

**MODEL GEOLOGI ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTERMAL BLOK TARRA
KECAMATAN BASTEM KABUPATEN LUWU PROVINSI SULAWESI SELATAN**

*GEOLOGICAL MODEL OF ALTERATION AND MINERALIZATION OF TARRA HYDROTHERMAL
BLOCKS, BASTEM DISTRICT, LUWU DISTRICT, SOUTH SULAWESI PROVINCE*

NILAM SRY PUTRI



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

2020



**MODEL GEOLOGI ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTERMAL BLOK TARRA
KECAMATAN BASTEM KABUPATEN LUWU PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister Teknik

Program Studi Magister Teknik Geologi
Univeristas Hasanuddin

Disusun dan diajukan oleh

NILAM SRY PUTRI

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

2020



TESIS

MODEL GEOLOGI ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTHERMAL BLOK TARRA KECAMATAN BASTEM KABUPATEN LUWU PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh

NILAM SRY PUTRI

Nomor Pokok D062181006

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 2 November 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat,



Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T.

Ketua



Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T.

Anggota

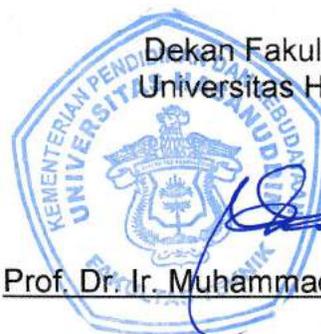


Optimization Software:
www.balesio.com

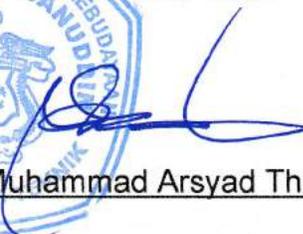
Ketua Program Studi
Teknik Geologi
Universitas Hasanuddin



Husain L, M.T.



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nilam Sry Putri

Nomor Induk Mahasiswa : D062181006

Program Studi : Teknik Geologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Hasil Tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 November 2020

Yang menyatakan;



Nilam Sry Putri



PRAKATA

Puji dan syukur hanya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat penyertaan-Nya sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan.

Adapun judul tesis ini adalah “Model Geologi Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal Blok Tarra, Kecamatan Bastem, Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan” yang kemudian menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Dua (S2) Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada jajaran tinggi Universitas Hasanuddin:

1. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA., selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T, selaku Kepala Departemen Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin dan juga selaku pembimbing kedua penulis.
4. Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi.

Dr. Ir. Musri Ma'waleda, MT, sebagai Ketua Komisi Panasehat Pembimbing Pertama penulis).



6. Dr. Ir. Irzal Nur,. MT, Dr. Adi Tonggihroh, ST.,MT, dan Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT, selaku tim penguji tesis penulis.

Atas bantuan, arahan, bimbingan, dan kesabaran serta motivasi yang telah diberikan. Penulis juga berterimakasih kepada Dr. Iwan Setiwan dari Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Bandung, yang telah dengan sangat sabar mengajar, membimbing, dan membantu penulis selama melakukan penelitian inklusi fluida. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih kepada Herman Dumatubun, ST., MT, selaku Direktur Politeknik Amamapare Timika beserta jajarannya yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas belajar ini.

Penulis juga haturkan terima kasih kepada orang-orang terdekat:

1. Orangtua (Insyahir dan Malona Langngan Tampan) untuk semua doa restu dan kasih sayang yang tidak pernah terbatas.
2. Adik-adik (Nirman Owen Putra, Nirsam Meli Putra, dan Nickxia Meli Putri) yang selalu memberi semangat dalam hidup penulis.
3. Sahabatku Dewi, Selmi, dan Anty, yang selalu membantu melewati semua kesulitan.
4. Teman-teman Tugas Belajar Politeknik Amamapare Timika, yang selalu sehati dan sepemikiran.
5. Teman-teman Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin

katatan 2018.



6. BIGBANG dan TREASURE, yang selalu menjadi motivasi dan *moodbooster* saat penulis menghadapi masalah.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa penulisan Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan memiliki berbagai kekurangan. Olehnya itu penulis mengharapkan dukungan dan partisipasi aktif berupa kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi perbaikan dan penyempurnaannya.

Makassar, 2 November 2020

Penulis,

Nilam Sry Putri



ABSTRAK

NILAM SRY PUTRI. *Model Geologi Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal BlokTarra' Kecamatan Bastem, Kabupaten Luwu, Sulawesi Selatan* (dibimbing oleh Musri Mawaleda, Asri Jaya, dan Iwan Setiawan)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mineral alterasi, mineralisasi bijih dan karakteristik fluida hidrotermal yang membawa endapan emas di blok Tarra'. Metode yang digunakan adalah penelitian lapangan yang meliputi pengamatan litologi, geomorfologi dan struktur geologi, metode analisis laboratorium berupa analisis petrografi, mineragrafi dan inklusi fluida. Hasil penelitian ini menginterpretasikan bahwa terdapat 2 tipe alterasi di Block Tarra' Prospek Awak Mas, yaitu tipe alterasi filik yang ditandai dengan hadirnya mineral alterasi serisit-kuarsa-karonat-albit, dan tipe alterasi propilitik yang ditandai dengan hadirnya mineral alterasi kuarsa-epidot-albit-opak. Mineralisasi mineral bijih di daerah penelitian terbentuk dalam urat kuarsa. mineral-mineral sulfida yang dijumpai adalah Pirit, Kalkopirit, dan mineral bijih yang terbentuk akibat proses oksidasi dan pengayaan terdiri dari hematit, goetit, dan kovelit. Inklusi fluida terbentuk dalam 2 fase, *liquid – rich*, L + V dimana L > 50%, dengan temperatur urat kuarsa sekitar 260°C – 320°C, salinitas yang rendah, kedalaman maksimum pembentukan 1250 meter di bawah *paleosurface*. Tipe endapan emas diinterpretasikan sebagai endapan mesotermal.

Keywords : Alterasi, mineralisasi, fluida hidrotermal, mesotermal, blok tarra', awak mas



ABSTRACT

NILAM SRY PUTRI. *The Geology Model Alteration and Hydrothermal Mineralization of Tarra Block 'Bastem District, Luwu Regency, South Sulawesi* (supervised by Musri Mawaleda, Asri Jaya, and Iwan Setiawan)

This study aimed to determine alteration minerals, ore mineralization and the characteristics of hydrothermal fluids which carry gold deposits in the Tarra' block. The method used is field research which includes observations of lithology, geomorphology and geological structure, laboratory analysis methods in the form of petrographic analysis, mineragraphy and fluid inclusion. The results of this study interpret that there are 2 types of alterations in the Tarra Block 'Prospect Awak Mas, namely the type of phyllic alteration characterized by the presence of sericite-quartz-caronate-albit alteration minerals, and the type of propylitic alteration characterized by the presence of quartz-epidotal-albit-opaque alteration minerals.. Mineralization of ore minerals in the study area is formed in quartz veins. Sulfide minerals found are pyrite, chalcopyrite, and ore minerals formed by oxidation and enrichment processes consisting of hematite, ghoetite, and covelite. Fluid inclusions are formed in 2 phases, liquid - rich, L + V where L > 50%, with quartz vein temperatures around 260°C - 320°C, low salinity, formation depth of 1250 meters below paleosurface. This type of gold deposits is interpreted as mesothermal deposits.

Keywords: alteration, mineralization, hydrothermal fluid, mesothermal, tarra block, awak mas



DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I: PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat penelitian	3
E. Batasan Penelitian	3
F. Peneliti Terdahulu	4
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA	
A. Kondisi Geologi	6
B. Landasan Teori	10

METODE PENELITIAN



A. Jenis Penelitian	25
B. Lokasi dan Kemampuan Daerah	25
C. Alat dan Bahan	26
D. Tahapan Penelitian	26
E. Bagan Alir Penelitian	38

BAB IV: PERENCANAAN WAKTU DAN BIAYA PENELITIAN

A. Geomorfologi Daerah Penelitian	39
B. Stratigrafi Daerah Penelitian	40
C. Alterasi Hidrotermal di Daerah Tarra'	43
D. Mineralisasi Hidrotermal di Daerah Tarra'	54
E. Karakteristik Inklusi Fluida di Daerah Tarra'	56
F. Diskusi	67

BAB V: PENUTUP

A. Kesimpulan	76
B. Saran	76

DAFTAR PUSTAKA	77
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1	Tabel klasifikasi fase inklusi fluida (Shepherd, 1985)	22
2	Mineral alterasi dan zonasi alterasi dari sampel permukaan dan lubang bor TGD111, TGD122, TGD133, TGD144, TGD155.	47
3	Kandungan mineral bijih dan zonasi alterasi dari sampel permukaan dan lubang bor TGD111, TGD122, TGD133, TGD144, TGD155	56
4	Data rekapitulasi hasil pengukuran mikrotermometri	63
5	.Paragenesis mineral bijih	69



DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1	Peta gologi regional awak mas (dimodifikasi setelah White, 2017)	7
2	Mineralogi alterasi di dalam sistem hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996)	14
3	Zona pertumbuhan Inklusi fluida pada <i>Host Minerals</i>	19
4	Penyusutan bentuk inklusi fluida yang membentuk negatif kristal	23
5	Peta lokasi pengambilan sampel permukaan dan lokasilubang bor serta penampang lokasi sampling.	27
6	Penampang lubang bor dan titik pengambilan sampel	28
7	Peralatan preparasi sampel inklusi fluida	34
8	Topografi yang menunjukkan satuan geomorfologi Pegunungan di daerah penelitian	39
9	Fotomikrograf sayatan tipis sampel OC2 dengan komposisi mineral berupa mineral kuarsa, karbonat, dan albit	41



- 10 Fotomikrograf sayatan tipis sampel OC4 pada kenampakan nikol silang dengan komposisi mineral berupa mineral kuarsa, karbonat, dan albit 41
- 11 Fotomikrograf sayatan tipis sampel OC3 pada kenampakan nikol silang dengan komposisi mineral berupa mineral kuarsa, karbonat, dan albit 42
- 12 Fotomikrograf sayatan tipis sampel TGD133(97.05) yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz), serisit (Ser), karbonat (Cb) 44
- 13 Fotomikrograf sayatan tipis sampel TGD144 (17.60) yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz), serisit (Ser), karbonat (Cb), dan mineral opak (Op) 44
- 14 Fotomikrograf sayatan sampel TGD155 yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz), serisit (Ser), karbonat (Cb), mineral opak (Op) 45
- 15 Fotomikrograf sayatan tipis sampel TGD155 (105.40) yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz), albit (Ab), epidot (Ep) 46
- 16 Fotomikrograf sayatan tipis sampel TGD122 (19.00) yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz), klorit (Chl), karbonat (Cb), mineral opak (Op) 46



- 17 Fotomikrograf sayatan tipis sampel TGD111 (70.25) metabatulempung yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qtz) klorit (Chl) 47
- 18 Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD111 perbesaran 10x yang memperlihatkan mineral pirit (Py) pada batuan dengan bentuk subhedral-euhedral bertekstur *open space filling* dan mineral kalkopirit (Ccp) dengan ukuran yang sangat kecil 50
- 19 Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD122 perbesaran 20x yang memperlihatkan mineral pirit (Py) pada kuarsa dengan bentuk anhedral (*broken mineral*) dan mineral kalkopirit (Ccp) sebagai inklusi dalam mineral pirit. 50
- 20 Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD133 perbesaran 10x yang memperlihatkan mineral pirit (Py) pada batuan dengan bentuk subhedral bertekstur *open space filling* 51
- 21 Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD144 perbesaran 20x yang memperlihatkan mineral pirit (Py) dan mineral kalkopirit (Ccp) tersebar) pada kuarsa dengan bentuk subhedral-euhedral bertekstur *open space filling* 51



22	Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD155 perbesaran 10x yang memperlihatkan mineral pirit (Py) tersebar pada batuan dengan tekstur <i>open space filling</i>	52
23	Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD111 perbesaran 10x yang memperlihatkan mineral sulfida yang telah teroksidasi kuat menjadi hematit (Hem)	53
24	Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD122 perbesaran 10x memperlihatkan mineral kovelit (Cv) menggantikan mineral pirit (Py)	54
25	Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD133 perbesaran 20x yang memperlihatkan mineral kovelit (Cv) sebagai inklusi dalam mineral pirit (Py)	54
26	Fotomikrograf sayatan poles sampel TGD155 perbesaran 20x yang memperlihatkan goetit (Goe) yang terbentuk akibat proses hidrasi mineral hematit	55
27	Foto mikrograf yang memperlihatkan jenis inklusi fluida primer tipe I monofase (L) dan tipe II bifase (L+V), (b) Foto mikrograf yang memperlihatkan jenis inklusi fluida sekunder yang mengikuti orientasi tertentu.	57



Foto megaskopis sampel OC4 yang memperlihatkan
 tekstur urat kuarsa massive, (B) Foto megaskopis
 sampel OC4 yang memperlihatkan tekstur urat kuarsa

	colloform, (C) Foto megaskopis samoel OC4 yang smemperlihatkan tekstur urat kuarsa breccia.	58
29	Inklusi fluida pada sampel OC4 yang terdiri dari (a,c) inklusi primer; (b) inklusi sekunder.	59
30	Inklusi fluida pada sampel TGD122 yang terdiri dari (a,c) inklusi primer; (b) inklusi sekunder.	60
31	Inklusi fluida pada sampel TGD144 yang terdiri dari (a,c) inklusi primer; (b) inklusi primer dan sekunder.	61
32	Histogram inklusi fluida sampel OC4	64
33	Histogram inklusi fluida sampel TGD122	65
34	Histogram inklusi fluida sampel TGD144	65
35	Diagram Th vs salinitas Shepherd dkk, (1985) dalam Wilkinson, (2001)	66
36	Hubungan antara temperatur homogen (Th) dengan salinitas pada sampel urat kuarsa domain Rante Awak Mas	67
37	Proyeksi lubang bor yang menunjukkan hubungan zona alterasi blok Tarra, Awak Mas	68



- 38 Paleosurface pembentukan endapan di blok Tarra' Awak Mas berdasarkan nilai T_h dan Salinitas, (dimodifikasi dari Haas, 1971 dalam Shepherd, 1985) 71
- 39 Data inklusi fluida dari sampel domain Rante, Awak Mas yang diplot kedalam diagram T_h vs salinitas, dengan garis putus – putus merupakan nilai dari densitas (g/cm^3) dimodifikasi dari Bodnar, 1983 dalam Wilkinson, 2001 72
- 40 Diagram tipe endapan berdasarkan nilai temperatur homogen (T_h), salintas dan densitas, terlihat bahwa tipe endapan daerah Awak Mas merupakan endapan *lode Au*, dimodifikasi dari Large et al., 1988 dalam pirajno, 1992) 73
- 41 Interpretasi zona kedalaman maksimum pembentukan endapan emas di Blok Tarra' Awak Mas (dimodifikasi dari Groves dkk, 1993 dalam Groves dkk, 1998). 75



BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Lokasi penelitian merupakan lokasi prospek endapan emas yang tengah dikembangkan oleh PT. Masmindo Dwi Area. Secara geografis terletak pada $3^{\circ}21'30''$ - $3^{\circ}22'15''$ LS dan $120^{\circ}6'45''$ - $120^{\circ}7'45''$ BT. Prospek Awak Mas merupakan objek kegiatan eksplorasi sistematis yang telah dilakukan sejak 1987 hingga saat ini. Berdasarkan hasil kajian kegiatan pemboran di kawasan Awak Mas telah berjumlah 1.012 lubang dengan keseluruhan kedalaman 118.081,30m (Querubin, 2012). Salah satu blok yang termasuk dalam prospek Awak Mas adalah Blok Tarra. Blok ini diindikasikan memiliki potensi cebakan mineral bijih sulfida terutama emas.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian di wilayah Awak Mas diantaranya (Van Leeuwen, 2011) meneliti tentang endapan mineral Sulawesi, (Querubin, 2012) meneliti tentang geologi dan mineralisasi, (A. Idrus, 2015) meneliti tentang karakteristik mineralisasi dan alterasi Domain Rante, (A. Hakim, 2018) meneliti tentang mineralisasi emas di prospek Salu Bulu. (Muh. Zain Tuakia, 2018) meneliti tentang geologi dan geokimia mineralisasi emas di prospek Salu Bulu. Belum ada penjelasan yang

menyentuh mengenai tipe alterasi dan mineralisasi hidrotermal di Blok tersebut yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian di



daerah blok Tarra. Sehingga dari penelitian ini dapat diperoleh penjelasan yang komprehensif mengenai tipe alterasi dan mineralisasi hidrotermal di Blok Tarra dan sekitarnya.

B. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini, yakni:

- A. Bagaimana zona alterasi hidrotermal di daerah penelitian?
- B. Bagaimana paragenesis mineral bijih di daerah penelitian?
- C. Bagaimana model geologi alterasi dan mineralisasi hidrotermal di daerah penelitian?

C. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang penelitian dan rumusan masalah diatas maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

- a. Menentukan zona alterasi hidrotermal di blok Tarra'.
- b. Menyusun paragenesis mineral bijih di blok Tarra'.
- c. Membuat interpretasi model geologi alterasi dan mineralisasi hidrotermal di blok Tarra'.

D. MANFAAT PENELITIAN

Setelah penelitian ini dilakukan diharapkan kiranya dapat memberikan manfaat sebagai berikut:



- a. Model geologi yang dibuat dapat digunakan dalam eksplorasi lebih lanjut oleh PT. Masmindo Dwi Area.
- b. Dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu geologi terutama eksplorasi mineral bijih emas.

E. BATASAN PENELITIAN

Penelitian ini mencakup batasan meliputi:

1. Melakukan sampling singkapan di 4 (empat) stasiun di daerah prospek Tarra'.
2. Pengambilan sampel inti bor pada 5 (lima) titik bor secara representatif yang meliputi zona alterasi dan mineralisasi.
3. Analisis laboratorium meliputi analisis petrografi, XRD, mineragrafi, dan inklusi fluida.
4. Analisa Inklusi fluida dilakukan pada 3 sampel, yaitu sampel OC4, TGD122(110.70), dan TGD144(70.10).
5. Menghimpun data sekunder berupa peta geologi, peta titik bor, dan data logging lubang bor sampling.

F. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian yang pernah dilakukan di Awak Mas adalah sebagai berikut:



1. Van Leeuwen (2005), melakukan penelitian mengenai stratigrafi dan tatanan tektonik mengenai suksesi batuan vulkanik-sedimen berumur Kapur dan Paleogen di Barat-Laut Sulawesi.
2. Van Leeuwen dan Pieters (2011), melakukan penelitian tentang endapan mineral Sulawesi termasuk Awak Mas dan menginterpretasikan bahwa endapan Awak Mas merupakan tipe endapan emas mesotermal.
3. Querubin dan Walters (2012), melakukan penelitian tentang kondisi geologi dan mineralisasi. Dari penelitian tersebut diinterpretasikan bahwa endapan Awak Mas merupakan endapan emas mesotermal.
4. Arifuddin Idrus dkk (2015), melakukan penelitian tentang Ore Mineralization di Domain Rante. Dari hasil penelitian tersebut diinterpretasikan bahwa endapan awak mas Domain Rante adalah endapan mesotermal dengan range suhu 190°C-320°C.
5. Hakim dkk (2018), melakukan penelitian tentang mineralisasi emas di daerah Awa Man Prospek Salu Bulu. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa endapan Awak Mas Prospek Salu Bulu diinterpretasikan sebagai endapan mesotermal dengan range suhu pembentukan 190°C-390°C.
6. Zain dkk (2018), melakukan penelitian tentang geologi dan geokimia mineralisasi emas di daerah Awak Mas Prospek Salu Bulu. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa endapan Awak Mas Prospek Salu

diinterpretasikan sebagai endapan epitermal dengan range suhu pembentukan 190°C-210°C.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kondisi Geologi

1. Geologi Regional

a. Geomorfologi

Secara morfologi pulau Sulawesi terdiri atas dataran dan pegunungan dengan ketinggian mencapai 828 meter. Awak Mas secara regional berada di kaki Pegunungan Latimojong dengan puncak tertinggi mencapai lebih dari 3000 mdpl. Pegunungan Latimojong disusun oleh kompleks batuan metamorf dan batuan sedimen yang termasuk dalam mandala geologi Sulawesi Barat (Sidarto, 2013).

b. Stratigrafi

Wilayah Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo dibentuk oleh bermacam batuan yakni, batuan sedimen, metamorf, gunungapi dan batuan intrusif dengan kisaran umur mulai dari Mesozoikum sampai Kuartar. Satuan tertua di Lembar Majene dan Palopo adalah Batuan Metamorf (TRw) yang terdiri dari sekis, genes, filit dan batusabak dan tertindih takselaras oleh Formasi Latimojong (Kls).

asi tersusun oleh filit, kuarsit, batulempung malih dan pualam, Hur Kapur (Djuri, 1998). Berikutnya adalah Formasi Toraja (Tet)

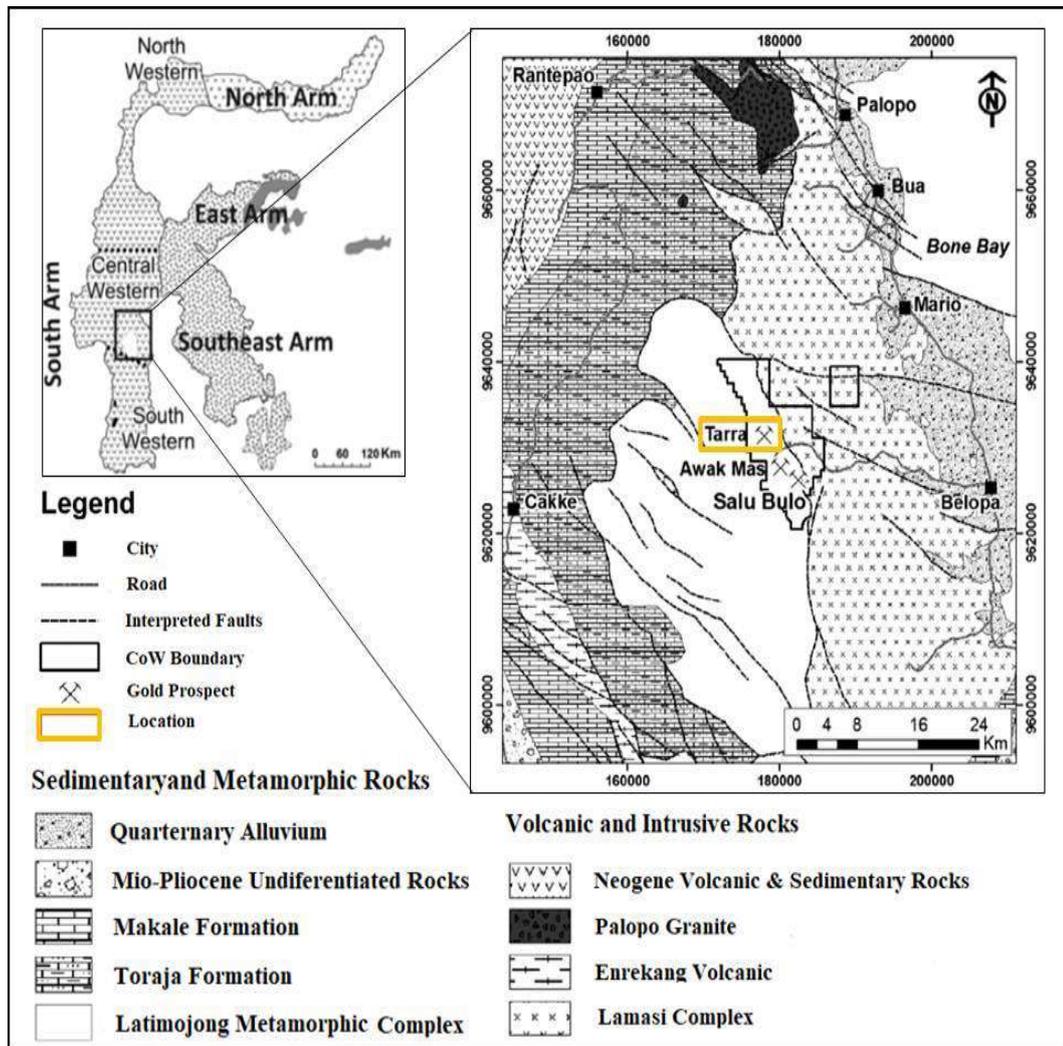


yang terdiri dari batupasir kuarsa, konglomerat kuarsa, kuarsit, serpih dan batulempung yang umumnya berwarna merah atau ungu. Formasi Toraja menindih takselaras Formasi Latimojong, dan tertindih takselaras oleh Batuan Gunungapi Lamasi (Toml) yang terdiri dari batuan gunungapi, sedimen gunungapi dan batugamping yang berumur Oligo-Miosen atau Oligosen Akhir - Miosen Awal (Djuri, 1998).

c. Tektonik

Sulawesi terletak di tiga pertemuan lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia di bagian barat, lempeng Pasifik dibagian timur dan lempeng Australia dibagian selatan. Evolusi tektonik yang terjadi menunjukkan sejarah mengenai *subduction*, *collisions*, *extension* dan sesar geser yang terjadi pada pulau Sulawesi (Querubin, 2012).





Gambar 1. Peta geologi regional Awak Mas yang dimodifikasi setelah (White, 2017)

Pada bagian barat busur Sulawesi, menunjukkan segmen bagian barat hingga bagian utara Sulawesi merupakan busur vulkanik teran yang terbentuk pada kompleks akresionaris berumur Kapur Bawah yang tersusun dari batuan metamorf derajat tinggi dan ofiolit (White, 2017).

an yang cukup intens pada endapan *flysch* berumur Kapur dan tak selaras oleh karbonat klastik berumur Eosen yang sedikit mi deformasi (White, 2017). Pada saat ini pulau Sulawesi sebagian



besar di dominasi oleh zona sesar geser yang berarah sinistral (Querubin, 2012). Sesar tersebut umumnya berarah baratdaya (sebagai akibat dari lanjutan konvergensi dari lempeng Pasifik, Australia dan Eurasia) setelah *collusion* mikrokontinen Banggai Sula pada Miosen Tengah (Querubin, 2012).

2. Geologi Daerah Awak Mas

Awak Mas berada di bagian selatan dari *metamorphic belt* Sulawesi Tengah yang memanjang 50 km, dibatasi oleh sesar yang berarah utara Timur Laut dan terdiri dari batuan *basement* metamorf dan batuan sedimen berumur muda. Litologi utama 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* (White, 2017). Unit formasi ini menindih batuan filit dan *slate*. Batuan intrusi yakni diorit, monzonit dan syenit. Batuan metamorf bagian timur adalah kompleks Mesozoik Lamasi yang merupakan batuan intrusif intermediet, piroklastik, dan sedimen vulkanik (Querubin, 2012).

Daerah Awak Mas didominasi oleh batuan sedimen yang telah mengalami proses metamorfisme tingkat rendah hingga fasies sekis hijau (Archibald, 1996). Batuan umumnya berwarna abu–abu, berfoliasi, berbutir

terdiri dari *protolith* batulempung, batulanau, dan batupasir halus. Batuan juga *schist* hematit berwarna abu – abu kemerahan hingga coklat



kemerahan. Akhir sekuen ini berupa batuan foliasi hingga *gneiss* berbutir kasar dan berupa batupasir tufaan (Querubin, 2012).

Pelapukan di daerah ini telah menghasilkan tanah dengan tebal 15 meter. *Slope* batuan umumnya 16 - 50° ke arah utara. Di daerah ini foliasi umumnya berkembang cukup baik, umumnya searah dengan perlapisan batuan kecuali daerah zona sesar (Querubin, 2012).

B. Landasan Teori

Hidrotermal merupakan larutan sisa magma yang kaya akan logam-logam dan merupakan sumber terbesar proses pembentukan endapan. ada 2 macam endapan hidrotermal berdasarkan cara pembentukannya, yakni:

1. *Cavity filling*, (mengisi lubang-lubang yang sudah ada di dalam batuan)
2. Metasomatisme (mengganti unsur-unsur yang telah ada dalam batuan dengan unsur yang baru)

Sistem hidrotermal didefinisikan sebagai sirkulasi fluida panas (50°C – >500°C), secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi di bawah permukaan bumi. Sistem ini mengandung dua komponen utama, yaitu sumber panas dan fase fluida. Sirkulasi fluida hidrotermal menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding menjadi tidak stabil dan cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan

untuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, yang sebagai alterasi (ubahan) hidrotermal. Endapan mineral hidrotermal



dapat terbentuk karena sirkulasi fluida hidrotermal yang melindi (*leaching*), mentranspor, dan mengendapkan mineral-mineral baru sebagai respon terhadap perubahan fisik maupun kimiawi (Pirajno, 2009).

Alterasi merupakan perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) karena adanya pengaruh Suhu dan Tekanan yang tinggi dan tidak dalam kondisi isokimia menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam. Proses alterasi merupakan peristiwa sekunder, berbeda dengan metamorfisme yang merupakan peristiwa primer. Alterasi terjadi pada intrusi batuan beku yang mengalami pemanasan dan pada struktur tertentu yang memungkinkan masuknya air meteorik (*meteoric water*) untuk dapat mengubah komposisi mineralogi batuan.

Alterasi hidrotermal adalah suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, dan tekstur yang disebabkan oleh interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya, di bawah kondisi evolusi fisik-kimia. Proses alterasi merupakan suatu bentuk metasomatisme, yaitu pertukaran komponen kimiawi antara cairan-cairan dengan batuan dinding (Pirajno, 2009).

Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal adalah suhu, kimia fluida (pH), komposisi batuan sampling, durasi aktivitas hidrotermal, dan permeabilitas. Namun, faktor kimia fluida (pH) dan suhu merupakan faktor yang paling berpengaruh (Corbet, 1997).



uhu

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

b. Permeabilitas

Permeabilitas dari suatu batuan akan menentukan intensitas pengaruh

Larutan hidrotermal terhadap batuan dan kecepatan presipitasi mineral – mineral baru. Batuan yang memiliki permeabilitas kecil akan menyebabkan tingkat pengaruh alterasi yang tidak signifikan.

c. Komposisi awal dari batuan

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

d. Komposisi fluida

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

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

da tipe alterasi tertentu.



Perubahan suatu mineral merujuk kepada seberapa besar pengaruh alterasi pada suatu batuan. Kuantitas alterasi pada batuan disebabkan oleh derajat dan lamanya proses alterasi (Pirajno, 2009). Adapun pola ubahan alterasi, yaitu

- a. *Pervasive*, yaitu penggantian seluruh atau sebagian besar mineral pembentuk batuan. Semua mineral primer pembentuk batuan telah mengalami alterasi, walaupun intensitasnya berbeda.
- b. *Selectively pervasive*, yaitu proses alterasi hanya terjadi pada mineral-mineral tertentu pada batuan dan tekstur aslinya masih dapat dijumpai.
- c. *Non-pervasive*, yaitu hanya bagian tertentu dari keseluruhan batuan yang mengalami alterasi hidrotermal.

Klasifikasi tipe alterasi hidrotermal berdasarkan kumpulan mineralnya menurut (Corbet, 1997):

1. Tipe argilik lanjut

Mineral alterasi terbentuk pada kondisi pH rendah (≤ 4) yaitu grup mineral silika, alunit, dan kaolinit. Meyer dan Hamley memasukkan grup mineral kaolinit yang terbentuk pada fase temperatur rendah (*dickite* dan *pyrophyllite*).

2. Tipe argilik (argilik intermedit)

Kumpulan mineral alterasi yang terbentuk pada suhu rendah (250°C) dan umumnya mempunyai pH rendah (sekitar 4-5). Rose dan Bart (1979) membagi tipe alterasi ini berdasarkan dominasi mineral



kaolinit dan smektit. Tipe alterasi argilik juga terdiri dari grup mineral klorit dan illit.

3. Tipe Filik

Tipe alterasi ini terbentuk pada kondisi pH yang sama dengan tipe argilik namun mempunyai temperatur yang lebih tinggi (>200-250°C). Dicirikan oleh kehadiran mineral serisit atau muskovit. Kemungkinan juga mengandung anggota mineral kaolin yang mempunyai temperatur lebih tinggi (*pyrophyllite-andalusite*) dan grup mineral klorit sebagai ubahan dari serisit/muskovit.

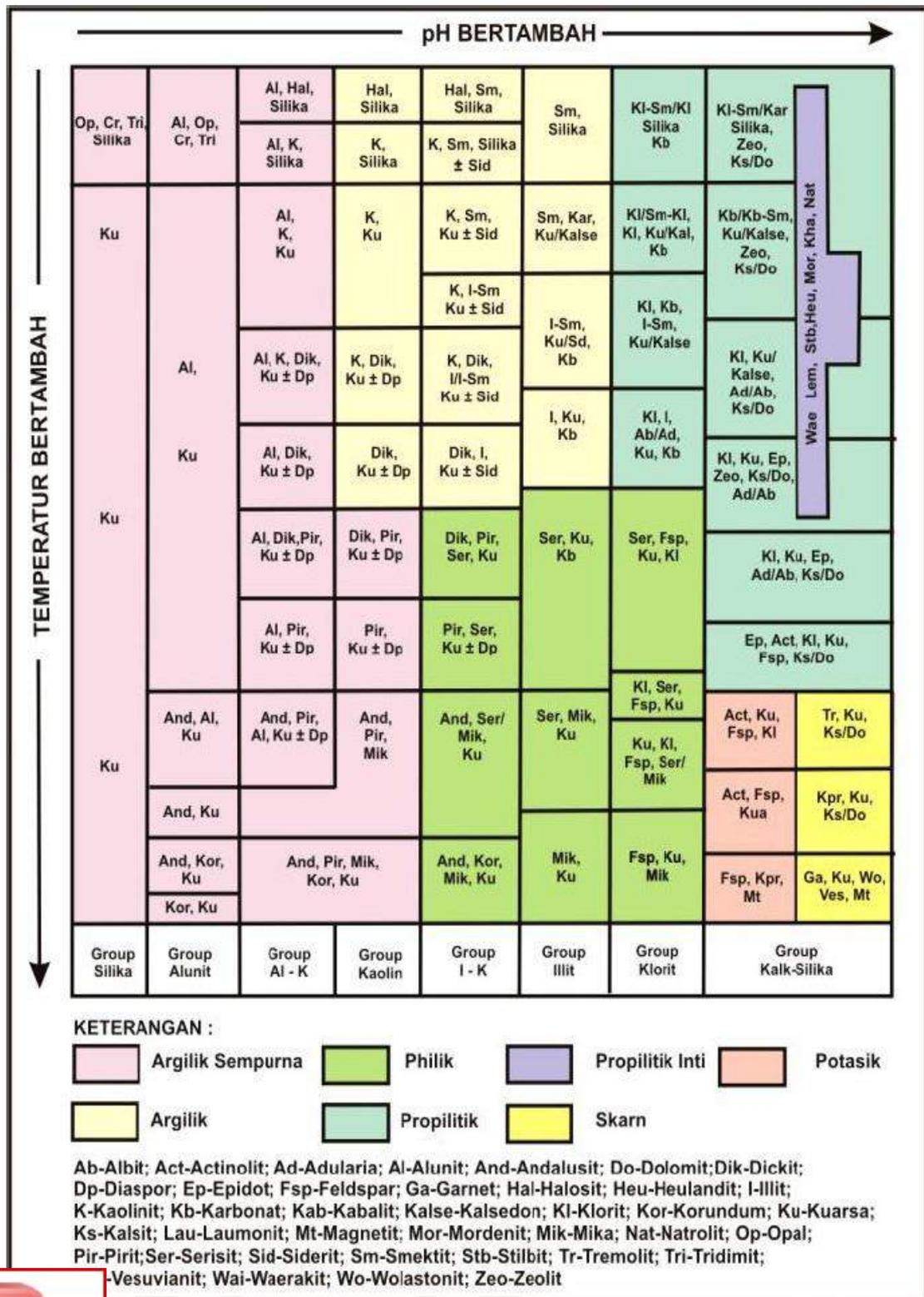
4. Tipe Propilitik

Terbentuk pada kondisi pH netral - basa yang dicirikan oleh kehadiran mineral epidot dan/atau klorit (Corbet, 1997). Pada suhu relatif rendah (200-300°C), kumpulan mineral alterasi didominasi oleh zeolit yang digantikan oleh epidot. Albit sekunder dan/atau K-feldspar umumnya dapat juga dijumpai pada tipe alterasi ini. Tipe alterasi ini kemungkinan dijumpai pada daerah penelitian

5. Tipe Potasik

Terbentuk pada temperatur yang tinggi, dalam kondisi pH netral-basa yang dicirikan oleh kehadiran mineral biotit dan/atau K-feldspar + magnetit + aktinolit + klinopiroksin.





2. Mineralogi alterasi di dalam sistem hidrotermal (Corbet, 1997)

1. Hubungan Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi

Alterasi dan mineralisasi sangat erat kaitannya, dikarenakan tipe alterasi ditentukan dicirikan dengan hadirnya suatu himpunan mineral yang khas sebagai pencirinya. Alterasi dapat menghasilkan mineral bijih dan mineral penyerta (*gangue mineral*). Namun demikian, tidak semua batuan yang mengalami alterasi hidrotermal dapat mengalami mineralisasi bijih.

Tipe alterasi tertentu biasanya akan menunjukkan zonasi himpunan mineral tertentu akibat ubahan oleh larutan hidrotermal yang melewati batuan sampingnya (Evan, 1993). Himpunan mineral ubahan tersebut terbentuk bersamaan pada kondisi keseimbangan yang sama (*equilibrium assemblage*). Mineral-mineral baru yang terbentuk, diendapkan mengisi rekahan-rekahan halus atau dengan proses penggantian (*replacement*). Mineral-mineral baru ini dikenal sebagai mineral sekunder (Evan, 1993).

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

- a. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.
- b. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal.
- c. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal.
- d. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih



- e. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Menurut (Lindgren, Mineral Deposits, 1993), 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 penguapan dari magma, pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO₂, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik, senyawa antimon, selenida dan telurida. 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 *replacement deposits* di dekat intrusi batuan beku.



Beberapa asosiasi mineral bijih maupun mineral sekunder erat hubungannya dengan besar temperatur larutan hidrotermal pada waktu mineralisasi (Guilbert, Ore Geology and Industrial Minerals, 1986). Mineral bijih galena, sfalerit dan kalkopirit terbentuk pada horison logam dasar bagian bawah dengan temperatur $\geq 350^{\circ}\text{C}$. Pada horison ini alterasi bertipe argilik sempurna dan terbentuk mineral alterasi temperatur tinggi seperti adularia, albit dan feldspar. Fluida hidrotermal di horizon logam dasar (bagian tengah) bertemperatur antara 200°C - 400°C (Guilbert, Ore Geology and Industrial Minerals, 1986). 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 $< 200^{\circ}\text{C}$. Mineral bijih terdiri dari emas di dalam pirit, Ag-garam sulfo dan pirit. Mineral ubahan berupa zeolit, kalsit, agate.

2. Inklusi Fluida

Inklusi fluida adalah material dalam bentuk fasa cair, gas dan padat atau kristal berukuran mikro yang terperangkap saat pertumbuhan kristal suatu mineral (Roedder E. , Fluid Inclusion, Review in Mineralogy. Mineralogical Society of America, 1984). Studi ini penting dalam menentukan kondisi fisika dan kimia saat pembentukan endapan tersebut (Roedder B. , 1997).



Penggunaan inklusi fluida dapat digunakan untuk mendeskripsi
n sampel pada total spektrum fluida, sehingga keunikan tersebut
interpretasikan sebagai pembentukan inklusi fluida yang biasanya

berkaitan dengan pembentukan pada daerah penunjaman pada mantel atas yang dapat menceritakan semua waktu geologi (Shepherd, 1985)

Sejarah geologi merupakan kontribusi yang sangat penting untuk dapat memahami karakteristik mineral induk, geokronologi, dan evolusi pada fluida bijih hidrotermal dan ganesa pembentukan mineral bijih (Roedder B. , 1997).

a. Klasifikasi Paragenetik Inklusi Fluida

Berdasarkan paragenesa inklusi fluida, klasifikasi paragenetik inklusi fluida terbagi tiga yaitu inklusi primer, sekunder, pseudosekunder (Shepherd, 1985).

Inklusi primer terjadi saat kristalisasi suatu mineral, dimana sebagian cairan atau larutan terperangkap di dalam Kristal akibat perbedaan koefisien penyusutan (*shrinkage*) antara mineral dan cairan, sisa ruangan yang terbentuk akhirnya terisi gas atau uap dalam bentuk gelembung dan menjadi perangkap cairan. Inklusi primer biasanya terisolasi berjarak lebih dari lima kali diameter inklusi terdekat (Shepherd, 1985)..

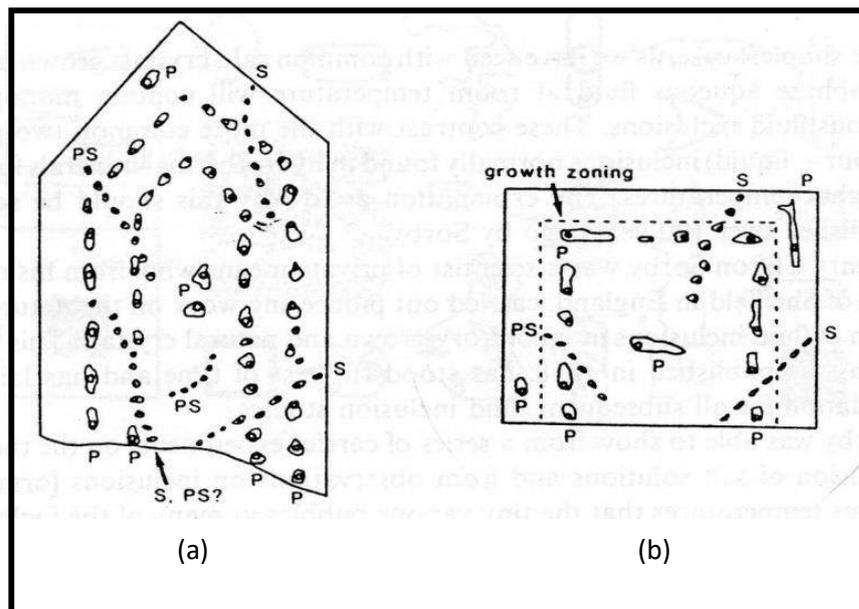
Inklusi sekunder terjadi apabila larutan mengisi retakan – retakan yang berukuran halus. Retakan tersebut kemudian tertutup kembali (*healing*) dan membentuk inklusi yang berbentuk tidak teratur dan

ng zona pertumbuhan kristal.



Inklusi pseudosekunder merupakan transisi dari dua jenis inklusi diatas dan terbentuk akibat cairan yang terperangkap sebelum kristal terbentuk pada zona pertumbuhan (R.H. Goldstein, 1994). Secara deskriptif inklusi pseudosekunder merupakan inklusi sekunder tetapi secara genetik merupakan inklusi primer, inklusi ini umumnya tidak memotong zona pertumbuhan kristal.

Pada dasarnya, semua inklusi harus dianggap jenis sekunder sebelum didapat bukti yang meyakinkan sebagai inklusi primer (Shepherd, 1985).



Gambar 3. Zona pertumbuhan Inklusi fluida pada *Host Minerals*, (a) Zona pertumbuhan inklusi fluida pada mineral kuarsa, (b) zona pertumbuhan kristal pada mineral fluorit.

b. Klasifikasi Fase Inklusi Fluida

Penguraian skema klasifikasi yang telah dikonsepsikan oleh beberapa ilmuwan yang mempelajari tentang studi ini, didasarkan pada perbedaan antara padatan (kristal), cairan dan gas dalam sebuah inklusi pada mineral tertentu (Shepherd, 1985), berdasarkan hal tersebut maka jenis fase inklusi fluida terdiri dari:

a. Fase tunggal cairan (L)

Merupakan sebuah fase inklusi yang sederhana, dimana inklusi tersebut masuk bersama-sama dengan cairan.

b. Fase ganda kaya cairan (L+V)

Merupakan fase inklusi yang kaya dengan cairan tetapi mempunyai gelembung gas kecil yang selalu ada, fase yang kaya cairan ini mempunyai luasan 40 - 50% atau lebih dari total volume.

c. Fase ganda kaya gas (V+L)

Merupakan fase yang kaya akan gas dan menempati luasan hampir semua volume inklusi, tetapi masih dapat dilihat sebuah lingkaran kecil didalam inklusi tersebut.

d. Fase tunggal gas (V)

Fase inklusi ini biasanya masuk dengan gas yang mempunyai densitas rendah yang biasanya tercampur dengan CO_2 , CH_4 , H_2O , H_2 dan adanya sedikit cairan.



e. Padatan multiphase (S+L+V) dan multi padatan/Kristal (S+L+V)

Bersama terisi 1 atau lebih fase padatan kristal (*daughter mineral*) inti dari komponen fase ini adalah cairan dan gas, jikalau padatan lebih dari 50% dalam volume inklusi maka dapat diinterpretasikan multi kristal padatan dari pada multifasa.

f. *Immiscible Liquid* (L1+L2+V)

Merupakan karakteristik dari dua fase cairan yang membawa air yang kaya akan CO₂ dan sedikit minyak, fase ini terdiri dari CH₄ atau N₂

g. Gelas

Terperangkap dari silika yang mencair lebih dahulu sebelum inklusi kristal yang merupakan indikasi dari pendinginan inklusi gelas.

Berikut ini merupakan tabel dari klasifikasi untuk cairan dan peleburan inklusi dalam mineral yang berasal dari observasi fase pada ruang temperatur (Shepherd, 1985).



Tabel 1. Tabel klasifikasi fase inklusi fluida (Shepherd, 1985).

FASA INKLUSI	KOMPOSISI FASA	CONTOH KHAS	SINGKATAN
Fase tunggal (cairan)	$L = 100\%$		L
Fase ganda (kaya cairan)	$L > 50\%$		L + V
Fase ganda (kaya gas)	$V = 50 \text{ to } 80\%$		V + L
Fase tunggal (gas)	$V \approx 100\%$		V
Multifase (padatan)	$L = \text{variable}$ $S < 50\%$		S + L ± V
<i>Multisolid</i>	$S > 50\%$ L, V variable		S + L ± V
<i>Immiscible liquid</i>	L_1, L_2		L1 + L2 ± V
Gelas	$GL > 50\%$	Tidak Teramati	GL ± V ± S

c. Bentuk – Bentuk Inklusi Fluida

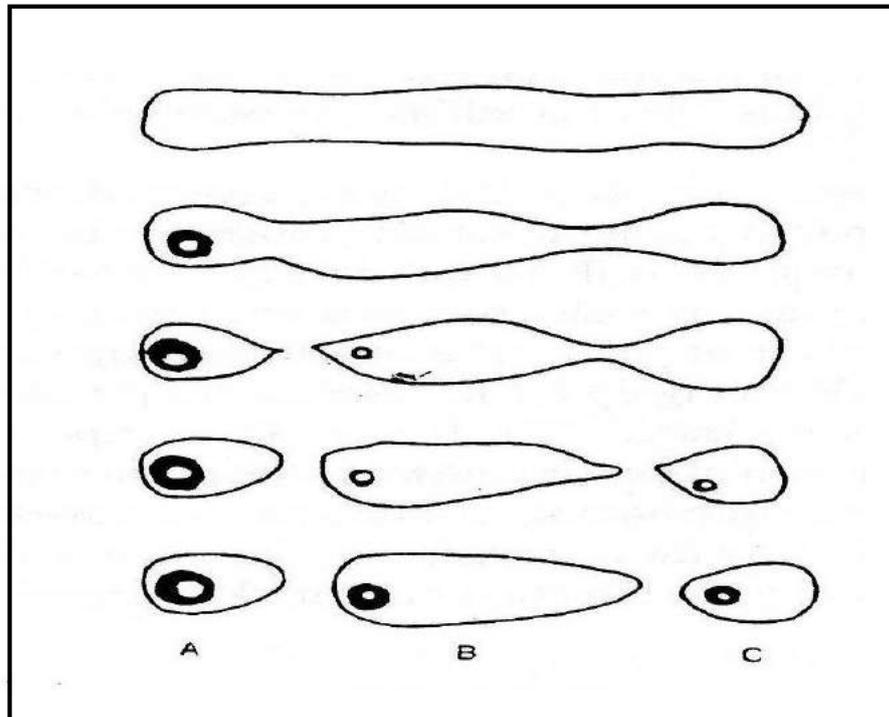
Pada analisa inklusi fluida, terdapat beberapa bentuk inklusi yang bisa dihubungkan dengan para genesa mineral induk.

Necking down merupakan bentuk inklusi fluida yang menyempit di bagian belakang akibat dari penurunan temperatur sehingga inklusi akan

menyempit (*shrinkage*) dan kadang kala terpisah (*Gambar 2.2*).



Negative crystal merupakan bentuk inklusi fluida yang mengikuti host mineral atau mineral induk (Shepherd, 1985).



Gambar 4. Penyusutan bentuk inklusi fluida yang membentuk negatif kristal, a) bentuk pertama, b) bentuk kedua setelah terpisah (*necking down*) dan mengekor (*shrinkage*), c) bentuk ke ketiga setelah terpisah.