

SKRIPSI

**ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EMAS DAERAH TAHI ITE
KECAMATAN RAROWATU UTARA KABUPATEN BOMBANA
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**SYAHRUL RAMADHAN
D61116309**



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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EMAS DAERAH TAHI ITE
KECAMATAN RAROWATU UTARA KABUPATEN BOMBANA
PROVINSI SULAWESI TENGGARA

Disusun dan diajukan oleh :

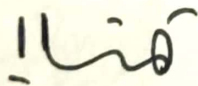
SYAHRUL RAMADHAN
D61116309

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

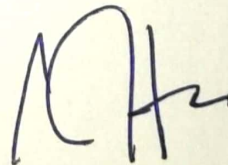
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



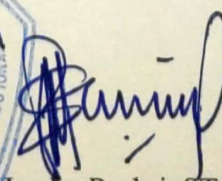
Dr. Ir. Hamid Umar, M.S
NIP. 19601202 198811 1 001



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

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin




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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Syahrul Ramadhan
NIM : D61116309
Departemen : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EMAS DAERAH TAHI ITE KECAMATAN RAROWATU UTARA KABUPATEN BOMBANA PROVINSI SULAWESI TENGGARA

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

Apabila ditemukan hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 24 Agustus 2022
Yang Menyatakan



Syahrul Ramadhan

SARI

Secara administratif terletak di Daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara tepatnya pada konsesi PT. Tiran Indonesia pada daerah Tahi Ite. Secara geografis, terletak pada $121^{\circ} 48' 45''$ - $121^{\circ} 50' 15''$ bujur timur dan $4^{\circ} 39' 45''$ - $4^{\circ} 41' 15''$ lintang selatan. Penelitian ini menggunakan metode analisis laboratorium yaitu analisa petrografi dan analisa mineragrafi. Berdasarkan analisa mineragrafi, mineral bijih yang dijumpai yaitu pirit, kalkopirit, sphalerit, kovelit, dan stibnit dengan tekstur mineral bijih berupa tekstur *replacement*, tekstur *cavity filling*, tekstur inklusi dan tekstur *open space filling*. Sedangkan berdasarkan petrografi, zona alterasi yang dijumpai yaitu alterasi silisifikasi yang ditandai kehadiran mineral kuarsa dan alterasi argilik yang ditandai kehadiran mineral lempung dan mineral kalsit. Endapan ini merupakan endapan emas hidrotermal yang terbentuk pada host rock batuan metamorf yang terbentuk pada zona struktur yang berhubungan dengan deformasi metamorfisme yang dicirikan dengan mineral kuarsa dan kalsit yang melimpah dan mineral sulfida berupa pirit, sphalerit, stibnit, kovelit dan kalkopirit.

Kata kunci : endapan emas, alterasi, mineral bijih, metamorf, Bombana.

ABSTRACT

Administratively the study area is located at Tahi Ite, Bombana District, Southeast Sulawesi precisely on the concession of PT. Tiran Indonesia in Tahi Ite area. Astronomically, it lies between 121° 48' 45" - 121° 50' 15" East Longitude and 4° 39' 45" - 4° 41' 15" South Latitude. This study was using laboratory analysis petrographic and mineragrafi analysis. Based on mineragraphy, ore minerals encountered are pyrite, chalcopyrite, sphalerite, stibnite, and covellite with texture of ore mineral in the form of replacement texture, intergrowth texture, inclusion texture, and open space filling texture. Based on petrography, the alteration zone encountered is the alteration of silicification characterized by the presence of quartz minerals and argillic alteration characterized by the presence of clay minerals and calcite minerals. This precipitate is an hydrothermal gold deposit formed on metamorphic rock as host rock formed in structural zones associated with metamorphic deformation characterized by abundant quartz and calcite and sulfides minerals such as pyrite, stibnite, covellite, sphalerite and chalcopyrite.

Keywords : *gold deposit, alteration, ore minerals, metamorf, Bombana.*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *subhanahu wata'ala* atas segala berkah dan rahmat serta atas seizin-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “**Alterasi Dan Mineralisasi Endapan Emas Daerah Tahiti Kecamatan Rarowatu Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara**” ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam juga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah *shallallahu 'alaihi wasallam* yang telah menjadi teladan terbaik bagi umat manusia.

Laporan pemetaan ini dibuat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan laporan pemetaan geologi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hamid Umar, M.S. sebagai dosen pembimbing sekaligus yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dengan ikhlas dan sabar selama penyusunan laporan.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dengan ikhlas dan sabar selama penyusunan laporan.
3. Ibu Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T. dan Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T. sebagai dosen penguji yang memberi saran kepada penulis.

4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya selama ini.
6. Bapak dan Ibu staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.
7. Rekan-rekan Jurassic, mahasiswa Teknik Geologi Angkatan 2016 atas kebersamaannya saat proses pengambilan data hingga penyusunan laporan.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.
9. Kedua orang tua tercinta beserta kakak dan adik yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik moril maupun materil.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sampaikan yang juga telah banyak membantu dan mendoakan.

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

Makassar, 24 Agustus 2022



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SARI	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 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.1.1 Geologi Regional Lembar Kolaka	4
2.1.1.1 Geomorfologi Regional Lembar Kolaka	4
2.1.1.2 Stratigrafi Regional Lembar Kolaka.....	7
2.1.1.3 Struktur Geologi Regional Dan Tektonik Lembar Kolaka.....	11
2.1.2 Geologi Daerah Penelitian	13
2.2 Hidrotermal.....	15
2.3 Karakteristik Endapan Emas Orogenik	17
2.4 Genesa Endapan Emas Orogenik	22
2.5 Zona Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal	22
2.6 Tekstur Khusus Mineral Bijih	27
2.6.1 Tekstur Primer.....	27

2.6.2	Tekstur Sekunder Mineral Bijih.....	31
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Metode Penelitian.....	36
3.2	Tahapan Penelitian	36
3.2.1	Tahap Persiapan	36
3.2.2	Tahap Analisis Laboratorium.....	37
3.2.2.1	Analisis Petrografi.....	37
3.2.2.2	Analisis Mineragrafi (Mineral Bijih)	38
3.2.3	Tahap Penyusunan Laporan	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Karakteristik Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi Daerah Penelitian	40
4.1.1	Karakteristik Alterasi Hidrotermal Daerah Penelitian	43
4.1.1.1	Alterasi Silisifikasi	43
4.1.1.2	Alterasi Argilik.....	45
4.1.2	Mineralisasi Hidrotermal Daerah Penelitian	47
4.1.2.1	Karakteristik mineralisasi bijih	47
4.1.2.2	Jenis Mineralisasi Bijih	49
4.1.2.3	Tekstur Khusus Mineral Bijih.....	53
BAB V PENUTUP.....		58
5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1.** Korelasi satuan peta geologi regional lembar kolaka, Sulawesi Tenggara (Simanjuntak T.O dkk, 1993)..... 11
- Gambar 2.2.** Struktur geologi utama Pulau Sulawesi (Surono dan Hartono, 2013)..... 13
- Gambar 2.3** Batuan karbonat hijau kaya fuchsite, Larder Lake dan zona kekar gerus pada intrusi gabro (Goldfarb dkk, 2005) 17
- Gambar 2.4** Tatanan tektonik pembentukan berbagai endapan. Tatanan tektonik pembentukan endapan orogenik berada pada batas kontinen, pusat pemekaran busur belakang, zona akresi atau kolisi (Groves dkk., 2005)..... 18
- Gambar 2.5** A. Urat kuarsa berlembar di konglomerat Timiskaming, Pamour mine, Timmins. B. Urat breksia besi karbonat, Red Lake mine, Ontario. C. Urat breksia pengisi sesar, Kirkland Lake. D. Urat breksia pengisi sesar di Kensington, sabuk emas Juneau. E. Urat pirit massif pengisi sesar Kensington. F. Endapan emas dengan jenis amphibolite- grade replacement, Madsen mine, Red Lake. G. Sulfidasi di sepanjang tepi urat kuarsa, tambang Victory, Yilgarn. (Goldfarb dkk., 2005) 21
- Gambar 2.6** Penampang tipikal tubuh bijih High Sulfidation yang memperlihatkan zona inti silisik (Stoffregen, 1987 ; Steven dan Ratté, 1960 ; White, 1991; dalam Hedenquist dkk 2000) 24
- Gambar 2.7** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur replacement (Guilbert dan Park, 1986). Berturut-turut dari kiri: **a.** Pseudomorf, bementit mengganti sebagian kristal karbonat. **b.** Bornit mengganti pada bagian tepi dan rekahan kalkopirit. **c.** Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang agak berbeda..... 32
- Gambar 2.8** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986). Berturut-turut dari arah kiri: **a.** Urat kalkopirit yang saling memotong, tidak memperlihatkan pergesaran. **b** Komposisi mineral yang tidak simetris pada dinding rekahan. **c.** Kenampakan tumbuh bersama yang tidak teratur pada bagian tepi mineral 33
- Gambar 2.9** Beberapa kenampakan khas tekstur eksolusi pada mineral sulfida dan oksida (Evans, 1993). **a.** Pemilahan mineral hematit dalam ilmenit **b.** Eksolusi lembaran ilmenit dalam magnetit **c.** Eksolusi

butiran kalkopirit dalam sfalerit d. Rim eksolusi pentlandit dari pirhotit.....	35
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....	39
Gambar 4.1. Kenampakan batuan sekis dengan vein kuarsa yang memotong foliasi.....	41
Gambar 4.2. Kenampakan batuan sekis dengan vein kuarsa yang sejajar dengan foliasi.....	41
Gambar 4.3 Kenampakan batuan sekis dengan vein kuarsa bertekstur <i>vuggy quartz</i>	42
Gambar 4.4 Kenampakan singkapan batugamping malih yang teralterasi silisik.....	43
Gambar 4.5 (a) Fotomikrograf sampel sayatan batuan TR 4 pada nikol sejajar (b) dan nikol silang.....	44
Gambar 4.6 Kenampakan singkapan batuan sekis yang teralterasi argilik.....	45
Gambar 4.7 (a) Fotomikrograf sampel sayatan batuan TR 12 pada nikol sejajar (b) dan nikol silang	46
Gambar 4.10 Fotomikrograf sayatan poles stasiun 3 TR 11 yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py).....	
Gambar 4.8 Kenampakan mineral bijih dengan bentuk <i>disseminated</i> pada batuan.....	47
Gambar 4.9 A) Alterasi yang sangat intensif di sekitar vein kuarsa. Lokasi: bagian Utara dalam konsesi PT. Tiran Indonesia B) Batuan sampling (Sekis) teralterasi argilik. Lokasi: bagian Utara dalam konsesi PT. Tiran Indonesia.....	47
Gambar 4.10 Fotomikrograf sayatan poles stasiun 3 TR 11 yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py).....	50
Gambar 4.11 Fotomikrograf sayatan poles Stasiun AM3 yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), Stibnit (Sb), Sphalerit (Sph).....	51
Gambar 4.12 Fotomikrograf sayatan poles stasiun AM3 yang menunjukkan mineral pirit (Py) dan kovelit (Cov).....	51
Gambar 4.13 (a) mineral pirit mereplacement mineral kalkopirit (b) mineral kalkopirit mereplacement mineral sphalerit (c) mineral covelit yang mereplacement mineral pirit (d) mineral kalkopirit mereplacement mineral sphalerit.....	53

Gambar 4.14 (a) mineral kalkopirit mengisi rongga pada batuan (b) mineral pirit mengisi rongga pada batuan (c) mineral Stibnit mengisi rongga pada batuan.....	54
Gambar 4.15 (a) menunjukkan kandungan mineral Stibnit dengan rekahan yang terisi sphalerit (b) menunjukkan kandungan mineral kalkopirit dengan rekahan yang terisi sphalerit (c) menunjukkan kandungan mineral pirit dengan rekahan yang terisi sphalerit	55
Gambar 4.16 (a) Menunjukkan kandungan mineral Stibnit dan inklusi mineral sphalerit yang menandakan mineral sphalerit terbentuk lebih dulu (b) menunjukkan kandungan mineral Sphalerit dan inklusi mineral pirit yang menandakan mineral pirit terbentuk lebih dulu	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek perubahan hidrotermal pada beberapa batuan pada kondisi temperatur yang berbeda (Bateman, 1950 dalam Riyanto,1988).....	16
Tabel 4.1 Tabel pengambilan sampel.....	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kegiatan pembangunan yang di galakkan di berbagai daerah di Indonesia yang di tuangkan dalam kebijakan otonomi daerah, memicu setiap daerah untuk mencari sumber-sumber pembiayaan daerah demi terlaksananya kesejahteraan bagi masyarakat setempat.

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

Salah satu sumberdaya mineral yang sangat berpotensi di Indonesia yaitu potensi endapan emas sebagai hasil dari alterasi hidrotermal. Endapan emas adalah endapan mineral hidrotermal dimana di dalamnya terdapat hubungan yang sangat erat antara larutan hidrotermal dengan alterasi dan mineralisasi yang kemudian menyebabkan perubahan mineralogi pada batuan karena berubahnya unsur-unsur kimia pada batuan tersebut. Adanya kumpulan mineral ubahan dapat menjadi petunjuk dalam menentukan zona alterasi dan mineralisasi pada endapan emas tersebut.

Salah satu endapan emas yang ada di Indonesia yang sangat anomali dan unik yang kemudian ditemukan oleh beberapa ahli geologi yaitu endapan emas orogenik dimana pada daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh aktifitas struktur

yang sangat kuat pada batuan metamorf yang merupakan batuan sampling. Daerah yang sangat menarik untuk dilakukan penelitian tentang endapan emas yaitu pada daerah Bombana, Sulawesi Tenggara. Sejauh ini diyakini bahwa sumber mineralisasi berasal dari magma, sehingga fenomena kehadiran endapan emas pada batuan-batuan malihan atau metamorf di Bombana sangat menarik, karena tidak pernah dilaporkan sebelumnya terdapat batuan beku di daerah ini yang menjadi kunci genesa mineralisasi emas primer.

Zonasi alterasi (kumpulan mineral ubahan) dan kerapatan urat kuarsa merupakan hal yang penting untuk ditelaah dalam mempelajari alterasi dan mineralisasi pada endapan emas.

Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detail mengenai "*Alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Di Daerah Tahiti Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara*" agar diperoleh data- data yang cukup sebagai penunjang informasi geologi untuk mengetahui potensi yang terdapat pada daerah tersebut demi pengembangan daerah kearah yang lebih maju di masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat dibentuk adalah:

1. Apa saja mineral alterasai di daerah penelitian?
2. Tipe alterasi apa yang terbentuk di daerah penelitian?
3. Tekstur apa saja yang didapatkan pada mineral bijih di daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Menentukan jenis mineral bijih pada daerah Tahi Ite dengan menggunakan sayatan poles pada analisis mineragrafi.
2. Menentukan dan menganalisis tipe alterasi pada daerah Tahi Ite.
3. Menentukan dan menganalisis tekstur khusus mineral bijih pada sayatan poles.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah pada identifikasi jenis, tekstur dan tipe alterasi pada daerah Tahi Ite Kecamatan Rarowatu Utara Kabupaten Bombana Provinsi Sulawesi Tenggara pada sayatan poles dengan menggunakan analisis mineragrafi dan sayatan tipis dengan menggunakan analisis petrografi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum bagi masyarakat luas adalah sebagai referensi untuk penelitian mengenai studi alterasi dan mineralisasi endapan emas dan mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi geologi dan potensi daerah setempat untuk dijadikan sebagai referensi bagi pihak-pihak yang terkait dengan ilmu geologi. Secara khusus bagi penulis, penelitian ini bermanfaat dalam mengetahui dan menginterpretasi atau mengurutkan genesa pembentukan mineral bijih yang ada pada daerah Tahi Ite.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Berikut penjelasan peta geologi lembar kolaka, Sulawesi yang meliputi fisiografi, stratigrafi, struktur dan tektonik regional

2.1.1 Geologi Regional Lembar Kolaka

2.1.1.1 Geomorfologi Regional Lembar Kolaka

Van Bemmelen (1949) membagi lengan tenggara Sulawesi menjadi tiga bagian: ujung utara, bagian tengah, dan ujung selatan. Lembar kolaka, menempati bagian tengah dan ujung selatandari lengan tenggara Sulawesi.

Ada lima satuan morfologi pada bagian tengah dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi karst.

1. Morfologi Pegunungan

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas pegunungan Mekongga, Pegunungan Tangkelemboke, Pegunungan Mendoke dan pegunungan Rumbia yang terpisah di ujung selatan Lengan Tenggara. Puncak tertinggi pada rangkaian pegunungan Mekongga adalah Gunung Mekongga yang mempunyai ketinggian 2790 mdpl. Pegunungan Tangkelamboke mempunyai puncak Gunung Tangkelamboke dengan ketinggian 1500 mdpl. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan kereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar berarah baratlaut-tenggara. Arah ini mengindikasikan bahwa pembentukan

morfologi pegunungan itu erat hubungannya dengan sesar regional.

Satuan pegunungan terutama dibentuk oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Ada perbedaan yang khas di antara kedua penyusun batuan itu. Pegunungan yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relative lebih rata, serta kemiringan yang tajam. Sementara itu, pegunungan yang dibentuk oleh batuan malihan, punggung gunungnya terputus pendek-pendek dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam.

2. Morfologi Perbukitan Tinggi

Morfologi perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan tenggara, terutama di selatan Kendari. Satuan ini terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 Mdpl dengan morfologi kasar. Batuan penyusun morfologi ini berupa batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

3. Morfologi Perbukitan Rendah

Morfologi perbukitan rendah melampar luas di Utara Kendari dan Ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier.

4. Morfologi Pedataran

Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawatobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (sesar Kolaka dan Sistem Sesar Kanaweha). Kedua sistem ini diduga masih aktif, yang ditunjukkan oleh adanya

torehan pada endapan alluvial dalam kedua dataran tersebut. Sehingga sangat mungkin kedua dataran itu akan mengalami penurunan. Akibat dari penurunan ini tentu berdampak buruk pada dataran tersebut, diantaranya pemukiman dan pertanian di kedua dataran itu akan mengalami banjir yang semakin parah setiap tahunnya.

Dataran Langkowala yang melampar luas diujung selatan Lengan Tenggara, merupakan dataran rendah. Batuan penyusunnya terdiri atas batupasir kuarsa dan konglomerat kuarsa Formasi Langkowala. Dalam dataran ini mengalir sungai-sungai yang pada musim hujan berair melimpah sedang pada musim kemarau kering. Hal ini mungkin disebabkan batupasir dan konglomerat sebagai dasar sungai masih lepas, sehingga air dengan mudah merembes masuk ke dalam tanah. Sungai tersebut di antara Sungai Langkowala dan Sungai Tinanggea. Batas selatan antara Dataran Langkowala dan pegunungan Rumbia merupakan tebing terjal yang dibentuk oleh sesar berarah hampir barat-timur.

5. Morfologi Karst

Morfologi karst melampar di beberapa tempat secara terpisah. Satuan ini dicirikan perbukitan kecil dengan sungai di bawah permukaan tanah. Sebagian besar batuan penyusun satuan morfologi ini didominasi oleh batugamping berumur Paleogen dan selebihnya batugamping Mesozoikum. Batugamping ini merupakan bagian Formasi Eemoiko, Formasi Laonti, Formasi Buara dan bagian atas dari formasi ini sudah berubah menjadi marmer. Perubahan ini erat hubungannya dengan pensesarnaikan ofiolit ke atas kepingan benua.

2.1.1.2 Stratigrafi Regional Lembar Kolaka

Formasi batuan penyusun peta geologi regional lembar Kolaka diuraikan dari termuda sebagai berikut:

1. Aluvium (Qa)

Aluvium (Qa) terdiri atas lumpur, lempung, pasir kerikil dan kerakal. Satuan ini merupakan endapan sungai, rawa dan endapan pantai. Umur satuan ini adalah Holosen.

2. Formasi Alangga (Qpa)

Formasi Alangga (Qpa) terdiri atas konglomerat dan batupasir. Umur dari formasi ini adalah Plistosen dan lingkungan pengendapannya pada daerah daratpayau. Formasi ini menindih tak selaras formasi yang lebih tua yang masuk ke dalam kelompok molasa Sulawesi.

3. Formasi Buara (Ql)

Formasi Buara (Ql) terdiri atas terumbu koral, konglomerat dan batupasir. Umur dari formasi ini adalah Plistosen-Holosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal.

4. Formasi Boepinang (Tmpb)

Formasi Boepinang (Tmpb) terdiri atas lempung pasiran, napal pasiran dan batupasir. Batuan ini berlapis dengan kemiringan perlapisan relative kecil $<15^{\circ}$ yang dijumpai membentuk antiklin dengan sumbu antiklin berarah baratdaya – timurlaut. Umur formasi ini diperkirakan Pliosen dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal (neritic).

5. Formasi Eemoiko (Tmpe)

Formasi Eemoiko (Tmpe) terdiri atas kalkarenit, batugamping koral, batupasir dan napal. Formasi ini berumur pliosen dengan lingkungan pengendapan laut dangkal, hubungan menjemari dengan Formasi Boepinang.

6. Formasi Langkowala (Tml)

Formasi Langkowala (Tml) terdiri atas konglomerat, batupasir, serpih dan setempat kalkarenit. Konglomerat mempunyai fragmen beragam yang umumnya berasal dari kuarsa dan kuarsit, dan selebihnya berupa batu pasir malih, sekis dan ultrabasa. Ukuran fragmen berkisar 2 cm sampai 15 cm, setempat terutama dibagian bawah 25 cm. bentuk fragmen membulat – membulat baik, dengan sortasi menengah. Formasi ini banyak dibatasi oleh kontak struktur dengan batuan lainnya dan bagian atas menjemari dengan bagian bawah batuan sedimen formasi Boepinang (Tmpb). Hasil penanggalan umur menunjukkan bahwa batuan ini terbentuk pada Miosen Tengah.

7. Kompleks Pompangeo (MTpm)

Kompleks Pompangeo (MTpm) terdiri atas sekis mika, sekis glaukofan, sekis amphibolite, sekis klorit, rijang, pualam dan batugamping meta. Sekis berwarna putih, kuning kecoklatan, kehijauan kelabu; kurang padat sampai sangat padat serta memperlihatkan perdaunan. Setempat menunjukkan struktur chevron, lajur tekuk (kink banding) dan augen serta di beberapa tempat perdaunan terlipat. Rijang berwarna kelabu sampai coklat; agak padat sampai sangat padat setempat tampak struktur perlapisan halus (perarian). Pualam berwarna kehijauan, kelabu sampai kelabu gelap, coklat sampai merah coklat, dan hitam bergaris putih; sangat padat

dengan persekisan, tekstur umumnya nematoblas yang memperlihatkan pengarahannya. Persekisan dalam batuan ini didukung oleh adanya pengarahannya adanya kalsit hablur yang bergabung dengan mineral kedap (opak). Batuan terutama tersusun oleh kalsit, dolomit dan piroksen; mineral lempung dan mineral bijih dalam bentuk garis. Wolastonit dan apatit terdapat dalam jumlah sangat kecil. Plagioklas jenis albit mengalami penghabluran ulang dengan piroksen. Satuan ini mempunyai kontak struktur geser dengan satuan yang lebih tua di bagian utara yaitu Kompleks Mekongga (Pzm). Berdasarkan penarikan umur oleh Kompleks Mekongga mempunyai umur Kapur Akhir – Paleosen Bawah.

8. Formasi Matano (Km)

Formasi Matano (Km) terdiri atas batugamping hablur rijang dan batusabak. Batugamping berwarna putih kotor sampai kelabu; berupa endapan kalsilutit yang telah menghablur ulang dan berbutir halus (lutit); perlapisan sangat baik dengan ketebalan lapisan antara 10-15 cm; di beberapa tempat dolomitan; ditempat lain mengandung lensa rijang setempat perdaunan. Rijang berwarna kelabu sampai kebiruan dan coklat kemerahan; pejal dan padat. Berupa lensa atau sisipan dalam batugamping dan napal; ketebalan sampai 10 cm. batusabak berwarna coklat kemerahan; padat dan setempat gampingan; berupa sisipan dalam serpih dan napal, ketebalan sampai 10 cm. berdasarkan kandungan fosil batugamping, yaitu *Globotruncana* sp dan *Heterohelix* sp, serta *Radiolaria* dalam rijang (Budiman 1980), Formasi Matano diduga berumur Kapur Atas dengan lingkungan pengendapan pada laut dalam.

9. Kompleks Ultramafik (Ku)

Kompleks Ultramafik (Ku) terdiri dari harzburgite, dunit, wherlit, serpentinite, gabro, basal, dolerite, diorite, mafik meta, amphibolit, magnesit dan setempat rodingit. Satuan ini diperkirakan berumur Kapur.

10. Formasi Meluhu (TRJm)

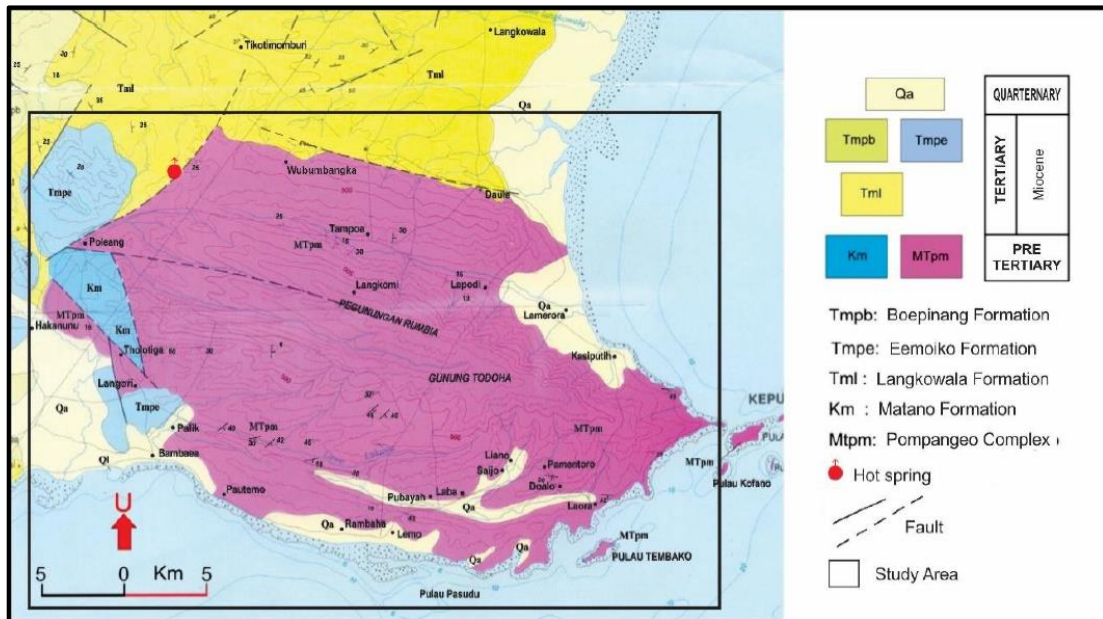
Formasi Meluhu (TRJm) terdiri atas batupasir kuarsa, serpih merah, batulanau, dan batulumpur di bagian bawah; perselingan serpih hitam, batupasir, dan batugamping di bagian atas. Formasi ini mengalami tektonik kuat yang ditandai oleh kemiringan perlapisan batuan hingga 80° dan adanya puncak antiklin yang memanjang utara baratdaya – tenggara. Umur dari formasi ini diperkirakan Trias.

11. Formasi Laonti (TRJt)

Formasi Laonti (TRJt) terdiri atas batugamping malih, pualam dan kuarsit. Kuarsit, putih sampai coklat muda; pejal dan keras; berbutir (granular), terdiri atas mineral granoblas, senoblas, dengan butiran dan halus sampai sedang. Batuan sebagian besar terdiri dari kuarsa, jumlahnya sekitar 97%. Oksida besi bercelah diantara kuarsa, jumlahnya sekitar 3%. Umur dari formasi ini adalah Trias.

12. Kompleks Mekongga (Pzm)

Kompleks Mekongga (Pzm) terdiri atas sekis, gneiss dan kuarsit. Gneiss berwarna kelabu sampai kelabu kehijauan; bertekstur heteroblas, xenomorph sama butiran, terdiri dari mineral granoblas berbutir halus sampai sedang. Jenis batuan ini terdiri atas gneiss kuarsa biotit dan gneiss muskovit. Bersifat kurang padat sampai padat.



Gambar 2.1. Korelasi satuan peta geologi regional lembar kolaka, Sulawesi Tenggara (Simanjuntak T.O dkk, 1993)

2.1.1.3 Struktur Geologi Regional Dan Tektonik Lembar Kolaka

Pada lengan tenggara Sulawesi, struktur utama yang terbentuk setelah tumbukan adalah sesar geser mengiri, termasuk sesar matarombeo, sistem sesar Lawanopo, sistem sesar Konawehea, sesar Kolaka, dan banyak sesar lainnya serta liniasi. Sesar dan liniasi menunjukkan sepasang arah utama tenggara-baratlaut (332°) dan timurlaut baratdaya (42°). arah tenggara baratlaut merupakan arah umum dari sesar geser mangiri dilengan tenggara Sulawesi.

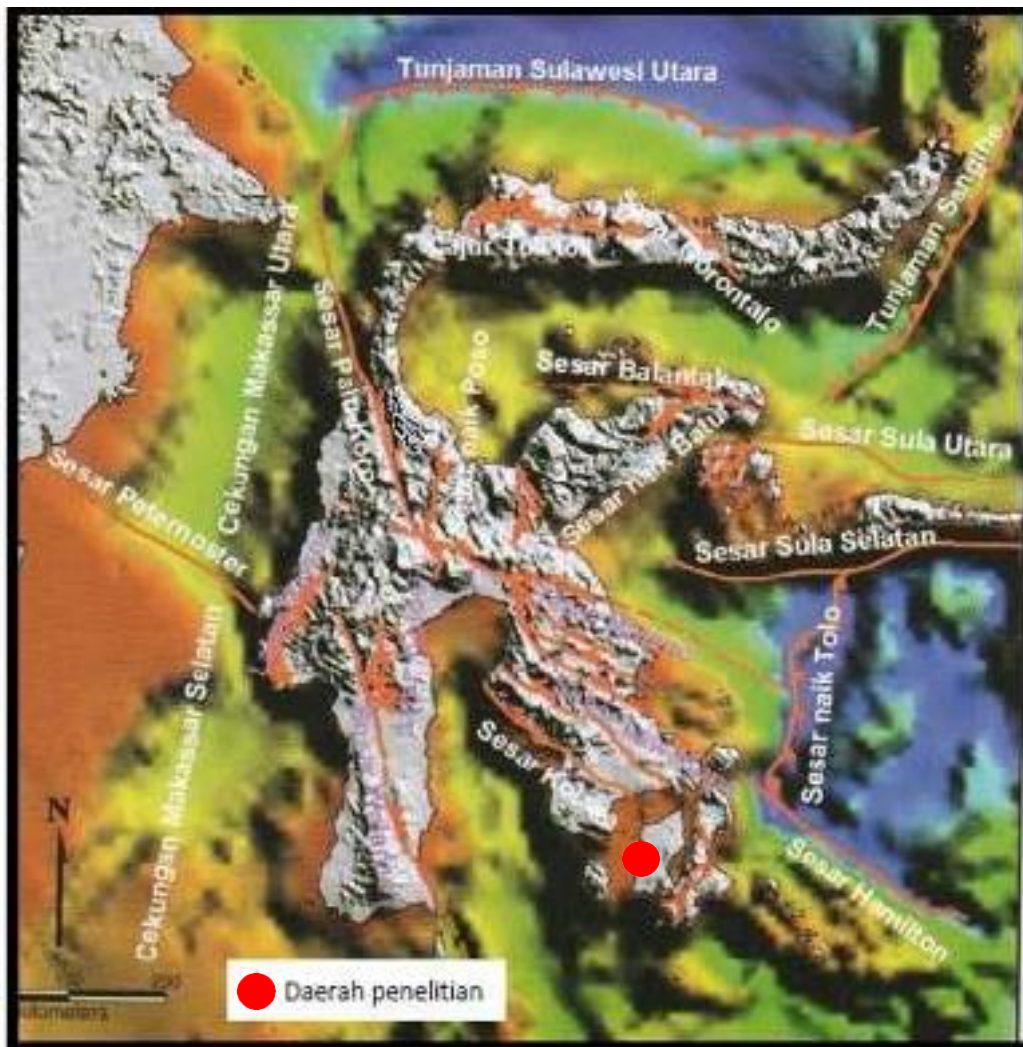
Sistem sesar Lawanopo termasuk sesar-sesar berarah utama baratlaut tenggara yang memanjang sekitar 260 km dari utara Malili sampai tanjung Toronipa. Ujung baratlaut sesar ini menyambung dengan sesar Matano, sementara ujung tenggaranya bersambung dengan sesar Hamilton yang memotong sesar naik Tolo. Sistem sesar ini diberi nama sesar Lawanopo oleh Hamilton (1979) berdasarkan dataran Lawanopo yang ditorehnya. Analisis stereografi orientasi

bodin, yang diukur pada tiga lokasi, menunjukkan keberagaman azimuth rata-rata/ plnge: $30^{\circ}/44^{\circ}$, $356,3^{\circ}/49^{\circ}$, dan $208,7^{\circ}/21^{\circ}$.

Adanya mata air panar di Desa Toreo, sebelah tenggara Tinobu serta pergeseran pada bangunan dinding rumah dan jalan sepanjang sesar ini menunjukkan bahwa sistem sesar Lawanopo masih aktif sampai sekarang.

Lengan Sulawesi tenggara juga merupakan kawasan pertemuan lempeng, yakni lempeng benua yang berasal dari Australia dan lempeng samudra dari Pasifik. Kepingan benua di lengan tenggara Sulawesi dinamai Mintakat Benua Sulawesi Tenggara (*South East Sulawesi Continental Terrane*) dan Mintakat Matarambeo. Kedua lempeng dari jenis yang berbeda ini bertabrakan dan kemudian ditindih oleh endapan Molasa Sulawesi.

Sebagai akibat subduksi dan tumbukan lempeng pada Oligosen Akhir Miosen Awal, Kompleks ofiolit tersesar-naikkan ke atas mintakat benua. Molasa Sulawesi yang terdiri atas batuan sedimen klastika dan karbonat terendapkan selama akhir dan sesudah tumbukan, sehingga molasa ini menindih tidak selaras Mintakat Benua Sulawesi Tenggara dan Kompleks Ofiolit tersebut. Pada akhir Kenozoikum lengan ini di koyak oleh sesar Lawanopo dan beberapa pasangannya termasuk Sesar Kolaka.



Gambar 2.2. Struktur geologi utama Pulau Sulawesi

2.1.2 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Regional lembar Kolaka. Secara geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 satuan, yaitu perbukitan dan dataran rendah. Dataran rendah ini terletak di daerah Baratdaya daerah penelitian yang umumnya dimanfaatkan sebagai daerah pemukiman dan perkebunan. Daerah dataran rendah ini memiliki ketinggian 150-160 meter di atas permukaan laut. Untuk daerah Perbukitan mendominasi daerah penelitian yang

dimanfaatkan sebagai daerah pertambangan dan perkebunan. Ketinggian dari daerah perbukitan ini berkisar dari 200-500 meter di atas permukaan laut.

Pengelompokan dan penamaan satuan batuan pada daerah penelitian didasarkan atas kesamaan ciri-ciri litologi, dominasi batuan, keseragaman gejala litologi, dan hubungan stratigrafi terhadap satuan yang ada di bawah maupun di atasnya. Secara umum litologi penyusun daerah penelitian merupakan batuan metamorf dan batuan sedimen. Berdasarkan litostratografi tidak resmi, maka pada daerah penelitian dijumpai tiga satuan batuan yang diurutkan dari tua ke muda, yaitu satuan sekis, satuan metasandstone, satuan batulempung, dan satuan batugamping. Berdasarkan ciri litologinya, untuk sekis mika dan metasandstone dapat dibandingkan dengan Kompleks Pompangeo yang berumur Kapur Akhir hingga Paleosen Bawah. Untuk satuan batulempung ini berdasarkan ciri litologinya dapat dibandingkan dengan Formasi Langkolawa yang berumur Miosen Tengah. Untuk satuan batulempung karbonatan ini berdasarkan ciri litologinya dapat dibandingkan dengan Formasi Emoiko yang berumur Pliosen.

Sesar utama yang terbentuk pada daerah penyelidikan adalah Sesar Naik Roko-roko berarah Tenggara – Baratlaut. Sesar utama menyebabkan sesar-sesar geser yang berpotongan relatif berarah Timur - Barat dan Utara Baratlaut – Selatan menenggara. Sesar-sesar geser ini menyebabkan sesar sekunder sebagai host dari mineralisasi berupa sistem vein dan sistem breksi yang berkembang pada daerah penyelidikan. Sesar naik ini pula yang memisahkan antara batuan metamorf dengan batuan piroklastik di daerah penelitian.

2.2 Hidrotermal

Menurut Bateman (1951) proses pembentukan mineral dapat dibagi atas beberapa proses yang menghasilkan jenis mineral tertentu baik yang bernilai ekonomis maupun mineral yang hanya bersifat sebagai gangue mineral yaitu proses magmatis, pegmatisme, pneumatolisis, hidrotermal, replacement, sedimenter, evaporasi, konsentrasi residu dan mekanik, dan supergen enrichment.

Proses hidrotermal merupakan salah satu proses pembentukan mineral yang terjadi oleh pengaruh temperatur dan tekanan yang sangat rendah dan larutan magma yang terbentuk ini merupakan unsur volatil yang sangat encer yang terbentuk setelah tiga tahapan sebelumnya yaitu magmatis, pegmatisme dan pneumatolisis. Secara garis besar endapan hidrotermal dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu endapan hipotermal, mesotermal dan epitermal.

Endapan hidrotermal dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan saja atas komposisi mineraloginya yaitu Hipotermal, Mesotermal dan Epitermal

- Hipotermal dengan temperatur $450^{\circ} - 300^{\circ} \text{C}$
- Mesotermal dengan temperatur $300^{\circ} - 200^{\circ} \text{C}$
- Epitermal dengan temperatur $200^{\circ} - 50^{\circ} \text{C}$

Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (wallrock) akan menyebabkan terubahnya mineral - mineral primer menjadi mineral ubahan (alteration minerals) fluida itu sendiri. Beberapa efek perubahan hidrotermal pada beberapa batuan pada kondisi temperatur yang berbeda (Pirajno, 2009) dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Efek perubahan hidrotermal pada beberapa batuan pada kondisi temperatur yang berbeda (Bateman, 1950 dalam Riyanto,1988)

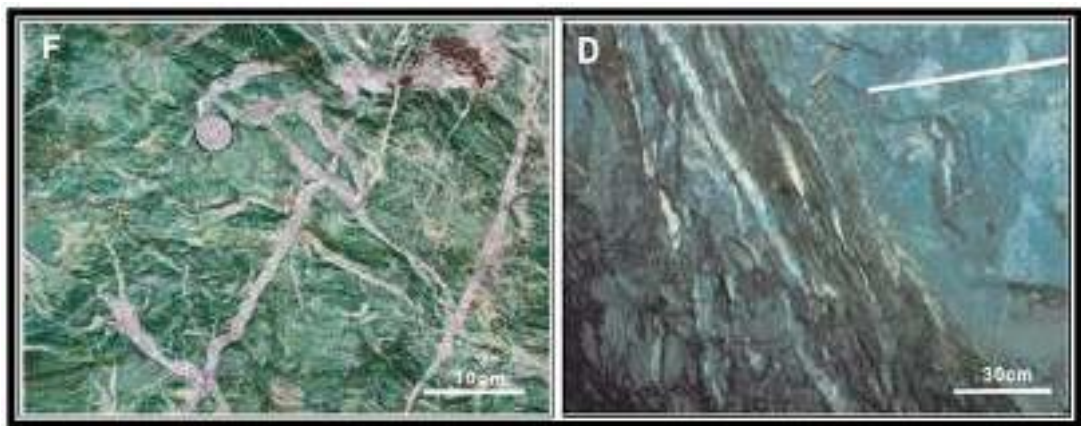
Kondisi	Batuan sampling	Beberapa hasil alterasi
Epitermal	Batugamping	Silisifikasi
	Lava	Alunit, klorit, pyrit, serisit, mineral lempung
	Intrusif batuan beku	Klorit, epidot, kalsit, kuarsa, serisit, mineral lempung
Mesotermal	Batugamping	Silisifikasi sampai jasperoid dolomit, siderit
	Serpilh, Lava	Silisifikasi, mineral lempung
	Batuan beku asam	Serisit dan kuarsa beukuran besar, mineral lempung
	Batuan beku basa	Serpentinisasi, epidot, klorit
Hipotermal	Granit	Greisen, topaz, mineral putih; (sekis) ; lava ca (tourmaline, piroksin, amphibol)

Ubahan hidrotermal merupakan proses yang kompleks, melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang di lewatinya (Pirajno, 2009). Perubahan - perubahan tersebut akan tergantung pada karakter batuan sampling, karakter fluida (Eh, pH), kondisi tekandan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung (Guilbert dan Park, 1986). Walaupun faktor – faktor diatas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang saling berpengaruh pada proses ubahan hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996). Henley dan Ellis (1983) dalam Pirajno (2009) percaya bahwa ubahan hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan sampling, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, temperatur dan komposisi fluida.

2.3 Karakteristik Endapan Emas Orogenik

1. Asosiasi Batuan

Menurut Groves (2003) endapan emas orogenik dapat dikenali dari hubungannya dengan deformasi, metamorfisme, dan magmatisme selama orogenik pada batas lempeng kontinen. Batuan pembawa (*host rock*) untuk endapan ini adalah batuan -batuan metamorf utamanya batuan fasies sekishijau yang membentang sepanjang jalur orogenesis. Pengendapan emas terbentuk ketika tahap akhir atau setelah puncak metamorfisme terjadi. Pada endapan emas proterozoik, batuan tempat terendapkannya emas tidak hanya sekishijau namun juga berupa kuarsit, karbonat, dan *banded iron formation* yang terletak sepanjang sabuk *greenstone*.



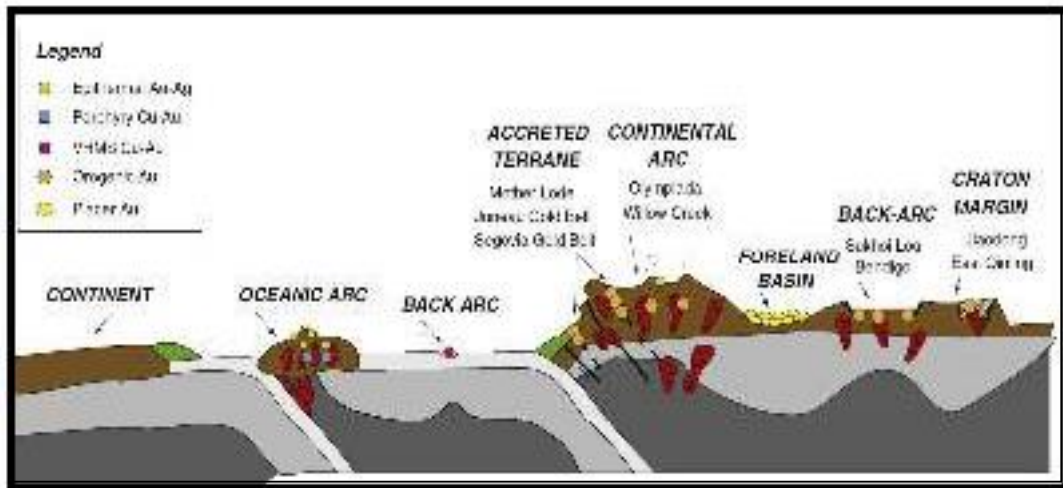
Gambar 2.3 Batuan karbonat hijau kaya fuchsite, Larder Lake F dan zona kekar gerus pada intrusi gabro (Goldfarb dkk., 2005).

2. Tatanan Tektonik

Tatanan geologi endapan emas orogenik berasosiasi dengan daerah deformasi yang termetamorfkan secara regional dengan umur yang bervariasi atau dikenal dengan sebutan sabuk metamorfik. Sabuk metamorfik adalah daerah

kompleks dimana terdapat akresi dan kolisi yang melibatkan temperatur dan tekanan serta dipengaruhi oleh proses magmatik pada busur depan dan cekungan ekstensional pada bagian busur belakang. Observasi yang dilakukan pada greenstone belt Arkean hingga sabuk metamorfik Fanerozoik mengindikasikan adanya asosiasi emas dengan batuan fasies sekishijau. Secara sederhana, greenstone belt merupakan sabuk batuan vulkanik mafik -ultramafik yang termetamorfosa dan berasosiasi dengan batuan sedimen yang terbentuk pada kraton Arkean dan Proterozoik.

Endapan dengan prospek yang baik ditemukan pada umur Arkean yang terkena metamorfosa tingkat tinggi atau pada daerah yang terkena metamorfosa tingkat rendah yang terbentuk pada sabuk metamorf yang memiliki umur yang bervariasi . Endapan emas orogenik terbentuk pada bagian akhir dari urutan deformasi metamorfosa - magmatik pada perkembangan orogenesis. Endapan emas tipe ini terbentuk selama proses deformasi pada batas lempeng konvergen (*orogenic*) akibat proses akresi, translasi dan kolisi yang sangat berkaitan dengan tumbukan lempeng yang terjadi . Kontrol struktur memiliki pengaruh kuat terhadap proses mineralisasi dengan skala yang bervariasi. Endapan biasanya ditemukan pada struktur orde kedua atau ketiga dan struktur akibat kompresi sangat sering ditemukan dengan skala yang besar.



Gambar 2.4 Tatanan tektonik pembentukan berbagai endapan. Tatanan tektonik pembentukan endapan orogenik berada pada batas kontinen, pusat pemekaran busur belakang, zona akresi atau kolisi (Groves dkk., 2003).

3. Geokimia

Batuan kaya besi atau karbon sangat penting untuk pengendapan emas yang lepas dari larutan hidrotermal. Sekuen batuan pelitik karbonan merupakan reduktan fluida yang penting dan menjadi tempat pengendapan bijih epigenetik berkadar tinggi. Batuan dengan afinitas toleitik kaya Fe pada greenstone belt juga dapat mengendapkan bijih karena hadirnya reaksi desulfidasi antara fluida pembawa bijih dengan batuan. Selain itu, karakteristik geokimia dari endapan emas orogenik adalah kandungan base metal yang rendah. Unsur jejak yang terkayakan pada daerah pengendapan emas orogenik ini adalah Ag, As, Au, B, Bi, Hg, Sb, Te, dan W. Kandungan As dan Sb yang tinggi dapat menjadi salah satu indikasi kehadiran endapan emas orogenik.

4. Geometri dan Dimensi Tubuh Bijih

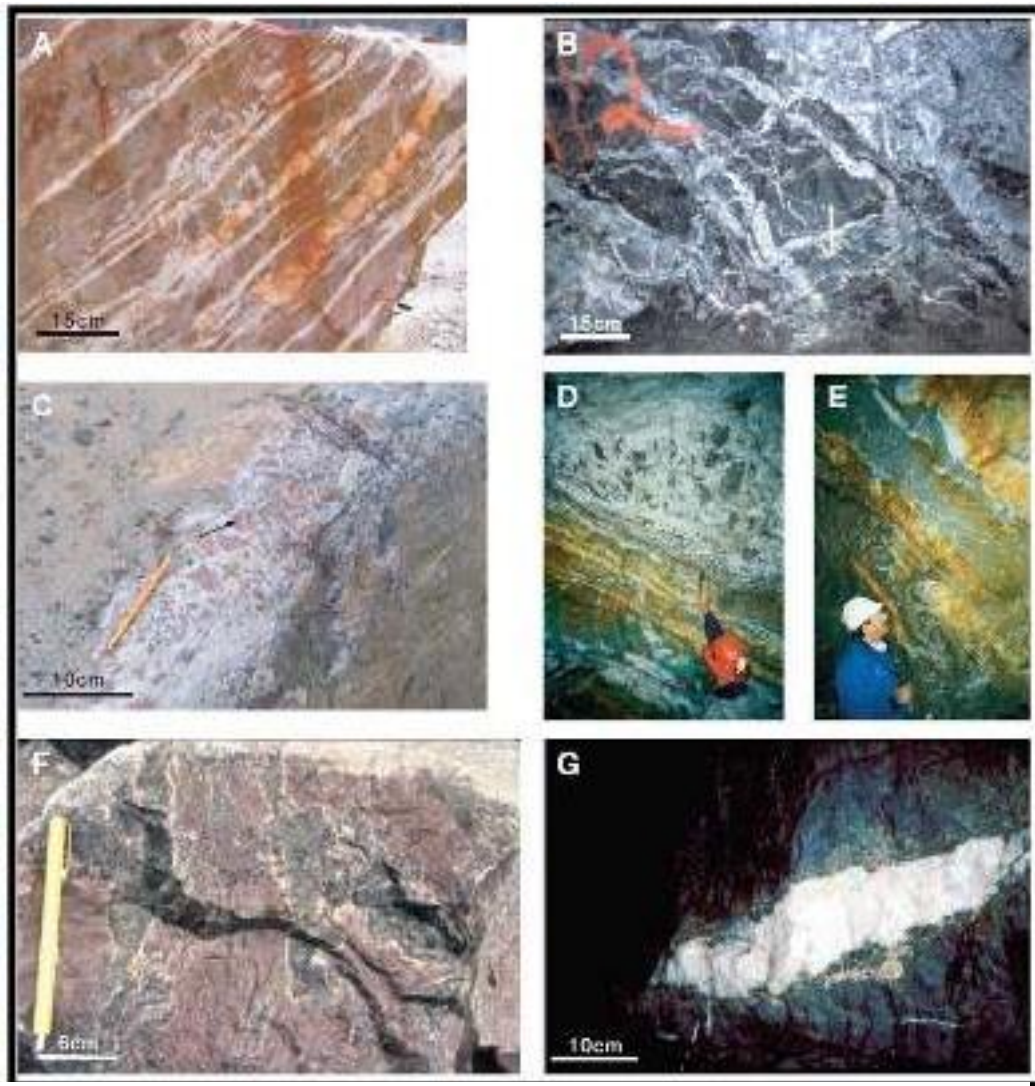
Endapan emas orogenik dapat menunjukkan beberapa tipe mineralisasi baik itu berkaitan dengan zona ductile, brittle-ductile, atau zona brittle. Pada kondisi

brittle, proses mineralisasi didominasi oleh stockwork dan breksi (gambar 2.5 B-D) yang menunjukkan proses deformasi kataklastik pada batuan beku atau hornfels. Sistem urat berlembar (sheeted vein) pun dapat menjadi karakteristik mineralisasi di zona ini (gambar 2.5 A). Mikrostruktur yang hadir dapat berupa *stylolite*, *fault gouge*, dan *spider veinlets*.

Pada lingkungan dengan suhu dan tekanan tinggi (400°C dan 2.5 kbar), tipe mineralisasi didominasi oleh deformasi ductile yang terjadi dalam shear zone yang luas. Urat yang sejajar perlapisan, tekstur penggantian (gambar 2.5 F), dan disseminated lodes (Groves, 2003) umum hadir di zona ini. Butiran kuarsa telah mengalami rekristalisasi di zona ini. Perubahan tipe mineralisasi emas berhubungan dengan variasi kondisi suhu -tekanan dari host rock dan perubahan derajat metamorfisme. Contohnya adalah sabuk Abitibi, tipe endapan berubah dari breksi brittle dan lode pada batuan sekishijau yang derajatnya rendah di Kirkland Lake, menjadi urat berlaminasi brittle-ductile pada batuan sekis hijau berderajat rendah-tinggi di Sigma, dan menjadi miskin urat di zona ductile batuan amfibolit.

Tubuh bijih emas pada batuan metamorf secara relatif akan meluas searah jurus hingga 2-5 km dan lebarnya akan bervariasi dari dimensi meter hingga puluhan meter. Endapan emas terbesar telah ditambang secara ekonomis pada kedalaman 1-3 km. Secara teoretis, sistem hidrotermal berkembang dalam deep-crustal fault zone dan terbentuk di kedalaman 10-15 km. Tubuh bijih umumnya terbentuk di daerah sabuk sebagai kluster yang terspasi secara teratur sepanjang ratusan km dan mendelineasi sistem sesar regional. Spasi bijih menunjukkan pemusatan aliran fluida kerak secara struktural, sehingga ada daerah yang kurang

termineralisasi di antara tubuh bijih.



Gambar 2.5 A. Urat kuarsa berlembar di konglomerat Timiskaming, Pamour mine, Timmins. B. Urat breksia besi karbonat, Red Lake mine, Ontario. C. Urat breksia pengisi sesar, Kirkland Lake. D. Urat breksia pengisi sesar di Kensington, sabuk emas Juneau. E. Urat pirit massif pengisi sesar Kensington. F. Endapan emas dengan jenis amphibolite- grade replacement, Madsen mine, Red Lake. G. Sulfidasi di sepanjang tepi urat kuarsa, tambang Victory, Yilgarn. (Goldfarb dkk., 2005).

2.4 Genesa Endapan Emas Orogenik

Pembentukan bijih pada endapan orogenik berkaitan dengan devolatilisasi kerak dengan mekanisme sekresi lateral (lateral secretion), dengan fluida pembawa logam berasal dari peristiwa metamorfik di daerah host terrane, bukan di daerah subduksi. Fluida dihasilkan dari peristiwa metamorfik prograde pada batas fasies metamorfik dan dilepaskan selama peningkatan tekanan pori. Kemudian fluida masuk ke struktur utama (channelized) lalu bergerak ke atas ke bagian kerak selama peristiwa seismik. Selanjutnya, fluida tersembur mengendapkan emas di daerah kerak yang lebih dangkal.

2.5 Zona Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal

Alterasi dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi pada suatu batuan dan mineral penyusunnya, baik terjadi perubahan sifat kimia maupun sifat fisiknya dimana yang disebabkan oleh larutan hidrotermal (Pirajno, 2009).

Secara alami alterasi hidrotermal batuan juga agak bervariasi dengan temperatur formasi dari bijih maupun dengan batuanannya. Kehadiran demikian dari sebuah lingkaran alterasi dari batuan teralterasi mengindikasikan aksi hidrotermal, yang secara umum berarti keberadaan endapan mineral hidrotermal yang boleh jadi tersembunyi atau belum tersingkap ke permukaan. Jadi, sebuah lingkaran alterasi hidrotermal dapat digunakan sebagai sebuah petunjuk praktis di dalam menemukan mineral bijih (Bateman, 1951).

Batuan samping secara umum membatasi endapan bijih dari hidrotermal yang teralterasi oleh larutan panas yang melewatinya serta bersama dengan asosiasi bijihnya. Alterasi dianggap benar untuk sebagian besar proses mineralisasi terhadap

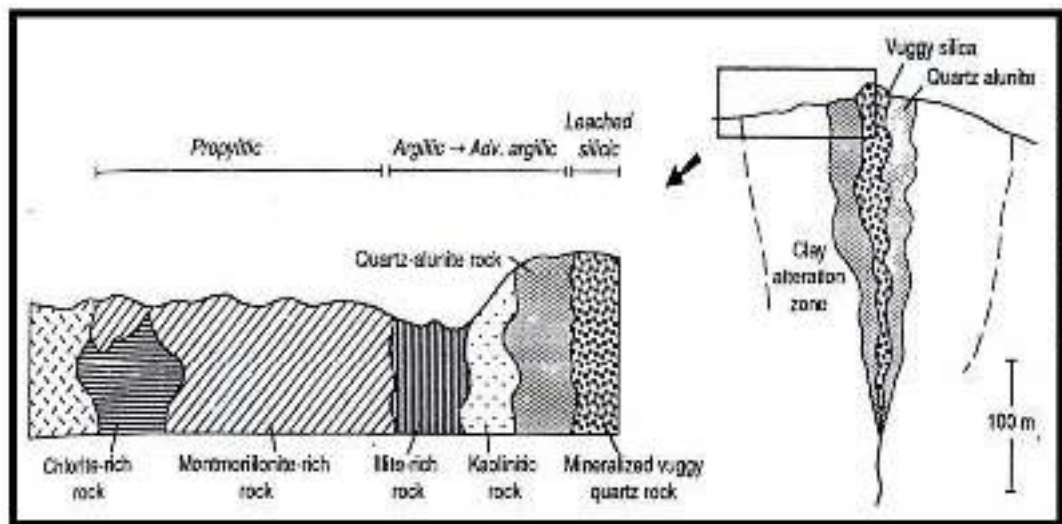
endapan bijih itu sendiri. Secara alamiah produk alterasi tergantung atas beberapa faktor yaitu : (1) karakter batuan asal (batuan induk), (2) karakter aliran fluida, dan (3) karakter temperatur dan tekanan pada tempat berlangsungnya reaksi, (4) permeabilitas, (5) reaksi kinetik gas/cairan/padat, (6) waktu aktivitas atau derajat keseimbangan (Corbett dan Leach, 1996).

Secara umum tipe batuan asal mempengaruhi jenis alterasi yang terjadi akibat pengaruh larutan hidrotermal, walaupun ada beberapa pengecualian. Umumnya batuan yang bersifat asam akan terjadi proses *sericitization*, *argilization*, *silicification* dan *pyritization*. Batuan intermedit dan basa secara umum menunjukkan *chloritization*, *carbonatization*, *sericitization*, *pyritization* dan *propylitization*. Pada batuan karbonat alterasi temperatur tinggi berupa *skarnification*, sedangkan batulempung, slate dan sekis mempunyai karakteristik *tourmalinization*, dan secara khusus menghasilkan endapan tin dan tungsten.

Satu mineral dengan mineral tertentu sering kali dijumpai bersama (asosiasi mineral), walaupun mempunyai tingkat stabilitas pembentukan yang berbeda, sebagai contoh adalah klorit sering berasosiasi dengan piroksin atau biotit. Area yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral yang hadir dapat disatukan sebagai suatu zona ubahan. Berdasarkan asumsi tersebut, Lowel dan Guilbert (1970) dalam Corbett dan Leach (1996), membuat model alterasi – mineralisasi pada endapan bijih porfiri, menggunakan istilah zona filik, untuk himpunan mineral Kuarsa + Serisit + Pirit + Klorit + Rutil + Kalkopirit; disamping juga menggunakan istilah zona potasik, zona argilik, dan zona propilik.

Steven and Ratté (1960) dalam Hedenquist et al. (2000) mengilustrasikan

zona alterasi ke arah luar dari inti silisik yang bertekstur vuggy-quartz tersebut



Gambar 2.6. Penampang tipikal tubuh bijih *High Sulfidation* yang memperlihatkan zona inti silisik (Stoffregen, 1987 ; Steven dan Ratté, 1960 ; White, 1991; dalam Hedenquist dkk 2000).

Lowell dan Guilbert (1970) dalam Corbett dan Leach (1996), membuat model alterasi – mineralisasi juga pada endapan bijih porfiri, menambahkan istilah zona filik, untuk himpunan mineral kuarsa + serisit + pirit + klorit + rutil + kalkopirit. Zona alterasi dibagi menjadi 10 bagian yaitu *Advanced argillic*, *sericitization*, *intermedit argillic*, *Propylitic*, *chloritization*, *carbonatization*, *potasium silicate*, *silicification*, *feldspathization* dan *tourmalinization*, sedangkan dalam Guilbert and Park (1986), membagi zona alterasi menjadi 6 bagian yaitu *Propylitic*, *Phyllic (sericitic)*, *Argillic*, *Advanced Argillic*, *Greissen* dan Skarn.

1. Tipe Propilitik

Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur 200 – 300⁰ C pada pH near-neutral, dengan salinitas yang beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas yang rendah.

2. **Tipe Argilik**

Pada tipe argilik terdapat dua kemungkinan himpunan mineral, yaitu muskovit – kaolinit – monmorilonit dan muskovit – klorit – monmorilonit. Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur 200 – 300⁰ C (Pirajno,2009), fluida asam hingga netral dan salinitas yang rendah.

3. **Tipe Potassik**

Tipe ini dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali feldspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai asesori, serta sejumlah kecil albit dan titanit (sphene) atau rutil kadang terbentuk. Ubahan potassik terbentuk pada daerah yang dekat batuan beku intrusif yang terkait, fluida panas (>300⁰ C), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat.

4. **Tipe Fillik**

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 sampai tinggi (sekitar 230⁰ – 400⁰ C), fluida asam hingga netral dengan salinitas yang beragam, pada zona yang permeable dan pada batas dengan urat.

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

Menurut Hedenquist dan Lindquist (1985) dalam Pirajno, 1992 zona ubahan pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya akan klorida, pH mendekati netral) umumnya juga menunjukkan zona ubahan seperti pada sistem porfir, tetapi menambahkan istilah inner propylitic untuk zona pada bagian yang bertemperatur tinggi (>300⁰C), yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit.

6. *Advanced argillic*

Untuk sistem epitermal sulfidasi tinggi (fluida kaya asam-sulfat), ditambahkan istilah advanced argillic yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit+ diaspor ± kuarsa ± tourmaline ± enargit - luzonit (untuk temperatur tinggi, 250-350°C), atau himpunan mineral kaolinit + alunite ± kalsedon ± kuarsa ± pirit (untuk temperatur rendah < 180°C).

7. *Tipe Skarn*

Skarn adalah batuan calc – silicate yang dibentuk oleh reaksi dari Si, Al, dan Fe yang dibawa oleh fluida magmatik , dengan Ca dan atau Mg sedimen karbonat. Batasan mineralogi skarn sampai sekarang masih kabur. Masalah yang lain, banyak batuan skarn yang memperlihatkan tekstur ukuran butir halus, yang mempersulit dalam identifikasi mineral pada batuan skarn. Walaupun demikian, terdapat mineralogi yang sangat umum yang didapatkan pada batuan skarn, yaitu kelompok garnet, piroksin, amfibol, epidot, dan magnetit. Mineral lain yang umum adalah wolastonit, klorit, biotit, dan kemungkinan vesuvianit (idokras). Garnet-piroksin-karbonat adalah kumpulan mineral yang paling umum dijumpai pada batuan induk karbonat yang orisinil. Amfibol umumnya hadir pada skarn sebagai mineral tahap akhir yang meng- overprint mineral – mineral tahap awal. Aktinolit (CaFe) dan tremolit (CaMg) adalah mineral amfibol yang paling umum hadir pada skarn. Jenis Piroksin yang sering hadir adalah diopsid (CaMg) dan hedenbergit (CaFe). Terbentuk pada fluida yang mempunyai salinitas tinggi dan temperatur tinggi (sekitar 300⁰ – 700⁰C).

8. *Tipe Gresisen*

Himpunan mineral pada greisens adalah kuarsa-muskovit (atau lepidolit)

dengan sejumlah mineral asesori seperti topas, turmalin, dan fluorit yang dibentuk oleh ubahan metasomatik post-magmatik granit (Corbett dan Leach,1996).

9. Tipe Silisifikasi

Silisifikasi merupakan proses penambahan silica (SiO_2) sekunder dan salah satu tipe alterasi hidrotermal yang paling umum dijumpai dan merupakan tipe terbaik. Porositas besar dari batuan akan memfasilitasi proses ini. Selain itu bentuk dari silisifikasi adalah pembentukan rekahan atau stockworks yang berisi kuarsa dan dapat terjadi melalui berbagai temperatur. Bentuk yang paling umum dari silika adalah (E-quartz, atau β -quartz, rendah quartz, temperatur tinggi, atau tinggi kandungan kuarsanya ($>573^\circ\text{C}$), tridimit, kristobalit, opal, kalsedon. Bentuk yang paling umum adalah quartz rendah, kristobalit, dan tridimit kebanyakan ditemukan di batuan vulkanik. Tridimit terutama umum sebagai produk devitrifikasi gelas vulkanik, terbentuk bersama alkali felspar.

2.6 Tekstur Khusus Mineral Bijih

2.6.1 Tekstur Primer

Tekstur primer merupakan tekstur yang terbentuk bersamaan dengan pembentukan endapan bijih. Yang termasuk ke dalam tekstur primer adalah melt dan open space filling.

1. Tekstur lelehan (melt)

Pertumbuhan mineral bijih dalam lelehan silikat secara umum menghasilkan pembentukan kristal euhedral-subhedral. Magnetit, ilmenit, dan platinum umumnya hadir sebagai kristal euhedral pada plagioklas, olivin, dan piroksen. Pertumbuhan tak terganggu, umumnya pada basalt yang mengalami pendinginan cepat, terkadang

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

2. Tekstur Pengisian (Open space filling)

Open space filling merupakan tekstur yang penting untuk menentukan sejarah paragenesa endapan. Umumnya terbentuk pada batuan yang getas, pada daerah di mana tekanan pada umumnya relatif rendah, sehingga rekahan atau kekar cenderung bertahan. Tekstur pengisian dapat mencerminkan bentuk asli dari pori serta daerah tempat pergerakan fluida, serta dapat memberikan informasi struktur geologi yang mengontrolnya. Mineral-mineral yang terbentuk dapat memberikan informasi tentang komposisi fluida hidrotermal, maupun temperatur

pembentukannya. Pengisian dapat terbentuk dari presipitasi leburan silikat (magma) juga dapat terbentuk dari presipitasi fluida hidrotermal. Kriteria tekstur pengisian dapat dikenali dari kenampakan:

- Adanya vug atau cavities, sebagai rongga sisa karena pengisian yang tidak selesai
- Kristal-kristal yang terbentuk pada pori terbuka pada umumnya cenderung euhedral seperti kuarsa, fluorit, feldspar, galena, sfalerit, pirit, arsenopirit, dan karbonat. Walaupun demikian, mineral pirit, arsenopirit, dan karbonat juga dapat terbentuk euhedral, walaupun pada tekstur penggantian.
- Adanya struktur zoning pada mineral, sebagai indikasi adanya proses pengisian, seperti mineral andradit- grosularit. Struktur zoning pada mineral sulit dikenali dengan pengamatan megaskopis.
- Tekstur berlapis. Fluida akan sering akan membentuk kristal-kristal halus, mulai dari dinding rongga, secara berulang- ulang, yang dikenal sebagai crustiform atau colloform. Lapisan crustiform yang menyelimuti fragmen dikenal sebagai tekstur cockade. Apabila terjadi penggantian kristal yang besar maka akan terbentuk comb structure. Pada umumnya perlapisan yang dibentuk oleh pengisian akan membentuk perlapisan yang simetri.
- Kenampakan tekstur berlapis juga dapat terbentuk karena proses penggantian (oolitik, konkresi, pisolitik pada karbonat) atau proses evaporasi (banded ironstone), tetapi sebagian besar tekstur berlapis terbentuk karena proses pengisian.

- Tekstur triangular terbentuk apabila fluida mengendap pada pori di antara fragmen batuan yang terbreksikan. Kalau pengisian tidak penuh, akan mudah untuk mengenalinya. Pada banyak kasus, fluida hidrotermal juga mengubah fragmen batuan secara menyeluruh

Pengendapan berurutan dari larutan mengandung kobalt dan nikel dapat menghasilkan pembentukan kristal pirit-bravoit konsentris, yang sering menunjukkan morfologi kristal yang berubah (kubik, octahedron, piritohedron) selama growth. Proses pengendapan berurutan yang sama dari fluida mengandung logam dan sulfur yang bersirkulasi sepanjang ruang pori antarbutir di sedimen dapat meninggalkan sulfide coatings pada butiran sedimen. Besi serta oksida dan hidroksida mangan sering membentuk botryoidal atau bahkan struktur stalaktit pada open fractures sebagai hasil sirkulasi air meteorik. Mineral-mineral seperti goetit, lepidokrosit, pirolusit, kriptomelan dapat membentuk concentric overgrowth ke dalam dari dinding vein atau massa kompleks kristal fibrous.

Tekstur colloform sering dikaitkan dengan pembentukan awal akibat pengendapan koloidal. Namun, Roedder (1968) telah menunjukkan bahwa banyak colloform sfalerit pada bijih Pb-Zn tumbuh sebagai kristal fibrous kecil pada fluida bijih lewat jenuh.

Untuk mengenali tekstur pengendapan, dibutuhkan pemahaman geologi terkait dengan tempat mana fokus kita diarahkan. Hal yang utama adalah memperkirakan akses fluida dalam suatu batuan dinding yang terubah. Fluida akan bergerak melalui daerah yang mempunyai permeabilitas yang besar yang biasanya sebagai ruang terbuka. Dalam konteks ini dapat diartikan bahwa perhatian pada tekstur pengisian

sebaiknya difokuskan pada daerah yang mempunyai ubahan maksimum. Daerah yang membentuk tekstur pengisian, pada umumnya cenderung membentuk struktur urat (vein), urat halus (veinlets), stockwork, dan breksiasi.

2.6.2 Tekstur Sekunder Mineral Bijih

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

1. Tekstur *Replacement*

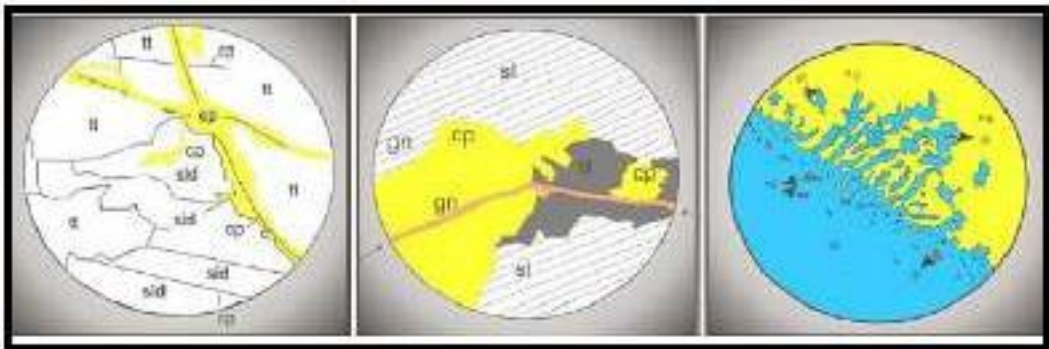
Replacement mineral bijih oleh mineral lain selama pelapukan umum ditemukan pada banyak tipe endapan bijih. *Replacement* dapat terjadi akibat proses-proses, di antaranya adalah pelarutan dan presipitasi, oksidasi, dan difusi fase padat. Batas di antara mineral yang di-*replace* yang yang me-*replace* umumnya tajam atau tidak beraturan (*careous*, atau *tekstur corroded*) atau *diffuse*. Tekstur *replacement* bergantung pada kondisi ketika mineral tersebut di-*replace*, di antaranya adalah permukaan yang tersedia untuk terjadinya reaksi, struktur kristal mineral primer dan sekunder, dan komposisi kimia mineral primer dan fluida reaktif.

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

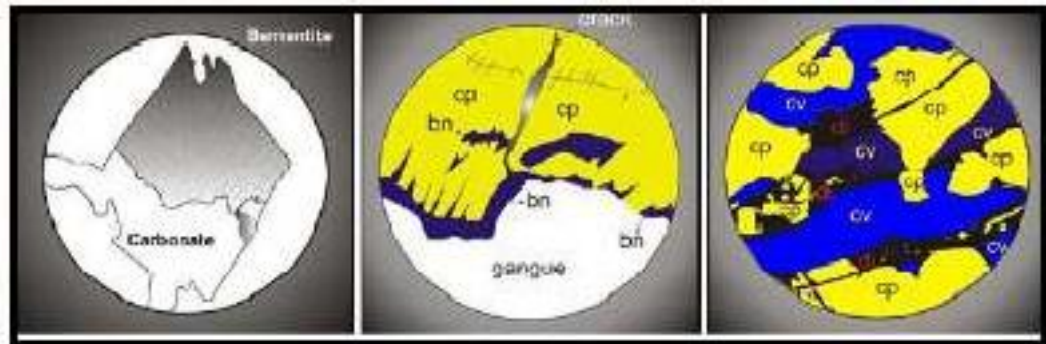
- *Pseudomorf*, walaupun secara komposisi sudah tergantikan menjadi

mineral baru, seringkali bentuk mineral asal masih belum berubah

- *Rim* mineral pada bagian tepi mineral yang digantikan
- Melebarnya urat dengan batas yang tidak tegas
- Tidak adanya pergeseran urat yang saling berpotongan
- Mineral pada kedua dinding rekahan tidak sama
- Adanya mineral yang tumbuh secara tidak teratur pada batas mineral lain



Gambar 2.7 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur *replacement* (Guilbert dan Park, 1986). Berturut-turut dari kiri:
a. *Pseudomorf*, bementit mengganti sebagian kristal karbonat
b. Bornit mengganti pada bagian tepi dan rekahan kalkopirit
c. Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang berbeda.



Gambar 2.8 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986). Berturut-turut dari arah kiri:

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

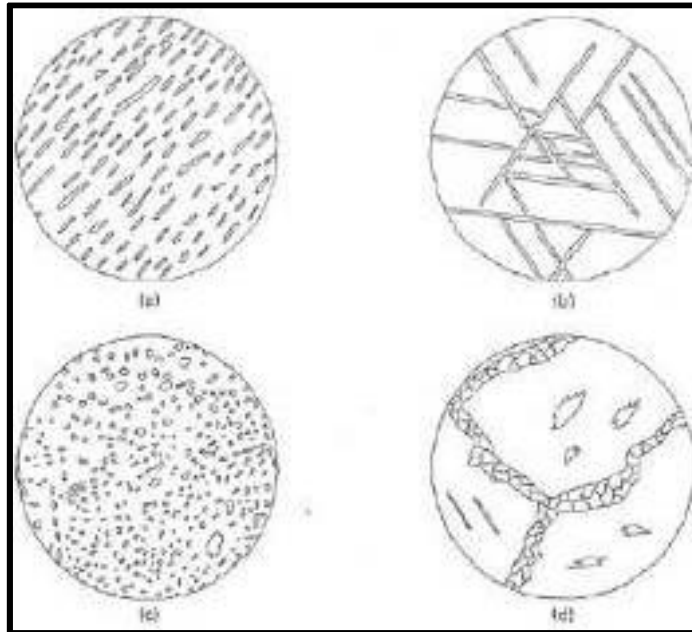
2. **Tekstur Akibat Proses Pendinginan (*Cooling*)**

a. Eksolusi

Mineral- mineral yang terbentuk sebagai larutan padat homogen, pada saat temperatur mengalami penurunan, komponen terlarut akan memisahkan diri dari komponen pelarut, membentuk tekstur eksolusi. Kenampakan komponen (mineral) terlarut akan membentuk inklusi- inklusi halus pada mineral pelarutnya. Inklusi- inklusi ini kadang teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur. Adanya tekstur eksolusi menunjukkan adanya temperatur pembentukan yang relatif tinggi, sekitar 300-600°C. Proses eksolusi terbentuk dari difusi, nukleasi kristalit, dan pertumbuhan kristalit atau kristal. Depleksi material terlarut di sekitar fragmen yang besar, dikenal dengan seriate distribution. Eksolusi hematit dan ilmenit (dalam proporsi yang bervariasi) dihasilkan dari pendinginan dan secara umum ditemukan pada banyak batuan beku dan *metamorf high- grade*. *Black sands*, yang

terakumulasi di banyak lingkungan sedimen biasanya mengandung proporsi intergrowth hematit- ilmenit yang besar. Di kebanyakan tipe endapan, sfalerit mengandung kalkopirit dalam bentuk dispersi acak atau memanjang mengikuti orientasi kristalografi, dikenal dengan tekstur *chalcopyrite disease* (Barton dan Bethke, 1987). Tekstur *chalcopyrite disease* merupakan tekstur eksolusi akibat pendinginan bijih setelah penempatan.

Studi sebelumnya oleh Wiggins dan Craig (1980) mendemonstrasikan bahwa kalkopirit tidak akan larut dalam sfalerit dalam jumlah yang signifikan kecuali pada temperatur di atas 500°C. Data tersebut, dan pengamatan sfalerit mengandung kalkopirit bijih Zn-Pb dalam karbonat (yang terbentuk pada temperatur 100- 150°C) dan pada bijih vulkanogenik tidak termetamorfkan (yang terbentuk pada temperatur 200-300°C) mengindikasikan bahwa eksolusi yang bergantung pada temperatur bukanlah penyebab terbentuknya *intergrowth*. Studi lanjut oleh Barton dan Bethke (1987) menunjukkan bahwa beberapa kalkopirit dapat hadir dengan kenampakan *myrmekitic worm* atau tubuh rod yang memanjang hingga ratusan mikron. Eksolusi sendiri merupakan bentuk dari dekomposisi, karena komposisi temperatur tinggi mula- mula tidak lagi hadir sebagai fase homogen tunggal.



Gambar 2.9. Beberapa kenampakan khas tekstur eksolusi pada mineral sulfida dan oksida.

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