

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN SULFIDA
DISTRICT SASAK DAERAH PROSPEK “X”
KABUPATEN TANA TORAJA**

*Characteristic of Alteration and Mineralization of Sulfide
Deposits at Sasak area, Tana Toraja, Indonesia*

ITTONG S



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN SULFIDA
DISTRICT SASAK DAERAH PROSPEK “X”
KABUPATEN TANA TORAJA**

*Characteristic of Alteration and Mineralization of Sulfide
Deposits at Sasak area, Tana Toraja, Indonesia*

ITTONG S



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN SULFIDA
DISTRICT SASAK DAERAH PROSPEK "X"
KABUPATEN TANA TORAJA**

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk mencapai
gelar magister

Program Studi Teknik Geologi

Disusun dan diajukan oleh

ITTONG S
D062181007

Kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM MAGISTER FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

TESIS

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN SULFIDA DISTRICT SASAK DAERAH PROSPEK "X" KABUPATEN TANA TORAJA

Disusun dan diajukan oleh

ITTONG S

Nomor Pokok D062181007

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 17 November 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Prof. Dr. Eng Adi Maulana ST., M.Phil

Ketua

Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT

Anggota

Ketua Program Studi

Magister Teknik Geologi

Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Ir Muh. Isran Ramli ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ittong s

Nomor Induk Mahasiswa : D062181007

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, 17 Oktober 2022

Yang menyatakan;



Ittong S

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 “Studi alterasi dan mineralisasi endapan sulfida distrik Sasak daerah prospek “X”, Kabupaten Tana Toraja” 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. Ir Jamaluddin Jompa, MSc selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Prof. Dr. Eng. Ir Muh. Isran Ramli ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng, selaku Kepala Departemen Jurusan Teknik Geologi Universitas Hasanuddin dan juga selaku pembimbing kedua penulis.
4. Dr. Eng. Meutia Farida, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi.
5. Prof. Dr. Eng Adi Maulana ST., M.Phil, sebagai Ketua Komisi Panasihat (Pembimbing Pertama penulis).
6. Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT, sebagai Anggota Komisi Panasehat

(Pembimbing Kedua penulis.

7. Dr. Ir. Musri Ma'waleda., MT, Dr. Adi Tonggiroh, ST., MT, dan Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke., MT, selaku tim penguji tesis penulis.

Atas bantuan, arahan, bimbingan, dan kesabaran serta motivasi yang telah diberikan. Penulis berterimakasih kepada Kakanda Ramli ST.,MT yang banyak membantu penulis melaksanakan penelitian di distrik Sasak. Tak lupa pula penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang selalu mensupport dan membantu penulis menyelesaikan studi ini.

Penulis juga haturkan terima kasih kepada orang-orang terdekat:

1. Orangtua yang sangat sabar dan penuh kasih sayang (Sulle dan Dina) untuk semua doa yang tidak terbatas demi kesuksesan dan keberhasilan penulis.
2. Saudara-saudara (Rena Sulle, S.Pd., Citra Sulle, S.Tr. Keb., Mitra Sulle, A.Md. Keb., Karter Sulle, SE., dan Mirzha Sulle) yang selalu memberi semangat hidup bagi penulis.
3. Pihak Manajemen Perusahaan PT. CEM yang telah memberikan izin melaksanakan penelitian di area konsesi Perusahaan.
4. Sahabatku Rahmat Zaenal, S.P, M.Ling, Nilam Sry Putri, ST.MT, Vhalentio Pakombong, ST.MT, Arif, ST., MT. Dewata Parombean, S.Ap. M.Ap, yang selalu membantu melewati semua kesulitan.
5. Keluarga besar Pengurus Besar Kerukunan Keluarga Luwu Raya dan Keluarga besar Pengurus Besar Ikatan Pelajar Mahasiswa

Indonesia Luwu Raya.

6. Teman-teman Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin angkatan 2018.
7. Bapak Ir. Irwan Bachri Syam, ST., MT. IPM yang banyak membantu penulis selama menjalani study.

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

Makassar, 15 Agustus 2022

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ittong S', with a stylized, cursive script.

Ittong S

ABSTRAK

ITTONG S. Studi Alterasi dan Mineralisasi Endapan Sulfida Districk Sasak Daerah Prospek "X", Kabupaten Tana Toraja (dibimbing oleh Adi Maulana dan Ulva Ria Irfan)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi endapan sulfida daerah Sasak. Metode yang digunakan adalah penelitian lapangan yang meliputi pengamatan litologi, geomorfologi dan struktur geologi dan pengambilan data bawah permukaan dengan geomagnetik dan induks polarisasi (IP), metode analisis laboratorium berupa analisis petrografi, mineragrafi dan AAS dan Fire Assay. Hasil penelitian ini menginterpretasikan bahwa berdasarkan karakteristik alterasi dan mineralisasi di daerah prospek "X". Berdasarkan alterasinya dimulai dari alterasi potasik (*strong intense potasic*), argilik, intens silisifikasi sampai alterasi propilitik (*strong intense propilitic*). Dan berdasarkan mineralisasinya mineral-mineral sulfida yang dijumpai adalah galena (PbS), sfalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS₂) dan kovelit (CuS) juga ada sedikit kalkosit (CuS₂). Mineral limonit, magnetit dan kuarsa adalah mineral penyerta yang dominan, sedangkan emas-perak (Au-Ag) cenderung berasosiasi dengan limonit atau kuarsa. Kovelit cenderung ada di permukaan kalkopirit. Galena, sfalerit, kalkopirit dan kovelit berikatan kompleks dengan mineral pirit atau diantara ketiga mineral tersebut pada ukuran halus, bahkan ada galena super halus sebagai inklusi di dalam pirit. Berdasarkan karakteristik alterasi dan mineralisasi mengindikasikan endapan tipe porfiri.

Keywords: Alterasi, mineralisasi, potasik, argilik, porfiri, sulfida, sasak.

ABSTRACT

ITTONG S. Study of Alteration and Mineralization of Sulfide Deposits, Sasak District, "X" Prospect Area, Tana Toraja Regency (supervised by Adi Maulana and Ulva Ria Irfan)

This study aims to determine the characteristics of hydrothermal alteration and sulphide deposit mineralization in the Sasak area. The method used is field research which includes lithology, geomorphology and geological structure observations and subsurface data collection with geomagnetic and polarization induction (IP), laboratory analysis methods in the form of petrographic, mineragraphic and AAS analysis and Fire Assay. The results of this study interpret that based on the characteristics of alteration and mineralization in the "X" prospect area. Based on the alteration, it starts from strong intense potassic, argillic, intense silicification to strong propylitic alteration. And based on the mineralization of the sulfide minerals found are galena (PbS), sphalerite (ZnS), chalcopyrite (CuFeS₂) and covellite (CuS) also contain small amounts of chalcocite (Cu₂S). The minerals limonite, magnetite and quartz are the dominant accompanying minerals, while gold-silver (Au-Ag) tends to be associated with limonite or quartz. Covellite tends to exist on the chalcopyrite surface. Galena, sphalerite, chalcopyrite and covellite bind complexes with pyrite minerals or among the three minerals at a fine size, there is even superfine galena as inclusions in pyrite. Based on the characteristics of alteration and mineralization, it indicates a porphyry type deposit. chalcopyrite and covellite bind complexes with pyrite minerals or among the three minerals at a fine size, there are even super fine galena as inclusions in pyrite. Based on the characteristics of alteration and mineralization, it indicates a porphyry type deposit. chalcopyrite and covellite bind complexes with pyrite minerals or among the three minerals at a fine size, there are even super fine galena as inclusions in pyrite. Based on the characteristics of alteration and mineralization, it indicates a porphyry type deposit.

Keywords: Alteration, mineralization, potassic, argillic, porphyry, sulfide, sasak

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	5
C. TUJUAN PENELITIAN	5
D. MANFAAT PENELITIAN	5
E. BATASAN PENELITIAN.....	6
F. PENELITIAN TERDAHULU.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Kondisi Geologi	8
1. Geomorfologi Regional	8
2. Stratigrafi Regional	8
3. Struktur Geologi Regional.....	12
4. Vulkanik dan Magmatik Daerah Penelitian.....	15
B. Sasak District	16
1. Mineralisasi Sasak.....	16
C. Landasan Teori	19

1. Endapan Mineral.....	19
2. Bahan Galian Logam Dasar	21
3. Hidrotermal	22
4. Hubungan Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
A. Jenis Penelitian	35
B. Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	36
C. Alat dan Bahan Penelitian	37
D. Tahapan /Penelitian	38
E. Bagan Alir Penelitian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
A. Geomorfologi Daerah Penelitian.....	43
B. Alterasi Hidrotermal di Daerah Prospek “X”	45
1. Penyebaran mineralisasi dari Data Pemboran	48
2. Data hasil analisa sampel dengan metoda AAS dan <i>Fire Assay</i>	52
C. Hasil Deskripsi Petrografi dan Mineragrafi di Daerah Prospek X ...	66
1. Sampel batuan yang bergenerasi awal magmatik – plutonik.....	72
2. Sampel batuan yang bergenerasi awal magmatik - plutonik dan mengalami perubahan oleh larutan sisa (<i>hydrothermal alteration</i>)	73
3. Sampel batuan yang bergenerasi hidrotermal adalah BL 129	75
D. Mineralisasi Bijih di daerah Prospek “X”	76
1. Karakteristik Bijih	76
2. Simpulan Mineralogi Bijih.....	83
3. Kadar Logam dalam Bijih.....	84
E. Hasil Pengukuran Metode Resistivity dan Induks Polarisasi (IP)	85
BAB V PENUTUP	91

A. KESIMPULAN	91
B. SARAN.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	94
LAMPIRAN A DESKRIPSI PETROGRAFI	99
LAMPIRAN B DESKRIPSIMINERAGRAFI	134
LAMPIRAN C ANALISIS AAS DAN FIRE ASSAY	137
LAMPIRAN D PROFIL RESISTIVITY & INDUKS POLARISASI (IP)	151
LAMPIRAN E PETA GEOLOGI REGIONAL	157
LAMPIRAN F PETA GEOLOGI LOKAL	158

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta sebaran zonasi tipe mineralisasi logam di daerah Toraja, (Sukmana dan Simpwee, 2002.....	4
Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian pada Lembar Mamuju (Ratman dan Atwaminata, 1993).....	11
Gambar 2.2 Zona Batas Lempeng di Indonesia (Hall dan Smyth, 2008)..	12
Gambar 2.3 Peta Geologi Sulawesi (Hall dan Wilson, 2000).....	13
Gambar 2.4 Penampang Geologi dan perubahan zonasi porfiri sasak CU- AU (Sukmana dan Simpwee, 2002).....	19
Gambar 2.5 Skema diagram dari jenis-jenis endapan hidrotermal	29
Gambar 2.6 Hubungan Alterasi Hydrothermal dan Mineralisasi (Guilbert and Park, 1986).....	34
Gambar 3.1. Lokasi penelitian	37
Gambar 4.1 Topografi yang menunjukkan satuan geomorfologi Pegunungan dan lembah didaerah penelitian	44
Gambar 4.2 Peta 3D Lokasi Pengambilan sampel Penelitian	47
Gambar 4.3 Peta 3D Litologi Lokasi Penelitian	47
Gambar 4.4 Peta Titik Sampel Core Bor Prospek "X"	48
Gambar 4.5 Peta Litologi Titik Sampel Core Bor Prospek "X"	49
Gambar 4.6 Penampang melintang A, A', A" pemboran D1 RBX.....	50
Gambar 4.7 Penampang melintang B, B', B" pemboran D2 RBT	51
Gambar 4.8 Penampang melintang C, C', C" pemboran D3 RB"	52

Gambar 4.9 Peta 3D Kadar Au	62
Gambar 4.10 Peta 3D Block Au	62
Gambar 4.11 Peta 3D Kadar Ag	63
Gambar 4.12 Peta 3D Block Ag	63
Gambar 4.13 Peta 3D Kadar Pb	64
Gambar 4.14 Peta 3D Block Pb	64
Gambar 4.15 Peta 3D Kadar Zn	65
Gambar 4.16 Peta 3D Block Zn	65
Gambar 4.17 Peta 3D Kadar Cu	66
Gambar 4.18 Peta 3D Block Cu	66
Gambar 4.19 Sampel deskripsi Petrografi	68
Gambar 4.20 Stasiun pengambilan sampel deskripsi Petrografi	72
Gambar 4.21 Stasiun pengambilan sampel deskripsi Petrografi	72
Gambar 4.22 Sampel batuan yang bergenerasi awal magmatik – plutonik	73
Gambar 4.23 Sampel batuan Alterasi “ <i>Strong intense potasic</i> ”	74
Gambar 4.24 Sampel batuan Alterasi “ <i>Strong intense potasic</i> ”	74
Gambar 4.25 Sampel batuan Alterasi “ <i>Intense silicification</i> ”	75
Gambar 4.26 Sampel batuan Alterasi “ <i>Intense silicification</i> ”	76
Gambar 4.27 Gambar Stasiun Pengambilan sampel Mineralisasi daerah prospek “X”	78
Gambar 4.28 Gambar Stasiun Pengambilan sampel Mineralisasi daerah prospek “X”	78

Gambar 4.26 Gambar Litologi Pengambilan sampel Mineralisasi daerah prospek "X"	78
Gambar 4.29 Gambar Sampel Mineragrafi LN.....	79
Gambar 4.30 Kenampakan mikroskopis mineral bijih pada sampel LN....	80
Gambar 4.31 Gambar Sampel Mineragrafi TR	81
Gambar 4.32 Kenampakan mikroskopis bijih pada sampel TR.....	83
Gambar 4.33 Gambar Sampel Mineragrafi TN	83
Gambar 4.34 Kenampakan mikroskopis mineral bijih pada sampel TN....	84
Gambar 4.35 Profil Korelasi Nilai Resistivitas Line CL 16 – CL 18.....	88
Gambar 4.36 Profil korelasi nilai IP line CL 16 – CL 17 - CL 18	89
Gambar 4.37 Kenampakan singkapan mineral galena antara CL 18 dan CL 16 (kiri) Kenampakan vein dalam tunnel diantara line CL 16 dan Cl 17 (kanan)	89
Gambar 4.38 Profil Korelasi Nilai ResistivitasKorelasi IP	90
Gambar 4.39 Profil Korelasi Nilai IP Line CL 24 – CL 25 - CL 26.....	90
Gambar 4.40 Batuan tuffan andesitan yang termineralisasi	91

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Sampel batuan mengandung unsur Pb, Au, Ag, dengan kadar Yang cukup menarik	54
Tabel 4.2 Sampel batuan mengandung unsur Pb, Cu, Au, Ag, dengan Kadar cukup menarik.....	60
Tabel 4.3 Sampel batuan mengandung unsur Pb, Zn, Au, dan Ag dengan kadar cukup menarik	61
Tabel 4.4 Deskripsi Petrografi Sayatan Tipis	69
Tabel 4.5 Kadar Logam dalam Bijih (Head Sample)	86
Tabel 4.6 Tipe Anomali pada Wilayah Penelitian	87

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Pada dasarnya perkembangan zaman akan meningkatkan keperluan manusia akan kebutuhan barang untuk pemenuhan kebutuhan hidup sehari-hari. Berbagai barang yang di produksi tidak sedikit yang memerlukan bahan baku dari hasil penambangan. Salah satunya adalah mineral bijih. Mineral bijih merupakan sumberdaya alam yang tidak pernah lepas dari kebutuhan hidup manusia khususnya logam. Keterdapatannya mineral bijih dalam endapan sulfida menjamin kebutuhan akan logam maka perlu untuk memaksimalkan penelitian mengenai pemahaman dan pemetaan sumberdaya alam secara rinci. Peningkatan pemahaman tersebut meliputi proses terbentuknya dan keterdapatannya di alam.

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.

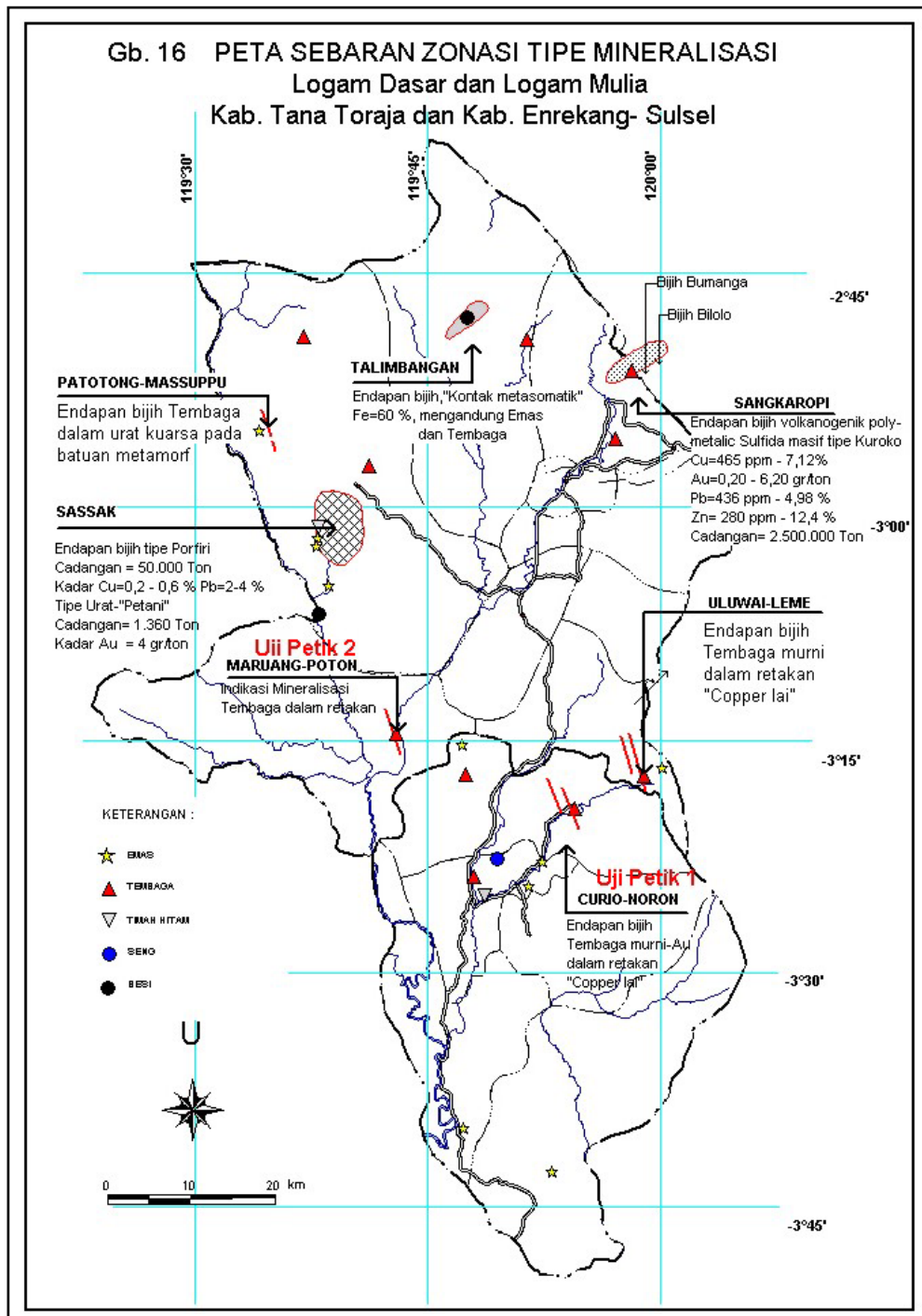
Meskipun faktor-faktor ini saling terkait, suhu dan kimia fluida merupakan faktor dominan yang mempengaruhi perubahan hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996). Zona alterasi merupakan zona tertentu yang menunjukkan sebaran kumpulan mineral tertentu yang terbentuk sebagai hasil proses alterasi (Lowell dan Guibert, 1970).

Proses alterasi hidrotermal merupakan suatu bentuk metasomatisme, yakni pertukaran komponen kimiawi antara cairan-cairan dengan batuan dinding. Proses alterasi hidrotermal yang terjadi akibat adanya interaksi antara batuan dengan larutan hidrotermal dapat menyebabkan terjadinya penggantian mineral, pelarutan, dan pengendapan langsung mineral dari larutan yang mengisi rekahan atau pori batuan (Pirajno, 1992). Karena perlunya pemahaman akan Alterasi dan Mineralisasi untuk dapat menunjukkan distribusi akumulasi mineral bijih yang mengandung logam mulia maupun logam dasar, pengembangan lebih lanjut di suatu daerah menjadi penting untuk dilakukan. Oleh karena itu Peneliti memilih untuk melakukan penelitian di daerah Tana Toraja.

Pada umumnya daerah Tana Toraja adalah berupa perbukitan, pegunungan dan hanya sebagian kecil yang merupakan pedataran dan lembah sempit. Daerah Tanah Toraja berada pada ketinggian sekitar 600 –2600 Mdpl. Letak topografi daerah ini di kontrol oleh jenis batuan, struktur geologi dan proses geologi muda seperti erosi dan pelapukan.

Daerah perbukitan dan pegunungan di kontrol oleh batuan yang kompak dan resisten dan topografi karst yang penyebarannya sempit mengikuti kontak sesar. Maka wilayah yang berada di mandala ini berpotensi terjadi proses alterasi dan mineralisasi hidrotermal yang membentuk suatu cebakan mineral bijih utamanya bijih sulfida.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Van Leeuwen, T.M, dan Pieters. 2012. *Mineral Deposits of Sulawesi. Geological Agency, Ministry of Energy and Mineral Resources*, Bandung, daerah penelitian ini diindikasikan memiliki potensi cebakan mineral bijih sulfida terutama emas dengan Tipe endapan bijih Porfiri. Lalu penelitian Inventarisasi dan Evaluasi Mineral Logam di Daerah Kabupaten Tana Toraja dan Kabupaten Enrekang (Sukmana dan Simpwee, 2002) (**Gambar 1.1**). Hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian di daerah tersebut guna membahas secara komprehensif terkait alterasi dan mineralisasi endapan sulfida di district Sasak daerah Prospek "X". Oleh karena itu, harapannya penelitian ini dapat memberikan penjelasan yang kompeten mengenai karakteristik mineralisasi endapan sulfida dan karakteristik alterasi hidrotermal pada district Sasak daerah Prospek "X".



Gambar 1.1 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. Bagaimana Karakteristik Mineralisasi endapan Sulfide di district Sasak daerah Prospek X ?
2. Bagaimanakah Karakteristik Alterasi Hidrotermal di district Sasak daerah Prospek X ?

C. TUJUAN PENELITIAN

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

1. Menentukan karakteristik mineralisasi endapan sulfida di district Sasak daerah Prospek X.
2. Menentukan karakteristik alterasi hidrotermal di district Sasak daerah Prospek X.

D. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa perkembangan ilmu geologi dan sumber daya mineral.
2. Mengetahui tipe alterasi, mineralisasi, kumpulan mineral bijih, dimana dapat digunakan sebagai referensi untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi yang lebih lanjut.

E. BATASAN PENELITIAN

Agar tujuan dari penelitian dapat tercapai maka dilakukan penelitian ilmiah yang sistematis dan terencana dengan batasan masalah pada penentuan karakteristik mineralisasi endapan sulfida dan karakteristik alterasi hidrotermal daerah penelitian sampai kepada penentuan jenis mineral yang terdapat pada district Sasak daerah prospek "X", Tana Toraja.

F. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian geologi yang pernah dilakukan di lokasi ini dan sekitarnya adalah sebagai berikut:

1. 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.
2. Sukmana dan Simpwee (2002), Inventarisasi dan Evaluasi Mineral Logam di Daerah Kabupaten Tana Toraja dan Kabupaten Enrekang.
3. Van Leeuwen dan Muhardjo (2005), melakukan penelitian mengenai stratigrafi dan tatanan tektonik mengenai suksesi batuan vulkanik-sedimen berumur Kapur dan Paleogen di Barat-Laut Sulawesi.
4. Adhitya Mangala, dkk (2017), Sumber panas berkaitan dengan system vulkanik Gunung Karua berada di sebelah utara wilayah studi.
5. Agung Gita Kurniawan (2012), Dari hasil interpretasi yang dilakukan, zona alterasi-mineralisasi yang ada pada daerah ini terakumulasi pada zona alterasi argilik, propilitik dan silisifikasi pada batuan sampling.

Dari hasil peta anomali magnetik, zona mineralisasi argilik memiliki nilai anomali magnetik yang cukup fluktuatif, alterasi propilitik memiliki anomali yang lebih fluktuatif, sedangkan pada silisifikasi relatif datar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kondisi Geologi

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. Dapat dilihat pada **Gambar 2.1**

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).

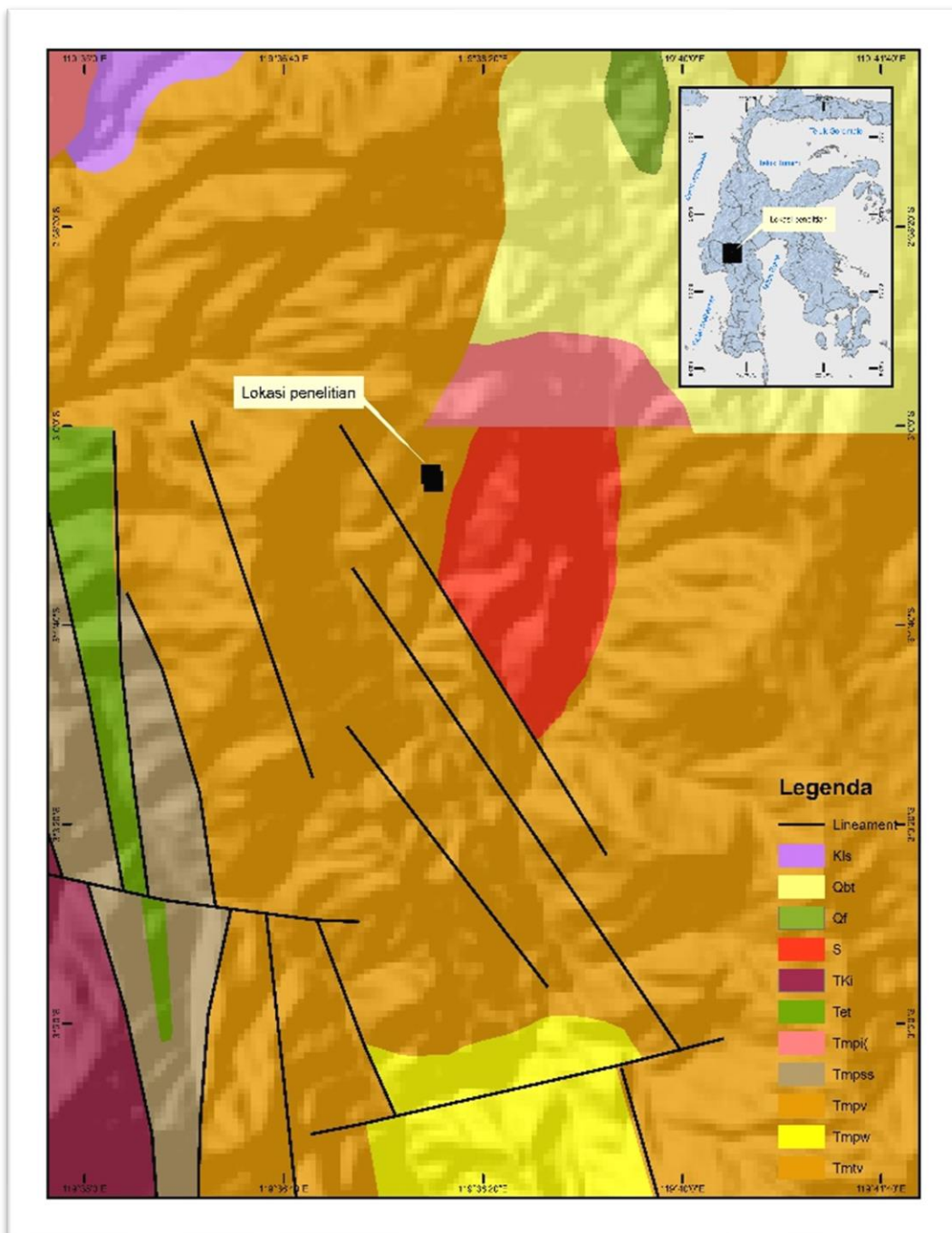
Batuan Gunungapi Talaya (*Tmt*) : Breksi, lava, breksi tuf, tuf lapili, bersisipan tuf dan batupasir (*grewake*), rijang, serpih, napal, batupasir karbonan dan batubara. Breksi, lava dan breksi tuf, umumnya bersusunan andesit sampai basal (Ratman dan Atmawinata, 1993).

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 terkarsikan; 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).

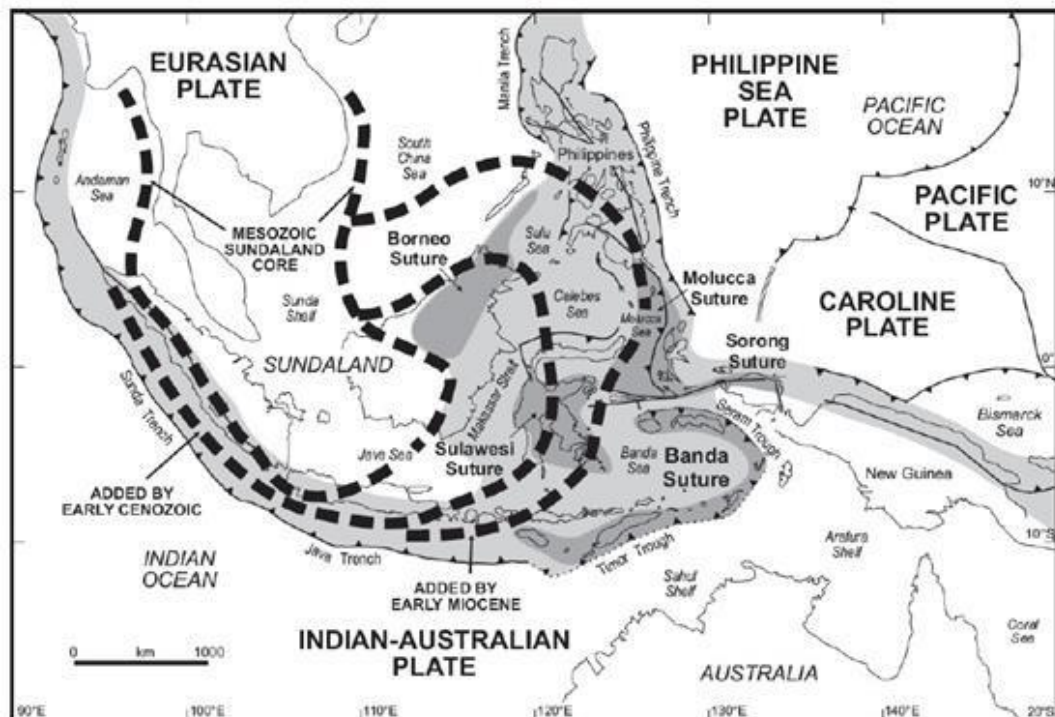
Formasi Riu (*Tmr*): Napal, batugamping, serpih, batupasir gampingan bersisipan batulempung dan tuf. Napal, berwarna putih sampai coklat muda dan kelabu; tebal dan beberapa cm sampai 1 m; berlapis baik dengan lapisan hampir mendatar agak keras dan banyak mengandung fosil. Batugamping pasiran, berwarna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

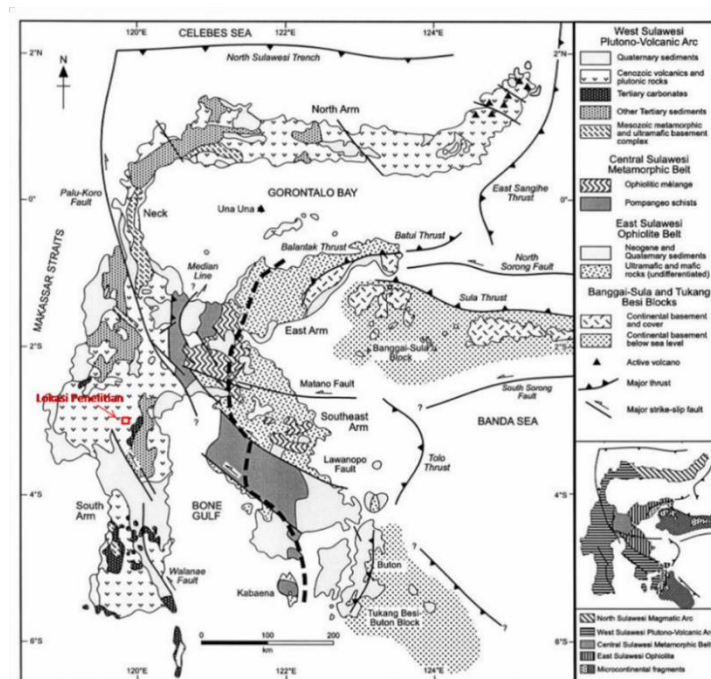
Pada **Gambar 2.2** Zona Batas Lempeng di Indonesia terlihat Pulau Sulawesi termasuk dalam Sistem Tektonik Indonesia Bagian Timur yang sangat kompleks yang dipengaruhi oleh tumbukan tiga lempeng aktif yaitu Lempeng Tektonik Eurasia di bagian utara, Lempeng Pasifik di bagian timur, dan Lempeng India-Australia 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)

Pada **Gambar 2.3**. Peta Geologi Sulawesi, terlihat Pulau 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 (Hall dan Wilson, 2000).

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 timur laut – selatan baratdaya. Beberapa sesar berarah hampir Barat - Timur dan utara barat laut – selatan tenggara. Struktur lipatan pada lembar ini berkembang cukup baik (Saputro, 2016).



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

Daerah Penelitian termasuk dalam Lembar 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 termalih lagi serta Formasi Latimojong termalih 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 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. Sasak District

1. Mineralisasi Sasak

Mineralisasi tembaga porfiri ditemukan di dekat Sasak pada tahun 1969. Mineral ini telah dieksplorasi antara tahun 1972 dan 1998 oleh Antam, Aberfoyle, North Ltd, dan Victory West. Kegiatan eksplorasi termasuk pengeboran terdapat 43 lubang pernah dilakukan oleh PT North Mining

yang merupakan bagian dari North Ltd, hal ini didasarkan pada Taylor dan Van Leeuwen (1980), Muller (1998) dan Schwager (1998). Dan sekarang berada pada wilayah IUP PT Christina Explo Mining (PT CEM). Daerah Sasak terdiri dari andesit, diorit dan berbagai breksi tufa, yang telah diterobos oleh stok monzonit.

Wilayah ini membentuk anomali magnetik tinggi yang besar yang mencerminkan kandungan magnetit yang tinggi dari litologi dioritik dan andesitik yang mendominasi geologi di Sasak. Monzonit memiliki tekstur porfiritik berskala sedang hingga kasar dan terdiri dari plagioklas besar dan Kristal alkali feldspar (hingga 10 mm) dan biotit yang lebih kecil dalam tanah dasar yang halus dari alkali feldspar dan kuarsa minor. Tidak ada tanggal geokimia dan usia yang dilaporkan untuk batuan intrusi, tetapi kemungkinan berasal dari rangkaian potasik Neogene. Beberapa jenis breksi tuff telah dikenali: breksi andesitik, breksi polimik dengan diorit, andesit, monzonit, dan fragmen batupasir silisifikasi, dan breksi tufa felsik, yang telah digambarkan sebagai "monzonit terfragmentasi". Daerah Sasak dipotong oleh struktur berarah NW, yang membentuk anomali magnetik rendah, mungkin mencerminkan keberadaan stok monzonit memanjang di kedalaman.

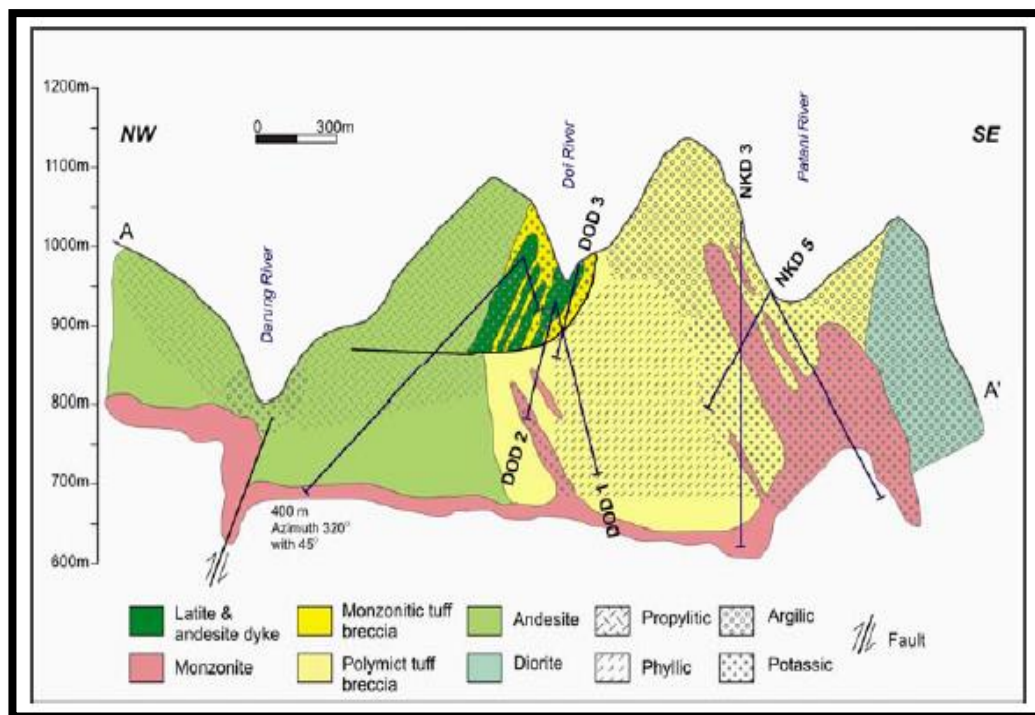
Sistem patahan kedua yang berkembang baik memiliki tren NE. Sistem NE - dan NW - telah dikontrol secara berurutan oleh kekuatan ekstensional dan kompresional terkait dengan pergerakan sesar slip lateral kanan di sepanjang sistem patahan Sa'dan yang berarah utara yang

mungkin merupakan perpanjangan dari sesar Walanae Timur. Sistem porfiri Sasak ditandai oleh pola alterasi yang dikategorikan dengan tipikal endapan Cu-Au porfiri. Alterasi Propylitic meluas di atas area sekitar 3,5 x 2,5 km, termasuk zona dengan alterasi claypyrite-jarosite yang kuat meliputi area seluas 1000 x 700 m.

Perubahan potasik (biotit-magnetit) terpusat di tiga zona di Sungai Doi, Sungai Darung (800 m NW dari Sungai Doi) dan Sungai Patani (600 m SE dari Sungai Doi). Ketiga zona terjadi dalam koridor struktural berarah NW, yang terakhir di persimpangan sesar berarah NE. Perubahan potasik dikelilingi dan sebagian di ulang oleh alterasi argilik (kaolinit-jarosit) dan filik (pirit-serisit). Tahap akhir, vein anhydrite crosscutting adalah fitur umum. Di beberapa tempat, anhidrit menggantikan vein pirit sebelumnya. Perubahan argilik umumnya dikontrol secara struktural. Zona Sungai Darung memanjang lebih dari 130 m dan dikelilingi oleh alterasi kaosit jarosit, yang bergradasi keluar menjadi alterasi propilitik.

Zona potasik singkapan lebih dari 80 m dan ditindih oleh batu yang menjadi kaolinit-jarosit. Ini berisi nilai Au dan Cu anomali koheren, menunjukkan kemungkinan adanya mineralisasi gaya porfiri di kedalaman. Interpretasi ini konsisten dengan adanya perubahan argilik pada batuan di atasnya dan sekitarnya, monzonit yang diubah potasik mengandung urat kuarsa, pirit, kalkopirit. Distrik Sasak juga mengandung intrusi terkait logam dasar Au dan skarn (Van Bemmelen, 1949)

Pada **Gambar 2.4** dibawah dapat menjadi sebuah acuan untuk memahami terkait Alterasi dan Mineralisasi yang ada di daerah sasak, sebab dari hasil penelitian yang ada dan peta penampang geologi maka dapat terlihat perubahan zonasi Alterasi yang merupakan perubahan zonasi porfiri Sasak Cu-Au.



Gambar 2.4 Penampang geologi dan perubahan zonasi porfiri Sasak Cu Au (Sukmana dan Simpwee, 2002)

C. 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 kusus 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. Hidrotermal

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

- a. *Cavity filling*, (mengisi lubang-lubang yang sudah ada di dalam batuan)
- b. 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

membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, yang dikenal 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 sendiri merupakan proses perubahan komposisi mineralogi batuan dalam kondisi padat, sebagai akibat adanya pengaruh suhu dan tekanan tinggi serta tidak dalam kondisi isokimia, sehingga menghasilkan mineral berupa lempung, oksida, kuarsa, atau sulfida logam.

Alterasi mineral yaitu mengacu pada segala sesuatu yang berhubungan dengan proses alam dalam mengubah komposisi kimia mineral atau kristalografi. Dalam hal ini hukum – hukum termodinamika sangat penting dan erat kaitannya dengan konservasi energi, relevan

dengan lingkungan, terbentuk katalis, dan yang paling sering ditemukan yaitu pengaruh dalam bentuk air.

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).

a. Suhu

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 suhu fluida 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):

- a. 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*).

- b. Tipe argilik (argilik intermedit)

Kumpulan mineral alterasi yang terbentuk pada suhu rendah (100-250°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.

- c. Tipe Filik

Tipe alterasi ini terbentuk pada kondisi pH yang sama dengan tipe argilik namun mempunyai temperatur yang lebih tinggi (>200-250°C). Dicitrakan 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.

d. 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.

e. 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.

4. Hubungan Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi

Alterasi dan mineralisasi sangat erat kaitannya, dikarenakan tipe alterasi tertentu akan 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.

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:

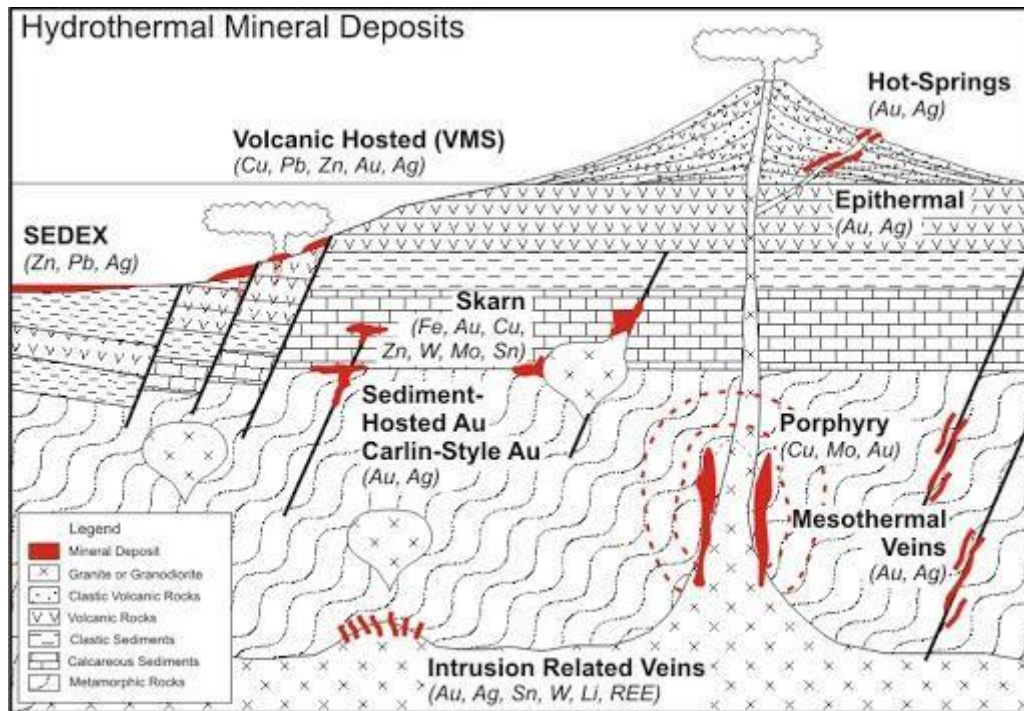
- a. *Cavity filling* merupakan pengisian larutan hidrotermal ke lubang-lubang yang sudah ada di dalam batuan.
- b. Metasomatisme merupakan pengantian unsur-unsur yang telah ada dalam batuan dengan unsur-unsur baru dari larutan hidrothermal.

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 dibagi 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 2.5. Skema diagram dari jenis-jenis endapan hidrotermal.

(Sumber: <http://solidusgeo.com/wordpress/home-3/deposits/>)

Pada **Gambar 2.5** menunjukkan Skema diagram dari jenis-jenis endapan hidrotermal yang 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).

Tipe alterasi tertentu biasanya akan menunjukkan zonasi himpunan mineral tertentu akibat ubahan oleh larutan hidrotermal yang melewati batuan sampingnya (Guilbert dan Park, 1986, Evans, 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 (Anonim, 1996).

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

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

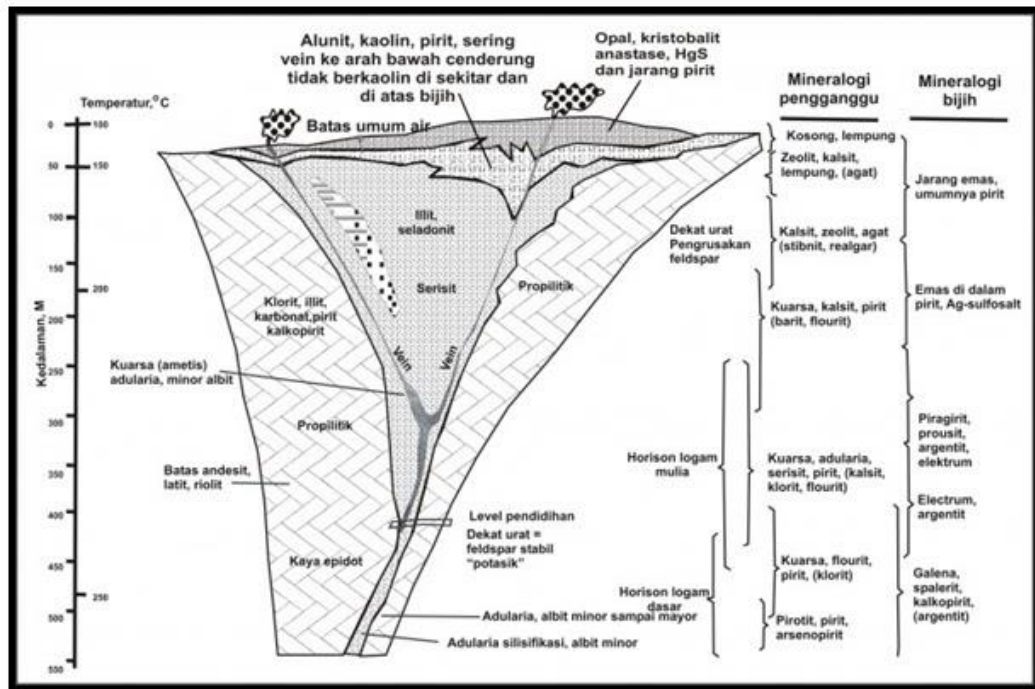
- a. Proses diferensiasi, pada proses ini terjadi kristalisasi secara fraksional (*fractional crystallization*), yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit. Pengendapan kromit sering berasosiasi dengan pengendapan intan dan platinum. Larutan sulfida akan terpisah dari magma panas dengan membawa mineral Ni, Cu, Au, Ag, Pt, dan Pd.

b. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pengkayaan dari magma, pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsurvolatil 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, Rb 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.

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 $\geq 350^{\circ}\text{C}$.

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°C - 400°C . Mineral bijih terdiri dari argentit, elektrum, pirargirit dan proustit. Mineral ubahan terdiri dari serisit, adularia, ametis, sedikit mengandung albit.

Horison bagian atas terbentuk pada temperatur < 200°C. Mineral bijih terdiri dari emas di dalam pirit, Ag-garam sulfo dan pirit. Mineral ubahan berupa zeolit, kalsit, agate.



Gambar 2.6 Hubungan Alterasi Hydrothermal dan Mineralisasi (Guilbert and Park, 1986)