

SKRIPSI

**HUBUNGAN ZONA ALTERASI DAN ZONA OKSIDASI
TERHADAP KADAR EMAS PADA PT. BUMI SUKSESINDO,
DAERAH TUJUH BUKIT, KABUPATEN BANYUWANGI,
PROVINSI JAWA TIMUR**

Disusun dan Diajukan Oleh :

**ABIMANYU A. NASARUDDIN
D061 19 1011**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**HUBUNGAN ZONA ALTERASI DAN ZONA OKSIDASI
TERHADAP KADAR EMAS PADA PT. BUMI SUKSESINDO,
DAERAH TUJUH BUKIT, KABUPATEN BANYUWANGI,
PROVINSI JAWA TIMUR**

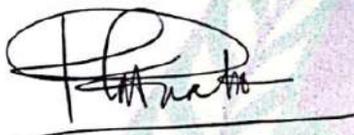
Disusun dan Diajukan Oleh :

**ABIMANYU A. NASARUDDIN
D061 19 1011**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 5 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T
NIP. 19590202 198601 2 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T
NIP.19700606 199412 2 001

**Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Abimanyu A. Nasaruddin
NIM : D061 19 1011
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“HUBUNGAN ZONA ALTERASI DAN ZONA OKSIDASI TERHADAP
KADAR EMAS PADA PT. BUMI SUKSESINDO, DAERAH TUJUH BUKIT,
KABUPATEN BANYUWANGI, PROVINSI JAWA TIMUR”**

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

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 isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Agustus 2024



ing menyatakan,

Abimanyu A. Nasaruddin

ABSTRAK

ABIMANYU A. NASARUDDIN. *Hubungan Zona Alterasi Dan Zona Oksidasi Terhadap Kadar Emas Pada PT. Bumi Suksesindo, Daerah Tujuh Bukit, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur* (dibimbing oleh Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T dan Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T)

Pertambangan emas di Indonesia menjadi salah satu objek vital nasional yang berperan penting bagi kepentingan maupun sumber pendapatan negara yang bersifat strategis. secara administratif daerah penelitian termasuk dalam area Tujuh Bukit, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, yang merupakan bagian dari daerah IUPK (Izin Usaha Pertambangan Khusus) milik PT. Bumi Suksesindo. Tujuan penelitian untuk mengetahui hubungan zona alterasi dan zona oksidasi terhadap kadar emas pada daerah penelitian dengan menggunakan metode *core logging* dan analisis geokimia berupa XRD dan AAS, serta perhitungan kadar emas pada setiap zona menggunakan metode *box plot*.

Alterasi hidrotermal membentuk empat zona alterasi yaitu *zona silica*, *zona silica+alunite*, *zona silica+clay*. Selanjutnya terjadi proses oksidasi yang menghasilkan empat himpunan mineral yaitu *zona goethite*, *zona goethite+hematite*, *zona hematite+goethite*. Hubungan zona alterasi dan kadar emas adalah zona yang mengandung mineral *alunite* maka kadar emas pada zona tersebut semakin tinggi di karenakan mineral *alunite* dapat berinteraksi dan mengikat mineral logam sulfida yang menjadi mineral pembawa emas, dan zona alterasi semakin menjauhi sumber (*source rock*) maka kadar emas akan semakin rendah. Hubungan zona oksidasi terhadap kadar emas yaitu semakin tinggi presentasi mineral *goethite* maka semakin tinggi kadar emas pada zona tersebut, sedangkan semakin tinggi presentasi mineral *hematite* maka semakin rendah kadar emas.

Kata Kunci : Alterasi, Mineralisasi, Oksidasi, Emas

ABSTRACT

ABIMANYU A. NASARUDDIN. *Relation of Alteration Zone and Oxidation Zone on Gold Content at PT Bumi Suksesindo, Tujuh Bukit Area, Banyuwangi Regency, East Java Province (supervised by Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T and Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T)*

Gold mining in Indonesia has become a vital national object that plays an important role in the interests and strategic source of state income. Administratively, the research area is included in the Tujuh Bukit area, Pesanggaran District, Banyuwangi Regency, East Java Province, which is part of the IUPK (Special Mining Business Permit) area belonging to PT. Bumi Suksesindo. Astronomically. The aim of the research is to determine the relationship between alteration zones and oxidation zones on gold content in the research area using the core logging method and geochemical analysis in the form of XRD and AAS, as well as calculating the gold content in each zone using the box plot method.

Hydrothermal alteration forms four alteration zones, namely the silica zone, silica+alunite zone, silica+clay zone. Next, an oxidation process occurs which produces four mineral groups, namely the goethite zone, goethite+hematite zone, hematite+goethite zone, and hematite zone. The relationship between alteration zones and gold content is that zones containing alunite minerals, the gold content in the zone is higher because alunite minerals can interact and bind sulfide metal minerals which are gold-bearing minerals, and the alteration zone is further away from the source rock, the lower the gold content. The relationship between oxidation zones and gold content is that the higher the presentation of goethite minerals, the higher the gold content in the zone, while the higher the presentation of hematite minerals, the lower the gold content.

Keywords: *Alteration, Mineralization, Oxidation, Gold*

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 skripsi dengan judul “**Hubungan Zona Alterasi Dan Zona Oksidasi Terhadap Kadar Emas Pada PT. Bumi Suksesindo, Daerah Tujuh Bukit, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur**” ini bisa diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Laporan skripsi 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 Dosen Pembimbing utama yang telah memberikan waktu dan bimbingan kepada penulis selama penyusunan laporan.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing pendamping yang telah memberikan waktu dan bimbingan kepada penulis selama penyusunan laporan.
3. Bapak Dr. Ir. Kaharuddin, M.T. dan Bapak Dr. Ir. H. Hamid Umar, MS sebagai dosen penguji yang memberikan masukan kepada penulis dalam penyusunan laporan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T. M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu dosen pada Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bimbingannya.
6. Staf Administrasi Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya dalam pengurusan administrasi dan kebutuhan dalam penelitian.
7. PT. Bumi Suksesindo terutama Divisi *Geoscience* dan *Team Study Geoscience* yang telah membimbing dan membantu dalam penyusunan maupun menyediakan data dalam tugas akhir.

8. Orang Tua tercinta yang tidak pernah putus dalam memberi doa dan dukungan baik secara mental maupun materil kepada penulis.
9. Teman-teman *JAEGER* (Teknik Geologi Angkatan 2019) yang selalu mendukung penulis dalam pengerjaan laporan.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis sadar bahwa masih banyak terdapat kesalahan serta kekeliruan didalamnya. Maka penulis sangat mengharapkan kritik, saran dan masukan yang membangun terhadap laporan ini. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi semua pihak yang berkepentingan lainnya

Gowa, Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Geologi Daerah Penelitian	3
2.1.1 Stratigrafi Daerah Penelitian	3
2.1.2 Struktur Geologi Daerah Penelitian	5
2.1.3 Alterasi Daerah Penelitian.....	6
2.2 Alterasi Hidrotermal.....	7
2.2 Zona Alterasi	8
2.3 Endapan Hidrotermal	12
2.4 Endapan Epitermal	12
2.4.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi	15
2.4.2 Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah.....	16
2.5 <i>Supergene Enrichment Deposit</i>	17
2.5.1 <i>Supergene Enrichment of Gold</i>	18
2.6 Mineralisasi Hidrotermal	19

2.7	Emas	20
BAB III METODE PENELITIAN		23
3.1	Lokasi Penelitian	23
3.2	Variabel Penelitian	24
3.3	Bahan dan Alat	24
3.4	Teknik Pengumpulan Data	25
3.5	Tahapan Penelitian	25
3.5.1	Studi Literatur	25
3.5.2	Pengambilan Data <i>Core</i>	25
3.5.3	Analisis Laboratorium	26
3.5.4	Penyusunan Laporan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		28
4.1	Litologi Daerah Penelitian	28
4.1.1	Satuan <i>Dacite</i>	28
4.1.2	Satuan <i>Phreatomagmatic Breccia</i>	29
4.2	Zona Alterasi Daerah Penelitian.....	30
4.2.1	Zona <i>Silica</i>	31
4.2.2	Zona <i>Silica+Alunite</i>	32
4.2.3	Zona <i>Silica+Clay</i>	33
4.2.4	Zona <i>Clay+Silica</i>	35
4.3	Mineralisasi Daerah Penelitian	36
4.4	Zona Oksidasi Daerah Penelitian	39
4.4.1	Zona <i>Goethite</i>	40
4.4.2	Zona <i>Gothite+Hematite</i>	41
4.4.3	Zona <i>Hematite+Goethite</i>	42
4.4.4	Zona <i>Hematite</i>	42
4.5	Hubungan Zona Alterasi terhadap Kadar Emas	43
4.6	Hubungan Zona Oksidasi Terhadap Kadar Emas	44
BAB V KESIMPULAN.....		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....		47

LAMPIRAN..... 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Geologi regional lembar Blambangan (A. Achdan dan S. Bachri,1993).....	3
Gambar 2	Peta geologi Tujuh Bukit Project (Hellman, 2011).....	4
Gambar 3	Peta geologi regional di seluruh daerah Tujuh Bukit modifikasi Kavalieris and Khashgerel (2011) dalam (Dermawan,2020).....	5
Gambar 4	Himpunan mineral alterasi dalam sistem hidrotermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH larutan (Corbett dan Leach, 1996).....	9
Gambar 5	Skema tipe endapan epitermal (Hedenquist dan Lowenstern, 1994).	13
Gambar 6	Penampang ideal zonasi alterasi sulfida tinggi (Steven & Ratte, 1960).....	16
Gambar 7	Model skematik endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk, 2000).....	17
Gambar 8	Penampang skematik <i>supergene enrichment deposit</i> (Robb, 2005)...	18
Gambar 9	Peta tunjuk lokasi daerah penelitian.....	23
Gambar 10	Diagram alir metode penelitian.....	27
Gambar 11	Kenampakan megaskopis litologi <i>dacite</i> pada drill hole GTD-19-657	29
Gambar 12	Kenampakan megaskopis litologi <i>phreatomagmatic breccia</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-661	29
Gambar 13	Kenampakan <i>drill hole</i> zona alterasi.....	30
Gambar 14	(a) Kenampakan megaskopis alterasi <i>silica</i> pada drill hole GTD-19-657, (b) kenampakan <i>hand specimen</i> alterasi <i>silica</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657, (c-d) kenampakan sayatan tipis alterasi <i>silica</i> dengan komposisi mineral kuarsa (Qz) dan mineral opa (Opq)	31
Gambar 15	(a) Kenampakan megaskopis alterasi <i>silica+alunite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657, (b) kenampakan <i>hand specimen</i> alterasi <i>silica+alunite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657, (c-d) kenampakan sayatan tipis alterasi <i>silica+alunite</i> dengan komposisi mineral kuarsa (Qz), alunit (Alu), dan mineral opa (Opq).....	32
Gambar 16	Diagram presentasi mineral pada alterasi <i>silica+clay</i> drill hole GTD-19-653.....	34
Gambar 17	(a) Kenampakan megaskopis alterasi <i>silica+clay</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-662, (b) kenampakan <i>hand specimen</i> alterasi <i>silica+clay</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-662 (c-d) kenampakan sayatan tipis alterasi <i>silica+clay</i> dengan komposisi mineral kuarsa (Qz) dan mineral opa (Opq)	34
Gambar 18	Kenampakan megaskopis alterasi <i>clay+silica</i> pada drill hole GTD-19-662.....	35
Gambar 19	Himpunan mineral alterasi dalam sistem hidrotermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH larutan (Corbett dan Leach, 1996).....	36
Gambar 20	(a-b) Kenampakan mineral <i>pyrite</i> dengan tekstur <i>open space filling</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657.....	37
Gambar 21	(a-b) Kenampakan mineral <i>covelite</i> dengan tekstur <i>replacement</i> pada drill hole GTD-19-657.....	37

Gambar 22 (a-b) Kenampakan mineral <i>magnetite</i> dengan tekstur <i>open space filling</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-660	38
Gambar 23 (a-b) Kenampakan mineral <i>goethite</i> dengan tekstur <i>open space filling</i> dan <i>desiminated</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-659	38
Gambar 24 (a-b) Kenampakan mineral <i>hematite</i> dengan tekstur <i>desiminated</i> dan mineral <i>goethite</i> dengan tekstur <i>open space filling</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657	39
Gambar 25 Kenampakan <i>drill hole</i> zona oksidasi.....	40
Gambar 26 (a-b) Kenampakan megaskopis zona oksidasi dengan mineral <i>goethite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-657	40
Gambar 27 Kenampakan megaskopis zona oksidasi dengan mineral <i>goethite</i> dominan dan <i>hematite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-662	41
Gambar 28 Kenampakan megaskopis zona oksidasi dengan mineral <i>hematite</i> dominan dan <i>goethite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-653	42
Gambar 29 Kenampakan megaskopis zona oksidasi dengan mineral <i>hematite</i> pada <i>drill hole</i> GTD-19-653.....	43
Gambar 30 Grafik <i>box plot</i> antara zona alterasi dengan kadar emas	44
Gambar 31 Grafik <i>box plot</i> antara zona oksidasi dengan kadar emas	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineralnya (Guilbert dan Park, 1986)	8
Tabel 2	Karakteristik endapan <i>Low Sulphidation</i> dan <i>High Sulphidation</i> (Hedenquist dkk., 2000)	14
Tabel 3	Data drill hole daerah penelitian	28
Tabel 4	Data analisis kandungan mineral dengan metode XRD	33

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
%	Persen
°	Derajat
'	Menit
”	Detik
±	Kurang Lebih
>	Lebih Dari
<	Kurang Dari
//-Nikol	Nikol Sejajar
X-Nikol	Nikol Silang
µm	Mikrometer
Alu	Alunit
C	Selsius
Cv	Kovelit
Gth	Goetit
Hem	Hematit
Mag	Magnetit
mm	Milimeter
pH	Tingkat Asam atau Basa
ppm	<i>Part Per Million</i>
Py	Pirit
Opq	Mineral Opaq
Qz	Kuarsa

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan emas di Indonesia menjadi salah satu objek vital nasional yang berperan penting bagi kepentingan maupun sumber pendapatan negara yang bersifat strategis. 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. Akibat permintaan bijih yang tinggi, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi mineral bijih ini menjadi semakin meningkat. Hal ini kemudian mendorong suatu perusahaan, dan ahli geologi dalam melakukan sebuah eksplorasi dan eksploitasi untuk mencapai kebutuhan mineral bijih suatu negara khususnya di Indonesia.

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. Kondisi geologi menjadi salah satu faktor pembentukan emas pada suatu daerah. Keberadaan emas di alam banyak ditemukan dalam bongkahan batuan dengan ciri berasosiasi dengan mineral seperti kuarsa (SiO_2), alunit ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), pirit (FeS_2), enargit (Cu_3AsS_4) dan mineral sulfida lainnya yang merupakan hasil dari proses alterasi dan mineralisasi sebagai mineral pembawa emas (Vicare, 2010). Selanjutnya terjadi terjadi proses oksidasi akibat berada di dekat permukaan sehingga terjadi interaksi antara mineral logam dengan air dan oksigen.

Setiap zona alterasi dan zona oksidasi memiliki karakteristik yang berbeda-beda yang memiliki hubungan dengan kadar emas. Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka hal tersebutlah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian tugas akhir “Hubungan Zona Alterasi Dan Zona Oksidasi Terhadap Kadar Emas Pada PT. Bumi Suksesindo Daerah Tujuh Bukit, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat di rumuskan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana zona alterasi pada daerah penelitian ?
2. Bagaimana zona oksidasi pada daerah penelitian ?
3. Bagaimana hubungan zona alterasi dan zona oksidasi terhadap kadar emas pada daerah penelitian ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dilakukanya penelitian pada kali ini untuk mengetahui hubungan zona alterasi dan zona oksidasi terhadap kadar emas pada daerah penelitian, dan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui zona alterasi pada daerah penelitian.
2. Mengetahui zona oksidasi pada daerah penelitian.
3. Mengetahui hubungan zona alterasi dan zona oksidasi terhadap kadar emas pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari peneltian yang dilakukan bagi institusi pendidikan sebagai referensi dalam pengembangan ilmu di bidang geologi terkhusus pada bidang alterasi dan mineralisasi, dan bagi perusahaan dalam hal ini PT. Bumi Suksesindo sebagai informasi terkait zona alterasi dan zona oksidasi yang memiliki kualitas kadar emas dalam penentuan eksplorasi maupun area penambangan.

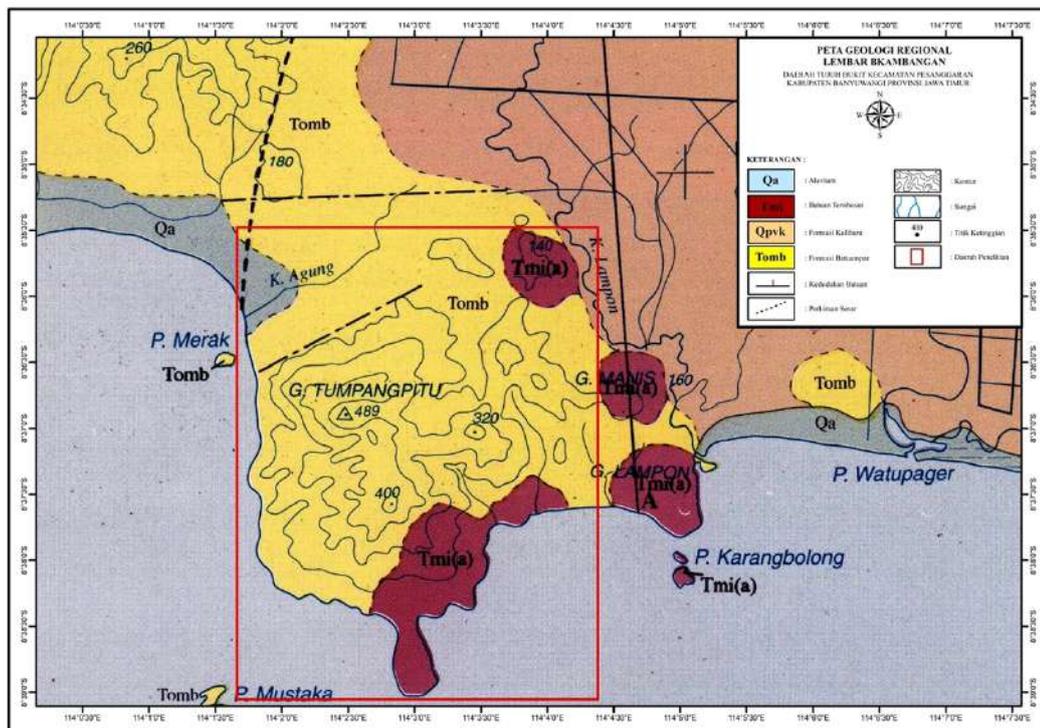
1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian yang akan dilakukan ini penulis membatasi pembahasan masalah pada karakteristik zona alterasi dan zona oksidasi berdasarkan sampel *core* yang dianalisis menggunakan XRD, petrografi, dan mineragrafi, serta hubunganya terhadap kadar emas pada daerah penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Blambangan, 1 : 100.000 yang dipetakan oleh (A. Achdan dan S. Bachri,1993). Pada Lembar ini meliputi Formasi Batuampar dan Batuan Terobosan. Secara administratif termasuk ke dalam daerah Tujuh Bukit, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur.

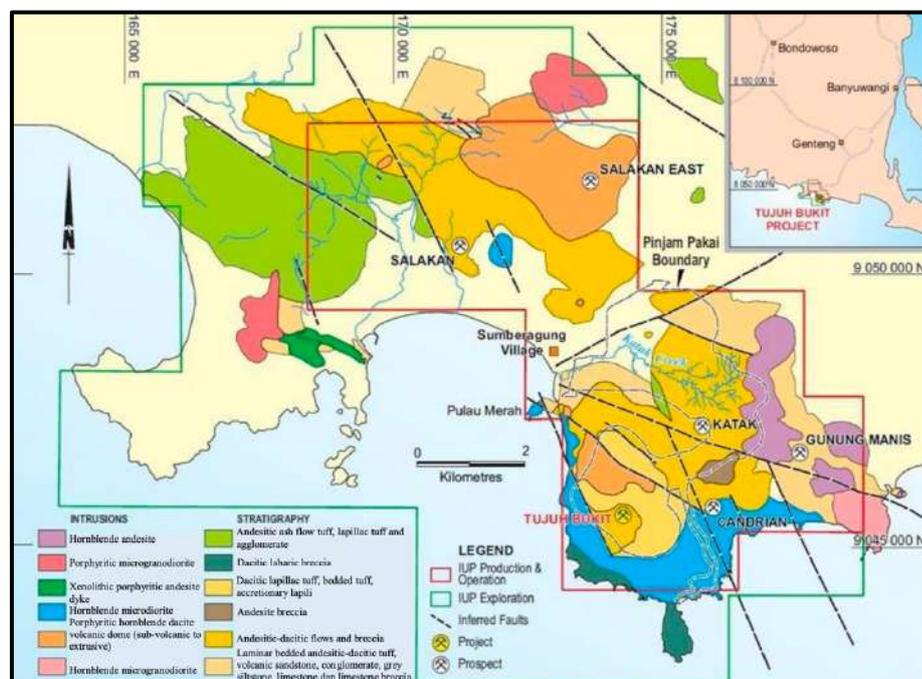


Gambar 1 Geologi regional lembar Blambangan (A. Achdan dan S. Bachri,1993).

2.1.1 Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan A. Achdan dan S. Bachri (1993) susunan stratigrafi pada daerah penelitian memiliki urutan dari yang tua menuju ke muda adalah sebagai berikut:

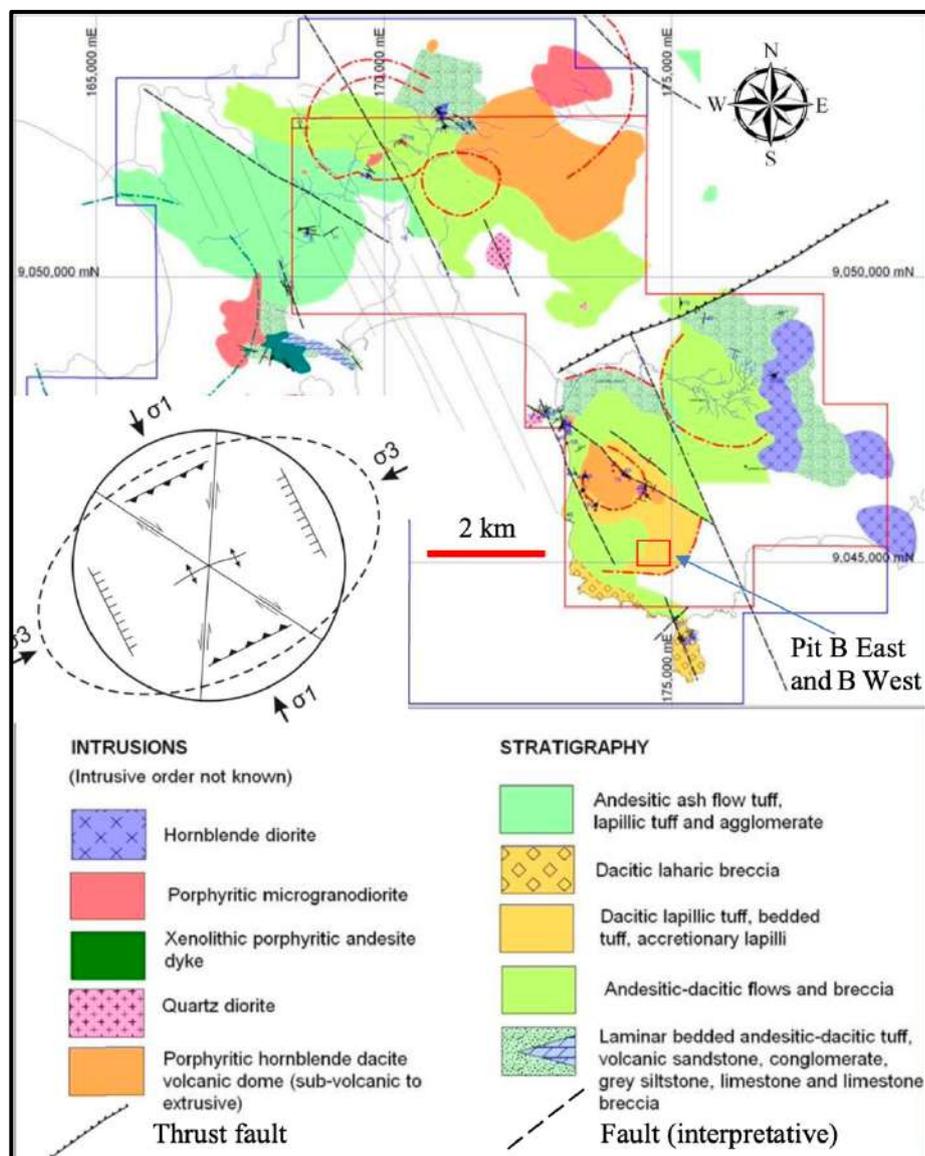
- a. **Formasi Batuampar (Tomb)** terdiri dari litologi yang didominasi oleh batuan vulkanik yaitu breksi vulkanik dan tufa. Kehadiran material vulkanik yang tinggi menjadi bukti bahwa daerah tersebut merupakan lingkungan gunungapi yang sudah mengalami proses erosional sangat tinggi hingga sampai ke bagian dasarnya. Formasi ini juga dapat ditemukan litologi batupasir, batugamping dan sisipan lava andesit. Sebagian besar litologi penyusun formasi ini telah mengalami proses alterasi kuat sebagai indikasi terjadinya proses hidrotermal di daerah tersebut. Formasi ini juga ditemukan batuan yang berperan sebagai *hostrock* dalam terjadinya proses mineralisasi. Formasi Batuampar berumur mulai dari Miosen Awal hingga akhir Miosen Tengah.
- b. **Batuan Intrusif (Tmi)** dengan umur Miosen Tengah dapat ditemukan pada batuan intrusif berupa andesit, dasit, dan granodiorit. Hal ini sesuai dengan umur terjadinya proses vulkanisme besar-besaran yang terjadi di sepanjang pantai Selatan pulau Jawa. Intrusi batuan ini berpeluang besar memicu terjadinya proses hidrotermal sehingga dapat menghasilkan berbagai macam batuan alterasi dan terjadi proses mineralisasi.



Gambar 2 Peta geologi Tujuh Bukit Project (Hellman, 2011)

2.1.2 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Zona Pegunungan Selatan yang merupakan jalur gunungapi purba berumur Oligon-Miosen berasosiasi dengan kehadiran endapan-endapan mineral berharga seperti emas, perak dan tembaga. Mineral-mineral berharga tersebut terbentuk pada sistem hidrotermal seperti endapan porfiri dan epitermal. Gunungapi purba yang sudah mati kemudian terjadi proses erosional memungkinkan endapan mineral berharga tersingkap menuju permukaan. Hal tersebut membuat proses eksplorasi dan penambangan lebih mudah untuk dilakukan.



Gambar 3 Peta geologi regional di seluruh daerah Tujuh Bukit modifikasi Kavalieris and Khashgerel (2011) dalam (Dermawan,2020)

Daerah Tujuh Bukit sesar-sesar yang sudah terbentuk sebelumnya menjadi pengontrol penempatan magma di sepanjang sesar yang mengarah baratlaut-timurlaut. Beberapa struktur bertindak sebagai jalur pembentuk endapan sulfidasi tinggi dan endapan porfiri. Berdasarkan hasil penelitian di daerah Tujuh Bukit yang dilakukan oleh Hellman (2011) diperoleh beberapa pola struktur geologi berupa sesar utama dengan arah relatif Baratlaut – Tenggara. Hal ini terlihat dengan adanya pola kelurusan-kelurusan dari morfologi. Besar kemungkinan pola struktur geologi berarah Baratlaut – Tenggara ini yang menjadi faktor utama terjadinya sesar dan kekar minor yang berkembang di daerah penelitian.

Sesar utama tersebut kemungkinan besar 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 Baratlaut (NW) – Tenggara (SE) dan Timurlaut (NE) - Baratdaya (SW). Dua sesar besar inilah yang menjadi pengendali utama terbentuknya sesar minor di kawasan Tujuh Bukit. 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 Baratlaut (NW) di daerah Tujuh Bukit.

2.1.3 Alterasi Daerah Penelitian

Sejarah Geologi dan Alterasi pada daerah 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) (Rahadi, 2021).

2.2 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal adalah proses perubahan komposisi mineral suatu batuan akibat interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan tersebut. Proses ini akan merubah mineral primer menjadi mineral sekunder yang disebut dengan mineral alterasi. Alterasi hidrotermal merupakan suatu proses yang kompleks karena suatu mineral mengalami perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh adanya interaksi antara batuan sampling (wall rock) dengan larutan hidrotermal dengan yang melaluinya pada kondisi fisika- kimia tertentu (Pirajno, 1992).

Proses alterasi hidrotermal dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti komposisi kimia fluida, suhu, komposisi batuan sampling, permeabilitas, dan durasi aktivitas hidrotermal. Namun, faktor yang paling berpengaruh adalah komposisi kimia fluida (pH) dan suhu (Corbett dan Leach, 1996).

- a. Suhu merupakan hal yang paling penting dalam proses alterasi karena hampir semua reaksi kimia yang terjadi disebabkan 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 kimia awal dari batuan yang terkena larutan hidrotermal akan menentukan komponen-komponen yang akan terbentuk akibat proses alterasi.
- d. Komposisi Fluida mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam menentukan tingkat kecepatan dan jenis mineral-mineral hidrotermal yang terbentuk.
- e. Durasi dari sistem hidrotermal masih terbuka menentukan apakah kesetimbangan telah tercapai antara inklusi fluida dan batuan induk.

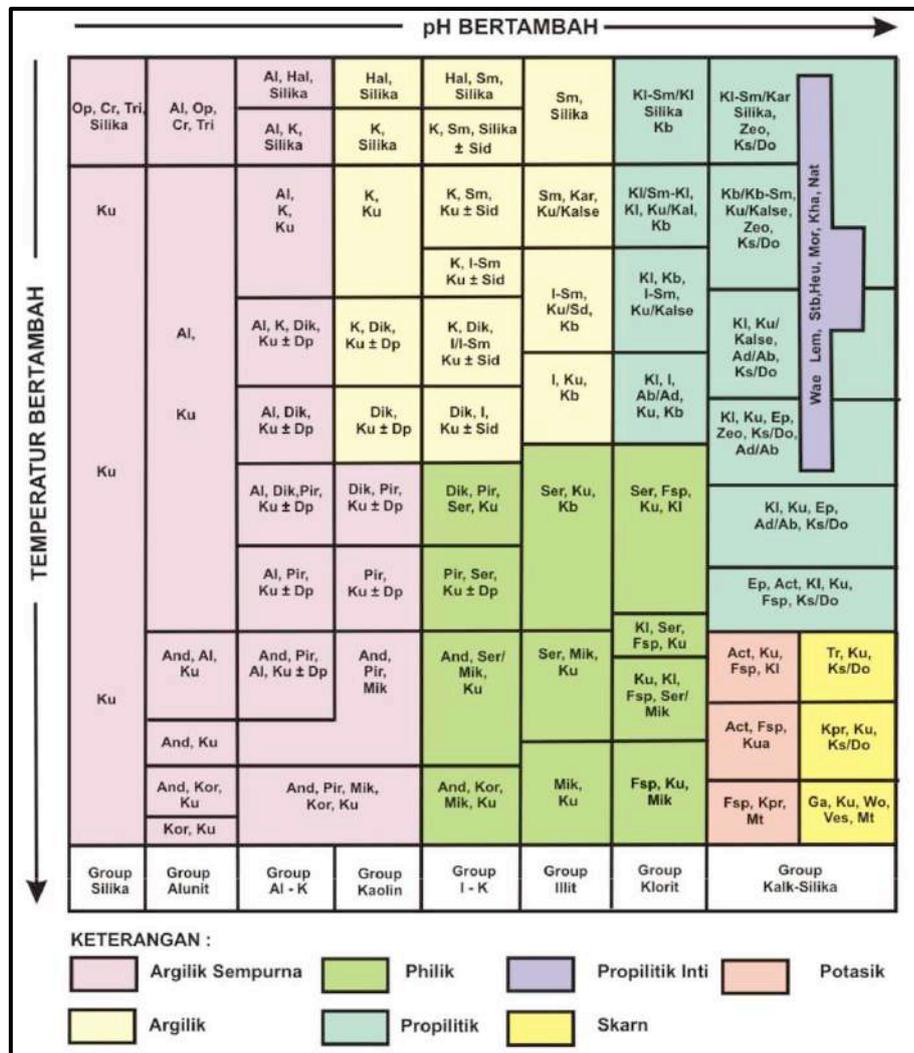
2.2 Zona Alterasi

Pengelompokkan tipe alterasi didasarkan pada ketersediaan himpunan mineral-mineral tertentu yang dijumpai pada suatu endapan. Suatu zona yang memperlihatkan kesamaan penyebaran himpunan mineral alterasi disebut dengan zona alterasi (Guilbert dan Park, 1986). Berikut merupakan tabel tipe-tipe alterasi berdasarkan pembagian himpunan mineralnya.

Tabel 1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineralnya (Guilbert dan Park, 1986)

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

Sarisitik	Serisit (illit) Kuarsa Muskovit	Pirit Illit-serisit	-
Silisifikasi	Kuarsa	Pirit Illit-serisit Adularia	-



Gambar 4 Himpunan mineral alterasi dalam sistem hidrotermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH larutan (Corbett dan Leach, 1996)

Klasifikasi zona alterasi dapat juga ditunjukkan oleh himpunan mineral-mineral tertentu berdasarkan hubungan antara temperatur dan pH larutan, berdasarkan Corbett dan Leach (1996). Berdasarkan klasifikasi tersebut diperoleh beberapa tipe alterasi yang dapat dijumpai pada endapan hidrotermal sebagai berikut :

- a. **Propilitik** dicirikan oleh kehadiran klorit yang berasosiasi dengan beberapa mineral seperti 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. Menurut Creasey (1966) dalam Sutarto (2002), penciri himpunan mineral yang hadir pada tipe propilitik, yaitu klorit – kalsit – kaolinit, klorit – kalsit – talk, klorit – epidot – kalsit, klorit – epidot.

- b. **Argilik** tipe ini dicirikan oleh himpunan mineral, yaitu muskovit-kaolinit-monmorilonit dan muskovit-klorit-monmorilonit. Himpunan mineral pada tipe ini terbentuk pada temperatur 100°-300°C dengan pH asam hingga netral, dan salinitas rendah.
- c. **Potasik** merupakan zona alterasi yang berada pada bagian dalam suatu sistem hidrotermal dengan kedalaman yang bervariasi yang letaknya lebih dari beberapa ratus meter di bawah permukaan. Zona alterasi ini dicirikan oleh mineral ubahan berupa biotit sekunder, K Feldspar, kuarsa, serisit dan magnetit. Pembentukan biotit sekunder ini dapat terbentuk akibat reaksi antara mineral mafik terutama hornblend dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar maupun piroksin. Hal ini ditandai dengan melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali feldspar- magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai aksesoris, serta sejumlah kecil albit, dan titanit (sphene) atau rutil kadang terbentuk. Alterasi potasik terbentuk pada daerah yang dekat batuan beku intrusif yang terkait, fluida yang panas (>300°C), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat.
- d. **Filik** terletak pada bagian luar dari zona potasik. Batas zona alterasi ini berbentuk *circular* yang mengelilingi zona potasik yang berkembang pada intrusi. Zona ini ditandai dengan adanya kumpulan mineral serisit dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pirit yang melimpah serta sejumlah anhidrit. Mineral serisit terbentuk pada proses hidrogen metasomatis yang merupakan dasar dari alterasi serisit yang menyebabkan mineral feldspar yang stabil menjadi rusak dan teralterasi menjadi serisit dengan penambahan unsur H⁺, menjadi mineral phylosilikat atau kuarsa. Zona ini tersusun oleh himpunan mineral kuarsa-serisit-pirit, yang umumnya tidak mengandung mineral-mineral lempung atau alkali feldspar. Kadang mengandung sedikit anhidrit, klorit, kalsit, dan rutil.

Terbentuk pada temperatur sedang-tinggi (230°-400°C), fluida asam-netral, salinitas beragam, pada zona permeabel, dan pada batas dengan urat.

- e. **Propilitik** pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya klorida, pH mendekati netral) umumnya menunjukkan zona alterasi seperti pada sistem porfiri, tetapi menambahkan istilah inner propylitic untuk zona pada bagian yang bertemperatur tinggi (>300°C), yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit (Sutarto, 2002).
- f. **Argilik lanjut (*advanced argilic*)** Untuk sistem epitermal sulfidasi tinggi (fluida kaya asam sulfat), ditambahkan istilah advanced argilic yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit + diaspor + andalusit + kurasa + turmalin + enargit-luzonit (untuk temperatur tinggi, 250°-350°C), atau himpunan mineral kaolinit + alunit + kalsedon + kuarsa + pirit (untuk temperatur rendah, < 180°C) (Sutarto, 2002).
- g. **Silisifikasi** Merupakan salah satu tipe alterasi hidrotermal yang paling umum dijumpai dan merupakan tipe terbaik. Bentuk yang paling umum dari silika adalah (E- quartz, atau β -quartz, rendah quartz, temperatur tinggi, atau tinggi kandungan kuarsanya (>573°C), tridimit, kristobalit, opal, kalsedon. Bentuk yang paling umum adalah quartz rendah, kristobalit, dan tridimit kebanyakan ditemukan di batuan vulkanik. Tridimit terutama umum sebagai produk devitrifikasi gelas vulkanik, terbentuk bersama alkali felspar. Selama proses hidrotermal, silika mungkin didatangkan dari cairan yang bersirkulasi, atau mungkin ditinggalkan di belakang dalam bentuk silika residual setelah melepaskan (leaching) dari dasar. Solubilitas silika mengalami peningkatan sesuai dengan temperatur dan tekanan, dan jika larutan mengalami ekspansi adiabatik, silika mengalami presipitasi, sehingga di daerah bertekanan rendah siap mengalami pengendapan (Pirajno, 1992).

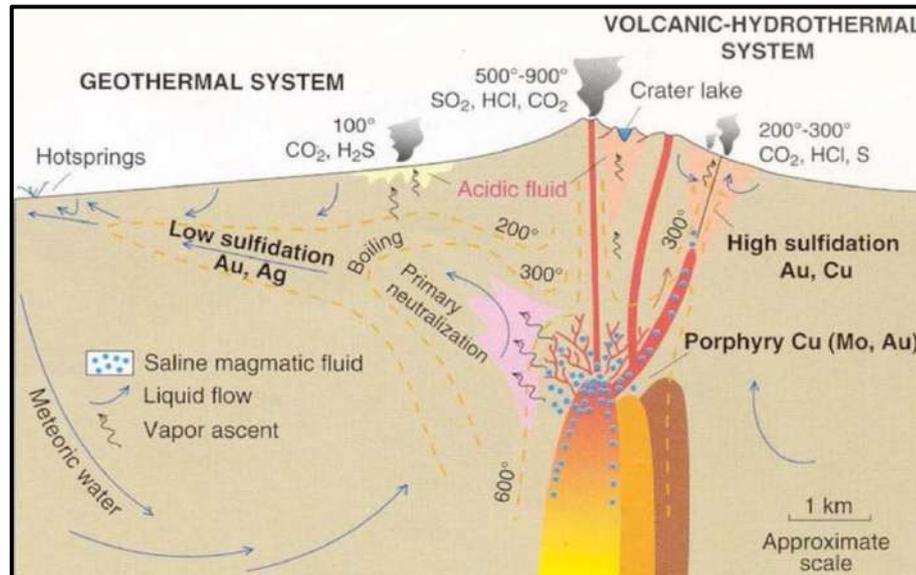
2.3 Endapan Hidrotermal

Larutan Hidrotermal merupakan larutan panas dengan suhu 50-500°C yang berasal dari sisa cairan magma yang berasal dalam bumi yang bergerak keatas dan kaya akan komponen-komponen (kation dan anion) pembentukan mineral bijih terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi (Bateman, 1950). Larutan sisa magma ini mampu mengubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum, cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali, dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil. Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah.

Endapan hidrotermal dicirikan dengan adanya endapan tipe urat atau vein, yang merupakan daerah tempat terjadinya mineralisasi bijih 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. Keberadaan urat-urat tersebut merupakan salah satu ciri utama dari jenis endapan hidrotermal (Maulana, 2017).

2.4 Endapan Epitermal

Endapan epitermal pertama kali dijelaskan oleh Lindgren pada 1913 untuk menjelaskan suatu endapan larutan hidrotermal yang posisinya berada dekat dengan permukaan berkisar antara 50-1500 meter dari atas permukaan bumi. Tipe endapan epitermal terbentuk akibat proses aktivitas vulkanisme pada suatu daerah. Suatu endapan sistem epitermal biasanya ditandai dengan munculnya aktivitas manifestasi vulkanisme dangkal di atas permukaan bumi yang dijumpai dalam bentuk *hot spring* (mata air panas) atau *fumarole* (Maulana, 2017).



Gambar 5 Skema tipe endapan epitermal (Hedenquist dan Lowenstern, 1994)

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)

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

Perbedaan tingkat sulfidasi dari endapan epitermal sangat dikontrol oleh fluida hidrotermal yang dominan dari sistem tersebut. Berdasarkan studi isotop, lingkungan endapan epitermal sulfidasi rendah sangat didominasi oleh pengaruh air meteorik, walaupun beberapa sistem mengandung air dan gas yang reaktif (CO₂, SO₂, HCl) yang berasal dari pembentukan magma (Hedenquist dan Lowenstern, 1994). Adapun perbedaan kedua tipe endapan ini dapat di lihat pada (Tabel 2).

Tabel 2 Karakteristik endapan *Low Sulphidation* dan *High Sulphidation* (Hedenquist dkk., 2000)

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

2.4.1 Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi

Endapan *high sulphidation* system (HS) terbentuk oleh adanya reaksi antara larutan panas yang berasal dari magma dengan air meteorik yang kemudian membentuk larutan bersifat sangat asam dan dalam kondisi oksidasi. Dalam endapan tersebut, 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) (Maulana, 2017).

Asam sulfur merupakan larutan yang bersifat asam yang dapat menyebabkan terjadinya *leaching* atau pencucian pada batuan sampling serta menghasilkan alterasi argilik lanjut (*advanced argillic*). Suhu dari larutan berkisar antara $200^\circ\text{--}300^\circ\text{C}$ dengan pH asam antara 0–2 dan salinitas 2–5wt% setara dengan NaCl.

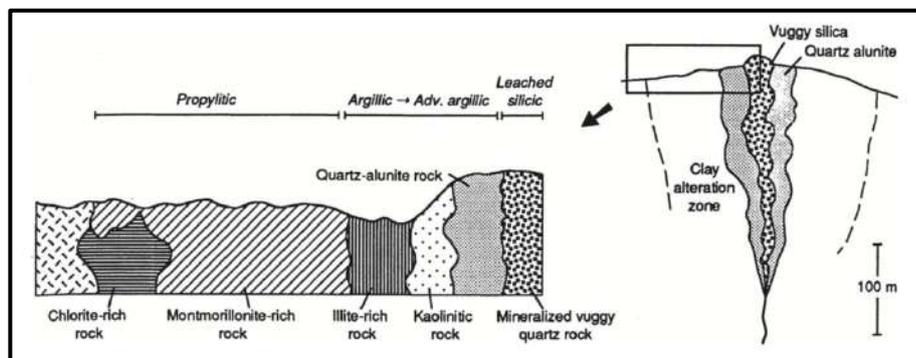
Kelompok mineral yang umum dijumpai yaitu silika dengan tekstur *vuggy*, *silica-alunite*, *pyrophyllite-diaspore* dan *dickite-kaolinite*. Endapan emas HS di daerah barat daya Pasifik umumnya berasosiasi dengan *energite-pyritebarite-alunite*.

Fluida pembawa bijih dibagi menjadi dua jenis, yaitu *volatile-rich* phase yang bergerak cepat dan *liquid-rich* phase yang bergerak agak lambat. Endapan ini juga ditandai dengan adanya luzonit dan energit yang berasal dari *liquid-rich* phase. Selain itu, di beberapa tempat endapan jenis ini juga ditandai dengan kehadiran mineral *vianciennite* sebagai indikasi *high sulfur fugacity*.

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

Kehadiran mineral alunite yang merupakan hasil ubahan dari feldspar dan merupakan salah satu penciri khas dari endapan sulfidasi tinggi disamping *vuggy*

silica menunjukkan sifat kimia larutan yang sangat asam. Bagian tengah dari zona alterasi silikaan (*siliceous zone*) merupakan daerah utama yang mengandung bijih pada endapan sulfidasi tinggi (Maulana, 2017).



Gambar 6 Penampang ideal zonasi alterasi sulfida tinggi (Steven & Ratte, 1960)

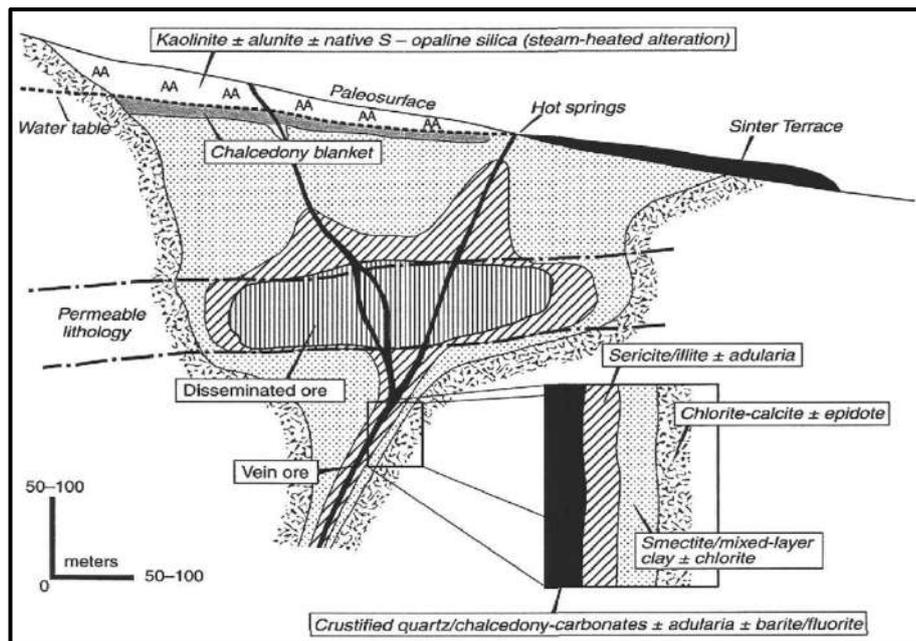
2.4.2 Endapan Epiterman Sulfidasi Rendah

Endapan sistem sulfidasi rendah atau *low sulphidation system* (LS) ditandai dengan 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 dengan 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, sehingga 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).

Pada skala kecil, endapan sulfidasi rendah biasanya dijumpai di pada batuan vulkanik, tetapi juga bisa dijumpai pada batuan *basement*-nya. Pola alterasi pada endapan sulfidasi rendah memperlihatkan zona secara lateral dari proksimal yang ditandai oleh kuarsa-kalsedon-adularia pada urat-urat yang termineralisasi

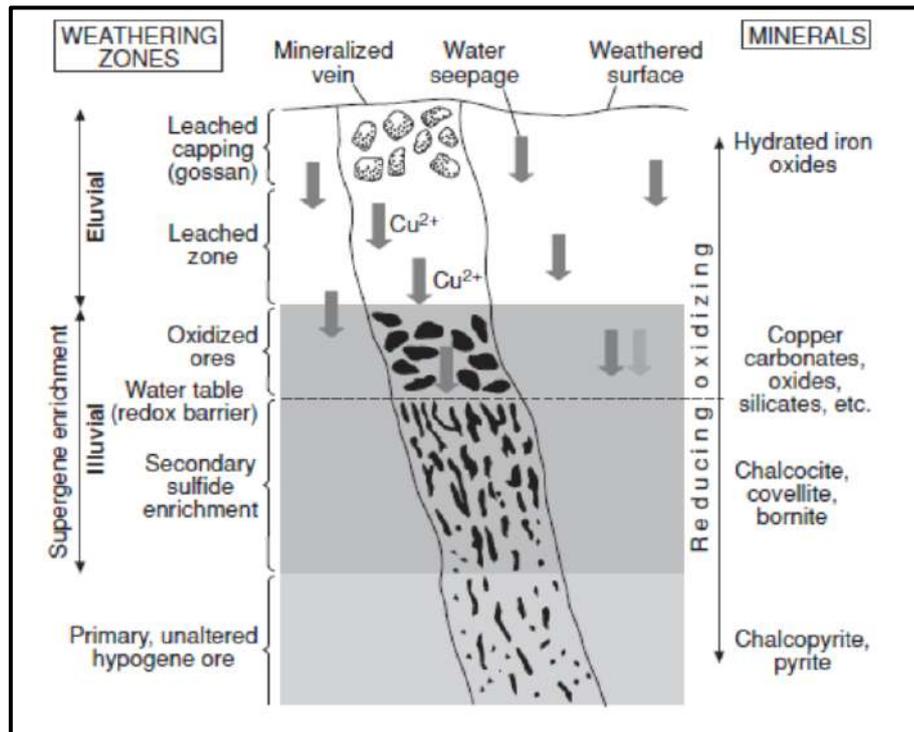
yang pada umumnya akan memperlihatkan tekstur *curstiform-collofrom* dan *platy*, kuarsa dengan *lattice-texture* yang mengindikasikan proses *boiling*, sampai dengan kumpulan *illite-pyrite* dan pada bagian distal berupa kumpulan alterasi propilitik. Kehadiran *illite* mengindikasikan pH larutan yang cenderung normal. Ciri khas lain dari sistem endapan ini yaitu banyaknya dijumpai *stockwork*, yaitu urat-urat halus yang memotong *host-rock* (Maulana, 2017).



Gambar 7 Model skematik endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk, 2000).

2.5 *Supergene Enrichment Deposit*

Proses pelapukan dapat mengakibatkan terjadinya pengayaan (*enrichment*) insitu dari tembaga (Cu) dan unsur-unsur lainnya seperti Zn, Ag, dan Au di beberapa endapan yang dekat dengan permukaan. Ketika bagian utama bijih sulfida tersingkap di permukaan, mineral-mineral sulfida akan mengalami oksidasi dan mineral-mineral bijih akan mengalami pencucian (*leaching*) dan akan turun ke bagian bawah dan membentuk semacam lapisan di dekat permukaan air tanah (*water table*). Proses ini dikenal dengan nama *supergene enrichment* yang merupakan hasil dari proses hidrolisis dan oksidasi dari mineral-mineral sulfida di bagian atas dari profil pelapukan. Lapisan *supergene enrichment* dapat mengandung bijih dua sampai lima kali lebih besar daripada bijih primernya (Maulana, 2017).



Gambar 8 Penampang skematik *supergene enrichment deposit* (Robb, 2005)

Proses pelapukan dapat bertanggung jawab terhadap pengayaan Cu secara insitu, serta logam lainnya seperti Zn, Ag, dan Au, di banyak endapan yang terjadi di atau dekat permukaan. Proses ini umumnya disebut sebagai pengayaan *supergene* dan merupakan produk oksidasi dan hidrolisis mineral sulfida di bagian atas profil pelapukan. Proses ini merupakan proses yang sangat penting dalam pembentukan endapan tembaga porfiri kadar rendah karena keberadaan lapisan supergene yang diperkaya dan mudah diekstraksi dari mineral bijih tembaga sekunder di atas bijih primer atau bijih hipogene yang sering kali menjadi salah satu faktor yang membuat endapan tersebut layak secara ekonomi. Proses yang terlibat dalam pembentukan mineralisasi supergene dan dapat diterapkan pada konsentrasi bongkahan emas atau elemen kelompok platinum di zona pelapukan laterit (Robb, 2005).

2.5.1 *Supergene Enrichment of Gold*

Deposit emas, yang mengalami oksidasi, dapat mengalami pengayaan di dekat permukaan baik sebagai hasil dari proses kimia yang melibatkan migrasi emas dan dengan menghilangkan zat-zat terlarut yaitu mineral *gangue* dan sulfida.

Di mana perak dan timbal terdapat dalam jumlah yang banyak dalam endapan auriferous dalam argentit, tetrahedrit, galena atau sulfida lainnya, selain itu terjadi pengayaan dari ini elemen-elemen ini sebagai hasil dari proses oksidasi. Berbeda dengan tembaga dan perak, bagaimanapun, emas menunjukkan kecenderungan yang lebih kecil.

Bijih utama pembawa mineralisasi emas adalah dari mineral kuarsa, pirhotit, arsenopirit, kalkopirit, magnetit dan emas. Bijih yang teroksidasi meluas ke bawah permukaan hingga beberapa meter dan mengandung banyak limonit, goetit, hematit dan pirit dalam kuarsa dan sulfida yang teroksidasi sebagian. Mobilitas, migrasi, konsentrasi emas selama proses oksidasi endapan emas sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sifat dan jenis-jenis mineral pembawa emas, jenis batuan penutup dalam mengontrol proses oksidasi, tingkat rekahan atau patahan pada batuan yang di akibatkan oleh adanya struktur, iklim, posisi muka air tanah, dan senyawa organik (Boyle, 1979).

Pelapukan pirit, yang tersebar luas pada batuan teralterasi yang memiliki tekstur *vuggy* dan memiliki rekahan di hampir semua endapan, menghasilkan cairan dengan pH rendah yang menyebabkan pengayaan tembaga dan perak, dan mungkin emas dalam deposit. Terlepas dari pengayaan emas, dalam proses penambangan hampir semua deposit emas tingkat rendah dimungkinkan oleh oksidasi pirit dan mineral sulfida lainnya di dekat permukaan. Pelapukan telah mengubah inklusi emas, elektum, dan telurida emas serta pertumbuhannya dengan mineral sulfida menjadi partikel emas terpisah dalam agregat mineral oksida besi berpori (Vicre, 2010).

2.6 Mineralisasi Hidrotermal

Mineralisasi merupakan suatu proses pengendapan mineral bijih melalui media yang membawanya akibat adanya perubahan lingkungan kimia dan fisika disekitarnya. Mineral bijih merupakan mineral yang bernilai ekonomi yang mengandung unsur logam yang dapat diekstrak. Mineral tambahan yang tidak bernilai ekonomis umumnya juga hadir dan terdapat pada tubuh bijih. Pembentukan endapan mineral bijih sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain 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, 1997).

Pola mineralisasinya terdiri dari mineral biji yang mengisi rongga-rongga dan rekah (*open space & cavity filling*). Zona bijih biasanya dibatasi oleh struktur tetapi juga dapat 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 diklasifikasikan menjadi endapan yang terbentuk melalui proses magmatik, proses hidrotermal, proses metamorfisme, serta proses proses permukaan. Proses magmatisme disebabkan oleh proses *gravitational settling*, *liquid immiscibility*, maupun pegmatik. Pengayaan juga dapat terjadi melalui interaksi antara air meteorik yang menembus ke bawah permukaan dengan fluida panas magma yang membawa mineral berharga, sehingga dapat menyebabkan mineralisasi tersebar merata (*disseminations*) atau dapat terkonsentrasi mengisi patahan dan retakan-retakan yang biasanya hadir sebagai urat (*vein*, *veinlets*, *stringer*, *stockwork*) dan lain sebagainya.

2.7 Emas

Emas merupakan logam yang bersifat Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral-mineral ikutan *gangue minerals*. Mineral ikutan tersebut umumnya umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya >20% (Sutarto, 2004).

Sebagian besar endapan emas di Indonesia di hasilkan dari jenis endapan epitermal. Endapan emas tipe ini umumnya didapatkan dalam bentuk urat baik dalam bentuk urat kuarsa maupun urat karbonat yang terbentuk dalam suhu 150°-300° C dengan pH sedikit asam atau mendekati netral. Urat-urat tersebut terbentuk oleh hasil aktifitas hidrotermal yang berada di sekitar endapan porfiri. Emas epitermal juga terdapat dalam Alterasi *Advanced-Argillic* dan alterasi-alterasi sehubungan yang terbentuk dari fluida-fluida asam sulfat. Dalam alterasi dan mineralisasi dengan jenis fluida ini, emas dijumpai dalam veinlet, batuan-batuan silika masif, atau dalam rekahan-rekahan atau breksi-breksi dalam batuan

Kehadiran breksi hidrotermal merupakan salah satu ciri adanya proses pendidihan pada larutan hidrotermal. Pendidihan terjadi karena ada pertemuan antara larutan yang bersuhu tinggi (hidrotermal) yang bersuhu tinggi (hidrotermal) dengan larutan yang bersuhu rendah (larutan meteoric). Selama proses pendidihan ini tekanan menjadi semakin besar sehingga mengancurkan dinding batuan yang dilalui larutan hidrotermal. Akibat proses pendidihan tersebut, yaitu hilangnya gas H₂S, terjadi peningkatan pH dan penurunan suhu. Ketiga proses tersebut dapat mengantarkan emas pada batuan pada batuan sehingga kadar emas dari emas primer tinggi bisa tinggi biasanya dijumpai di breksi hidrotermal hidrotermal (Sukandarrumidi, 2007).

Emas di alam ditemukan dalam dua tipe, yaitu endapan primer dan endapan sekunder (placer) dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Endapan emas primer terbentuk akibat adanya proses magmatism. Proses magmatism ini akan menghasilkan konsentrasi kejenuhan magma yang bercampur dengan batuan dinding pada penurunan suhu tertentu sehingga menghasilkan mineral-mineral logam khususnya mineral pembawa emas (unsur Au). Proses konsentrasi antara magma dengan batuan dinding ini dinamakan proses hidrotermal. Larutan hidrotermal adalah cairan dengan temperatur tinggi (100° sampai 500° C) sisa pendinginan magma yang mampu mengubah dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur *volatile*. Larutan hidrotermal terbentuk pada fase akhir dari siklus

pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada zona lemah yang membentuk urat-urat hidrotermal atau tersebar pada batuan (Bateman,1950).

2. Endapan emas sekunder terbentuk akibat proses oksidasi dan sirkulasi air yang terjadi pada endapan emas primer. Proses tersebut dapat menyebabkan terlepasnya mineral emas dan terendapkan kembali pada rongga-rongga batuan atau pori batuan. Butiran-butiran emas pada endapan sekundercenderung lebih besar dibandingkan dengan butiran endapan primer. Proses erosi yang terjadi pada endapan emas primer menghasilkan endapan emas placer/aluvial. Endapan ini dapat dijumpai berupa tanah dari batuan asal yang sudah lapuk, endapan fluviatile, dan endapan pantai (Boyle,1979).