

SKRIPSI

STUDI KARAKTERISTIK URAT KUARSA DOMAIN TANJUNG PADA PT
MASMINDO DWI AREA KABUPATEN LUWU PROVINSI
SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

DIMAS BAGUS SUKRON
D611 16 307



DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA
2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : DIMAS BAGUS SUKRON

NIM : D611 16 307

Program studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

**“ STUDI KARAKTERISTIK URAT KUARSA DOMAIN TANJUNG PADA
PT MASMINDO DWI AREA KABUPATEN LUWU PROVINSI
SULAWESI SELATAN”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya siap menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 November 2021

Yang Menyatakan



Dimas Bagus Sukron

LEMBAR PENGESAHAN

**“STUDI KARAKTERISTIK URAT KUARSA DOMAIN TANJUNG PADA
PT MASMINDO DWI AREA KABUPATEN LUWU PROVINSI
SULAWESI SELATAN”**

Disusun dan diajukan oleh

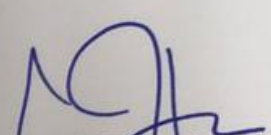
DIMAS BAGUS SUKRON
D611 16 307

Telah dipertahankan di hadapan Panitia ujian ang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana program studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Oktober 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui


Disetujui Oleh,
Pembimbing Utama

Pembimbing pendamping


Dr. Ulva Ria Iffan, S.T., M.T.
NIP. 19700601994122001


Dr. Ir. M. Fauzi Arifin M.Si
NIP. 19581203 198601 1 000

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Asri Jaya, HS, S.T.MT
Nip 196909241998021001

SARI

Secara administratif Daerah Penelitian terletak di Kecamatan Latimojong, Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat UTM 9626900 mN – 96267300 mN dan 179400 mE – 179800 mE. Lokasi penelitian merupakan daerah dengan banyak tipe urat kuarsa yang digunakan untuk menganalisis tipe mineralisasi. Penelitian ini bertujuan (1) Mengetahui tekstur urat kuarsa pada sampel bor (2) Mengetahui tekstur kuarsa (3) Mengidentifikasi mineralisasi dan alterasi. (4) Mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih. Metode penelitian yang digunakan adalah survei lapangan, petrografi, *X-ray diffraction (XRD)* dan mineragrafi. Berdasarkan mineragrafi, mineral bijih yang dijumpai yaitu pirit, kalkopirit, spalerit, digenit, emas dan kovelit dengan tekstur mineral bijih berupa tekstur *replacement* dan tekstur *cavity filling*. Paragenesa pembentuk mineral bijih berturut-turut dimulai dari tahap pertama mineral kalkopirit, pirit dan emas. Tahap kedua terbentuk kovelit, digenit dan spalerit. Serta pada tahap akhir terbentuk mineral oksida,

Kata kunci : Awak Mas, Mineral Bijih, Tekstur Kuarsa, Paragenesa

ABSTRACT

Administratively, the Research Area is located in Latimojong District, Luwu Regency, South Sulawesi Province. Geographically, the research area is at UTM coordinates 9626900 mN – 96267300 mN and 179400 mE – 179800 mE. The research location is an area with many types of quartz veins which are used to analyze the type of mineralization. This study aims to (1) determine the texture of quartz veins in drill samples (2) determine the texture of quartz (3) identify mineralization and alteration. (4) Knowing the paragenesis of ore mineral formation. The research methods used are field survey, petrography, X-ray diffraction (XRD) and mineragraphy. Based on mineragraphy, the ore minerals found were pyrite, chalcopyrite, sphalerite, digenite, gold and covelite with ore mineral textures in the form of replacement texture and cavity filling texture. The paragenesis of ore mineral formation starts from the first stage of chalcopyrite, pyrite and gold minerals, respectively. The second stage is formed covelite, digenite and sphalerite. And in the final stage formed oxide minerals.

Keywords : *Awak Mas, Ore Minerals, Quartz Texture, Paragenesa*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Karakteristik Urat Kuarsa Domain Tanjung Pada PT Masmindo Dwi Area Kabupaten Luwu Provinsi Sulawesi Selatan”**.

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

- Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. sebagai pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam penulisan laporan ini.
- Bapak Dr. Ir. M. Fauzi Arifin M.Si sebagai pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan selama penulisan laporan ini.
- Bapak Dr.-Eng. Asri Jaya, HS, S.T., M.T sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Seluruh staff Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Bapak Hirawan yang telah membantu, membimbing dan mengarahkan selama proses pengambilan data berlangsung.

- PT. Masmindo Dwi Area yang telah memfasilitasi pengambilan data dilapangan.
- Keluarga tercinta khususnya kepada kedua orang tua dan seluruh saudara yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil.
- Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) atas bantuan dan dukungannya selama perkuliahan.
- Teman – teman mahasiswa geologi khususnya angkatan 2016 “*Jurassic*” yang telah memberikan bantuan dalam penulisan laporan ini.
- Teman teman FDMI yang terus memotivasi

Penulis mengharapkan adanya masukan dan kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan dari penulisan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada, tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia biasa yang memiliki banyak kekurangan dan kesalahan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat baik secara individu maupun secara umum. Amin.

Gowa, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Letak dan Kesampaian Daerah Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Peneliti Terdahulu	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Geologi Regional	6
2.1.1 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian.....	6
2.1.2 Tektonika Regional Daerah Penelitian.....	7
2.2 Geologi Daerah Penelitian	9
2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	9
2.2.1.1 Satuan bentang alam pegunungan tersayat tajam.....	11
2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	12
2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian	13
2.3 Landasan Teori	14
2.3.1 Hidrotermal	14
2.3.2 Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal	17
2.3.3 Tekstur Khusus Mineral Bijih	22

2.3.3.1	Tekstur Primer Mineral Bijih	22
2.3.3.1	Tekstur Sekunder Mineral Bijih	26
2.3.4	Studi Paragenesa Mineral.....	30
BAB III	METODE PENELITIAN	40
3.1	Persiapan	40
3.2	Metode Penelitian Lapangan	41
3.3	Analisa Laboratorium.....	42
3.4	Pengolahan Data.....	44
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Geologi Daerah Penelitian.....	46
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian	46
4.1.2	Litologi Daerah Penelitan.....	47
4.2	Karakteristik mineralisasi daerah penelitian.....	48
4.2.1	Alterasi Domain Tanjung	49
4.2.2	Zona Alterasi Daerah Penelitian.....	54
4.3	Mineral Bijih Daerah Penelitian	56
4.3.1	Tekstur kuarsa di lapangan dan sampel bor.....	56
4.3.2	Jenis Mineral Bijih.....	59
4.1.4	Tekstur Khusus Mineral Bijih	59
BAB V	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67

LAMPIRAN :

1. Deskripsi Mineragrafi
2. Peta Geologi
3. Peta Stasiun

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Klasifikasi satuan bentangalam berdasarkan sudut lereng dan beda tinggi (van Zuidam,1985).	10
2.2	Dominasi komposisi mineralisasi di dalam alterasi hidrotermal pada temperatur tinggi dan rendah (disederhanakan dari Corbett, 2002.....	21
2.3	Contoh tabel paragenesa mineral (Sutarto, 2001)	36
4.1	Presentasi Mineral Lempung.....	53
4.2	Sebaran Zona Alterasi.....	56
4.3	Paragenesa mineralisasi domain tanjung.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.1	Peta tunjuk lokasi pengambilan data di PT Masmindo Dwi Area, Dusun Lokko, Desa Ranteballa, Kecamatan Latimojong, Kabupaten Luwu	3
2.1	Peta Geologi Lembar Majene dan Palopo bagian Barat (Djuri, Sujatmiko,1998).....	3
2.2	Kenampakan satuan morfologi perbukitan bergelombang/miring pada daerah penelitian difoto dengan arah foto N 112 E.....	11
2.3	Droplet sulfida pada basalt Mid-Atlantic Ridge, tersusun oleh monosulfida larutan padat (Fe,Ni) _{1-x} S (abu-abu sedang) dan larutan padat menengah (Cu, Fe) _{2-x} S (abu-abu terang), dengan rims dan flames pentlandit (terang).	23
2.4	Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian. A) Vuggy atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal zoning, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur crustiform, f). Tekstur cockade, g). Tekstur triangular, h). Comb structure, i). Pelapisan simetris (Guilbert dan Park,1986)..	28
2.5	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.	28
2.6	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.....	30
2.7	(a) Kenampakan foto mikroskopis tekstur penggantian mineral kovelit pada bagian tepi mineral kalkopirit. (b) Memperlihatkan kenampakan foto mikroskopis tekstur exolution mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit (perbesaran 40x. Lok. Ciemas) (Sutarto, 2001))	30

2.8	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.....	30
3.1	Alat Analisa X Ray Diffraction.....	43
3.1	Alat Analisa X Ray Diffraction.....	43
3.1	Diagram Alur Penelitian.....	45
4.1	Topografi yang menunjukkan satuan geomorfologi Pegunungan difoto arah N 170° E Secara umum daerah penelitian morfologis ketinggian berkisar 1125 - 1450 meter di atas permukaan laut.	46
4.2	Litologi Metasedimen yang sudah mengalami alterasi kuat pada domain Tanjung dengan arah foto N 175 E.....	48
4.3	Batuan sampling (Batulempung) teralterasi dan dijumpai mineral Kuarsa.	49
4.4	Alterasi yang sangat intensif di sekitar vein kuarsa..	50
4.5	zona alterasi daerah penelitian.	54
4.6	Kenampakan massif breksi pada sampel core PT Masmindo Dwia Area Domain tanjung.	57
4.7	Kenampakan tekstur massif kuarsa pada daerah penelitian.	58
4.8	Kenampakan tekstur Comb pada daerah penelitian	59
4.9	Fotomikrograf sayatan poles pada daerah penelitian	60
4.10	(a) mineral pirit mereplacement mineral kalkopirit (b) mineral sphalerit mereplacement mineral pirit (c) mineral kalkopirit yang mereplacement mineral pirit (d) mineral digenit mereplacement mineral pirit.....	62
4.11	(a) mineral pirit dan kuarsa mengisi rongga pada batuan metasedimensayatan petrografi	63
4.12	Suhu pembentukan pada daerah penelitian	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum, kondisi geologi Pulau Sulawesi sangat kompleks, hal ini disebabkan oleh pertemuan antara 3 lempeng aktif utama dunia yaitu Lempeng Hindia – Australia, Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudra Pasifik. Berdasarkan sifat geologi regionalnya, Pulau Sulawesi dapat dibagi ke dalam mandala – mandala geologi tersendiri. Salah satu mandala geologi yang berada di Pulau Sulawesi adalah mandala geologi Sulawesi Barat atau busur Sulawesi Barat atau lajur Sulawesi Barat yang disebut sebagai volcanic arc. Mandala ini dicirikan oleh endapan gunungapi Tersier dan batuan pluton di bagian tengah dan utaranya. Oleh sebab itu, maka mandala ini sering disebut pula sebagai Busur Vulkanik – Plutonik Tersier (Sukanto 2013). Mandala ini merupakan jalur zona magmatik yang diindikasikan mengandung logam mulia.

Salah satu wilayah yang saat ini sedang giat giatnya melakukan eksplorasi adalah daerah Awak Mas. Daerah Awak Mas berada pada bagian selatan dari *metamorphic belt* Sulawesi Tengah, memanjang sepanjang 50 km, yang dibatasi oleh sesar berarah utara timurlaut, terdiri dari batuan basement metamorf dan batuan sedimen berumur muda. Litologi utama yang terdapat pada daerah penelitian yaitu batuan Formasi Latimojong Kapur Akhir (KIs), yang terdiri dari pilit, *slate*, batuan vulkanik basa – intermediet, batugamping dan sekis yang mewakili palung bagian depan sekuen *flysch*. Batuan intrusi berupa diorit, monzonit dan syenit. Blok

batuan metamorf bagian timur merupakan kompleks Mesozoik Lamasi yang berkomposisi batuan intrusif intermediet, batuan piroklastik, dan batuan sedimen vulkanik (Querubin dan Walters, 2012).

Prospek Tanjung merupakan salah satu prospek emas dalam proyek Awak Mas. Domain Tanjung merupakan salah satu daerah yang diindikasikan dengan banyaknya tipe urat yang ada yang dapat dijadikan data untuk menganalisis tipe mineralisasi endapan hidrotermal. Oleh karena itu penting untuk mengetahui karakteristik dan paragenesa mineral pada daerah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Apa saja jenis tekstur kuarsa di lapangan/pada sampel bor pada daerah penelitian?
2. Apa saja tekstur quartz dibawah mikroskop pada daerah penelitian?
3. Apa saja mineral bijih dan lempung pada daerah penelitian?
4. Bagaimana paragenesa mineralisasi yang terjadi pada daerah penelitian?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan Menginterpretasi tipe mineralisasi domain Tanjung PT Masmindo Dwi Area Kabupaten Luwu Provinsi Sulawesi Selatan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi jenis tekstur kuarsa pada sampel bor
2. Mengidentifikasi tekstur quartz dibawah mikroskop

3. Mengidentifikasi mineralisasi dan alterasi

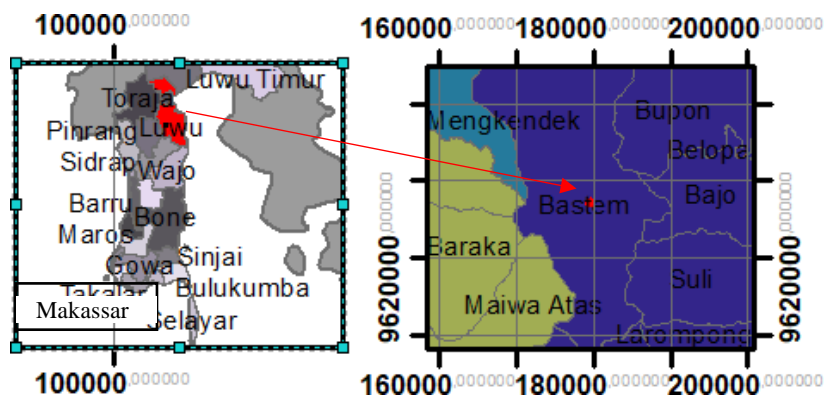
4. Menentukan paragenesa mineral bijih

1.4 Batasan Masalah

Penelitian geologi ini dilakukan dengan membatasi masalah pada PT Masmindo Dwi Area Domain Tanjung Kabupaten Luwu Provinsi Sulawesi Selatan. penelitian ini juga dibatasi oleh metode analisis petrografi dan Mineragrafi di laboratorium.

1.5 Letak dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di PT Masmindo Dwi Area, Dusun Lokko, Desa Ranteballa, Kecamatan Latimojong, Kabupaten Luwu. Dengan luasan wilayah daerah penelitian 200 kilometer persegi. Lokasi penelitian dapat di akses dengan menggunakan kendaraan roda 4 selama 2 jam dari pusat kota Belopa. Lokasi penelitian berada sekitar 345 km kearah utara dari Kota Makassar melewati jalan poros Palopo - Makassar, ditempuh selama kurang lebih 7 jam sampai ke kota lokasi penelitian.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi pengambilan data di PT Masmindo Dwi Area, Dusun Lokko, Desa Ranteballa, Kecamatan Latimojong, Kabupaten Luwu.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini secara umum bagi masyarakat luas adalah sebagai referensi untuk penelitian mengenai studi Paragenesa mineralisasi 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 Penelitian.

1.7 Peneliti Terdahulu

Beberapa peneliti yang pernah melakukan penyelidikan geologi yang sifatnya regional dan lokal di daerah penelitian, antara lain :

1. Van Bemmelen,(1949), melakukan penelitian mengenai geologi regional Indonesia.Termasuk Sulawesi yang disebut sebagai Celebes, khusus meneliti mengenai proses orogenesis dari bagian utara, tengah dan selatan Pulau Sulawesi.
2. Djuri dkk,(1998), melakukan penelitian secara regional dan menghasilkan peta geologi Lembar Majene dan bagian barat lembar Palopo skala 1 : 250.000.
3. Van Leeuwen dan Muhardjo (2005),melakukan penelitian mengenai stratigrafi dan tatanantektonik mengenai suksesi batuan vulkanik - sedimenberumur Kapur dan Paleogen di barat laut Sulawesi.

4. Van Leeuwen dan Pieters (2012), melakukan penelitian mengenai endapan mineral Sulawesi termasuk prospek Awak Mas yang disebut sebagai gold in metamorphic terrains dengan tipe endapan emas mesothermal. Emas hadir sebagai inklusi dalam pirit atau sepanjang kontak antara butiran pirit.
5. Surono dkk,(2013), melakukan penelitian yang bersifat regional mengenai geologi Sulawesi termasuk batuan sedimen tipe flisch Kapur Akhir, Formasi Latimojong yang merupakan batuan induk penyusun daerah penelitian.
6. Muhammad Zain Tuakia dkk,(2017) melakukan penelitian tentang geologi dan karakteristik geokimia dari endapan emas di Prospek Salo Bulu Sulawesi, Indonesia.
7. Ernowo (2019) melakukan penelitian tentang Hydrothermal alteration and gold mineralization of the Awak Mas metasedimentary rock-hosted gold deposit, Sulawesi, Indonesia.

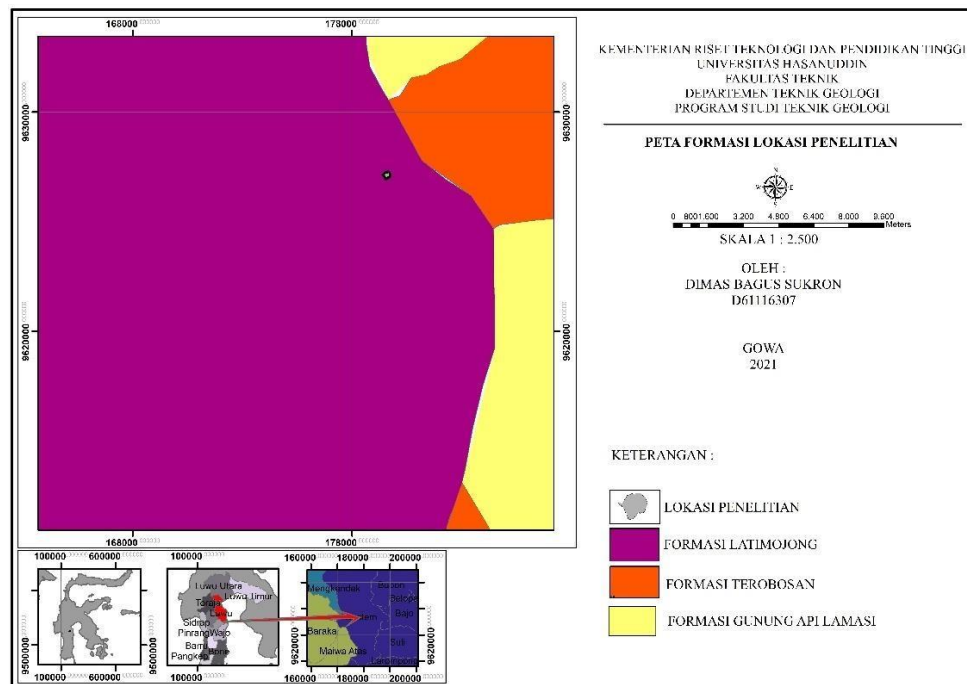
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional

Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai stratigrafi, tektonika, sumberdaya mineral dan energi, dan struktur geologi regional. Pembahasan tersebut berdasarkan pemetaan pada tahun 1912 oleh Sudjatmiko, Djuri, Budi Santoso, Memed dan Yop Yusuf. Yang kemudian menjadi peta geologi.

2.1.1. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Daerah Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo terbentuk oleh beraneka macam batuan seperti, batuan sedimen, malihan, gunungapi dan terobosan. Umurnya berkisar dari Mesozoikum sampai Kuartar.



Gambar 2.1. Peta Formasi Geologi Daerah Penelitian

Satuan tertua di Lembar ini adalah Batuan Malihan (TR w) yang terdiri dari sekis, genes, filit dan batusabak. Satuan ini mungkin dapat disamakan dengan Kompleks Wana di Lembar Pasangkayu yang diduga berumur lebih tua dan Kapur dan tertindih takselaras oleh Formasi Latimojong (Kls). Formasi tersusun oleh filit, kuarsit, batulempung malih dan pualam, berumur Kapur.

Satuan berikutnya adalah Formasi Toraja (Tet) terdiri dari batupasir kuarsa, konglomerat kuarsa, kuarsit, serpih dan batulempung yang umumnya berwarna merah atau ungu. Formasi ini memiliki Anggota Rantepao (Tetr) yang terdiri dari batugamping numulit berumur Eosen Tengah - Eosen Akhir. Formasi Toraja menindih takselaras Formasi Latimojong, dan tertindih takselaras oleh Batuan Gunungapi Lamasi (Toml) yang terdiri dari batuan gunungapi, sedimen gunungapi dan batugamping yang berumur Oligo-Miosen atau Oligosen Akhir - Miosen Awal. Batuan gunungapi ini memiliki Anggota Batugamping (Tome), tertindih selaras dengan Formasi Riu (Tmr) yang terdiri dari batugamping dan napal Formasi Riu berumur Miosen Awal - Miosen Tengah, tertindih takselaras oleh Formasi Sekala (Tmps) dan Batuan Gunungapi Talaya (Tmtv) (Djuri dkk, 1998).

2.1.2. Tektonika Regional Daerah Penelitian

Lembar Majene dan bagian barat Palopo terletak di Mandala Geologi Sulawesi Barat (Sukamto, 1975) Mandala ini dicirikan batuan sedimen laut dalam

berumur Kapur - Paleogen yang kemudian berkembang menjadi batuan gunungapi bawah laut dan akhirnya gunungapi darat di akhir Tersik. Batuan terobosan granit berumur Miosen-Pliosen juga mencirikan mandala ini. Sejarah tektoniknya dapat diuraikan mulai dari zaman Kapur, yaitu, saat Mandala Geologi Sulawesi Timur bergerak ke barat mengikuti gerakan tunjaman landai ke barat di bagian timur Mandala Geologi Sulawesi Barat.

Penunjaman ini berlangsung hingga Miosen Tengah, saat kedua mandala tersebut bersatu. Pada akhir Miosen - Tengah sampai Pliosen terjadi pengendapan sedimen molasa secara tak selaras di seluruh mandala geologi di Sulawesi, serta terjadi terobosan batuan granit di Mandala Geologi Sulawesi Barat, Pada Pliosen seluruh daerah Sulawesi. Di daerah pemetaan, perencanngaan ini diduga telah mengakibatkan terbentuknya lipatan dengan sumbu berarah barat laut - tenggara, serta sesar naik dengan bidang sesar miring ke timur. Setelah itu seluruh daerah Sulawesi terangkat dan bentang alam seperti sekarang ini (Djuri dkk, 1998). Sulawesi terletak di tiga pertemuan lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia di bagian barat, lempeng Pasifik di bagian timur dan lempeng Australia di bagian selatan.

Evolusi tektonik yang terjadi menunjukkan sejarah mengenai subduksi, tumbukan, perpanjangan dan sesar geser yang terjadi di pulau Sulawesi (Van Gorsel dalam Querubin and Walters, 2012). Pada bagian barat busur Sulawesi, menunjukkan segmen bagian barat bagian utara Sulawesi merupakan busur vulkanik teran yang terbentuk pada kompleks akresionaris berumur Kapur Bawah yang tersusun dari batuan metamorf derajat tinggi dan ofiolit.

Perlipatan yang cukup intens pada deposito / lysch berumur Kanur dan ditindih tak selaras dengan karbonat klastik berumur Eosen yang sedikit mengalami deformasi. Pada saat ini pulau Sulawesi sebagian besar didominasi oleh zona sesar geser yang berarah sinistral. Sesar tersebut umumnya berarah baratdaya (sebagai akibat dari lanjutan konvergensi dari lempeng Pasifik, Australia dan Eurasia) setelah kolusi mikrokontinen Banggai Sula pada Miosen Tengah. (Van Gorsel dalam Querubin dan Walters, 2012).

2.2. Geologi Daerah Penelitian

Pemaparan geologi daerah penelitian mencakup pembahasan aspek geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi yang disusun berdasarkan data yang diperoleh dan data yang telah dianalisis sebelumnya.

2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi didefinisikan sebagai studi tentang bentuk lahan. Geomorfologi juga didefinisikan sebagai ilmu tentang bentuk lahan (Thornbury, 1969). Pembagian satuan morfologi daerah penelitian menggunakan dua pendekatan yaitu pendekatan gambaran bentuk (morfografi) dan pendekatan penilaian kuantitatif bentuk (morfometri) dengan menggunakan klasifikasi relief Van Zuidam (1985).

Analisis morfografi yaitu analisis yang didasarkan pada aspek bentuk permukaan bumi yang dijumpai di lapangan yakni berupa topografi pedataran, perbukitan, pegunungan dan dataran tinggi (van Zuidam, 1985). Adapun aspek bentuk ini perlu memperhatikan parameter dari setiap topografi seperti bentuk puncak, bentuk lereng dan bentuk lembah.

Analisis morfometri yaitu analisis yang didasarkan pada aspek kuantitas suatu daerah atau beberapa parameter geomorfologi yang bisa diukur. Unsur tersebut meliputi kemiringan lereng, ketinggian, luas, relief, kerapatan sungai, tingkat erosi dan lain sebagainya (van Zuidam, 1985).

Pendekatan morfologi yang digunakan untuk penentuan satuan bentangalam yaitu persentase kemiringan lereng dan beda tinggi. Klasifikasi kemiringan lereng yang digunakan yaitu menurut van Zuidam, 1985. Adapun klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi satuan bentangalam berdasarkan sudut lereng dan beda tinggi (van Zuidam,1985).

Satuan Relief	Sudut Lereng (%)	Beda Tinggi (meter)
Datar atau Hampir datar	0 – 2	< 5
Bergelombang / Miring landai	3 – 7	5 – 50
Bergelombang / Miring	8 – 13	51 – 75
Berbukit bergelombang / Miring	14 – 20	76 – 200
Berbukit tersayat tajam / Terjal	21 – 55	200 – 500
Pegunungan tersayat tajam / Sangat tajam	55 – 140	500 – 1000
Pegunungan / Sangat curam	> 140	> 1000

Penamaan satuan bentangalam daerah penelitian didasarkan pada pendekatan morfografi dan morfometri (van Zuidam, 1985) dengan memperhatikan bentuk topografi di lapangan dan beberapa parameter dilapangan yang bisa diukur. Berdasarkan pendekatan tersebut, maka satuan bentangalam daerah penelitian dapat dibagi menjadi 1 satuan bentangalam, yaitu :

1. Satuan perbukitan bergelombang/miring

Penjelasan dari setiap satuan bentangalam tersebut akan dibahas dalam uraian berikut ini.

2.2.1.1. Satuan Perbukitan Bergelombang Miring

Satuan perbukitan bergelombang/miring menempati hampir keseluruhan daerah penelitian atau 82% dari luas keseluruhan daerah penelitian. Penyebaran satuan ini menempati bagian selatan daerah penelitian. Satuan ini dicirikan oleh bentuk puncak tumpul, memiliki bentuk lembah “U” tumpul. Berdasarkan pendekatan morfografi, satuan ini termasuk perbukitan (Gambar 2.4).



Gambar 2.2. Kenampakan satuan morfologi perbukitan bergelombang/miring pada daerah penelitian difoto dengan arah foto N 112°E.

Berdasarkan pendekatan morfometri, satuan ini mempunyai nilai sudut lereng sekitar 55% - 149% dan beda tinggi sekitar 500 m – 1000 m sehingga pada klasifikasi relief Van Zuidam (1985) termasuk satuan perbukitan bergelombang/miring. Satuan ini tersusun oleh batuan metasedimen.

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah Awak Mas berada pada bagian selatan dari sabuk metamorf Sulawesi Tengah, memanjang sepanjang 50 km, yang dibatasi oleh sesar berarah Utara Timur Laut, terdiri dari batuan basement metamorf dan batuan sedimen berumur muda. Litologi utama yang terdapat pada daerah penelitian yaitu batuan Formasi Latimojong Kapur Akhir (KIs), yang terdiri dari filit, slate, batuan vulkanik basa - intermediet, batugamping dan sekis yang mewakili palung bagian depan sekuen flysch Satuan formasi ini menindih batuan metamorf yang berkomposisi batuan filit dan batu tulis. Batuan intrusi berupa diorit, monzonit dan Blok batuan metamorf bagian timur merupakan kompleks Mesozoik Lamasi Sang berkomposisi batuan intrusif intermediet, batuan piroklastik, dan hatu sedimen volkanik (Querubin and Walters, 2012)

Daerah awak mas didominasi oleh batuan sedimen tebal yang telah mengalami metamorfisme tingkat rendah hingga fasies sekis hijau (Archibald dkk, 1996) Batuan umumnya berwarna terang hingga abu-abu gelap, terfoliasikan, pada umumnya berbutir halus, dengan protolit mulai dari batulempung, batulanau hingga batupasir halus. Terdapat pula sekis hematit berwarna abu - abu terang hingga berwarna coklat kemerahan. Akhir dari sekuen ini berupa batuan foliasi hingga gneis, berbutir kasar, berupa batupasir tufaan (Querubin and Walters, 2012). Hasil dari pelapukan di daerah ini menghasilkan tanah setebal 15 meter. Kemiringan batuan umumnya 15- 50° ke arah utara. Foliasi umumnya cukup berkembang,

umumnya paralel dengan perlapisan kecuali daerah zona sesar (Querubin dan Walters, 2012).

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Tiga struktur utama berarah Utara Timur Laut - Selatan Barat Daya, zona sesar paralel hingga sub-paralel, sub-vertikal melewati Zona sesar tersebut menjadi terbagi menjadi Sesar Cina, Bawang Putih, dan Sesar Discovery. Sesar tersebut di indikasikan berarah dextral. Pergerakan tersebut sesuai dengan hasil temuan terdahulu yang memperkirakan bahwa daerah ini bergerak berarah BBD - BD (Querubin and Walters, 2012). Namun, kelima domain yang berada di Awak Mas terpisah oleh struktur utama. Pergerakan yang ditunjukkan oleh masing-masing domain yang saling berdekatan besarnya sekitar beberapa ratus meter dan menentukan berarah sinistral. Hal ini ditunjukkan oleh arah umum dari zona stockwork dan sheeted quarte vein serta asosiasi alterasi tersebut sesuai dengan sesar geser yang berada di Domain Ongan dan Pemetaan Sebagai tambahan, secara umum mineralisasi yang berada di Lematik cenderung cenderung berarah Utara - Selatan, searah dengan kemiringan dari zona sesar. Ini menunjukkan bahwa ekstensi yang terjadi pada domain berarah Timur Barat dapat dipastikan bahwa struktur yang berada di Lematik menjadi sumber utama larutan hidrotermal untuk mineralisasi yang terjadi di Domain Ongan, Mapacing, dan Rante (Querubin and Walters, 2012)

2.3. Landasan Teori

Landasan teori yang digunakan adalah teori yang menunjang penelitian ini. Yang mana terbagi atas beberapa hal seperti hidrotermal, mineralisasi dan juga tekstur mineral.

2.3.1 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*.

Larutan hidrotermal adalah larutan panas dengan suhu 50°C – 500°C yang berasal dari sisa cairan magma dari dalam bumi yang bergerak ke atas dan kaya akan komponen-komponen (kation dan anion) pembentukan mineral bijih dan terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi (Pirajno, 2009).

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 (Maulana, 2017).

Endapan hidrotermal adalah jenis endapan bijih yang sangat penting karena endapan ini merupakan salah satu sumber utama dari bijih emas dan tembaga serta logam ekonomis lainnya. Ada beberapa hal penting yang berperan dalam pembentukan endapan bijih hidrotermal, yaitu: sumber air (*water source*), asal-usul komponen bijih, proses transportasi dari bijih, permeabilitas, penyebab, dan pengendapan bijih (Maulana, 2017).

Sumber dari logam pada larutan hidrotermal yaitu;

- Batuan dan material sedimen yang dilalui oleh larutan hidrotermal,
- Berasal dari magma itu sendiri,
- Kombinasi di antara keduanya seperti pada *geothermal system*.

Larutan hidrotermal erat kaitannya dengan aktivitas gunung api, baik aktif maupun yang baru saja aktif (*recently active*) maupun dengan tubuh intrusi. Larutan hidrotermal juga sering dijumpai berasosiasi dengan sebuah sistem panas bumi (*geothermal system*). Fluida atau larutan pembawa bijih secara umum dibagi menjadi empat; yaitu: (Maulana, 2017)

1. Air magmatik
2. Air meteorik
3. Air metamorfik
4. Air konat

Keempat jenis fluida atau larutan ini dapat dijumpai dalam kondisi panas atau dingin, di kedalaman atau dekat dengan permukaan. Apabila terpanaskan dan dalam fase cair, fluida-fluida tersebut disebut dengan istilah *hydrothermal fluid* atau

larutan hidrotermal, sedangkan jika dijumpai dalam fase atau wujud gas disebut dengan *pneumatolytic* (Park & MacDiarmid, 1975, dalam Maulana, 2017).

Endapan hidrotermal dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan atas komposisi mineraloginya yaitu :

- 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 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 (Bateman, 1950)

Ubahan hidrotermal merupakan proses yang kompleks, melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang di lewatinya (Pirajno,1992). Perubahan - perubahan tersebut akan tergantung pada karakter batuan sampling, karakter fluida (Eh, pH), kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung (Guilbert dan Park, 1986). Walaupun faktor – faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang saling berpengaruh pada proses ubahan hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998). Henley dan Ellis (1983 didalam Pirajno ,1992) 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.

2.3.2 Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal

Sirkulasi dari larutan atau cairan hidrotermal menghasilkan perubahan fisika - kimia pada batuan yang dilalui cairan hidrotermal, hal tersebut secara umum dikenal dengan istilah alterasi hidrotermal. Ketika cairan hidrotermal tersebut berkontak dengan batuan, maka akan terjadi reaksi kimia, yang cenderung untuk mendekati kesetimbangan dan kemudian akan mengalami proses disolusi dan presipitasi membentuk kumpulan mineral baru. Perbedaan tipe dan model dari alterasi hidrotermal bergantung pada sifat alami, komposisi kimia, suhu dan tekanan dari cairan hidrotermal, serta bergantung pada sifat alamiah dan komposisi dari batuan yang dilalui oleh cairan hidrotermal tersebut. Alterasi hidrotermal sangat penting pada eksplorasi mineral karena alterasi ini dapat digunakan sebagai petunjuk dari batas kehadiran bijih sehingga target eksplorasi dapat dipersempit pada suatu area yang luas (Pirajno, 2009).

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang sangat kompleks, meliputi perubahan mineralogi, komposisi kimia, dan tekstur, sebagai hasil dari interaksi antara cairan fluida panas dengan batuan yang dilewati pada kondisi kimia – fisika tertentu. Alterasi dapat terjadi dalam kondisi magma subsolidus oleh pergerakan dan infiltrasi fluida ke dalam massa batuan. Pada temperatur dan tekanan rendah, sisa larutan fase cairan dan gas yang merupakan larutan hidrotermal mempengaruhi batuan sekitar dan menyebabkan terjadinya gangguan keseimbangan. Faktor – faktor utama yang mengontrol proses alterasi meliputi,

jenis batuan sampling, komposisi fluida, konsentrasi, aktifitas dan potensial kimia dari unsur – unsur fluida, seperti H^+ , CO_2 , O_2 , K^+ , dan SO_2 (Pirajno, 2009).

Batuan sampling 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.

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*.

Klasifikasi endapan hidrotermal menurut Lindgren (1933) membagi empat tipe/zona endapan berdasarkan kedalaman pembentukannya (*depth of formation*) yang dihubungkan dengan temperature (*temperature of formation*):

Endapan bijih hidrotermal terbentuk karena sirkulasi fluida hidrotermal yang melindih (leaching), menstranport, dan mengendapkan mineral-mineral baru sebagai respon terhadap perubahan kondisi fisik maupun kimiawi (Pirajno, 1992).

Alterasi hidrothermal dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain karakteristik batuan dinding (*wall rock*) yang dilewati fluida hidrothermal, karakter fluida (Eh dan pH), kondisi tekanan (P) dan temperatur (T) pada saat reaksi berlangsung (Guilbert dan Park, 1986).

Larutan hidrothermal adalah cairan bertemperatur tinggi dengan rentang suhu sekitar $100^{\circ} - 500^{\circ}$ C. Larutan hidrothermal merupakan larutan sisa magma yang mampu merubah dan membentuk mineral – mineral tertentu. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah, terdapat air dan unsur-unsur volatil (Bateman, 1981).

Larutan hidrothermal terbentuk pada fase akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah. Interaksi antara fluida hidrothermal dengan batuan yang dilaluinya (*wall rock*) akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder (*alteration minerals*). Klasifikasi tipe alterasi pada endapan epitermal menurut Evans (1993) adalah sebagai berikut, tetapi tidak semua jenis alterasi hadir dalam sistem epitermal sulfidasi rendah.

a. Proses Mineralisasi

Menurut Bateman (1981) Secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, meliputi :

1. Larutan hidrothermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.
2. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrothermal.
3. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrothermal.
4. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi mengendapkan bijih (ore)

Menurut Lindgren, 1933 faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral - mineral logam (khususnya emas) pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya :

1. Proses diferensiasi, pada proses ini terjadi kristalisasi secara fraksional (*fractional crystalization*), yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit. Pengendapan kromit sering berasosiasi dengan pengendapan intan dan platinum. Larutan sulfida akan terpisah dari magma panas dengan membawa mineral Ni, Cu, Au, Ag, Pt, dan Pd.
2. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pengkayaan dari magma, pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, Tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang terbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

Tabel 2.2 Dominasi komposisi mineralisasi di dalam alterasi hidrotermal pada temperatur tinggi dan rendah (disederhanakan dari Corbett, 2002)

TEMPERATUR TINGGI	TEMPERATUR RENDAH
Kalkopirit	Galena, spalerit
Kuarsa kristalin (comb stucture)	Kalsedon-opal
Kuarsa butir kasar	Kuarsa butir halus
Serisit	Smektit-illit
Philik	Propilitik

Guilbert dan Park, 1986, mengemukakan model hubungan antara mineralisasi dan alterasi dalam sistem epitermal. Beberapa asosiasi mineral bijih maupun mineral sekunder erat hubungannya dengan besar temperatur larutan hidrotermal pada waktu mineralisasi. Mineral bijih galena, sfalerit dan kalkopirit terbentuk pada horison logam dasar bagian bawah dengan temperatur $\geq 350^{\circ}$ C. Pada horison ini alterasi bertipe argilik sempurna dan terbentuk mineral alterasi temperatur tinggi seperti adularia, albit dan feldspar. Fluida hidrotermal di horison logam dasar (bagian tengah) bertemperatur antara 200° - 400° C. Mineral bijih

terdiri dari argentit, elektum, pirargirit dan proustit. Mineral ubahan terdiri dari serisit, adularia, ametis, sedikit mengandung albit. Horison bagian atas terbentuk pada temperatur < 200oC. Mineral bijih terdiri dari emas di dalam pirit, Ag-garamsulfo dan pirit. Mineral ubahan berupa zeolit, kalsit, agate.

2.3.3 Tekstur Khusus Mineral Bijih

Dalam mengenali mineral, kita perlu dalam memahami tekstur mineral. Secara umum tekstur pada mineral ini terbagi atas dua yaitu tekstur primer dan tekstur sekunder.

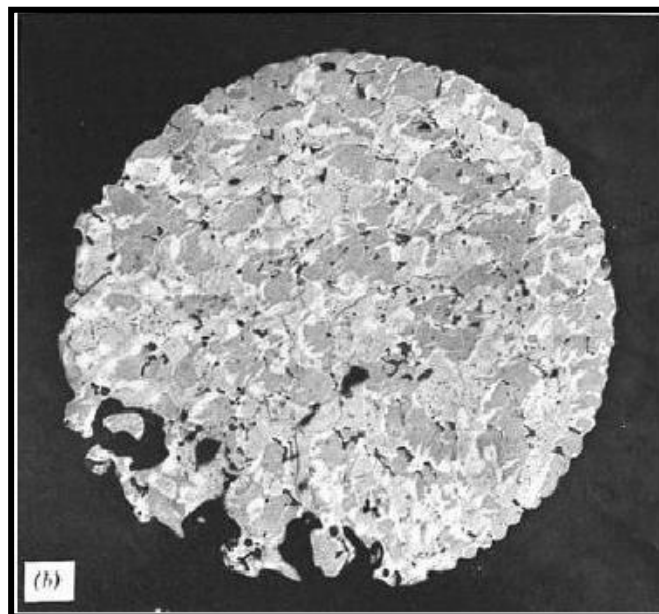
2.3.3.1 Tekstur Primer Mineral Bijih

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. 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.



Gambar 2.3 *Droplet* sulfida pada basalt *Mid-Atlantic Ridge*, tersusun oleh monosulfida larutan padat $(\text{Fe,Ni})_{1-x}\text{S}$ (abu-abu sedang) dan larutan padat menengah $(\text{Cu, Fe})\text{S}_{2-x}$ (abu-abu terang), dengan *rims* dan *flames* pentlandit (terang).

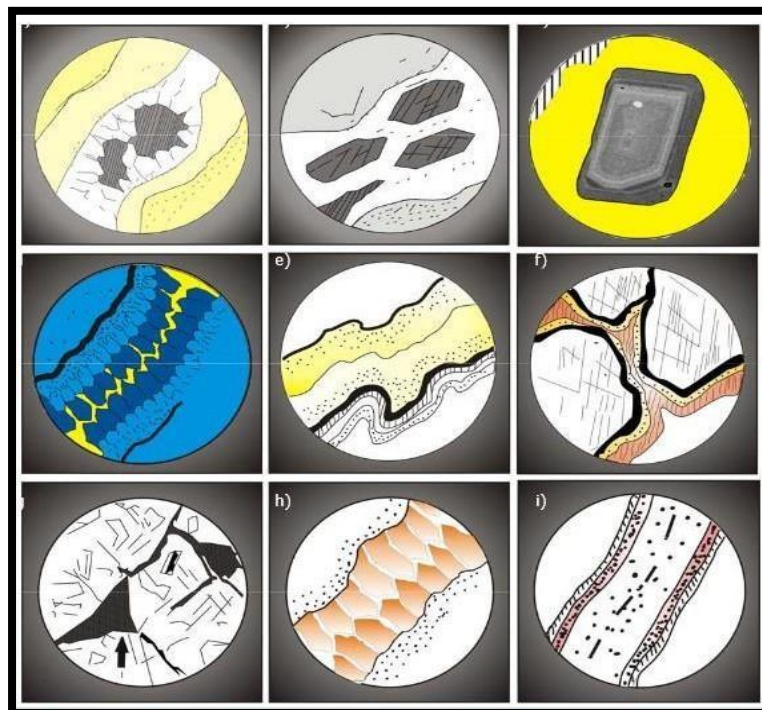
2. Tekstur Pengisian (*Open space filling*)

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 pengintian 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.



Gambar 2.4 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian. A) *Vuggy* atau rongga sisa pengisian, b). Kristal *euhedral*, c). Kristal *zoning*, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur *crustiform*, f). Tekstur *cockade*, g). Tekstur triangular, h). *Comb structure*, i). Pelapisan simetris (Guilbert dan Park,1986).

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 (1984) telah menunjukkan bahwa banyak *colloform* sfalerit pada bijih Pb-Zn tumbuh sebagai kristal *fibrous* kecil pada fluida bijih lewat jenuh.

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.

2.3.3.2 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.

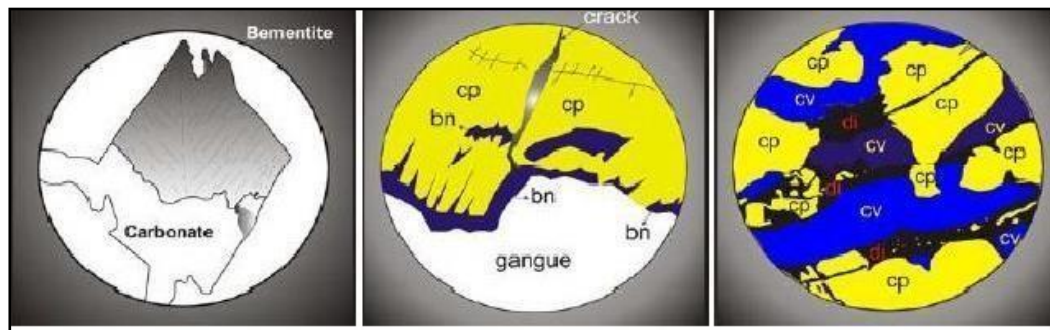
1. **Tekstur *replacement***

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.

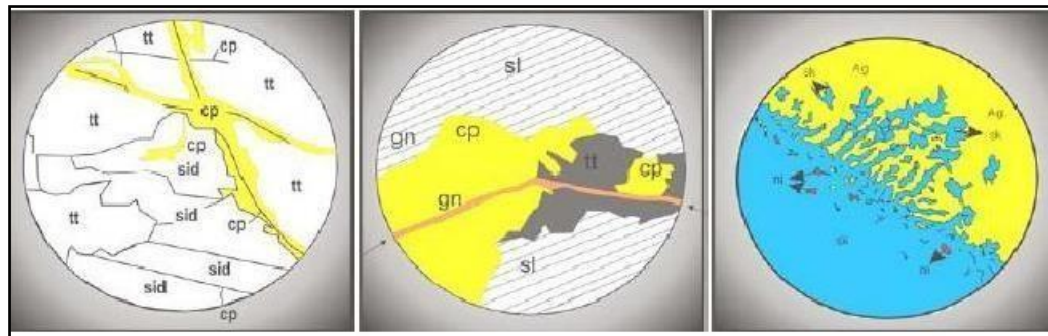
Batas di antara mineral yang di-*replace* yang yang me-*replace* umumnya tajam atau tidak beraturan (*careous*, atau *tekstur corroded*) atau *diffuse*. Edward (1947), Bastin (1950), dan Ramdohr (1969) telah menjelaskan beberapa jenis geometri *replacement* : *rim*, *zonal*, *frontal*. Tekstur *replacement* 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. 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 2.5. 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 2.6 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian
 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*)

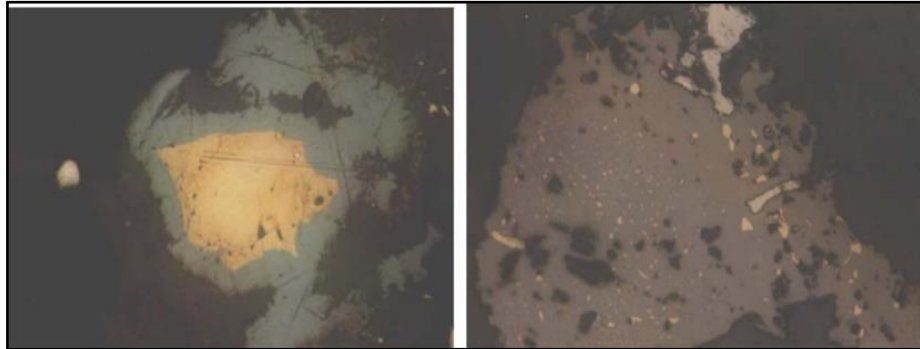
a. Eksolusi

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-

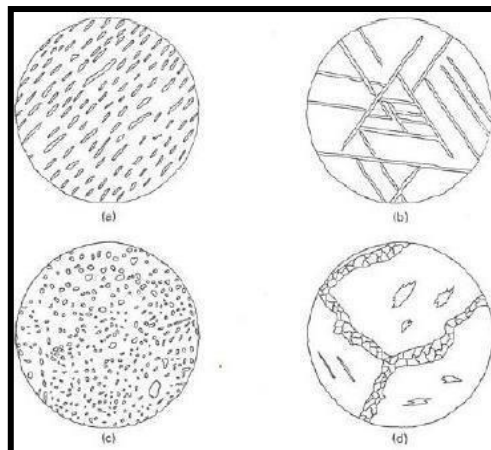
inklusi ini kadang teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur. Adanya tekstur eksolusi menunjukkan adanya temperatur pembentukan yang relatif tinggi, sekitar 300-600°C. Proses eksolusi terbentuk dari difusi, nukleasi kristalit, dan pertumbuhan kristalit atau kristal. Deplesi material 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*. Tekstur *chalcopyrite disease* merupakan tekstur eksolusi akibat pendinginan bijih setelah penempatan.

Studi sebelumnya 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 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 2.7 (a) Kenampakan foto mikroskopis tekstur penggantian mineral kovelit pada bagian tepi mineral kalkopirit. (b) Memperlihatkan kenampakan foto mikroskopis tekstur *exolution* mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit (perbesaran 40x. Lok. Ciemas) (Sutarto, 2001)



Gambar 2.8. 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.

2.3.4. Studi Paragenesa

Paragenesa dalam konteks mineralisasi adalah suatu metode untuk menentukan urutan waktu pembentukan dari asosiasi mineral atau beberapa mineral yang berbeda dengan mengidentifikasi jenis mineral dan karakteristik tekstur yang hadir pada suatu lingkungan pengendapan (Craig dan Vaughan, 1994).

Definisi dan batasan paragenesa mineral, antara ahli yang satu dengan lainnya seringkali berbeda. Guilbert dan Park (1986) mengartikan paragenesa sebagai himpunan mineral bijih, yang terbentuk pada kesetimbangan tertentu, yang melibatkan komponen tertentu. Sedangkan beberapa penulis lain mengartikan paragenesa sebagai urutan waktu relatif pengendapan mineral; berapa kali suatu pengendapan mineral telah terbentuk. Kronologi pengendapan mineral tersebut, oleh Guilbert dan Park (1986) disebut sebagai sikuen paragenesa.

Penulis mengartikan Paragenesa mineral sebagai kronologi pembentukan mineral, yang dibagi menjadi beberapa stadia pembentukan

Batasan stadia sendiri juga sering menghasilkan banyak tafsiran. Secara umum dapat diartikan sebagai kumpulan mineral yang terbentuk atau diendapkan selama aliran fluida berjalan menerus. Jika suatu aliran fluida berhenti dan kemudian terjadi aliran lain, maka dapat diartikan terdapat dua stadia. Secara ilmiah tidak mungkin mengetahui atau membuktikan secara pasti adanya ketidak-menerusan aliran fluida hidrotermal yang melewati suatu tempat. Dalam prakteknya pembagian stadia dihitung dari berapa kali suatu batuan mengalami tektonik. Dengan anggapan setiap rekahan hasil tektonik yang mengandung mineralisasi merupakan satu sikuen waktu relatif.

Untuk dapat menyusun paragenesa mineral (bijih) pada suatu tempat, perlu dilakukan observasi overprinting pada sejumlah contoh batuan. Pengertian overprinting dapat diartikan sebagai observasi tekstur pada sampel bijih untuk mengetahui bahwa satu mineral terbentuk lebih awal atau lebih akhir dibanding mineral lain. Observasi overprinting merupakan bagian dari proses untuk menyusun

paragenesa mineral yang merupakan dasar untuk mengetahui apa yang terjadi pada suatu sistem hidrotermal.

2.3.4.1 Kriteria Overprinting

Secara teori kriteria overprinting cukup sederhana, akan tetapi relatif cukup rumit dalam prakteknya. Pemahaman tekstur penggantian dan pengisian lebih dulu harus dipahami. Secara umum ada beberapa kriteria, kriteria pertama adalah kriteria yang paling mudah dipahami dan meyakinkan.

1. Kriteria Pertama (*Confidence building*)

- *Mineral Superimposition*

Fluida hidrotermal yang melewati rekahan yang terbuka, akan mengendapkan mineral, dimana satu mineral menutup yang lain, membentuk sikuen pengisian (*sequentian infill*).

Tekstur pengisian memberikan informasi yang sangat berharga terkait dengan sikuen pengendapan mineral. Dalam satu stadia pengendapan, secara ideal mineral yang terbentuk paling awal akan ditumpangi atau dilingkupi oleh pembentukan mineral berikutnya.

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan didalam melakukan observasi overprinting dengan kriteria sikuen pengisian, diantaranya:

a) Pada rongga (*cavity*) yang tidak terisi seluruhnya, akan mudah untuk mengetahui urutan sikuen pengendapannya. Tetapi apabila seluruh rongga terisi penuh, kadang sedikit sulit untuk mengetahui mineral mana yang terbentuk lebih dulu.

b) Pada urat yang membentuk perlapisan bagus, kadang terlihat suatu kristal yang terisolasi yang tidak mengikuti perlapisan. Untuk kasus tersebut, penyelesaian dengan hanya satu sampel akan ada banyak kemungkinan yang bisa disimpulkan. Oleh karena itu harus dilakukan pengamatan pada beberapa contoh lain, untuk mengetahui siklus yang sebenarnya dari kristal tersebut.

c) Rekahan atau rongga pada breksi akan diendapi mineral dalam jangka waktu yang panjang. Tidak ada jaminan bahwa yang terlihat sebagai satu siklus lapisan mewakili satu stadia pengendapan. Pada prinsipnya sangat sulit untuk menyusun overprinting dari suatu lapisan/pengendapan yang menerus. Makin besar rongga makin terbuka kesempatan untuk pengendapan berikutnya membentuk lapisan yang menerus. Walaupun perekahan mungkin dapat terjadi dan memungkinkan hadir stadia baru, tetapi kenyataannya overprinting tidak mudah teramati (rongga lebih sulit untuk pecah)

d) Untuk kasus seperti poin c), perbedaan tekstur dan besar butir yang mencolok, bisa digunakan untuk menduga adanya overprinting. Bagian paling dalam dari suatu rongga (siklus terakhir pengendapan) biasanya sebagai kristal yang paling kasar. Sehingga jika terjadi perubahan ukuran kristal dari kasar ke halus, kemungkinan merupakan stadia pengendapan yang berbeda.

e) Perbedaan temperatur pembentukan dari sangat tinggi ke rendah, juga bisa mengindikasikan adanya stadia yang berbeda.

- *Structural Superimposition*
- Urat stockwork yang saling memotong

- Breksiasi, fragmen yang termineralisasi awal di dalam komponen yang mengalami mineralisasi baru
- *Cross-cutting veins-stockworks* merupakan kriteria overprinting yang paling jelas dan mudah menafsirkannya. Pada umumnya proses perekahan akan mendukung terjadinya proses pengendapan mineral. Pengendapan stadia kedua akan mengikuti perekahan stadia kedua, yang terlihat memotong rekahan pertama.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

a) Pada sistem yang didominasi oleh silika, urat-urat halus silika yang tidak beraturan sering saling memotong. Apabila tidak terlihat adanya pergeseran urat yang dipotong, akan sulit untuk menentukan urat mana yang terbentuk lebih dulu.

b) Pada saat terjadi aliran fluida (sebelumnya sudah terbentuk lapisan), bisa terjadi perekahan baru yang memotong dan menggeser lapisan yang telah ada. Jadi dalam kenyataan yang kita lihat (dari tekstur cross-cutting) terdapat dua stadia, walaupun dua-duanya dibentuk dari fluida yang mengalir kontinyu.

2. Kriteria Kedua (*Suspicion arousing*)

Struktur apapun yang telah mengalami mineralisasi, cenderung mengalami reaktivasi selama batuan kembali mengalami perekahan. Sesar, urat, zona breksiasi cenderung membentuk bagian yang relatif lemah, mudah rekah, sehingga fluida akan mudah melewatinya. Sehingga sangat umum bahwa rangkaian mineralisasi berikutnya akan berada pada bagian yang sama dari mineralisasi berikutnya, membentuk multistadia overprinting. Situasi seperti ini akan dicirikan oleh:

- Ketidaksinkronan antara alterasi dan mineralisasi (proporsinya tidak umum)

- a) Suatu urat halus yang memotong zona ubahan yang luas
 - b) Urat di dalam suatu batuan yang membentuk zona ubahan yang tidak simetri
 - c) Sikuen pengisian pada urat yang tidak simetri. Walaupun lapisan pada proses pengisian tidak harus simetri, tetapi adanya perbedaan lapisan pada satu sisi perlu dicurigai
- Konfigurasi alterasi yang tidak konsisten

Sangat umum terjadi, bahwa suatu zona alterasi meng-overprint alterasi yang telah ada sebelumnya. Jika pada suatu tempat, alterasi kedua mengubah seluruh hasil alterasi pertama, sedang ditempat lain alterasi kedua hanya mengubah sebagian alterasi pertama, maka akan terlihat adanya perbedaan zona alterasi. Sehingga, kalau berjalan dari host rock ke arah zona urat, akan dijumpai perbedaan zona alterasi di beberapa bagian.

- Alterasi pada batuan yang telah teralterasi

Sangat umum terjadi bahwa hasil alterasi masih memperlihatkan tekstur batuan yang telah teralterasi sebelumnya. Mineral alterasi awal sering diganti sebagian oleh mineral alterasi berikutnya.

3. Kriteria Ketiga (*Indirect Overprinting*)

Pada banyak contoh inti bor, atau contoh batuan yang di-slab, sering memperlihatkan urat-urat halus yang terpisah dengan himpunan mineral ubahan/pengisian yang satu sama lain sangat berbeda. Kehadiran dua atau lebih himpunan mineral pada tempat yang berbeda, menunjukkan adanya dua atau lebih stadia mineralisasi, tetapi sulit mengetahui mana yang lebih dulu terbentuk.

Perbedaan kristal yang mencolok pada sikuen pengisian juga dapat dijadikan indikasi adanya stadia yang berbeda, setidaknya ada perbedaan atau perubahan kondisi kimia dan fisik.

4. Kriteria ke-empat (*Indirect overprinting-temperature inference*)

Sebagian besar sikuen paragenetik memperlihatkan kecenderungan adanya penurunan temperatur. Stadia awal umumnya terbentuk pada temperatur yang relatif lebih tinggi. Himpunan mineral yang mengandung biotit secara normal terbentuk pada temperatur lebih tinggi dengan himpunan yang mengandung mineral lempung. Bukan berarti apabila didapati asosiasi biotit dengan mineral lempung dapat diartikan bahwa biotit terbentuk lebih dulu dibanding mineral lempung. Tetapi paling tidak kriteria temperatur dapat digunakan untuk membantu memilahkan stadia satu dengan lainnya (lihat tabel kisaran temperatur).

Tabel 2.3. Contoh Tabel Paragenesa Mineral (Sutarto, 2001)

PENGAMATAN	STADIA 1	STADIA 2	STADIA 3	STADIA 4
<u>Mineral ubahan</u>				
<i>epidot</i>		—————		
<i>serisit</i>	—————			
<i>kalsit</i>	—————			
<u>Mineralisasi (sulfida,oksida)</u>				
<i>magnetit</i>		—————		
<i>pirit</i>			—————	
<i>kalkopirit</i>			—————	
Tipe struktur	breksiasi, urat	urat	.....	.....
Indikasi temperatur	.....	.....	.....	.....
Lain-lain	.....	.....	.....	.....

Paragenesa ini juga sebagai alat bantu untuk mengestimasi kondisi kesetimbangan dari pembentukan mineral bijih. Penentuan paragenesa ini walaupun tidak terlalu vital dalam tahapan ekstraksi dan eksploitasi tetapi memiliki manfaat yang penting dalam menjelaskan sejarah geologi dari pengendapan mineral bijih dan kemungkinan juga memiliki manfaat dalam eksplorasi. Untuk menentukan paragenesa maka diperlukan analisa detail dari sayatan poles (mineragrafi) dengan bantuan mikroskop cahaya pantul.

Hal-hal yang perlu diidentifikasi dalam melakukan paragenesa mineral bijih adalah pertama dengan mengidentifikasi jenis mineral (fasa) yang hadir, kemudian mengidentifikasi tekstur yang ada, dan terakhir mendiagnosa kenampakan mineral berdasarkan urutan -urutan waktu dari gabungan dua tahap sebelumnya. Beberapa metode yang dapat digunakan menurut Craig dan Vaughan (1994) dalam mengidentifikasi paragenesa mineral bijih adalah sebagai berikut:

1. Morfologi Kristal dan Hubungan Batas Butir

Bentuk dari suatu individu kristal dan kenampakan kontak antara butir yang saling berdekatan sering kali dijadikan sebagai kriteria dalam penentuan paragenesa. Secara umum, kristal euhedral diinterpretasikan sebagai mineral yang terbentuk lebih dahulu dan tumbuh tanpa mengalami gangguan. Hal ini berarti mineral dengan morfologi cekung terbentuk lebih awal dari mineral dengan morfologi cembung yang ada didekatnya. Interpretasi sederhana seperti itu sering kali benar walaupun terkadang harus digunakan secara hati-hati. Tentu saja banyak mineral terbentuk secara euhedral mengindikasikan bahwa mineral tersebut tumbuh pada tempat terbuka (open space), seperti pada urat. Contoh, kalsit, kuarsa, fluorit,

SPHalerit, kasiterit, pirit, galena, dan kovelit akan tumbuh sempurna bila tidak ada gangguan dari luar. Bila ditemukan overgrowth pada kristal tersebut dengan kristal yang lain maka kristal yang berbentuk euhedral lah yang terbentuk lebih dahulu.

2. Hubungan Potong Memotong (*crosscutting*).

Dalam studi mineralogi, seperti halnya studi geologi lapangan, hubungan potong memotong merupakan kunci dalam interpretasi paragenesa. Urat atau kenampakan sejenis yang memotong urat yang lain adalah lebih muda dari pada urat yang dipotong, kecuali urat yang dipotong tersebut telah mengalami penggantian .

3. Penggantian (*Replacement*)

Replacement merupakan tekstur yang sangat penting dalam studi paragenesa. Sangat jelas bahwa mineral yang digantikan lebih tua dibanding mineral yang menggantikan. Karena replacement umumnya merupakan sebuah reaksi kimia pada permukaan kristal, maka replacement biasanya dimulai dari luar batas butir / mineral atau sepanjang rekahan menuju kedalam .

Secara umum, selama replacement tahap lanjut terjadi, mineral yang digantikan menunjukkan bentuk yang cekung sedangkan mineral yang menggantikan menunjukkan bentuk yang cembung dan kemudian akan meninggalkan sisa mineral yang berbentuk pulau didalam matriks.

4. Kembaran (*Twinning*)

Kehadiran kembaran pada mineral bijih sangat penting dalam interpretasi paragenesa dan sejarah deformasinya. Kembaran dapat terbentuk selama pembentukan awal dari mineral tersebut, selama inversi, atau sebagai hasil dari

deformasi. Karena pembentukan kembaran merupakan fungsi dari temperatur dan derajat saturasi fluida di dalam mineral bijih, maka kehadiran kembaran pada beberapa mineral bijih yang khas dapat membantu dalam merekonstruksi paragenesanya.

5. *Exsolution*

Exsolution merupakan kenampakan yang umum pada beberapa tipe mineral dan sangat berguna dalam penentuan paragenesa. *Exsolution* akan memberikan pola yang khas seperti pola lamellae yang ditunjukkan oleh mineral pentlandit di dalam mineral pirhotit atau pola mirmekitik oleh stibarsen pada arsenik atau antimoni.