deformed or undeformed
Alteration	leached silica core, narrow clay-alunite margin, regional propylite silica core	clay around veins, widespread sericitic	pyrophyllite silica, sericite-cilica, regional propylite
Gold in	silica core	veins sulfide-rich and sulfide-poor	pyrophyllite-silica zone
Gold grade	low, locally high	low and high	low, locally high
Sulfide mineralogy	pyrite > enargite > luzonite, minor covellite, chalcopyrite, tennantite-tetrahedrite, galena, arsenopyrite, cinnabar	enargite > luzonite > pyrite	pyrite >> enargite
Gangue mineralogy	quartz, alunite, barite, clays	quartz	quartz, pyrophyllite, sericite, alunite, barite
Age of deposits	Tertiary to quaternary	Tertiary	Palaeozoic to Mesozoic
Examples	Akeshi, Iwato, Kasuga (Japan) Chinkuashih (Taiwan) La Coipa (Chile) Motomboto (Indonesia) Summitville (USA)	El Indio (Chile)	Temora, Peak Hill, Rhyolite Creek (Australia) various minor in Geongsang Basin (Korea) various minor (Japan) Pueblo Viejo (Dominica)

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 felspar 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).



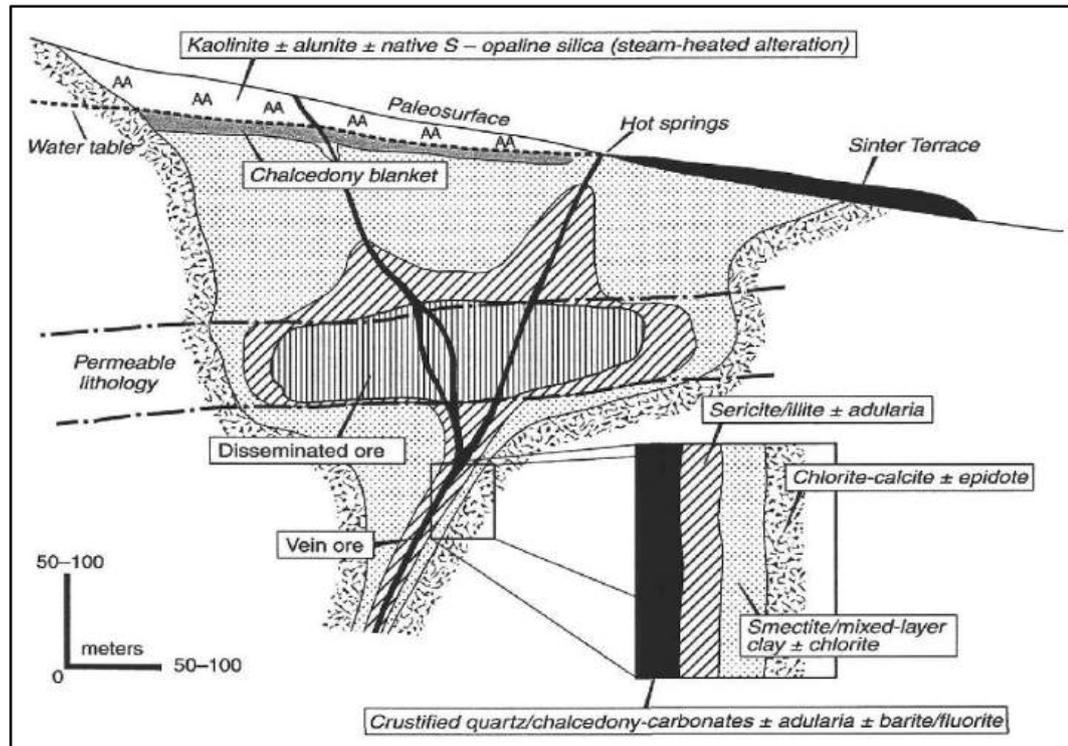
Gambar 19 Model skematik sistem endapan HS (Arribas dkk., 1995 dalam Maulana, 2017).

- (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 tertransportasi dalam bentuk bisulfida kompleks

2.6.2 Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah (*Low Sulfidation*)

Endapan sistem sulfidasi rendah atau *low sulfidation 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 (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 perlapisan yang bagus, sering dijumpai terjadi perulangan antara silika dan karbonat serta memperlihatkan tekstur pengisian rekahan (*open-space filling*) (Maulana, 2017).



Gambar 20 Model skematik dari alterasi pada sistem endapan *low-sulfidation* (Hedenquist dkk., 2000)

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 kuarsakalsedon-adularia pada urat-urat yang termineralisasi yang pada umumnya akan memperlihatkan *curstiform-collofrom banding* dan *platy*, kuarsa dengan *latticetexture* 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).

2.7 Mineralisasi Hidrotermal

Mineralisasi merupakan suatu proses pengendapan mineral bijih melalui media yang membawanya akibat adanya perubahan lingkungan kimia dan fisika di sekitarnya. Mineral bijih merupakan mineral yang bernilai ekonomis yang mengandung unsur logam yang dapat diekstrak. Mineral penyerta yang tidak bernilai ekonomis umumnya juga hadir dan terdapat pada tubuh bijih. Pembentukan endapan mineral bijih sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang terdiri dari karakter fluida hidrotermal pembawa bijih, pergerakan fluida hidrotermal pembawa bijih, komponen bijih dan cara pengendapan mineral bijih. Emas pada mineralisasi, umumnya berasosiasi dengan galena, sphalerit, kalkopirit, dan pirit (Corbett *and* Leach, 1998).

Pola mineralisasinya yaitu mineral biji yang mengisi rongga-rongga dan rekah (*open space & cavity filling*). Zona biji biasanya dibatasi oleh struktur tetapi bisa muncul pada litologi yang bersifat permeabel. Urat dengan lebar >1m yang mengikuti searah dengan jurus beberapa ratus meter, sampai urat-urat kecil dan *stockworks* biasanya memiliki penyebaran dan pergantian yang lebih sedikit.

Secara genetik, endapan mineral dibagi menjadi endapan yang disebabkan oleh proses magmatik, proses hidrotermal, proses metamorfisme, serta proses proses permukaan. Proses magmatisme yang disebabkan oleh proses *gravitational settling*, *liquid immiscibility*, maupun pegmatik.

Pengayaan juga dapat terjadi karena adanya interaksi antara air meteorik yang merembes ke bawah permukaan dengan fluida panas magma yang membawa mineral berharga, yang kemudian dapat menyebabkan mineralisasi tersebar merata (*disseminations*) atau dapat pula terkonsentrasi mengisi patahan dan retakan-retakan yang biasanya hadir sebagai urat (*vein*, *veinlets*, *stringer*, *stockwork*) dan lain sebagainya.