

TESIS

STUDI ALTERASI, MINERALISASI DAN GEOKIMIA ENDAPAN LOGAM
DASAR DAERAH TALIMBANGAN KABUPATEN TORAJA UTARA
PROVINSI SULAWESI SELATAN

Disusun dan diajukan oleh:

VHALENTIO PAKOMBONG
D062181008



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

**STUDI ALTERASI, MINERALISASI DAN GEOKIMIA ENDAPAN LOGAM
DASAR DAERAH TALIMBANGAN KABUPATEN TORAJA UTARA
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

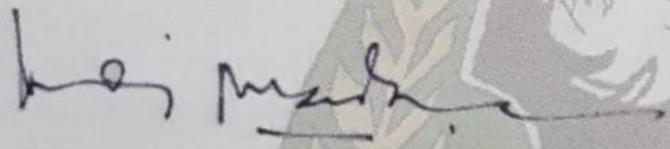
Disusun dan diajukan oleh

VHALENTIO PAKOMBONG
D062181008

Telah dipertahankan di hadapan panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 25 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

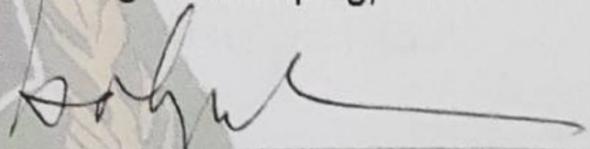
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



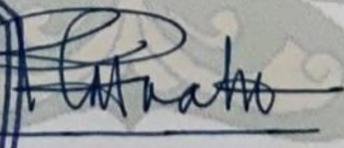
Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, ST. M.Phil
Nip. 19800428 200512 1 001

Rebimbing Pendamping,



Dr. Ir. Busthan/Azikin, M.T.
Nip. 19591008 198703 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. H. Ratna Husein L., M.T
Nip. 19590202 198601 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Vhalentio Pakombong

Nim : D062181008

Program Studi : Teknik Geologi

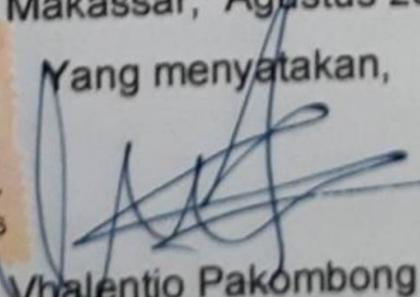
Jenjang studi : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul "Studi Alterasi, Mineralisasi dan Geokimia Endapan Logam Dasar Daerah Talimbangan Kabupaten Toraja Utara Provinsi Sulawesi Selatan" adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, Agustus 2021

Yang menyatakan,


Vhalentio Pakombong



PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaanNya selama ini, juga ucapan terimakasih yang tulus kepada keluarga serta orang tua penulis atas dukungan dan doa yang senantiasa diberikan sehingga Tesis yang berjudul “Studi Alterasi, Mineralisasi dan Geokimia Endapan Logam Dasar Daerah Talimbangan Kabupaten Toraja Utara Provinsi Sulawesi Selatan” ini dapat terselesaikan yang kemudian menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pascasarjana (S2) Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, ST., M.Phil sebagai Pembimbing Utama dan bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini. Terima kasih juga kepada tim penguji yang telah memberikan masukan diantaranya bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T., ibu Dr. Ulva Ria Irvan, ST., MT., serta bapak Dr. Ir. Adi Tonggiroh, ST., MT. Juga tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada segenap keluarga besar Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin diantaranya ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T sebagai Kepala Program Studi Magister Teknik Geologi, bapak Dr.Eng Asri Jaya, ST., MT sebagai Kepala Departemen Teknik Geologi, para Dosen Magister Teknik Geologi, para Staf Fakultas Teknik, serta teman-teman Magister Teknik Geologi Universitas

Hasanuddin. Terima kasih juga saya ucapkan kepada pemerintah serta masyarakat Toraja Utara yang juga telah banyak membantu selama proses penelitian di lapangan.

Semoga dengan segala keterbatasan yang ada pada penyusunan hasil penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu pengetahuan.

Makassar, Agustus 2021

Vhalentio Pakombong

ABSTRAK

VHALENTIO PAKOMBONG. Studi Alterasi, Mineralisasi dan Geokimia Endapan Logam Dasar Daerah Talimbangan Kabupaten Toraja Utara Provinsi Sulawesi Selatan (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, ST., M.Phil dan Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mineral-mineral alterasi, mineralisasi bijih dan lingkungan pengendapan di daerah Talimbangan, Toraja Utara. Pengambilan sampel dilakukan secara random pada singkapan-singkapan yang memiliki indikasi atau menjadi acuan pada penelitian ini. Sampel yang diambil kemudian dibagi berdasarkan analisis laboratorium yang dilakukan diantaranya sayatan tipis, sayatan poles, *X Ray Diffraction* (XRD) dan Geokimia. Dari keseluruhan hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa daerah penelitian merupakan wilayah dengan prospek mineralisasi logam dasar (Pb, Zn, Cu). 2 sampel yang dianalisis geokimia mengindikasikan bahwa batuan pada daerah penelitian berupa trasit basal yang bersifat sub-alkali basal dengan afinitas magma seri sositik (*shosonitic series*) (kandungan $\text{SiO}_2 < 50 \text{ wt.}\%$ dan $\text{K}_2\text{O} > 3 \text{ wt.}\%$). Perilaku geokimia unsur utama dan jejak mengalami pengayaan *Large Ion Lithophile Elements* (LILE) dan deplesi REE secara perlahan ke arah kanan *High Field Strength Element* (HFSE). Diagram laba-laba REE yang dinormalisasikan dengan komposisi *chondrite* memperlihatkan deplesi REE secara perlahan ke arah kanan. Dari keseluruhan sampel yang telah dianalisis menunjukkan tipe alterasi di daerah penelitian adalah tipe propilitik yang ditandai dengan kehadiran mineral klorit, epidot albit, serisit. Pada sampel ST-8 menunjukkan adanya mineral kamosit, kalsit, anatase dan plogopit yang ditunjukkan oleh hasil XRD yang menandakan asal metasomatisme kontak. Proses metasomatisme ini bersumber dari batuan intrusi yang ada di sekitar daerah penelitian yang berpengaruh terhadap proses alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian. Himpunan mineral bijih yang terbentuk di daerah penelitian berupa pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), kovelit (CuS), magnetit (Fe_3O_4) dan malasit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$). Hasil analisis geokimia diketahui bahwa kandungan unsur logam dasar khususnya pada mineral-mineral logam dasar di daerah penelitian yaitu Cu sebanyak 2.36% pada sampel ST-6, Pb sebanyak 269 ppm pada sampel ST-4C dan Zn sebanyak 121 ppm pada sampel ST-6. Juga diketahui kandungan unsur Au/aurum 0.96 ppm pada sampel ST-1C.

Kata Kunci: Talimbangan, alterasi, mineralisasi, logam dasar, metasomatisme kontak.

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AAS	: <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>
Afinitas magma	: Perubahan komposisi kimia yang terkandung di dalam magma yang disebabkan oleh perbedaan lingkungan tektonik dan kandungan unsur kimia pada batuan sampling.
Alterasi	: Perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang tinggi.
Alterasi hidrotermal	: Suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan perubahan kimiawi, tekstur serta morfologi yang disebabkan oleh interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya.
<i>Cavity filling</i>	: Pengisian larutan hidrotermal ke dalam lubang-lubang yang sudah ada di dalam batuan.
EMORB	: <i>E-type Mid Oceanic Ridge Basalt</i>
<i>Host rock</i>	: Batuan yang mengandung endapan bijih atau suatu batuan yang dapat dilewati larutan, di mana suatu endapan bijih terbentuk.
HREE	: <i>Heavy Rare Earth Element</i>
Fenokris	: merupakan mineral yang ukuran butirnya jauh lebih besar dari mineral lainnya yang biasanya merupakan mineral sulung, dengan bentuk subhedral hingga euhedral
HFSE	: <i>High Field Strength Element</i>
Hidrothermal	: Merupakan larutan sisa magma yang bersifat "aqueous" sebagai hasil differensiasi magma yang terbentuk pada suhu 50-500°C dari dalam bumi yang bergerak ke atas serta kaya akan komponen-komponen pembentuk mineral bijih dan terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi

ICP-MS	: <i>Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry</i>
ICP-OES	: <i>Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry</i>
Kolisi	: Gerakan antara lempeng benua dan lempeng benua yang saling bertumbukan.
LILE	: <i>Large Ion Lithophile Elements</i>
LREE	: <i>Light Rare Earth Element</i>
Metasomatisme kontak	: Mengganti unsur-unsur yang telah ada dalam batuan dengan unsur-unsur baru dari larutan hidrothermal sepanjang kontak beku.
Miosen	: Suatu kala pada skala waktu geologi yang berlangsung antara 23,03 hingga 5,332 juta tahun yang lalu
MREE	: <i>Mid Rare Earth Element</i>
NMORB	: <i>Normal Mid Oceanic Ridge Basalt</i>
Oligosen	: Suatu kala pada skala waktu geologi yang berlangsung dari sekitar 34 hingga 23 juta tahun yang lalu.
Plogopit	: Anggota keluarga mika yang berwarna kuning, kehijauan, atau coklat kemerahan. Ia juga dikenal sebagai magnesium mika. Phlogopite adalah magnesium endmember dari seri larutan biotite solid, dengan rumus kimia $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$. Juga menjadi ciri khas mineral metasomatisme kontak.
Ppm	: Satuan konsentrasi <i>parts per million</i> yang dipakai sebagai satuan nirdimensi yang berasal dari pecahan yang sangat kecil.
REE	: <i>Rare Earth Element</i> /Unsur Tanah Jarang.
Wall rock	: Batuan dinding di sekitar intrusi yang melingkupi urat, umumnya mengalami alterasi hidrotermal.
Wt.%	: Persentase massa pada unsur.

XRF : X-Ray *Fluorescence Spectrometry*

XRD : X-Ray *Diffraction*

Zona alterasi : Merupakan zona tertentu yang menunjukkan sebaran kumpulan mineral tertentu yang terbentuk sebagai hasil proses alterasi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL DEPAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	vii
DAFTAR ISI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Geologi Regional.....	6
1. Geomorfologi Regional.....	6
2. Stratigrafi Regional.....	6
3. Struktur Regional.....	10
4. Vulkanik dan Magmatik Daerah Penelitian.....	13
B. Landasan Teori	15

1. Endapan Mineral.....	15
2. Klasifikasi Bahan Galian Logam	16
2. Endapan Hidrotermal	18
3. Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
A. Rancangan Penelitian	27
B. Lokasi dan Kesampaian Daerah	28
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	29
D. Tahapan Penelitian	30
1. Persiapan	30
a. Studi Pustaka/Literatur	30
b. Administrasi	30
c. Persiapan Perlengkapan dan Peralatan.....	31
d. Perencanaan Biaya dan Jadwal Kegiatan.....	31
2. Penelitian Lapangan.....	31
3. Analisis Laboratorium.....	32
a. Analisis Petrografi	32
b. Analisis Mineragrafi.....	33
c. Analisis XRD (<i>X-ray Diffraction</i>)	34
d. Analisis Geokimia.....	34
4. Analisis dan Interpretasi Data.....	35
5. Penyusunan Tesis.....	35
E. Bagan Alir Penelitian.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37

A. Geomorfologi Lokasi Penelitian.....	37
B. Vulkanik dan Magmatik Daerah Penelitian	40
1. Klasifikasi Batuan Beku.....	41
2. Klasifikasi Batuan <i>Hostrock</i>	42
3. Determinasi Afinitas Magma.....	43
4. Interpretasi Tatanan Tektonik Daerah Penelitian	44
C. Alterasi Hidrotermal Daerah Talimbangan	48
D. Mineralisasi Daerah Talimbangan.....	57
E. Analisis Kandungan Unsur Logam Dasar dan Unsur Au.....	61
BAB V PENUTUP	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.1	Peta sebaran zonasi tipe mineralisasi logam	3
2.1	Peta Geologi regional daerah Lokasi Penelitian pada Lembar Mamuju	9
2.2	Zona Batas Lempeng Indonesia	10
2.3	Tektonik Sulawesi	11
2.4	Skema diagram dari jenis-jenis endapan hidrotermal	20
3.1	Lokasi Penelitian	28
3.2	Analisis sayatan tipis dan sayatan poles di Laboratorium Preparasi Departemen Geologi Universitas Hasanuddin	33
4.1	Kenampakan topografi daerah talimbangan yang menunjukkan satuan morfologi pegunungan	38
4.2	Peta geologi lokal daerah penelitian berada pada formasi gunungapi lamasi.	39
4.3	Jenis batuan lava di daerah penelitian.	42
4.4	Distribusi batuan teralterasi (Winchester <i>and</i> Floyd, 1977)	43
4.5	Diagram klasifikasi komposisi magmatik SiO ₂ dan K ₂ O, Peccerillo <i>and</i> Taylor (1976).	44
4.6	<i>Spider</i> diagram <i>primitive mantle</i> berdasarkan pada McDonough and Sun, 1995	46
4.7	Diagram <i>REE chondrite</i>	47
4.8	A,B) Singkapan sampel alterasi stasiun 6 dan stasiun 1; C,D,E) Sampel ST-1B, ST-5 dan ST-6.	48
4.9	Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang pada sampel ST-1B, ST-3 dan ST-4D.	50
4.10	Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang pada sampel ST-5, ST-6 dan ST-8	51
4.11	Diagram hasil analisis XRD sampel Talimbangan.	53
4.12	Kenampakan makroskopis sampel ST-3; (C-D) Fotomikrograf polish section sampel ST-3	57
4.13	Singkapan batuan dan kenampakan mineral pada tampilan makroskopis sampel ST-6; (C) Fotomikrograf polish section sampel ST-6	59
4.14	Tampilan makroskopis sampel <i>coring</i> ST-8; (C) Fotomikrograf <i>polish section</i> sampel ST-8	60
4.15	Kandungan unsur Cu pada lokasi penelitian	62
4.16	Kandungan unsur Pb pada lokasi penelitian	63
4.17	Kandungan unsur Zn pada lokasi penelitian	63
4.18	Kandungan unsur Au pada lokasi penelitian	64

DAFTAR TABEL

Gambar		Halaman
2.1	Diagram hubungan antara suhu-pH dan jenis alterasi serta himpunan mineral-mineral pencirinya (Corbett dan Leach, 1996)	25
4.1	Mineral alterasi dan zona alterasi pada sampel batuan yang telah dianalisis petrografi.	49
4.2	Hasil analisis XRD	54
4.3	Analisis unsur logam dasar Cu, Pb, dan Zn	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Daftar Lampiran.....	71
A Deskripsi Petrografi.....	72
B Deskripsi Mineragrafi.....	78
C Hasil Analisis XRD.....	81
D Hasil Analisis Geokimia.....	87
E Peta Geologi Regional.....	92
F Peta Geologi Lokal.....	93
G Peta Stasiun Pengambilan Sampel.....	94

BAB I

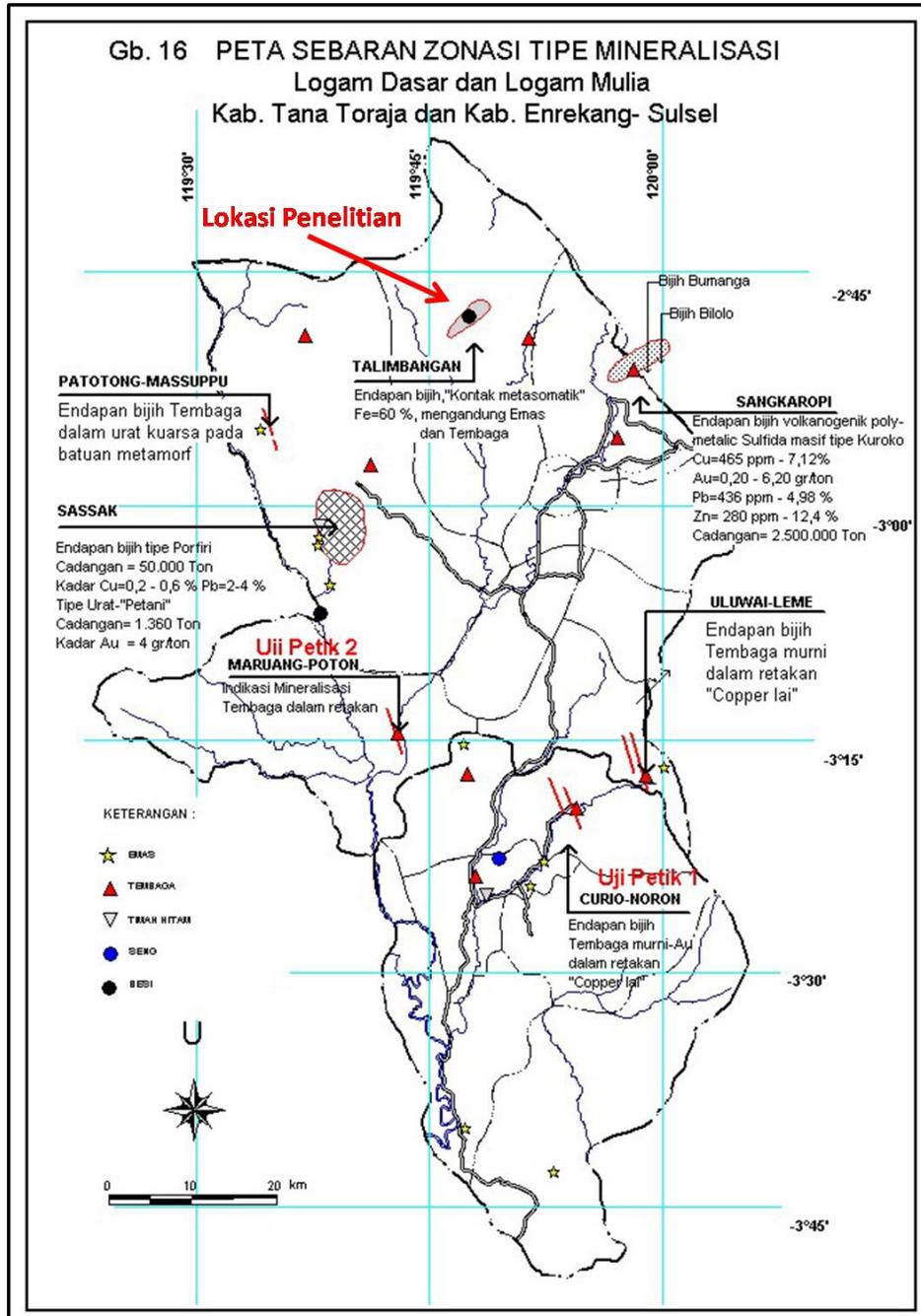
PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Mineral bijih merupakan sumberdaya alam yang tidak pernah lepas dari kebutuhan hidup manusia khususnya logam dasar yang merupakan logam yang terbentuk sebagai hasil proses diferensiasi magmatik awal yang terdiri dari unsur logam Pb, Zn, Cu, Fe, Ti, Cr, Co, Ni dan Mn (Wilson, 1953). Karena kebutuhan akan kesejahteraan manusia yang semakin meningkat dari segi jumlah penduduk dan perkembangan teknologi, pemanfaatan sumberdaya alam secara optimal dan pemahaman akan potensi sumberdaya alam secara lebih rinci di suatu daerah menjadi sangat penting. Secara umum proses pembentukan mineral baik logam maupun nonlogam merupakan hasil proses mineralisasi yang disebabkan oleh panas dari larutan hidrotermal yang bereaksi dengan batuan dinding sepanjang rekahan sehingga terjadi perubahan komposisi mineralogi yang biasa disebut dengan proses alterasi (Pirajno, 2009). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses alterasi hidrotermal antara lain kimia fluida, suhu, tekanan, komposisi batuan induk, lama aktivitas hidrotermal dan permeabilitas. Meskipun faktor-faktor ini saling terkait, suhu dan kimia fluida merupakan faktor dominan yang

mempengaruhi perubahan hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996). Zona alterasi merupakan zona tertentu yang menunjukkan sebaran kumpulan mineral tertentu yang terbentuk sebagai hasil proses alterasi (Lowell dan Guibert, 1970). Oleh karena itu, dalam memahami keberadaan zona alterasi yang dapat menunjukkan distribusi akumulasi mineral bijih yang mengandung logam mulia maupun logam dasar, pengembangan lebih lanjut di daerah tersebut menjadi penting untuk dilakukan.

Peneliti sebelumnya telah menunjukkan bahwa Toraja Utara, khususnya di daerah Talimbangan memiliki potensi endapan mineral yang tergolong logam dasar dengan mineralisasi logam jenis kontak metasomatik (Sukmana dan Simpwee, 2002), Namun penelitian tersebut tidak didukung oleh bukti geologi rinci dari batuan induk. Selain itu, karakteristik alterasi dan mineralisasi yang terbentuk juga belum dipaparkan secara jelas dan detail. Studi ini menjelaskan karakteristik petrografi umum dan geokimia batuan *host* serta alterasi dan mineralisasi mineral bijih Talimbangan.



Gambar 1. Peta sebaran zonasi tipe mineralisasi logam di daerah Toraja, (Sukmana dan Simpwee, 2002)

B. RUMUSAN MASALAH

Dalam melakukan penelitian ini penulis merumuskan masalah dalam bentuk pertanyaan, yakni sebagai berikut:

1. Jenis batuan apa yang menyusun batuan host?
2. Bagaimana tipe atau zona alterasi hidrotermal pada daerah penelitian?
3. Bagaimana himpunan mineral bijih pada daerah penelitian?
4. Bagaimana potensi unsur-unsur logam dasar pada daerah penelitian?

C. TUJUAN PENELITIAN

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

1. Menentukan jenis batuan *host* berdasarkan petrografi dan komposisi kimia dari mineralisasi logam di daerah penelitian.
2. Menentukan tipe atau zona alterasi hidrotermal pada daerah penelitian.
3. Mengetahui himpunan mineral bijih pada daerah penelitian
4. Mengetahui potensi unsur-unsur logam dasar pada daerah penelitian.

D. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan informasi baru bagi pengembangan ilmu geologi dan sumberdaya mineral khususnya pada daerah penelitian.
2. Mengetahui tipe alterasi hidrotermal di daerah penelitian..
3. Mampu merepresentasikan lingkungan pembentukan mineral pada daerah penelitian.
4. Mengetahui potensi SDA di daerah penelitian.

E. BATASAN PENELITIAN

Agar tujuan dari penelitian dapat tercapai maka dilakukan penelitian ilmiah yang sistematis dan terencana dengan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Melakukan sampling *outcrop* di masing-masing titik stasiun yang memenuhi kriteria analisis.
2. Analisis laboratorium meliputi Analisis Petrografi, Mineragrafi, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Analisis Geokimia.
3. Menghimpun data sekunder berupa data-data laporan terdahulu

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Regional

Daerah penelitian berada pada Lembar Geologi Mamuju bagian timur (Ratman dan Atmawinata, 1993). Adapun kondisi geologi yang terdapat pada daerah penelitian terbagi atas 4 bagian, yaitu Geomorfologi Regional, Stratigrafi Regional, Struktur Geologi Regional dan Vulkanik Magmatik daerah penelitian.

1. Geomorfologi Regional

Ditinjau dari geomorfologi regional, daerah penelitian terletak pada Busur Sulawesi Barat bagian utara yang dicirikan oleh aktivitas vulkanik dan intrusi magma bersifat kalk-alkalin berkomposisi asam hingga intermedit yang terdiri dari pegunungan, perbukitan dan dataran rendah. Daerah pegunungan berada pada bagian Utara, Barat dan Selatan sedangkan bagian tengah merupakan perbukitan bergelombang dan bagian timur merupakan dataran rendah (Djuri dkk, 1998).

2. Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional daerah penelitian merujuk pada Peta Geologi Lembar Mamuju oleh Ratman dan Atmawinata (1993) yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi yang sekarang menjadi Pusat Survei Geologi Skala 1:250.000.

Daerah Lembar Mamuju terbentuk dari beraneka macam batuan seperti, batuan sedimen, malihan, gunungapi dan terobosan. Pada regional sekitar daerah penelitian sendiri terdapat 6 formasi batuan. Batuan Gunungapi Talaya (*Tmt*), Batuan Terobosan (*Tmpi*), Tuf Barupu (*Qbt*), Batuan Gunungapi Lamasi (*Toml*) (Ratman dan Atmawinata, 1993)

Batuan Terobosan (*Tmpi*): Granit, granodiorit, riolit. Granit, berwarna kelabu, putih kemerahan sampai kehitaman, berbutir sedang sampai sangat kasar, terhablur sempurna dengan bentuk sub-euhedral, beberapa panidiomorfik/dominan berbentuk euhedral. Mineral utamanya terdiri dari kuarsa, kalium felspar, plagioklas, hornblende, biotit dan setempat klorit, apatit dan bijih (Ratman dan Atmawinata, 1993).

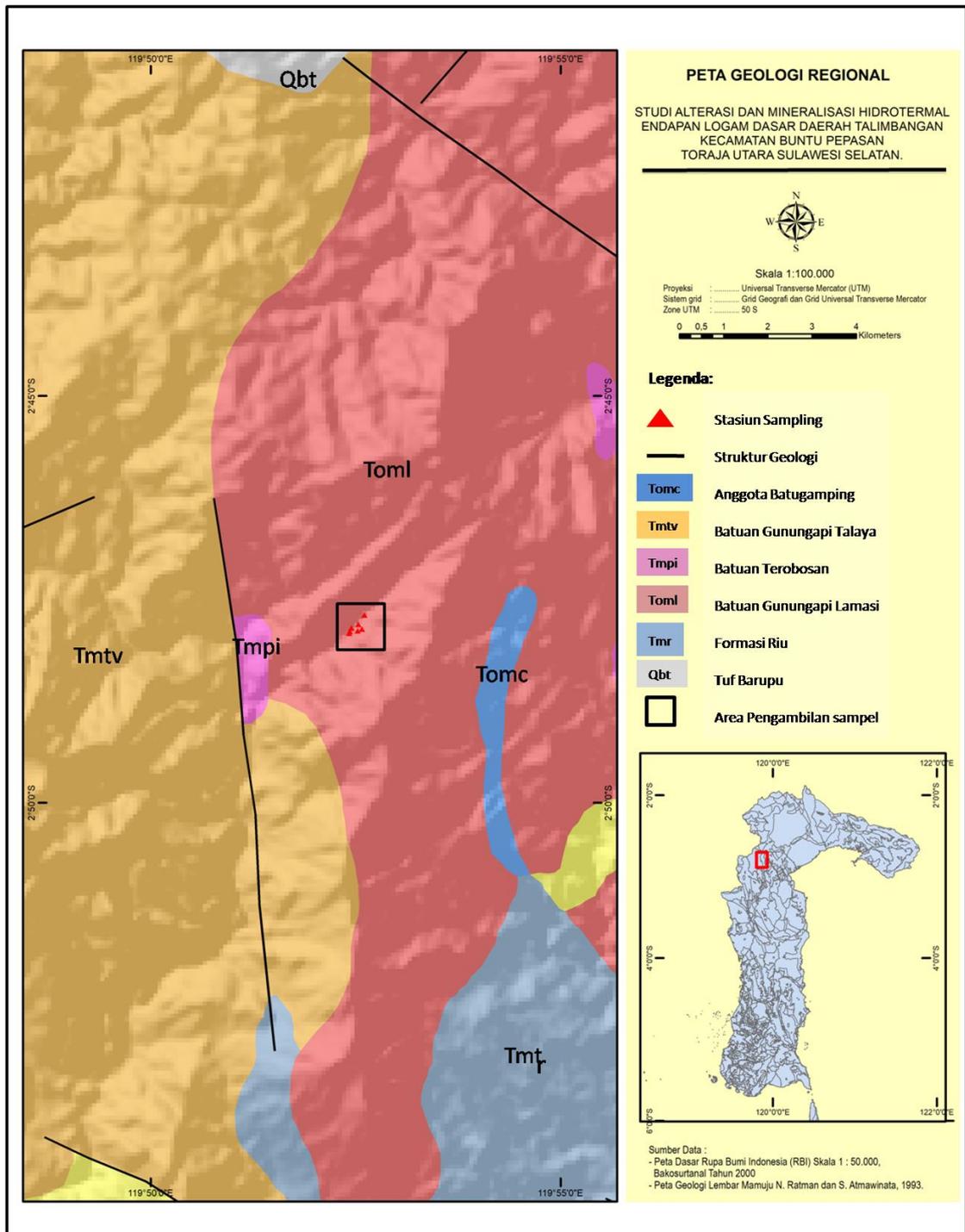
Batuan Gunungapi Talaya (*Tmt*) : Breksi, lava, breksi tuf, tuf lapili, bersisipan tuf dan batupasir (*grewake*), rijang, serpih, napal, batupasir karbonan dan batubara. Breksi, lava dan breksi tuf, umumnya bersusunan andesit sampai basal (Ratman dan Atmawinata, 1993).

Batuan Gunungapi Lamasi (*Toml*): merupakan area pengambilan sampel pada daerah Talimbangan dengan formasi batuan aneka tuf, lava dan breksi gunungapi bersusunan andesit dasit, setempat sisipan batupasir gampingan dan serpih. Batuan ini umumnya mengandung urat kuarsa bermineral sulfida, terutama pirit, setempat tembaga; terubah dan terkarsikkan; bersusunan andesit, dasit dan trakit serta sedikit basal. (Ratman dan Atmawinata, 1993).

Anggota Batugamping, Batuan Gunungapi Lamasi (*Tomc*): Batugamping dan napal. Batugamping, berwarna putih; pejal; terhablur ulang; miskin fosil; sebagian berupa terumbu. Napal, berwarna kelabu kecoklatan; berlapis baik dengan tebal dari beberapa cm sampai 25 cm. Satuan ini di banyak tempat merupakan lensa di dalam Batuan Gunungapi Lamasi (*Toml*) (Ratman dan Atmawinata, 1993).

Tuf Barupu (*Qbt*): tuf, tuf lapili, tuf hablur, bersusunan dasit dan sedikit breksi lava bersusunan andesit dan dasit. Tuf, berwarna putih sampai kelabu; agak mampat, sebagian mudah hancur; setempat berlapis (10 - 25 cm). Sedangkan tuf hablur, berwarna patih kelabu; berbutir sedang sampai kasar; terdapat sebagai sisipan tipis dalam tuf. Tuf Barupu diduga berumur Plistosen dan tebalnya ± 300 m (Ratman dan Atmawinata, 1993).

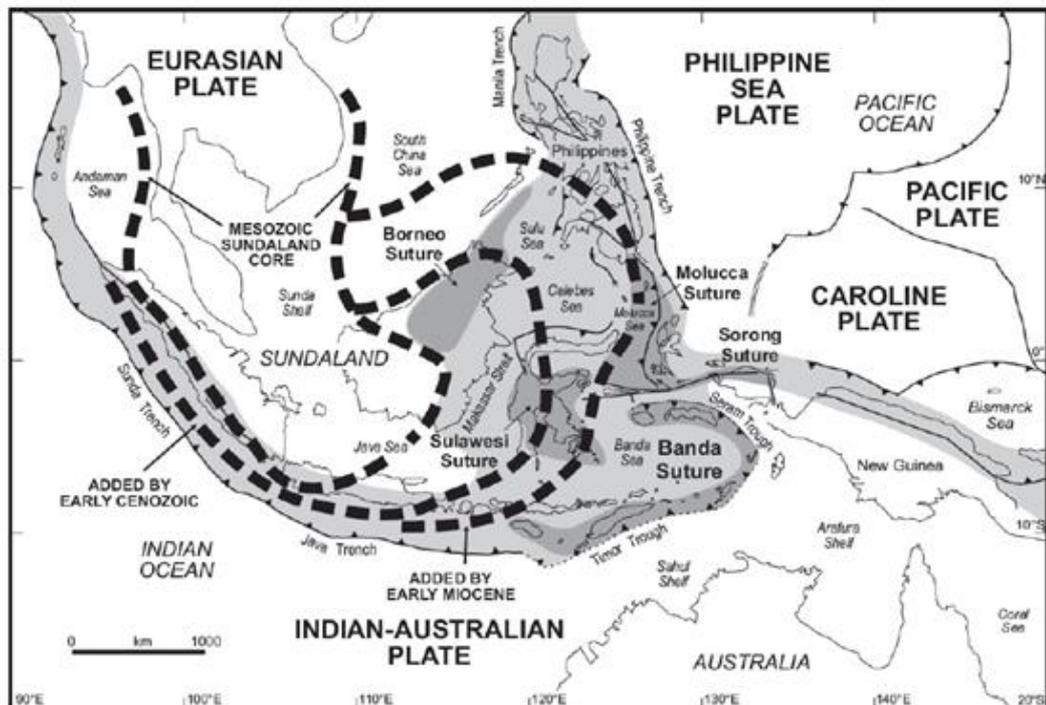
Formasi Riu (*Tmr*): Napal, batugamping, serpih, batupasir gampingan bersisipan batulempung dan tuf. Napal, berwarna putih sampai coklat muda dan kelabu; tebal dan beberapa cm sampai 1 m; berlapis baik dengan lapisan hampir mendatar agak keras dan banyak mengandung fosil. Batugamping pasiran, berwarna putih sampai coklat muda; sebagian berlapis; setempat terhablurkan; beberapa berupa terumbu (Ratman dan Atmawinata, 1993).



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian pada Lembar Mamuju (Ratman dan Atwaminata, 1993)

3. Struktur Geologi Regional

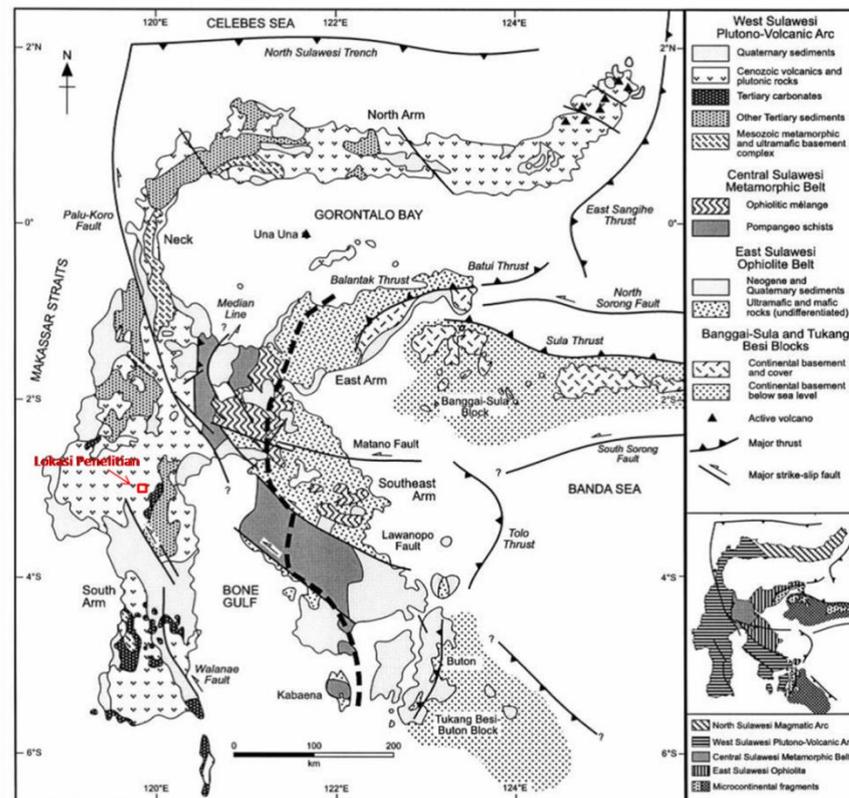
Pulau Sulawesi termasuk dalam Sistem Tektonik Indonesia Bagian Timur yang sangat kompleks yang dipengaruhi oleh tumbukan tiga lempeng aktif yaitu Lempeng Tektonik Eurasia di bagian utara, Lempeng Pasifik di bagian timur, dan Lempeng India-Australia di bagian selatan sehingga membentuk beberapa mikrokontinen. Mikrokontinen-mikrokontinen tersebut bergerak ke arah Sulawesi melalui mekanisme sesar transform hingga bertabrakan dengan Busur Sulawesi dan diikuti terbentuknya berbagai struktur geologi seperti tunjaman, sesar naik dan sesar mendatar berskala besar (Zakaria, 2015), sehingga mempengaruhi struktur regional pada daerah penelitian.



Gambar 2.2 Zona Batas Lempeng di Indonesia (Hall dan Smyth, 2008)

Sejak Kapur Awal, Sulawesi mengalami berbagai proses geodinamik, seperti pemekaran di Selat Makassar, magmatisme dan vulkanisme di bagian barat Sulawesi, serta subduksi dan tumbukan di bagian timur Sulawesi (Guntoro, 1999).

Daerah penelitian masuk dalam Lembar Mamuju yang merupakan bagian dari Mandala bagian Barat Sulawesi (Sukamto, 1975; Ratman dan Atmawinata, 1993). Struktur utama pada Lembar Mamuju adalah sesar normal dan sesar naik yang mempunyai arah umum utara timurlaut – selatan baratdaya. Beberapa sesar berarah hampir Barat - Timur dan utara baratlaut – selatan tenggara. Struktur lipatan pada lembar ini berkembang cukup baik (saputro, 2016).



Gambar 2.3. Peta Geologi Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000)

Daerah Lembar termasuk dalam Mandala Geologi Sulawesi Barat (Sukamto, 1975) yang terdiri dari batuan malihan, batuan sedimen, batuan gunungapi dan batuan terobosan bersifat granit. Di daerah ini paling sedikit telah terjadi empat kali gejala tektonik. Tektonik awal yang dapat diamati mungkin terjadi pada Kala Kapur Tengah yang bersamaan dengan gejala tektonik di Daerah Sulawesi bagian baratdaya (Sukamto, 1975).

Pada Kapur Akhir terbentuk Formasi Latimojong dalam lingkungan laut dalam. Selanjutnya terjadi pada Paleosen, yang mengakibatkan satuan Batuan Malihan terlipat dan termalihkan lagi serta Formasi Latimojong termalihkan regional derajat rendah (Sukamto, 1975).

Pada Kala Eosen sampai Oligosen terjadi genang laut yang membentuk sedimen laut Formasi Toraja dan Anggota Rantepao. Pada Kala Oligosen sampai Miosen Awal terjadi lagi kegiatan tektonik yang disertai dengan kegiatan gunungapi dalam bentuk busur kepulauan gunungapi, dan membentuk Batuan Gunungapi Lamasi, yang di beberapa tempat terbentuk pula batugamping. Setelah kegiatan gunungapinya terhenti, pengendapan batuan karbonat terus berlangsung sampai awal Miosen Tengah sehingga terbentuk Formasi Riu (Sukamto, 1975).

Pada Kala Miosen Tengah bagian tengah sampai Awal Miosen Akhir terjadi lagi kegiatan tektonik yang disertai dengan kegiatan gunungapi yang menghasilkan Batuan Gunungapi Talaya, Tuf Beropa dan batuan sedimen gunungapi Formasi Sekala. Batuan Gunungapi Talaya bersusunan andesit-basal yang makin ke arah atas susunannya berubah

menjadi leusit-basal, sehingga terbentuk Batuan Gunungapi Adang. Di bagian barat, pada waktu yang bersamaan terendapkan batuan karbonat Formasi Mamuju dan batugamping terumbu Anggota Tapalang (Sukamto, 1975).

Pada Kala akhir Miosen Tengah, kegiatan gunungapi tersebut disertai dengan terobosan batuan granit yang menerobos semua satuan yang lebih tua. Terobosan ini membawa larutan hidrotermal yang kaya akan bijih sulfida dan membentuk endapan bijih sulfida terutama sulfida tembaga, seperti di daerah Sangkaropi, Penasuang dan Bilolo (Sukamto, 1975).

Terobosan ini disertai dengan pengangkatan dan penyesaran, sehingga terbentuk sesar turun dan sesar naik yang berarah utara timurlaut - selatan baratdaya. Pengangkatan yang terjadi di bagian barat Lembar mungkin berlangsung sampai Miosen Akhir yang dilanjutkan dengan penurunan sehingga terbentuk Formasi Lariang (Sukamto, 1975).

Kegiatan tektonik terakhir mungkin terjadi pada Kala Pliosen, sehingga bagian timur Lembar terangkat, sedangkan pengangkatan di bagian barat Lembar disusul oleh penurunan yang menghasilkan Formasi Budong-budong dan Batugamping Koral (Sukamto, 1975).

4. Vulkanik dan Magmatik Daerah Penelitian

Wilayah Toraja sangat dikontrol oleh proses geodinamik seperti kolisi dan *post*-kolisi. Kolisi yang terjadi di daerah Toraja berpengaruh terhadap

struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut. Sisa-sisa magma hasil subduksi banyak muncul ke permukaan sebagai batuan terobosan yang terjadi selama *post*-kolisi (Priadi dkk., 1994; Polvé dkk., 1997).

Wilayah Toraja berdasarkan litotektonik termasuk dalam Mandala Barat Sulawesi (Van Leeuwen, 1994) atau Busur Plutonik-Vulkanik Sulawesi Barat dan Utara (Sukamto, 1975; Kadarusman dkk., 2004; Maulana, 2009).

Secara geografis daerah Toraja Utara termasuk dalam wilayah Provinsi Sulawesi Selatan bagian utara yang berdasarkan analisis kimianya diketahui memiliki kandungan potasium tinggi (*high-K*), hal tersebut merupakan hasil dari subduksi aktif atau hasil kolisi yang berasosiasi dengan kerak (Pearce dkk., 1990).

Kehadiran kandungan potasium tinggi di wilayah ini menjadi kunci bagaimana proses geodinamik yang sebenarnya terjadi di daerah tersebut. Penyebab dan sumber dari tingginya kandungan potasium tersebut secara mendetail dapat digunakan untuk mengetahui proses terjadinya evolusi magma, yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui proses geodinamik yang berperan dalam merekonstruksi lingkungan tektonik di daerah penelitian (Saputro, 2016).

B. Landasan Teori

1. Endapan Mineral

Istilah endapan (*deposit*) mempunyai definisi yang lebih luas dalam ilmu geologi. Istilah tersebut dapat berarti turunnya material di dalam air (karena gravitasi), atau presipitasi dari larutan karena perubahan kondisi kimia (Sutarto, 2004). Beberapa ahli menyebut istilah cebakan, karena menganggap istilah endapan lebih berkonotasi pada sedimentasi. Dalam konteks “endapan mineral”, endapan diartikan sebagai konsentrasi mineral oleh proses-proses magmatik atau hidrotermal. Kata endapan juga mempunyai arti materi menjadi padat, oleh karena itu minyak, gas, dan panas bumi tidak termasuk ke dalam endapan mineral. Walaupun batubara juga bersifat padat, umumnya tidak dibahas sebagai endapan mineral, tetapi termasuk ke dalam sumberdaya energi (Sutarto, 2004).

Mineral-mineral yang terkonsentrasi mengandung bahan atau material yang bernilai bagi manusia serta layak untuk ditambang, maka endapan tersebut secara khusus disebut endapan bijih/*ore deposits* atau endapan mineral ekonomis (Bateman, 1981)

Secara umum definisi bijih/*ore* menurut Sutarto (2004) adalah suatu batuan atau kumpulan mineral yang mengandung mineral-mineral yang bernilai ekonomis, dan dapat diekstrak. Bijih terdiri dari mineral-mineral yang bernilai ekonomis (biasanya mengandung logam) yang disebut sebagai mineral bijih/*ore mineral* (mengandung logam) serta termasuk mineral industry/*industrial mineral* (*non-logam*) dan mineral yang tidak

bernilai ekonomis yang disebut sebagai mineral penyerta (*gangue mineral*).

2. Bahan Galian Logam Dasar

Bahan galian logam adalah batuan atau mineral-mineral yang di dalamnya terdapat unsur logam, yang dapat diambil untuk kepentingan manusia, termasuk diantaranya bagian dari logam dasar. Klasifikasi mineral logam didasarkan pada adanya kemiripan sifat-sifat kimia maupun fisika, serta adanya persamaan cara pengendapan dan asosiasinya (Evans, 1993).

Jenis mineral logam dasar sering muncul dalam urutan yang berbeda (Cu dan Pb-Zn) kadang kala (Cu-Zn), namun juga dapat muncul bersamaan (Cu-Pb-Zn). Mineral bijih yang mengandung tembaga dapat berupa logam murni (*native copper*), logam sulfida (kalkopirit, bornit, kalkosit, kovelit, enargit, tetrahedrit) maupun logam oksida (kuprit, malasit, azurite, krisokola). Logam tembaga sering berasosiasi dengan emas dan perak dimana tembaga merupakan hasil sampingan dari mineral bijih logam tersebut (Tappi, 2013).

Proses pembentukan mineral logam dapat berupa jebakan magmatik, metasomatik kontak, jebakan hidrotermal berupa *cavity filling* dan *replacement*. Selanjutnya proses sedimentasi, pengayaan oksida dan sulfida, dan *porphyry –copper*. (Sutarto, 2004; Pirajno, 2009).

Timbal (Pb) dan seng (Zn) mempunyai sifat kimia yang berbeda, tetapi terdapat dalam kondisi geologi yang sama. Kedua mineral ini jarang dijumpai terpisah. Mineral tersebut sering berasosiasi dengan mineral sulfida lainnya seperti pirit. Timbal dan seng sering terdapat bersamaan. Mineral bijih dari timbal dapat berupa galena, serisit, anglesit. Mineral bijih dari seng berupa sfalerit, smithsonit, hemimorfit, zinkit, willemit berupa 16 galena dan sfalerit. Seng berasosiasi juga dengan unsur Kadmium sedangkan timbal bersama Bi dan Sb. Keterdapatannya mineral logam timbal dan seng biasanya terbentuk dengan cara metasomatik kontak, hidrotermal berupa *cavity filling*, *fissure veins*, *breccia filling*, *pitches* dan *flats*; serta proses penggantian (*replacement*) (Sutarto, 2004; Pirajno, 2009).

3. Endapan Hidrotermal

Hidrotermal merupakan larutan sisa magma yang bersifat *aqueous* sebagai hasil diferensiasi magma yang terbentuk pada suhu 50-500°C dari dalam bumi yang bergerak ke atas serta kaya akan komponen-komponen pembentuk mineral bijih dan terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi (Pirajno, 2009).

Endapan bijih hidrotermal terbentuk karena sirkulasi fluida hidrotermal yang melindi (*leaching*), mentransport, dan mengendapkan mineral-mineral baru sebagai respon terhadap perubahan kondisi fisik maupun kimiawi. Oleh karena itu interaksi antara fluida hidrotermal

dengan batuan yang dilewatinya (batuan dinding) akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (*alteration minerals*). (Pirajno, 2009).

Menurut Maulana, (2017), endapan hidrotermal merupakan endapan bijih yang sangat penting karena endapan ini merupakan salah satu sumber utama pembentukan bijih emas, tembaga, serta logam ekonomis lainnya.

Hidrotermal ini kaya akan logam-logam yang relatif ringan dan merupakan sumber terbesar (90%) dari proses pembentukan endapan mineral (Maulana, 2017), yang cara pembentukannya dikenal dua macam endapan hidrotermal, yaitu:

- a. *Cavity filling* merupakan pengisian larutan hidrotermal ke lubang-lubang yang sudah ada di dalam batuan.
- b. Metasomatisme merupakan pengantian unsur-unsur yang telah ada dalam batuan dengan unsur-unsur baru dari larutan hidrothermal.

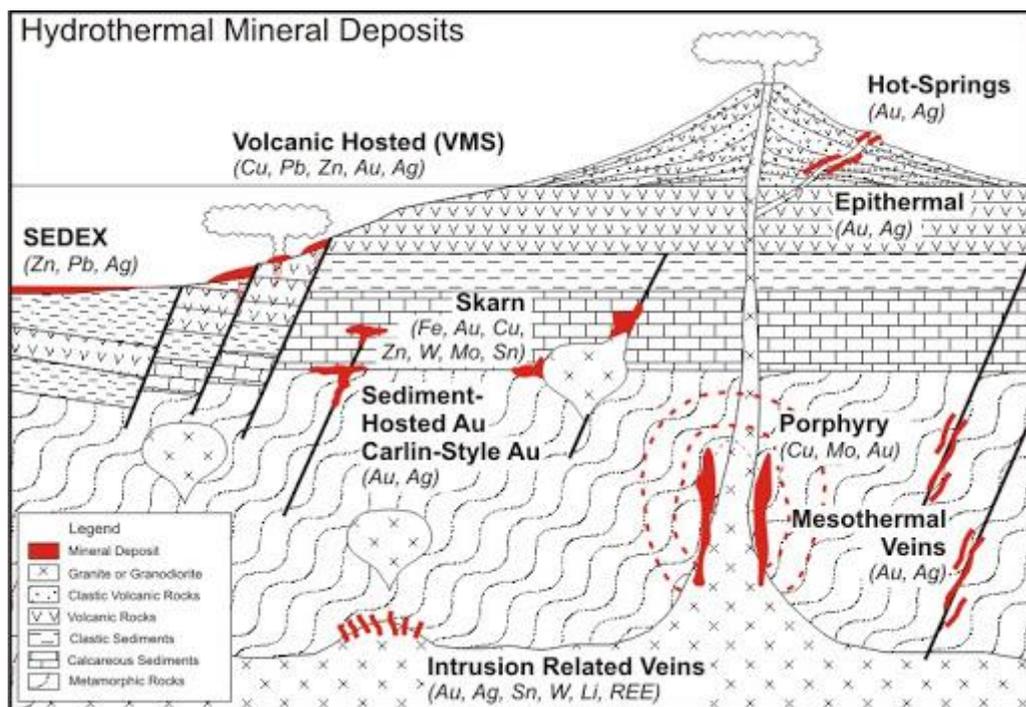
Adapun sumber dari logam pada larutan hidrotermal menurut Maulana (2017), yaitu;

- a. Batuan serta material sedimen yang dilalui oleh larutan hidrotermal.
- b. Berasal dari magma itu sendiri.
- c. Kombinasi antara keduanya seperti pada *geothermal system*.

Semua mineral bijih yang terbentuk sebagai mineral ubahan pada endapan hidrotermal yang berhubungan dengan batuan beku dapat

dibagai menjadi beberapa kelompok (Sutarto, 2004; Maulana, 2017), diantaranya:

- a. Endapan epitermal (*epithermal deposit*),
- b. Endapan tembaga porfiri (*porphyry copper deposit*),
- c. Endapan skarn (*skarn deposits*)
- d. Endapan sulfida massif vulkanik (*volcanogenic massif sulfide deposit*)
- e. Endapan *sedimentary exhalative* atau SEDEX (*sedimentary exhalative deposit*).



Gambar 2.4. Skema diagram dari jenis-jenis endapan hidrotermal.
(sumber: <http://solidusgeo.com/wordpress/home-3/deposits/>)

Menurut Maulana (2017), secara umum proses pembentukan ore atau mineralisasi bijih pada endapan jenis hidrotermal dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, seperti:

- a. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral,
- b. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk melewati larutan hidrotermal,
- c. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal,
- d. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk atau *host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*),
- e. Adanya konsentrasi,
- f. Larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Akibat larutan hidrotermal yang sifatnya sangat cair, larutan ini sangat mudah untuk melalui bidang-bidang rekahan pada batuan yang dilewatinya yang kemudian mengalami proses pendinginan dan mengendapkan ion-ion logam yang membentuk endapan dalam bentuk vein atau urat. Kuarsa sebagai mineral paling terakhir terbentuk pada umumnya hadir dan terendapkan dalam urat-urat ini yang sering kali dijumpai bersama endapan emas (Maulana, 2017).

Endapan hidrotermal dicirikan dengan adanya endapan tipe urat atau vein tipe deposit yang merupakan daerah tempat mineralisasi bijih terjadi dan membentuk tubuh yang diskordan (memotong tubuh batuan yang ada disekelilingnya). Kebanyakan urat-urat terbentuk pada zona – zona patahan atau mengisi rongga-rongga pada batuan atau daerah rekahan (Maulana, 2017).

Adapun endapan dalam bentuk struktur urat yang bernilai ekonomis seperti emas tembaga, perak, logam dasar (Pb, Zn, Cu), arsenik, merkuri dan mineral-mineral logam ekonomis lainnya yang berasosiasi dengan mineral-mineral pengotor (*gangue mineral*), seperti kuarsa dan kalsit pada batuan sampingnya (*country rocks*). Kehadiran urat-urat ini merupakan salah satu penciri utama dari jenis endapan hidrotermal yang kemudian akan membentuk sebuah kenampakan tertentu yang dikontrol oleh proses pembentukannya (Maulana, 2017; Sutarto, 2004).

Hal lain yang sangat penting dalam mengenali endapan bijih tipe hidrotermal adalah kumpulan mineral tertentu pada batuan yang dilalui oleh larutan hidrotermal sebagai respon akibat adanya reaksi antara larutan dengan batuan samping. Kumpulan mineral tersebut hadir dalam bentuk zona dan antara zona yang satu dengan yang lainnya dibatasi oleh adanya mineral-mineral yang khas. Proses ini disebut dengan alterasi hidrotermal dan daerah pengaruh interaksi larutan tersebut dengan batuan samping disebut dengan zona alterasi (*alteration zone*) (Maulana, 2017).

4. Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi

Alterasi merupakan perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang tinggi. Proses alterasi merupakan peristiwa sekunder, berbeda dengan metamorfisme yang merupakan peristiwa primer (Pirajno, 1992)..

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 yang disebut juga dengan larutan hidrotermal (Pirajno, 1992).

Alterasi hidrotermal merupakan suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan perubahan kimiawi, tekstur serta morfologi yang disebabkan oleh interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya (Pirajno, 1992).

Menurut Pirajno (1992), proses alterasi merupakan suatu bentuk metasomatisme yaitu pertukaran komponen kimiawi antara cairan-cairan dengan batuan dinding. Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (batuan dinding) akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (mineral alterasi), maupun fluida itu sendiri.

Alterasi hidrotermal akan bergantung pada karakter batuan dinding, karakter fluida (Eh, pH) kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung, konsentrasi serta lama aktivitas hidrotermal (Guilbert dan Park, 1986; Sutarto 2004). Walaupun faktor-faktor tersebut saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal (Maulana, 2017)

Alterasi hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan dinding, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, temperatur, dan komposisi fluida. (Corbett dan Leach, 1996)

Host rock adalah batuan yang mengandung endapan bijih atau suatu batuan yang dapat dilewati larutan, di mana suatu endapan bijih terbentuk. Intrusi maupun batuan dinding dapat bertindak sebagai *host rock*. Sedangkan batuan dinding (*wall rock/country rock*) adalah batuan di sekitar intrusi yang melingkupi urat, umumnya mengalami alterasi hidrotermal. Derajat dan lamanya proses alterasi akan menyebabkan perbedaan intensitas alterasi dan derajat alterasi (terkait dengan stabilitas pembentukan) (Corbett dan Leach, 1996; Sutarto, 2004).

Stabilitas mineral primer yang mengalami alterasi sering membentuk pola alterasi (*style of alteration*) pada batuan. Pada kesetimbangan tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral (*mineral assemblage*). Setiap himpunan mineral akan mencerminkan tipe alterasi (*type of alteration*) (Guilbert dan Park, 1986; Sutarto, 2004).

Satu mineral dengan mineral tertentu seringkali dijumpai bersama (asosiasi mineral), walaupun mempunyai tingkat stabilitas pembentukan yang berbeda, sebagai contoh klorit sering berasosiasi dengan piroksen atau biotit. Area yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral yang hadir dapat disatukan sebagai satu zona alterasi (Corbett dan Leach, 1996)

Corbett dan Leach (1996) membagi zona ubahan berdasarkan kumpulan dan asosiasi mineral ubahan yang muncul pada kondisi

kesetimbangan yang sama dan derajat pH (Tabel 2.1). Zona alterasi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

- a. Argilik Lanjut (*Advanced Argillic*); terdiri dari fasa mineral pada kondisi pH rendah, yang dicirikan oleh kehadiran mineral alunite, diaspor, dan pirofilit.
- b. Argilik (*Argillic*); terdiri dari kumpulan mineral alterasi dengan pH lebih tinggi dibandingkan dengan pH zona alterasi argilik lanjut dan memiliki temperatur yang rendah (<230°C). Zona ubahan ini didominasi oleh kaolinit, smektit, dan *interlayer* ilit-smektit.
- c. Filik (*Phyllic*); zona alterasi ini terbentuk pada pH yang hamper sama dengan pH zona alterasi argilik dan memiliki temperatur yang sedang-tinggi (200-400°C). Dicurikan oleh kehadiran mineral serisit atau muskovit.
- d. Propilitik (*Propylitic*); zona ini terbentuk pada pH mendekati netral dengan temperatur tinggi (200-300°C) yang dicirikan oleh kehadiran mineral epidot. Pada temperatur yang relatif lebih rendah dicirikan oleh ketidakhadiran mineral epidot biasanya dikenal sebagai zona subporfiritik.
- e. Potasik (*Potassic*); zona alterasi ini terbentuk pada temperatur tinggi (>300°C) dengan pH netral. Dicurikan oleh kehadiran mineral biotit, K-feldspar, kuarsa, dan magnetit.

Tabel 2.1 Diagram hubungan antara suhu-pH dan jenis alterasi serta himpunan mineral-mineral pencirinya (Corbett dan Leach, 1996)

