

SKRIPSI

**STUDI MINERALISASI BIJIH PADA DAERAH SANJANGO
KECAMATAN KAROSSA KABUPATEN MAMUJU TENGAH
PROVINSI SULAWESI BARAT**

Disusun dan diajukan oleh

A.IKRAM FIKRIAWAN

D111181017



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI MINERALISASI BIJIH PADA DAERAH SANJANGO
KECAMATAN KAROSSA KABUPATEN MAMUJU TENGAH PROVINSI
SULAWESI BARAT**

Disusun dan diajukan oleh

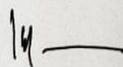
A.IKRAM FIKRIAWAN

D111181017

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 9 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

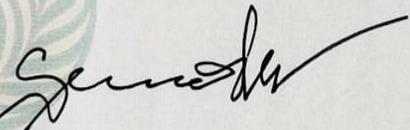
Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.

NIP. 196604091997031002

Pembimbing Pendamping,



Dr.phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T.

NIP. 197101012010121001

Ketua Program Studi,




Asrihan Ilyas, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197303142000121001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A.Ikram Fikriawan
NIM : D111181017
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi Mineralisasi Bijih pada Daerah Sanjango Kecamatan Karossa Kabupaten Mamuju
Tengah Provinsi Sulawesi Barat

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 9 November 2022

Yang menyatakan

Tanda Tangan



A.Ikram Fikriawan

ABSTRAK

Besi (Fe) merupakan unsur yang hadir di setiap batuan, ketersediaanya dalam jumlah besar dan bernilai ekonomis melibatkan proses-proses geologi yang berkaitan dengan suatu zona mineralisasi. Konsumsi logam teridentifikasi dalam kehidupan manusia dapat dilihat pada besarnya kebutuhan dalam Industri besi dan baja. Studi Mineralisasi Bijih Pada Daerah Sanjango Kecamatan Karossa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat bertujuan mengetahui karakteristik mineralisasi dan memberikan informasi mengenai keberadaan mineral bijih terutama mineral logam serta kebutuhan tahapan eksplorasi selanjutnya. Analisis mineralogi dilakukan menggunakan mikroskop, sedangkan analisis komposisi kimia bijih menggunakan *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS). Hasil mineralogi menunjukkan bahwa mineral-mineral yang teridentifikasi merupakan mineral logam yaitu pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), magnetit (Fe_3O_4), anatas (TiO_2), hematit (Fe_2O_3), goetit (Fe,NiO(OH)), kovelit (CuS) malakit ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurit ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). Hasil AAS menunjukkan hasil pada stasiun 1 menunjukkan kadar Au sebesar 0,1 ppm, kadar Cu sebesar 25.400 ppm, kadar Ag 190 ppm, kadar Zn sebesar 50.000 ppm, kadar Pb sebesar 10.000 ppm, kadar Fe sebesar 2,91%. Stasiun 2 menunjukkan kadar Au sebesar 0,023 ppm, kadar Cu sebesar 1720 ppm, kadar Ag 0,8 ppm, kadar Zn sebesar 1950 ppm, kadar Pb sebesar 486 ppm, kadar Fe sebesar 50%.

Kata Kunci: Batuan; mineralisasi; mineral; kadar; sanjango

ABSTRACT

Iron (Fe) is an element that is present in every rock, its availability in large quantities and economic value involves geological processes associated with a mineralized zone. The consumption of metals identified in human life can be seen in the significant demand in the iron and steel industry. The study of Ore Mineralization in the Sanjango Area, Karossa District, Central Mamuju Regency, West Sulawesi Province aims to determine the characteristics of mineralization and provide information about the presence of ore minerals, especially metallic minerals and the need for further exploration stages. Mineralogical analysis was carried out using a microscope, while the ore chemical composition analysis used Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The mineralogy results show that the identified minerals are metallic minerals, namely pyrite (FeS_2), chalcopyrite (CuFeS_2), magnetite (Fe_3O_4), anatase (TiO_2), hematite (Fe_2O_3), goethite (Fe,NiO(OH)), covellite (CuS), malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurite ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$). The AAS results show that at Station 1, the Au grade is 0.1 ppm, the Cu grade is 25,400 ppm, the Ag grade is 190 ppm, the Zn grade is 50,000 ppm, the Pb grade is 10,000 ppm, and the Fe grade is 2.91%. Station 2 showed Au grade of 0.023 ppm, Cu grade of 1720 ppm, Ag grade of 0.8 ppm, Zn grade of 1950 ppm, Pb grade of 486 ppm, Fe grade of 50%.

Keywords: Rock; mineralization; minerals; grade; sanjango

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (Skripsi) yang berjudul "Studi Mineralisasi Bijih Besi Pada daerah Sanjango Kecamatan Karossa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat", yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S-1) pada Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam tidak lupa pula penulis haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebagai *Rahmatan Lil' Alamin*.

Selama kegiatan penelitian sampai penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T. selaku Pembimbing sekaligus Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral dan Bapak Dr.phil.nat. Sri Widodo, S.T., M.T. yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama proses penelitian serta kepada Bapak Asran Ilyas, S.T, M.T., Ph.D dan Dr. Sufriadin, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada ketua Departemen dan Staf Departemen Teknik Pertambangan yang telah membantu administrasi penulis selama melaksanakan penelitian sampai penyelesaian skripsi.

Kepada seluruh saudara TUNNEL 2018 yang telah banyak memberikan bantuan, dukungan, dan semangat selama melaksanakan penelitian sampai penyelesaian skripsi ini, serta kepada seluruh *member* Laboratorium Eksplorasi Mineral terima kasih juga kepada kakak Akmal Saputno, S.T., yang senantiasa membantu dan memberikan semangat kepada penulis selama penyelesaian skripsi ini.

Kepada orangtua tercinta penulis ucapkan terima kasih sebesar besarnya karena telah memberika doa dukungan dan semangat yang sangat berharga serta seluruh

saudara-saudara penulis yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama menempuh studi di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari berbagai kekurangan penulis menyadari bahwa di dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan guna penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua. Mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Sekian dan terima kasih.

Makassar, November 2022

A.Ikram Fikriwan

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| <i>ABSTRACT</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian | 4 |
| 1.6 Tahapan Penelitian | 5 |
| BAB II STUDI MINERALISASI BIJIH | 8 |
| 2.1 Geologi Regional Pasangkayu | 8 |
| 2.1.1 Stratigrafi Regional | 9 |
| 2.1.2 Struktur Geologi Regional | 14 |
| 2.2 Tipe Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal | 17 |

| | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|----|
| 2.2.1 | Alterasi Hidrotermal..... | 18 |
| 2.2.2 | Mineralisasi Hidrotermal..... | 20 |
| 2.3 | Endapan Skarn..... | 21 |
| 2.4 | Tekstur Bijih..... | 22 |
| 2.5 | Bijih Besi..... | 27 |
| 2.6 | Prinsip Dasar Magnetik..... | 29 |
| 2.7 | Mineral Pembawa Bijih Besi | 29 |
| 2.8 | Genesa dan Endapan Bijih Besi | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | | 39 |
| 3.1 | Tahapan Persiapan | 39 |
| 3.2 | Tahap Suvei Lapangan..... | 40 |
| 3.3 | Preparasi Sampel..... | 43 |
| 3.3.1 | Sayatan poles | 44 |
| 3.3.2 | Sampel bubuk..... | 45 |
| 3.4 | Analisis Laboratorium..... | 46 |
| 3.4.1 | Analisis Mineragrafi | 46 |
| 3.4.2 | Analisis Kimia..... | 47 |
| 3.4 | Bagan Alir Penelitian | 48 |
| BAB IV MINERALISASI BIJIH | | 49 |
| 4.1 | Hasil pengamatan makroskopis..... | 49 |
| 4.2 | Hasil pengamatan mikroskopis..... | 51 |
| 4.2.1 | Hasil Analisis Petrografi | 51 |

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|----|
| 4.3 | Himpunan Mineral bijih | 54 |
| 4.4 | Tekstur dan Paragenesis Bijih | 58 |
| 4.5 | Tipe Endapan | 60 |
| 4.6 | Hasil Analisis AAS | 62 |
| BAB V PENUTUP | | 63 |
| 5.1 | Kesimpulan | 63 |
| 5.2 | Saran | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 65 |
| LAMPIRAN | | 79 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Penelitian | 5 |
| Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah Karossa pada lembar Pasangkayu, Sulawesi (modifikasi dari Sukido, dkk., 1993). | 8 |
| Gambar 2.2 Kolom Stratigrafi Regional Sulawesi Barat (Calvert, 1999). | 16 |
| Gambar 2.3 Mineral goetit (Zhou et al, 2017). | 30 |
| Gambar 2.4 Mineral limonit (Lm) berasosiasi dengan covelit (Cv)..... | 31 |
| Gambar 2.5 Mineral hematit (Hem) yang berasosiasi dengan kuarsa (Qz)..... | 32 |
| Gambar 2.6 Mineral magnetit (Mag) berasosiasi dengan garnet (Grt) dan..... | 33 |
| Gambar 2.7 Hubungan diferensiasi magma dengan endapan mineral logam | 35 |
| Gambar 2.8 Variasi komposisi kimia setiap zona horison endapan laterit..... | 37 |
| Gambar 3.1 Singkapan batuan stasiun SJG-01 di daerah penelitian. | 41 |
| Gambar 3.2 Sampel batuan stasiun 01 | 42 |
| Gambar 3.3 Singkapan Batuan pada Stasiun SJG-02 di daerah penelitian | 42 |
| Gambar 3.4 Sampel batuan stasiun 02 | 43 |
| Gambar 3.5 Sampel sayatan tipis batuan untuk analisis petrografi. | 44 |
| Gambar 3.6 Alat preparasi berupa mortar untuk menggerus sampel. | 45 |
| Gambar 3.7 Alat analisis mikroskopis tipe Nikon Eclipse LV 100N POL | 47 |
| Gambar 3.8 Atomic Absorption Spectrophotometer | 47 |
| Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian | 48 |
| Gambar 4.1 Batuan dasar dan sampel mineral bijih stasiun 01..... | 49 |
| Gambar 4.2 Batuan dasar dan sampel mineral bijih stasiun 02..... | 50 |

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 4.3 | Kenampakan mineral bijih pada sampel di bawah mikroskop yang menunjukkan pirit, goetit, kovelit, anatas, malakit (A); pirit, Azurit, Goetit, Malakit, (B); kalkopirit, kovelit, Goetit, Hematit (C); kalkopirit, Magnetit (D). | 53 |
| Gambar 4.4 | Kenampakan mikroskopis himpunan mineral bijih pada sampel 1A..... | 54 |
| Gambar 4.5 | Kenampakan mikroskopis himpunan mineral bijih pada sampel 1B..... | 55 |
| Gambar 4.6 | Kenampakan mikroskopis himpunan mineral bijih pada sampel 2A..... | 56 |
| Gambar 4.7 | Kenampakan mikroskopis himpunan mineral bijih pada sampel 2B..... | 57 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert and Park, 1986) | 19 |
| Tabel 2.2 Mineral-mineral bijih besi bernilai ekonomis (Jensen and A. M. Baferman, 1981). | 28 |
| Tabel 4.1 Distribusi bijih logam hasil pengamatan mikroskopis pada sampel sayatan poles terhadap sebaran stasiun..... | 53 |
| Tabel 4.2 Himpunan mineral bijih..... | 58 |
| Tabel 4.3 Paragenesis mineral bijih daerah penelitian | 59 |
| Tabel 4.4 Hasil analisis AAS | 62 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|--|---------|
| A Peta lokasi penelitian | 71 |
| B Peta pengambilan sampel | 73 |
| C Nama Mineral menurut Whitney (2010)..... | 75 |
| D Deskripsi Mineragrafi | 78 |
| E Hasil analisis AAS | 83 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan adalah material alam yang tersusun atas kumpulan (agregat) mineral, baik yang terkonsolidasi maupun yang tidak terkonsolidasi serta terbentuk sebagai hasil proses alam. Batuan bisa mengandung satu atau beberapa mineral. Berdasarkan kejadiannya (*geneses*), tekstur dan komposisi mineral, batuan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu batuan beku (*igneous rocks*), batuan endapan atau batuan sedimen (*sedimentary rocks*), dan batuan metamorfosa atau batuan malihan (*metamorphic rocks*) (Warmada dan Titisari, 2004).

Batuan merupakan sumber daya alam yang keterdapatannya banyak sekali ditemukan di bumi, sehingga mengenal macam-macam dan sifat batuan sangat penting. Untuk mempelajari dan mengetahui sifat, komposisi mineral, penamaan dan klasifikasi batuan diperlukan suatu pengamatan. Metode yang sangat mendasar untuk mendukung analisis tersebut adalah metode petrografi (Sukandarrumidi, 2004). Untuk dapat melakukan pengamatan petrografi diperlukan alat yang disebut mikroskop, yakni mikroskop yang memiliki cahaya (sinar) polarisasi, karena dengan cahaya ini beberapa sifat mineral penyusun batuan akan nampak jelas terlihat (Graha, 1987).

Bijih besi merupakan unsur utama dalam industri baja, bijih besi merupakan jenis logam yang melimpah di bumi dan masih menjadi tulang punggung dalam peradaban modern. Ketergantungan terhadap logam tersebut teridentifikasi dalam kehidupan manusia, mulai dari keperluan rumah tangga, pertanian, permesinan hingga alat transportasi. Industri besi dan baja merupakan sektor yang kompleks dan berkaitan dengan kondisi ekonomi global, besi sebagai bahan baku utama dihasilkan dari oksida

besi di alam dan kebutuhan besi semakin meningkat setiap tahun. Secara umum kebutuhan besi dunia didominasi oleh bijih besi tipe banded iron formation (70%) dan sisanya berasal dari endapan bijih besi lain. Bijih besi dapat terbentuk secara primer (*ore*) maupun sekunder (*laterite*), Pembentukan bijih besi diperlukan tiga syarat utama yaitu sumber panas yang dapat berupa magma, larutan hidrotermal (larutan sisa magma) dan saluran (*channel way*) dapat berupa ruang antar butir atau rekahan. Bijih besi primer dihasilkan oleh proses magmatik, metasomatik kontak, dan hidrotermal, sebaliknya bijih besi sekunder terbentuk oleh proses sedimenter, residual, dan oksidasi. Besi pada umumnya berbentuk oksida besi seperti Hematit, Magnetit, Ilmenit, Geotit, Limonit, Siderit dan jenis batuan besi lainnya (Jensen dan Batemen, 1981).

Besi (Fe) merupakan unsur yang hadir di setiap batuan, ketersediaannya dalam jumlah besar dan bernilai ekonomis melibatkan proses-proses geologi yang berkaitan dengan suatu zonasi mineralisasi (Munasir, 2012). Karakter dari endapan bijih besi ini biasanya berupa endapan logam yang berdiri sendiri namun seringkali berasosiasi dengan mineral logam lainnya (Idral, 2008).

Bijih besi dibagi menjadi beberapa golongan diantaranya golongan Oksida, Sulfida dan Hidroksida. Golongan oksida meliputi Hematit dan Magnetit sedangkan untuk golongan sulfida seperti Pirit, Kalkopirit, Arsenopirit dan Pirotit. Limonit dan Goetit termasuk ke dalam golongan hidroksida. Berikut beberapa mineral-mineral pembawa bijih besi. Endapan bijih besi sekunder terjadi karena proses pelapukan, transportasi dan sedimentasi. Terbentuknya endapan ini dipengaruhi empat faktor yaitu komposisi dan struktur batuan sumber, keadaan topografi, temperatur dan iklim, medium transportasi dan waktu/lamanya proses (Kriswarini, 2010).

Analisis mineragrafi bertujuan untuk mendeskripsi tekstur dan kumpulan mineral bijih (*ore minerals*) dengan menggunakan mikroskop refleksi baik pada batuan sampling maupun urat kuarsa yang mengandung mineral opak (sulfida/oksida). Dalam analisis

mineragrafi conto batuan perlu dibuat preparat yang sesuai agar analisis dapat dilaksanakan mendekati sempurna. Preparat yang digunakan dalam analisis mineragrafi adalah sayatan poles. Sayatan poles adalah conto batuan yang diratakan salah satu permukaannya atau lebih, kemudian dibuat cetakan dengan menggunakan *Transoptic Powder* (Ainul, 2020). Dengan banyaknya endapan bijih besi yang tersebar maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui himpunan, tekstur dan paragenesis dari mineral bijih melalui studi mikroskopis serta mengetahui kadar dari endapan bijih yang bernilai ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana himpunan mineral, tekstur dan paragenesis mineral bijih besi di daerah Sanjango Kecamatan Karrosa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat
2. Berapa kadar bijih besi di daerah Sanjango Kecamatan Karrosa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

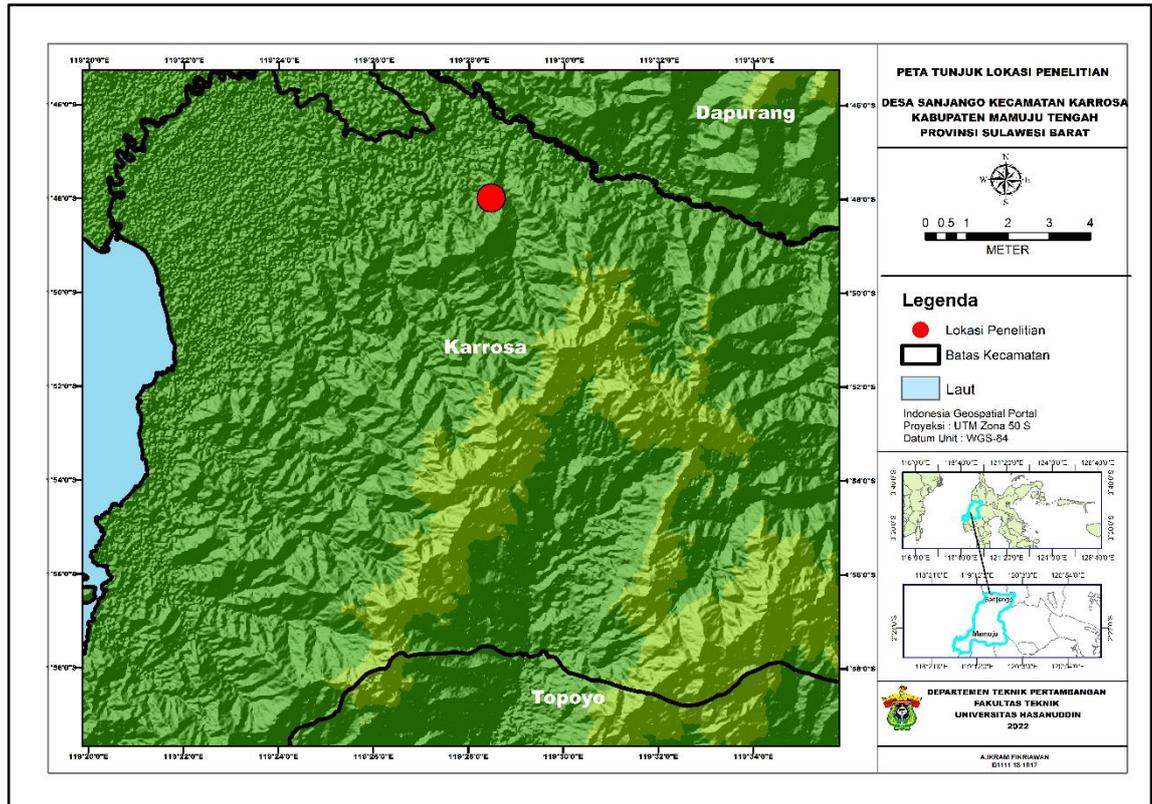
1. Mengidentifikasi himpunan mineral, tekstur, dan paragenesis mineral bijih besi di daerah Sanjango Kecamatan Karrosa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat
2. Menganalisis kualitas kadar bijih besi di daerah Sanjango Kecamatan Karrosa Kabupaten Mamuju Tengah Provinsi Sulawesi Barat

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini berguna untuk memberikan informasi tentang himpunan, tekstur dan paragenesis di daerah penelitian yang memiliki pengaruh terhadap model eksplorasi selanjutnya di daerah penelitian serta informasi mengenai kadar bijih besi di yang terdapat di daerah. Hasil-hasil identifikasi yang di lakukan serta hasil penelitian/kajian terhadap kelayakan pengembangannya ke arah penambangan diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dan promosi untuk menarik para pelaku bisnis sektor pertambangan untuk berinvestasi di Provinsi Sulawesi Barat khususnya pada daerah penelitian.

1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian berasal dari Daerah Sanjango, Kecamatan Karossa, Kabupaten Mamuju Tengah, Provinsi Sulawesi Barat, Indonesia. Lokasi penelitian dapat ditempuh melalui jalur darat, udara, maupun laut. Perjalanan dari Makassar menuju lokasi penelitian ditempuh menggunakan transportasi darat menggunakan mobil waktu tempuh yang digunakan sekitar 6 jam dengan jarak sekitar 290 KM untuk sampai di kota Mamuju tengah. Kemudian, perjalanan dari kota menuju ke Kecamatan Karossa sejauh 7 Km dan di lanjutkan kembali ke lokasi pengambilan sampel sejauh 5 Km ke lokasi penelitian ditempuh menggunakan kendaraan roda dua dan sebagian ditempuh dengan berjalan kaki. Peta tunjuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 peta tunjuk lokasi penelitian

1.6 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan mulai dari bulan April sampai Agustus tahun 2022. Adapun tahapan kegiatan penelitian yang dilaksanakan sebagai berikut:

1. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan tahapan yang berisi kegiatan pendahuluan sebelum dilakukan penelitian. Tahapan ini terdiri dari perumusan masalah yang akan diangkat dalam kegiatan penelitian dan persiapan administrasi yang terkait dalam penelitian, pengumpulan referensi atau literatur mengenai masalah yang diteliti agar dapat menunjang penelitian, serta persiapan bahan-bahan dan alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

2. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang dilakukan setelah dan selama dilakukannya penelitian ini. Tahapan ini melakukan kajian kepustakaan untuk menunjang dan memahami *state of the art* dari topik yang akan diteliti dan sebagai petunjuk dalam menentukan rancangan penelitian serta persiapan yang menyangkut segala sesuatu yang dibutuhkan dalam proses penyusunan tugas akhir. Tahapan studi literatur yang dilakukan dapat melalui jurnal, buku, artikel dan referensi lainnya yang berkaitan dengan masalah yang akan dikaji pada penelitian.

3. Survei lapangan

Tahap ini merupakan tahap pekerjaan di lapangan yang bertujuan untuk melakukan pengumpulan data, baik primer maupun sekunder. Secara lebih detail kegiatan pada tahapan ini meliputi pekerjaan sampling material. Pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi yang berbeda yang diberi nama sampel SJG 01 dan SJG 02 dengan metode pengambilan sampel *Chip Sampling* sampel batuan yang diambil di lokasi penelitian berupa batuan segar yang diindikasikan mempunyai mineral bijih. Pengamatan keberadaan dan kondisi mineral (segar atau lapuk), pengukuran kedudukan singkapan batuan (tebal, kemiringan/ *dip* dan arah/ *strike*), penentuan titik koordinat, serta melakukan proses dokumentasi di setiap lokasi penelitian.

4. Penelitian di Laboratorium

Setelah kegiatan survey lapangan, maka kegiatan selanjutnya adalah kegiatan analisis sampel dan data di laboratorium. Sampel batuan yang telah dikumpul pada tahapan survei lapangan selanjut dibawa ke laboratoirum untuk dianalisis. Sebelum dianalisis terlebih dahulu sampel batuan akan melalui proses preparasi yang menghasilkan hasil preparasi berupa hasil sampel sayatan poles untuk analisis mikroskopis dan sampel bubuk untuk keperluan analisis AAS.

5. Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan tahapan mengumpulkan data-data hasil analisis dan mengolah data-data yang telah didapatkan dari hasil survei dan kemudian diolah. Hasil data dari analisis mineralogi dengan metode mineralgrafi yaitu pengamatan menggunakan mikroskop yaitu untuk mengetahui himpunan mineral bijih dan paragenensisnya sementara hasil uji menggunakan analisis AAS untuk mengetahui kadar bijih dari sampel yang sudah didapatkan sehingga dapat di ketahui apakah bernilai ekonomis atau tidak.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Tahapan ini merupakan tahapan paling akhir yang dilakukan dalam rangkaian kegiatan penelitian. Seluruh hasil penelitian akan disusun dan dilaporkan secara sistematis sesuai aturan penulisan buku putih yang telah ditetapkan oleh Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin.

7. Seminar dan Penyerahan Laporan

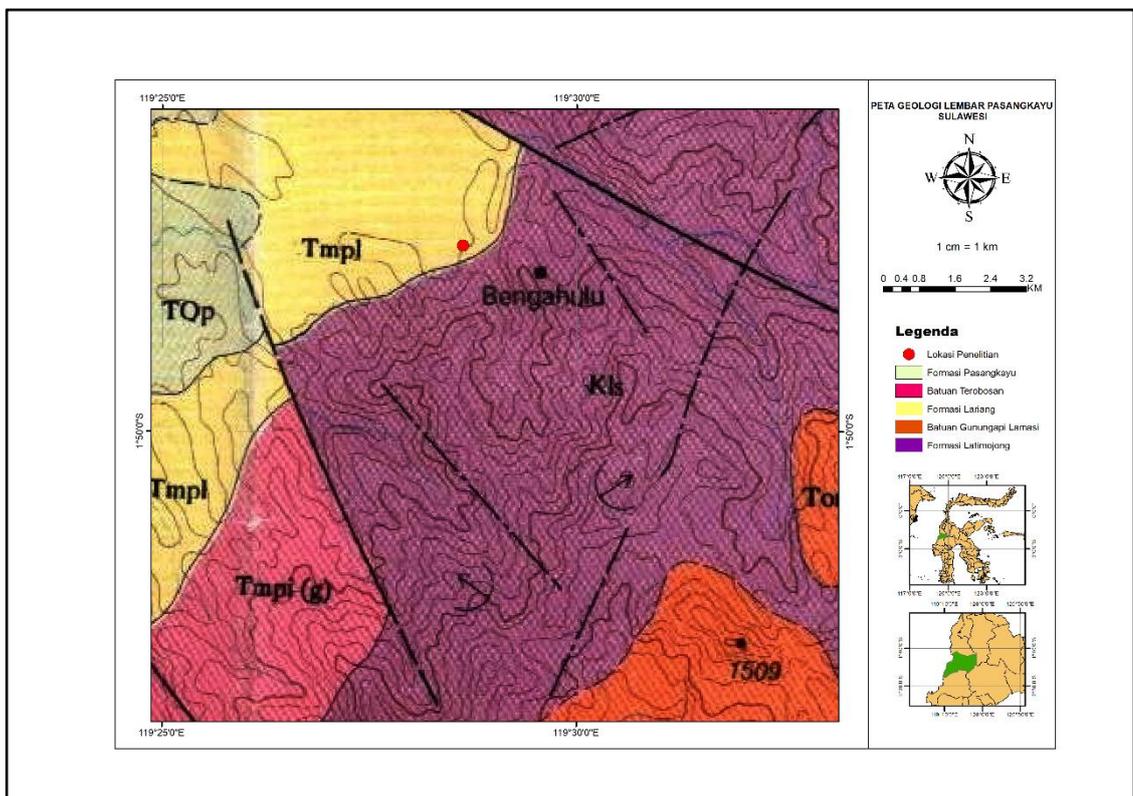
Laporan tugas akhir akan dipresentasikan pada seminar hasil dan ujian sidang. Tahapan ini dimaksudkan untuk memaparkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, melalui tahapan ini akan didapatkan saran untuk menyempurnakan laporan tugas akhir dari tim penguji, pembimbing dan peserta seminar. Laporan tugas akhir yang telah direvisi diserahkan ke Departemen Teknik Pertambangan.

BAB II

STUDI MINERALISASI BIJIH

2.1 Geologi Regional Pasangkayu

Secara umum geologi regional daerah penelitian menjelaskan mengenai kondisi-kondisi geologi yang akan dijumpai langsung di daerah penelitian. Geologi regional daerah penelitian terdiri dari Peta Geologi lembar Pasangkayu, Sulawesi yang diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah Karossa pada lembar Pasangkayu, Sulawesi (modifikasi dari Sukido, dkk., 1993).

Secara umum morfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan yaitu : dataran rendah, perbukitan dan pegunungan. Dataran rendah menempati wilayah yang

sempit di lembah Palu, antara Bombaru dan Pakuli. Di bagian barat, satuan ini tersebar hampir di sepanjang pesisir dan melebar di sekitar muara S. Lariang. Tingginya berkisar dari 0 sampai 50 meter di atas muka laut, dengan lereng sangat landai hingga datar. Wilayah perbukitan tersebar luas dibagian tengah Lembar, dengan arah utara-selatan dan umumnya berlereng landai hingga curam. Ketinggiannya berkisar dari 50 sampai 500 meter di atas muka laut. Disekitar lembah Palu satuan ini menempati daerah yang sempit diantaranya di sekitar Bora, Bombaru hingga Bomba atau Kulawi (Sukido, dkk., 1993).

Wilayah pegunungan menempati sebagian besar daerah pemetaan, terutama di bagian timur Lembar; membujur dengan arah utara-selatan dan melebar di bagian selatan. Satuan morfologi ini umumnya berlereng terjal mempunyai ketinggian lebih dari 500 meter di atas muka laut. Puncak-puncak berketinggian antara 1500 dan 2250 meter di atas muka laut. Pola aliran sungai umumnya meranting, setempat menyiku dan sejajar. Di bagian hulu dan tengah aliran sungai erosi tegaknya lebih giat sehingga lembahnya berbentuk V. di bagian muara sebagian sungainya berkelok-kelok dan lembahnya yang berbentuk U. ini menunjukkan kalau daerah Lembar mempunyai daur geologi muda (Sukido, dkk., 1993).

2.1.1 Stratigrafi Regional

1. *K/s* Formasi Latimojong : batusabak, kuarsit, filit, batupasir kuarsa malih, batulanau malih dan pualam; setempat batulempung gampingan. Batusabak, berwarna kelabu kehitaman sampai hitam, berlapis baik dengan tebal dan 2 cm sampai 10 cm; mampat; setempat mengandung urat kuarsa. Kuarsit, berwarna putih kehijauan; berlapis baik dengan tebal 1 sampai 3 cm; mampat. Filit, berwarna merah kecoklatan perdaunan searah dengan bidang perlapisan. Batupasir kuarsa malih dan batulempung malih, umumnya berwarna putih kelabu sampai kecoklatan; berlapis

baik dengan tebal dan beberapa cm sampai 25 cm; terutama tersusun dan kuarsa dan lempung; perdaunan searah dengan bidang perlapisan. Pualam, berwarna putih kelabu, berbutir halus dan mampat. Batuan ini hanya tersingkap di daerah hulu S. Mariri sebelah timur Galumpang. Batulempung gampingan, berwarna kelabu muda, cukup keras; berlapis dengan tebal dan beberapa cm sampai 20 cm. Batuan ini mengandung fosil *Globotruncana formicata formicata* Plummer, *Gbobotruncana stuartiformis* Dolbier, *Globotruncana* sp. Kumpulan fosil ini menunjukkan umur Kapur Akhir dengan lingkungan pengendapan laut dalam (Purnamaningsih, 1985). Satuan ini diterobos oleh Granit Mamasa dan Granit Kambuno, tertindih takselaras oleh Formasi Toraja dan batuan yang lebih muda lainnya. Sebarannya terdapat di bagian tengah, selatan dan timurlaut Lembar, serta sedikit di bagian timur. Di bagian timurlaut, menerus ke Lembar Pasangkayu di utara, dan ke Lembar Malili di timur. Tebalnya lebih dan 1.000 m. Singkapan batusabak di S. Karataun daerah Galumpang banyak mengandung urat kuarsa yang disertai cebakan bijih sulfida tembaga, besi, seng dan sedikit emas. Tebal unit kuarsa beraneka dan beberapa cm sampai 50 cm. Nama Formasi Latimojong pertama kali digunakan oleh Brouwer (1934) (Sukido, dkk., 1993 dalam Ratman dan Atmawinata, 1993).

2. Formasi Pasangkayu terdiri atas perselingan batupasir dengan batu lempung setempat bersisipan konglomerat dan batu gamping. Formasi ini dominan terdapat di bagian selatan Kabupaten Mamuju Utara memanjang antara Sungai Lariang dan Karossa pada wilayah Kecamatan Bulu Taba, Baras, Duripoko dan Dapurang. Di wilayah pesisir bagian barat terdapat di Kecamatan Bambalamotu, Pasangkayu dan Pedongga. Di lapangan batuan ini tersingkap di sepanjang tepi jalan raya dan penggalian tanah urug di sekitar kota Pasangkayu. Ciri litologi yang nampak di lapangan memperlihatkan bahwa di bagian bawah terdapat selang-seling perlapisan batuan sedimen batulempung, batupasir, batulanau setengah padu, dengan variasi

ketebalan antara cm. Selangseling perlapisan batuan sedimen ini memperlihatkan struktur perlipatan lemah, dan di bagian atasnya dibentuk oleh batuan sedimen batugamping koral Batuan Gunungapi Talaya Satuan Batuan Gunungapi Talaya terdiri atas; tufa, lava, breksi gunungapi bersusunan andesit basal (Sukido, dkk., 1993).

3. *Tmpi* Batuan Terobosan : granit, granodiorit, riolit. Granit, berwarna kelabu, putih kemerahan sampai kehitaman, berbutir sedang sampai sangat kasar, terhablur sempurna dengan bentuk sub-euhedral, beberapa panidiomorfik. Mineral utamanya terdiri dari kuarsa, kalium felspar, plagioklas, hornblende, biotit dan setempat klorit, apatit dan bijih. Kuarsa dan felspar umumnya tumbuh bersama (*intergrowth*), dan setempat serisitisasi dan karbonatisasi. Pada beberapa mineral terlihat retak-retak sebagai akibat pengaruh dari tekanan. Di beberapa tempat mengandung emas. Granodiorit, berwarna putih kotor berbintik hitam hingga kelabu kehitaman, berbutir sedang-kasar, porfiritik dengan fenokris terdiri dari plagioklas, hornblende, kuarsa dan biotit; sedikit piroksen, bijih; setempat terlihat klorit, apatit, sirkon dan epidot; serisit, magnetit dan lempung terdapat sebagai hasil ubahan. Riolit, putih kelabu, butir halus-sedang dan berbentuk sub-anhedral. Mineral penyusun utamanya terdiri dari piroksen, biotit dan plagioklas dengan sedikit kuarsa dan felspar. Diorit, berwarna kelabu kehitaman sampai kehijauan, umumnya berbutir sedang-halus, terhablur sempurna setempat mengandung butiran kuarsa hingga terbentuk batuan diorit kuarsa dan terdapat sebagai retas-retas di beberapa tempat. Apatit, umumnya berbentuk reta-retas berwarna kelabu kemerahan, berbutir sangat kasar dengan mineral felspar dan kuarsa mencapai ukuran 3 cm. Granit mempunyai penyebaran yang luas terutama di bagian selatan Lembar, beberapa tempat di bagian timur. Batuan ini ada yang menamakan Granit Mamasa atau Granit Kambuno di Lembar Malili dan Lembar Poso; Umurnya diperkirakan pada Miosen Akhir - Pliosen Awal. Di

beberapa tempat, terutama yang terdapat di bagian selatan Lembar telah mengalami pelapukan yang cukup kuat, hingga lepas - lepas seperti pasir kuarsa. Penerobosan terhadap Batuan Gunungapi Lamasi menunjukkan adanya pemineralan bijih sulfida dan membentuk cebakan tembaga, seperti yang terdapat di Sangkaropi, Penasuang dan Bilolo di bagian utara Tana Toraja. (Ratman dan Atmawinata, 1993)

4. *Tmpl* Formasi Lariang batupasir gampingan, mikaan, batulempung bersisipan kalkarenit, konglomerat dan tuf. Batupasir gampingan, mikaan, berwarna kelabu; berbutir sedang - kasar, mampat; setempat konglomeratan. Batuan ini berlapis baik, dengan tebal dan beberapa cm sampai 10 cm. Batulempung, berwarna kelabu; berlapis tipis sampai masif; menunjukkan struktur silang-siur. Kalkarenit, berwarna kelabu; tak berlapis; sebagian terhablurkan; banyak mengandung fosil foraminifera, gastropoda dan braciopoda, setempat berupa terumbu koral. Konglomerat, berwarna coklat kemerahan; aneka bahan; berlapis baik dan berselang-seling dengan batupasir setebal 2 cm sampai 6 cm; komponen berukuran 2 cm sampai 4 cm, terdiri dari batuan sedimen, basal, andesit, granit, genes dan sekis, berbentuk membundar tanggung sampai membundar yang direkat oleh batupasir kuarsa yang juga sebagai massadasar. Tuf, berwarna putih kelabu; mengandung biotit dan kuarsa; mudah hancur; merupakan sisipan dalam batupasir gampingan dan batulempung. Formasi ini tersebar di bagian baratlaut Lembar yaitu di bagian tengah aliran S. Lumu dan S. Budong-budong, menerus ke utara ke Lembar Pasangkayu. Satuan ini menindih takselaras Batuan Gunungapi Adang. Batuan Gunungapi Talaya, dan Batuan Malihan; tertindih takselaras oleh Formasi Budong - Budong dan endapan Kwartir. Tebal satuan ini \pm 500 m. Nama formasi ini adalah nama baru yang diusulkan, berasal dari nama S. Lariang di Lembar Pasangkayu yang merupakan daerah lokasi tipenya (Sukido, dkk., 1993).

5. *Toml* Batuan Gunungapi Lamasi: 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. Aneka tuf terdiri dari tuf hijau, tuf sela dan tuf lapili. Tuf hijau, berbutir sangat halus; berhablur renik; terdiri dari klorit (60%), felspar (10%), serisit (5%), lempung (15%), kuarsa (5%) dan bijih (1%). Batuan ini agak keras sampai lunak; berlapis buruk antara 0,5 - 2 cm sampai tak berlapis. Setempat berwarna putih kehijauan; keras; terkarsikan termineralkan, terutama pirit; berkepingan tuf putih bersifat dasit atau trakit, terdiri dari mineral kuarsa dan felspar. Tuf sela, berwarna kuning-kehijauan, berkepingan dasit dan andesit yang tertanam dalam massa dasar mineral kuarsa dan felspar, mengandung sedikit tembaga dan pirit. Tuf lapili, berupa tuf dengan pecahan dasit berukuran 1 - 3 cm, berbentuk menyudut sampai menyudut tanggung; keras; berlapis baik. Lava, berwarna kelabu muda; pejal; bersusunan dasit-trakit; umumnya terubah dan termineralkan berupa pirit. Lava bersusunan dasit, kristalnya berbentuk anhedral sampai euhedral; porfirit; berbutir kasar sampai halus; tersusun oleh plagioklas (20%), kuarsa (15%), biotit (15%), mikrolit felspar dan gelas (35%), sedikit dan piroksen. Andesitnya berukuran halus sampai sedang; pejal; porfirit; hipokristalin; tersusun oleh fenokris plagioklas (35%), piroksen (25%), bijih (20%), sedikit kuarsa dan gelas dengan massa dasar felspar (35%). Breksi, berwarna putih kelabu; bersusunan sama dengan lava; komponennya berukuran dari beberapa cm sampai 5 cm dengan bentuk menyudut tanggung sampai menyudut dengan massa dasar tuf. Di beberapa tempat, batuan ini termineralkan yang tersebar di dalam komponen maupun massa dasarnya; setempat mengandung sulfida tembaga. Batulempung hitam, menyerpih; terdapat secara setempat, berupa selingan dalam tuf breksi. Batuan ini biasanya

mengandung sisipan tipis tuf lapili bersusunan andesit. Satuan batuan ini diterobos oleh retas diorit, andesit dan Granit Kambuno, yang menyebabkan terjadinya pemineralan dari perubahan (pengersikan, pengepidotan, dan pengkloritan), terutama pada bidang kontakannya (Ratman dan Atmawinata, 1993)

2.1.2 Struktur Geologi Regional

Lembar Pasangkayu terletak pada Mandala Geologi Sulawesi Barat (Sukanto 1973), yang perkembangan tektonik dan sejarah pengendapan sedimennya mempunyai hubungan yang erat dengan tektonik Sulawesi secara keseluruhan. Struktur yang terdapat di daerah ini adalah sesar, lipatan, kekar. Sesar yang dapat dikenali jenisnya adalah mendatar dan turun. Sesar Palu-Koro merupakan sesar utama berarah Barat laut tenggara (Sukido dkk., 1993). Sesar ini menerus hingga Lembar Palu di Utaranya, Lembar Poso di Timurnya dan Lembar Malili di Di Lembar Malili Sesar Palu Koro bersatu dengan sesar Matan (Simandjuntak, dkk., 1991). sesar ini diduga mulai terbentuk sejak Oligosen, bersambung dengan sesar sorong yang merupakan sesar tukar (Simandjuntak, dkk., 1991). Di kedua belah sisi sesar Palu-Koro berkembang sesar merencong (*en echelon Fault*). Lajur sesar ini melebar ke Utara dan membentuk Lembah Palu. Percepatan pergeseran Sesar Palu-Koro berkisar antara 2 dan 3,5 mm setiap tahun. Semakin ke arah utara disamping pergeseran mendatar juga terjadi pergeseran tegak. Sesar lain yang ukurannya lebih kecil merupakan sesar ikutan yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama terbentuk (Sukido dkk., 1993)..

Pada batuan Mesozoikum banyak dijumpai sesar kecil-kecil dengan arah hampir sama dengan sesar utama; dan ada juga yang berlainan arah. Lipatan yang ada di daerah ini berupa lipatan terbuka dan lipatan tertutup. Lipatan terbuka mempunyai kemiringan sayap kurang dari 300 berarah hampir utara-selatan dan berkembang pada batuan Neogen. Jenis lipatan tertutup umumnya berkembang pada batuan Mesozoikum

atau yang lebih tua arah sumbunya sukar ditentukan. Lipatan ini diduga terbentuk sejak Oligosen atau lebih tua, kemudian terlipat lagi oleh teriukkan pada Miosen dan Plistosen. Kekar hampir terdapat pada semua jenis batuan terutama disekitar Lajur sesar baik pada batuan malihan, sedimen maupun beku. Di beberapa tempat kekar ini mempengaruhi pola aliran sehingga berpola lurus atau menyiku (Sukido dkk., 1993).

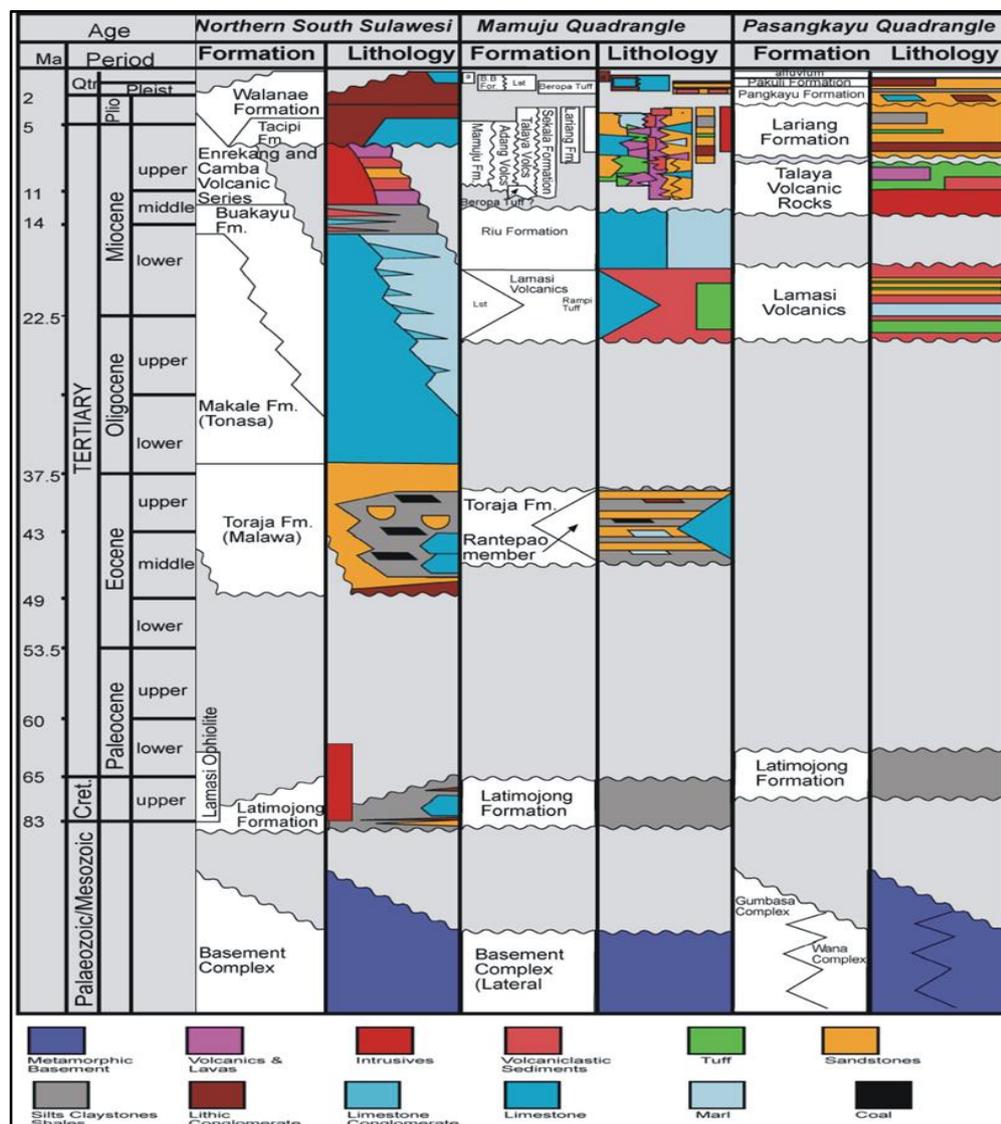
Selama Kapur Akhir daerah pemetaan masih merupakan cekungan rumpang parit, tempat terndapkannya sedimen jenis flysch yaitu Formasi Latimojong. Pengendapan ini diikuti dengan pembentukan Formasi Toraja yang berumur Eosen di Lembar Poso, Lembar Malili (Simandjuntak, dkk., 1991).

Pada Oligosen terjadi kegiatan gunungapi yang menghasilkan Batuan gunungapi Lamasi yang berlangsung sampai Miosen, sebagian terjadi di bawah laut yang menghasilkan batuan gunungapi Rampi dan Tineba. Di Lembar ini terbentuk batuan gunung api Rampi dan Tineba. Di Lembar ini ini terbentuk batuan gunungapi Lamasi yang sebagian merupakan kegiatan gunungapi bawah laut, berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Pada Oligosen , terdapat benua mini Banggai Sula jauh di bagian timur yang bergerak ke barat; diikuti dengan pembentukan Sesar mendatar Sorong yang menerus ke Sesar Matano dan Palu-Koro di Lembar Malili (Simandjuntak, dkk., 1991).

Pada akhir Miosen Tengah hingga Pliosen hampir di seluruh Sulawesi terjadi pengendapan klastika, baik di lingkungan darat maupun laut dangkal. Di daerah pemetaan kegiatan ini menyebabkan terbentuknya Formasi Lariang yang berumur Miosen Akhir sampai Pliosen Awal, menindih tak selaras batuan yang lebih tua. Selama Miosen terjadi kegiatan *magmatic* di daerah pemetaan dan mandala Geologi Sulawesi Barat lainnya, ditandai oleh adanya batuan yang bersifat dioritan dan granitan dan menghasilkan pemineralan emas.

Pada Pliosen-Plistosen seluruh daerah Sulawesi mengalami periukkan lagi (Simandjuntak, dkk., 1991). Penunjaman diduga berhenti pada Plistosen Awal, dimana

sesar Matano mengambil alih gerakan dan berkembang ke sebelah barat sebagai Sesar Palu-Koro (Sudrajat, 1981 dalam Sukido, dkk., 1993). Sempat terjadi penyesaran bongkah sehingga terbentuk cekungan kecil dan dangkal, dengan pengendapan klastika. Di daerah pemetaan kegiatan ini menghasilkan Formasi Pasangkayu yang berumur Pliosen Akhir hingga Plistosen. Di akhir fase ini seluruh daerah mengalami pengangkatan, dibarengi dengan pengendapan darat yang berlangsung hingga sekarang. Kolom stratigrafi regional Sulawesi Barat diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kolom Stratigrafi Regional Sulawesi Barat (Calvert, 1999).

2.2 Tipe Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal

Alterasi dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi pada suatu batuan dan mineral penyusunnya, baik terjadi perubahan sifat kimia maupun sifat fisiknya dimana yang disebabkan oleh larutan hidrotermal. Secara alami alterasi hidrotermal batuan juga agak bervariasi dengan temperatur formasi dari bijih maupun dengan batuan. Kehadiran demikian dari sebuah lingkaran alterasi dari batuan teralterasi mengindikasikan aksi hidrotermal, yang secara umum berarti keberadaan endapan mineral hidrotermal yang boleh jadi tersembunyi atau belum tersingkap ke permukaan. Jadi, sebuah lingkaran alterasi hidrotermal dapat digunakan sebagai sebuah petunjuk praktis di dalam menemukan mineral bijih (Pirajno, 1992).

Batuan sampling secara umum membatasi endapan bijih dari hidrotermal yang teralterasi oleh larutan panas yang melewatinya serta bersama dengan asosiasi bijihnya. Alterasi dianggap benar untuk sebagian besar proses mineralisasi terhadap endapan bijih itu sendiri. Secara alamiah produk alterasi tergantung atas beberapa faktor yaitu : (1) karakter batuan asal (batuan induk), (2) karakter aliran fluida, dan (3) karakter temperatur dan tekanan pada tempat berlangsungnya reaksi, (4) permeabilitas, (5) reaksi kinetik gas/cairan/padat, (6) waktu aktivitas atau derajat (Maulana, 2017).

Secara umum tipe batuan asal mempengaruhi jenis alterasi yang terjadi akibat pengaruh larutan hidrotermal, walaupun ada beberapa pengecualian. Umumnya batuan yang bersifat asam akan terjadi proses *sericitization*, *argilization*, *silicification* dan *pyritization*. Batuan intermedit dan basa secara umum menunjukkan *chloritization*, *carbonatization*, *sericitization*, *pyritization* dan *propylitization*. Pada batuan karbonat alterasi temperatur tinggi berupa *skarnification*, sedangkan batulempung, slate dan sekis mempunyai karakteristik *tourmalinization*, dan secara khusus menghasilkan endapan tin dan tungsten (Evans, 1987).

Satu mineral dengan mineral tertentu sering kali dijumpai bersama (asosiasi mineral), walaupun mempunyai tingkat stabilitas pembentukan yang berbeda, sebagai contoh adalah klorit sering berasosiasi dengan piroksin atau biotit. Area yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral yang hadir dapat disatukan sebagai suatu zona ubahan (Corbett and Leach, 1993).

2.2.1 Alterasi Hidrotermal

Larutan hidrotermal adalah cairan bertemperatur tinggi (100 – 500°C) sisa pendinginan magma yang mampu merubah dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah, mengandung air dan unsur-unsur volatil. Larutan hidrotermal terbentuk pada fase akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah. Interaksi Akhir fluida hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya (*wall rock*) akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder (*alteration minerals*) (Bateman, 1981).

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi dan tekstur yang kesemuanya adalah hasil dari interaksi fluida hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya (Pirajno, 1992). Perubahan-perubahan tersebut tergantung pada karakteristik batuan sampling, sifat fluida (Eh dan pH), kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung (Guilbert and Park, 1986), konsentrasi dan lama aktivitas hidrotermal. Meskipun faktor-faktor tersebut saling terkait, tetapi dalam alterasi hidrotermal pada sistem epithermal kelulusan batuan, temperatur dan kimia fluida memegang peranan penting (Pirajno, 1992).

Pada kesetimbangan tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral tertentu yang dikenal sebagai himpunan mineral (*mineral assemblage*). Secara umum himpunan mineral tertentu akan mencerminkan tipe alterasinya, sehingga dapat

dikelompokkan sebagai berikut. (Gilbert and Park, 1986). Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert and Park, 1986) .

| Tipe | Mineral Kunci | Mineral Asesoris | Keterangan |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Propilitik | Klorit Epidot Karbonat | Albit Kuarsa Kalsit Pirit Lempung/illit Oksida besi | Temperatur 200 – 300°C , Salinitas beragam, pH mendekati netral , Daerah dengan permeabilitas rendah |
| Argilik | Smektit Montmorilonit Illit-smektit Kaolinit | Pirit Klorit Kalsit Kuarsa | Temperatur 100 – 300°C, Salinitas rendah, pH asam – netral . |
| Advanced Argilik (low temperature) | Kaolinit Alunit | Kalsedon Kristobalit Kuarsa Pirit | Temperatur 180°C pH asam |
| Advanced Argilik (high temperature) | Pirofilit Diaspor Andalusit | Kuarsa Tourmalin Enargit Luzonit | Temperatur 250 – 350°C, pH asam |
| Potasik | Adularia Biotit Kuarsa | Klorit Epidot Pirit Illit-serisit | Temperatur > 300°C, Salinitas tinggi, Dekat dengan batuan intrusif . |
| Filik | Kuarsa Serisit Pirit | Anhidrit Pirit Kalsit Rutil | Temperatur 230 – 400°C, Salinitas beragam, pH asam – netral, Zona permeable pada batas urat . |
| Serisitik | Serisit (illit) Kuarsa Muskovit | Pirit Illit-serisit | - |
| Silisifikasi | Kuarsa | Pirit Illit-serisit Adularia | - |
| Skarn | Garnet Piroksen Amfibol Epidot Magnetit | Wolastonit Klorit Biotit | Temperatur 300 – 700°C, Salinitas tinggi, Umum pada batuan samping karbonat . |

2.2.2 Mineralisasi Hidrotermal

Mineralisasi adalah proses pembentukan mineral baru pada tubuh batuan yang diakibatkan oleh proses magmatik ataupun proses yang lainnya, namun mineral yang dihasilkan bukanlah mineral yang sudah ada sebelumnya. Alterasi hidrotermal adalah salah satu proses yang dapat menyebabkan mineralisasi. Larutan hidrotermal yang melewati batuan, ketika berinteraksi atau kontak dengan batuan tersebut maka larutan hidrotermal akan membawa ion-ion atau kation-kation yang diambil dari batuan tersebut, di dalam perjalanannya ion-ion dan kation-kation tersebut dapat berikatan membentuk senyawa, lalu dalam proses pendinginan, larutan tersebut menjadi jenuh dan terjadi presipitasi mineral-mineral baru, dapat berupa mineral-mineral logam atau mineral-mineral bijih, seperti tembaga, emas, molibdenum dll. secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol meliputi (Bateman, 1981):

1. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.
2. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal.
3. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal.
4. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*).
5. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral-mineral logam pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya (Pirajno, 1992):

- 1) 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.

- 2) Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pengkayaan dari magma, pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO₂, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik senyawa antimon, selenida dan telurida. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, Tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang terbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

2.3 Endapan Skarn

Istilah skarn berasal dari Swedia yang pada awalnya digunakan untuk menjelaskan asosiasi antara batuan yang berkomposisi calc-sillcate dan endapan bijih besi. Endapan skarn sebagai penjelasan istilah berdasarkan kandungan mineraloginya, diluar dari implikasi genetiknya . Skarn adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan suatu batuan yang didominasi oleh mineral-mineral calc-silica yang terbentuk oleh proses penggantian atau replacement dari batuan yang bersifat karbonat selama proses metamorfisme atau akibat adanya kontak dengan proses metasomatisme yang berasal dari suatu intrusi batuan beku (Pirajno, 2009). Skarn merupakan batuan yang tersusun oleh silikat Ca-Fe-Mg-Mn yang terbentuk oleh penggantian batuan kaya karbonat selama proses metamorfisme regional ataupun kontak dan metasomatisme sebagai respon pada intrusi batuan beku dari bermacam-macam komposisi. Tidak semua skarn memiliki mineralisasi yang ekonomis, karenanya ada yang disebut endapan skarn untuk

memerikan skarn yang berasosiasi dengan mineral-mineral ekonomis (Einaudi et al., 1981).

Proses terjadinya skarn melibatkan proses metamorfisme kontak yang bertemperatur tinggi. Magma yang kaya akan silika mengintrusi batuan sedimen yang kaya akan karbonat seperti batugamping. Daerah atau zona yang dekat dengan intrusi tersebut akan mengalami proses pembakaran (*baked*) dan terjadi proses metamorfisme kontak yang selanjutnya akan terjadi penambahan unsur-unsur penyusun dari magma kedalam batugamping (metasomatisme), terutama penambahan unsur silika dan kalsium dan pengurangan unsur pada batugamping. Unsur silika dan kalsium tersebut akan bergabung untuk membentuk mineral-mineral yang kaya akan *calcium silica* pada temperatur yang tinggi (Pirajno, 2009).

2.4 Tekstur Bijih

Tekstur Bijih adalah hubungan antara mineral dalam suatu endapan bijih. Dalam hal ini dapat diketahui gambaran pembentukan awal bijih, metamorfosa, lingkungan pengendapan, kemungkinan pengolahannya, deformasi dan pelapukan dari bijih. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengamatan tekstur bijih adalah banyak tekstur yang mempunyai kemiripan penampakan tapi proses pembentukannya mungkin saja berbeda. Untuk memperjelas tekstur bijih yang terbentuk akibat dari proses hidrotermal maka akan diberikan tahapan yang terjadi selama pembentukan deposit hidrotermal, berupa masuknya larutan hidrotermal bersuhu tinggi ke dalam lingkungan yang lebih rendah sehingga terjadi presipitasi dan terbentuk mineral awal. Klasifikasi tekstur bijih oleh Ramdohr (1969):

a. Tekstur Bijih Berdasarkan Tinjauan Geometris

1) Butiran Tunggal

- b) *Zoning*, yaitu kenampakan struktur yang berlapis-lapis mengelilingi suatu inti. Zoning menunjukkan suatu pertumbuhan yang cepat, temperatur yang rendah dan impure solution. Diakibatkan oleh :
- i. Deposisi yang tidak menerus, ditandai oleh diskontinuitas dalam struktur butiran mineral
 - ii. Perubahan dalam kecepatan pertumbuhan berhubungan dengan inklusi.
 - iii. Variasi dalam komposisi lapisan yang terendapkan
- c) *Twinning* (kembaran), Jenis-jenis kembaran antara lain akibat pertumbuhan (*growth/primary twinning*), kembar inversi dan akibat deformasi (*mechanical twinning : glide twinning, translation twinning*). Kembar inversi umumnya terbentuk lurus-lurus, tidak paralel di setiap butir dan membentuk jaringan intergrowth. Kembar akibat deformasi biasanya ditandai oleh parting, blending, rekahnya butiran mineral dan pepadaman bergelombang.
- d) Pertumbuhan Radial, yaitu pertumbuhan yang bebas dari kristal-kristal berbentuk kolom atau prisma sering berupa kristal dalam bentuk radial.
- e) Struktur Mozaik, terjadi jika bidang sisi kristalnya sedikit tergeser dari posisinya akibat tekanan yang kecil, tapi tidak sampai menghambat pertumbuhannya. Hal ini dipengaruhi oleh adanya bagian dengan defektif orientasi, inklusi yang tidak pas dengan kisi kristal atau gangguan struktur lainnya.
- f) Inklusi. Karakteristik dari inklusi bergantung pada keadaan pembentukan inklusi dan mineral induknya (mineral yang membungkus inklusi tersebut), inklusi dapat berupa butiran mineral yang terperangkap selama pertumbuhan mineral induk atau berupa sisa dari mineral yang sudah terbentuk lebih dahulu kemudian digantikan oleh mineral induk.

2) *Intergrowth* (Tumbuh Bersama)

- a) *Intergrowth* dengan Orientasi, yaitu intergrowth yang menunjukkan adanya kecocokan antara bidang-bidang kristal dan mineral-mineral tersebut bergantung pada keselarasan sederhana dari kisi-kisi dalam satu, dua, atau semua arah sebagai contoh sumbu enam dan bentuk heksagonal kristal pentlandit.
- b) Tekstur Emulsi, distribusi merata dari butiran equigranular yang kecil dalam massa mineral yang lebih besar, umumnya berbentuk bundar
- c) Mimerkithic/ Graphic, menunjukkan pertumbuhan yang saling memotong (interpenetrating) oleh adanya butiran-butiran dua atau lebih mineral yang berbeda dalam jumlah yang seimbang.

3) Bentuk- Bentuk Agregat

- a) Orientasi Acak, jenis-jenis orientasi merupakan akibat dari :
 - i. Bentuk butiran (misalnya bentuk oval dengan sumbu panjangnya yang terletak paralel satu dengan lainnya).
 - ii. Orientasi struktur.
 - iii. Struktur yang berserat (fibrous).
- b) Rhythmic Growth, diakibatkan oleh perubahan komposisi mineral, perubahan komposisi kimia mineral penyusunannya, perbedaan ukuran butir, perubahan porositas, perubahan karakter kristalografis.
- c) Contact Rims/ Synantetic/ Intergranular Film, dalam jumlah banyak yang terbatas hanya sebagai pengisi batas-batas butiran (boundary filling) dan umumnya mempunyai komposisi yang berkaitan dengan butiran mineral di dekatnya.
- d) Reaction Rims, tekstur yang hampir sama dengan contact rims, perbedaannya adalah tekstur ini terbentuk akibat proses replacment. Contoh Mineral A yang berbatasan dengan mineral B dapat dipisahkan oleh suatu lapisan tipis.

b. Tekstur Menurut Genesanya

- 1) Tekstur presipitasi primer

- a) Growth, tekstur hasil peleburan dan solutions dibagi menjadi tekstur granular, spheroidal, porfiritik, garfik, poikilitik, zonal, oolitik, dll.
- b) Koloidal, tekstur akibat presipitasi yang terdispersi secara intensif dalam massa batuan.
- c) Sedimenter, tekstur akibat proses sedimentasi termasuk juga alterasi yang dialami selama proses tersebut. Umumnya terdapat keseragaman dalam arah lateral.

2) Tekstur Transformasi

- a) Paramorph : transformasi suatu senyawa yang tidak stabil/meta stabil ke dalam senyawa dalam bentuk yang stabil misalnya markasit ke pirit.
- b) Eksolusi : Terjadi pada solid solution yang mencapai keadaan supersaturasi. Faktor yang mendukung eksolusi ini antara lain pendinginan perlahan, campuran yang tidak merata, inklusi, tektonik.
- c) Dekomposisi : struktur berkaitan erat dengan proses eksolusi yang mengakibatkan perubahan komposisi kimianya.
- d) Replacement – metasomatisme : tekstur yang diakibatkan oleh suatu mineral yang menempai/ menggantikan tempat dari mineral lain yang sudah ada terlebih dahulu. Proses yang menyebabkannya dapat berupa proses hidrotermal, metamorfosis dan pelapukan. Secara geometris tekstur ini oleh Grigorieff (1993) dibagi sebagai berikut :
 - i. *Filiform*, penggantian dalam bentuk jaring-jaring veinlets halus.
 - ii. *Cellular*, hanya terdapat sedikit sisa dari penggantian
 - iii. *Shredded*, sisa penggantian dalam bentuk potongan angular, kadang sisinya cekung
 - iv. *Skeleton shapped*, bagian dari pinggiran mineral terlihat dalam jumlah yang banyak

- v. *Graphic*
 - vi. *Lattice shapped*, penggantian yang mengikuti orientasi kristalografis
 - vii. *Dendritic*, mineral tergantikan sepanjang bidang belahan
 - viii. *Cement shapped*, semen intergranular telah tergantikan secara selektif, biasanya pada batuan sedimen
- e) Transformasi Termal, perubahan struktur pada daerah kontak dengan larutan bersuhu tinggi. Umumnya dinding bijih yang kontak ini akan memberikan penampakan yang khusus.
- f) Tekstur Oksidasi, secara umum oksidasi akan menghilangkan senyawa sulfida, selenida, arsenik, antimony dan Sulfosalt. Bertambahnya volume akibat penambahan oksigen biasanya diimbangi pengurangan atau penghilangan bagian lain dari mineral seperti senyawa sulfida di atas. Hal inilah yang memberikan ciri untuk tekstur ini.
- g) Zona Sementasi, mirip dengan sementasi pada batuan sediment, tapi yang menyebabkannya dapat berupa proses larutan sulfat pada mineral sulfida, native metal yang mengalami presipitasi langsung dan presipitasi bahan organik. Ditandai oleh tekstur lateral hypogen dari material yang asalnya cair dan butiran lepas berbentuk membulat.
- 3) *Radioactive Haloes* Terdapat pada mineral-mineral radioaktif dan dimensi haloes tersebut tergantung pada partikel hasil dekomposisi unsur U dan Th. Haloes ini lebih mudah diamati pada mineral anisotrop.

4) Tekstur Sisa

Secara umum adalah mineral yang terbentuk pada tahapan awal dan sudah tidak lagi berada dalam kesetimbangan (secara material, tekstural, dan paragenetis) dengan fase berikutnya. Jadi sisa mineral awal itu dapat terbentuk materi atau tekstur.

2.5 Bijih Besi

Bijih besi adalah batuan yang mengandung unsur besi, atau terdapat endapan besi di dalamnya. Mineral penyusun Fe berkisar antara 30 - 80%, sisanya disusun oleh mineral lain, terbentuk dari perubahan panas dan tekanan yang menyebabkan terjadinya aktivitas kimiawi didalamnya. Keterdapatannya endapan besi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu endapan besi primer karena proses hidrotermal, endapan besi laterit terbentuk akibat pelapukan dan endapan besi sekunder (pasir besi) adalah merupakan kelompok mineral rombakan (Perkins, 2002).

Bijih besi yang ekonomis umumnya berupa Magnetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan Siderit. (FeCO_3). Endapan bijih besi dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Pembentukan bijih besi primer dapat terjadi oleh proses magmatik, metasomatik kontak, dan hidrotermal; sedangkan endapan bijih besi sekunder terbentuk oleh proses sedimenter, residual, dan oksidasi (Jensen and Batemen, 1981). Tipe endapan bijih besi di Indonesia terdiri atas skarn, placer, laterit dan sedimen; di beberapa tempat terdapat tipe magmatik dan greisen. Jenis endapan bijih besi primer didominasi magnetit – hematit dan sebagian berasosiasi dengan kromit – garnet, yang terdapat pada batuan ultrabasa (Pardiarto dan Widodo, 2007). Bentuk endapan bijih besi magmatik berupa tubuh bijih masif berbentuk lensa, dike atau sill, dan mineral bijih besi terdisiminasi dalam batuan induk atau terdisiminasi sebagai laminasi dalam intrusi yang berlapis (Gross, 1997).

Besi merupakan logam kedua yang paling banyak di bumi ini. Karakter dari endapan besi ini bisa berupa endapan logam yang berdiri sendiri namun seringkali ditemukan berasosiasi dengan mineral logam lainnya. Kadang besi terdapat sebagai kandungan logam tanah (residual), namun jarang yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Endapan besi yang ekonomis umumnya berupa Magnetite, Hematite, Limonite, dan

Siderite. Kadang kala dapat berupa mineral : *Pyrite, Pyrrhotite, Marcasite, dan Chamosite*. Berdasarkan kejadiannya endapan besi dapat di kelompokkan menjadi tiga jenis. Pertama endapan besi primer, terjadi karena proses hidrotermal, kedua endapan besi laterit terbentuk akibat proses pelapukan , dan ketiga endapan pasir besi terbentuk karena proses rombakan dan sedimenasi secara kimia dan fisika. Beberapa jenis genesa dan endapan yang memungkinkan endapan besi bernilai ekonomis antara lain (Jensen dan Batemen, 1981):

1. Magmatik : Magnetit dan Titaniferous Magnetit.
2. Metasomatik kontak : Magnetit dan Specularit.
3. Pergantian / replacement : Magnetit dan Hematit.
4. Sedimenasi I placer : Hematit, Limonit, dan Siderit.
5. Konsentrasi mekanik dan residual : Hematit, Magnetit dan Limonit.
6. Oksidasi : Limonit dan Hematit.
7. Letusan Gunung Api

Mineral-mineral bijih besi, magnetit adalah mineral dengan kandungan Fe paling tinggi, tetapi terdapat dalam jumlah kecil. Sementara hematit merupakan mineral bijih utama yang di butuhkan dalam industri besi. Mineral-mineral pembawa besi dengan nilai ekonomis dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Mineral-mineral bijih besi bernilai ekonomis (Jensen and A. M. Baferman, 1981).

| Mineral | Susunan kimia | Kandungan Fe (%) | Klasifikasi komersil |
|----------|---|------------------|--|
| Magnetit | FeO, Fe ₂ O ₃ | 72,4 | Magnetik atau bijih hitam |
| Hematit | Fe ₂ O ₃ | 70,0 | Bijih merah |
| Limonit | Fe ₂ O ₃ .nH ₂ O | 59-63 | Bijih coklat |
| Siderit | FeCO ₃ | 48,2 | <i>Spathic, black band, clay ironstone</i> |

2.6 Prinsip Dasar Magnetik

Metode ini didasarkan pada pengukuran intensitas medan magnet yang dimiliki batuan. Sifat magnet ini ada karena pengaruh dari medan magnet bumi pada waktu pembentukan batuan tersebut. Kemampuan untuk termagnetisasi tergantung dari suseptibilitas magnetik masing-masing batuan. Benda-benda tersebut dapat berupa gejala struktur bawah permukaan ataupun batuan. Suseptibilitas merupakan derajat termagnetisasinya suatu benda karena pengaruh medan magnetik.). Berdasarkan nilai suseptibilitas dibagi menjadi kelompok-kelompok jenis material dan batuan penyusun litologi bumi, yaitu (Santoso, 2001):

- a. Diamagnetik, yaitu mineral yang mempunyai kerentanan magnet negatif yang artinya orbit elektron pada benda ini selalu berlawanan dengan medan magnet luar, misalnya: batuan Grafit, Marmer dan Kuarsa.
- b. Paramagnetik, yaitu mineral yang memiliki kerentanan magnet positif dan nilai kecil, misalnya batuan beku asam.
- c. Feromagnetik, yaitu mineral yang memiliki nilai kerentanan magnet besar, misalnya berbagai batuan beku basa atau ultra basa

2.7 Mineral Pembawa Bijih Besi

Bijih besi dibagi menjadi beberapa golongan diantaranya golongan oksida, sulfida dan hidroksida. Golongan oksida meliputi hematit dan magnetit sedangkan untuk golongan sulfida seperti pirit, kalkopirit, arsenopirit dan pirotit. Limonit dan goetit termasuk ke dalam golongan hidroksida (Irvan, 2020). Endapan mineral (mineral deposits) merupakan konsentrasi suatu mineral pada kerak bumi, terbentuk secara alami serta pada daerah yang terbatas. Jadi apapun macam mineralnya, dan bagaimana proses terkonsentrasinya, semuanya disebut endapan mineral. Jika 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) (Edwards dan Atkinson 1986, Guilbert dan Park., 1986). Ore atau bijih diartikan sebagai kumpulan batuan mineral yang mengandung logam bernilai ekonomis yang konsentrasinya lebih tinggi daripada konsentrasi rata-rata pada kerak bumi sehingga dapat diambil nilai ekonomisnya. (Evans, 1993). Bijih besi dibagi menjadi beberapa golongan diantaranya golongan oksida, sulfida dan hidroksida. Golongan oksida meliputi hematit dan magnetit sedangkan untuk golongan sulfida seperti pirit, kalkopirit, arsenopirit dan pirotit. Limonit dan goetit termasuk ke dalam golongan hidroksida. Berikut beberapa mineral-mineral pembawa bijih besi (Irvan, 2020):

1. Goetite

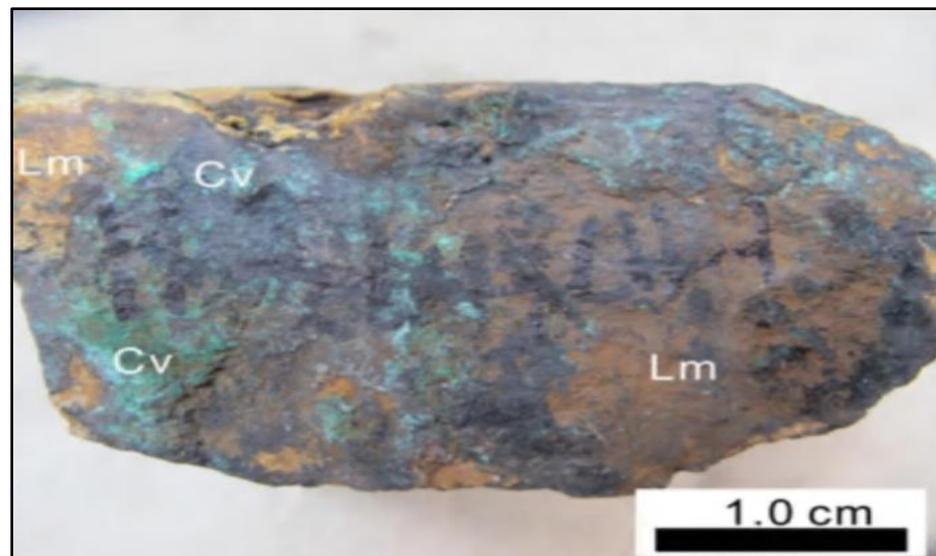
Goetit merupakan mineral hidroksida besi yang memiliki sistem kristal orthorhombik berwarna kuning kecokelatan, massa jenisnya 4,3 dan tingkat kekerasan 5,3. Goetit atau bog iron ore umumnya memiliki kadar Fe sebesar 63% dan sulit untuk diolah secara komersial jika kadar pengotor (Mn) lebih dari 5%. Persebaran goetit terdapat di daerah deposit bagian bawah tanah berlumpur (Mottana, 1977). Gambar 2.3 memperlihatkan mineral Goetit.



Gambar 2.3 Mineral goetit (Zhou et al, 2017).

2. Limotit

Limonit atau bijih besi lumpur (*big iron ore*) dengan rumus kimia $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ merupakan kumpulan mineral yang dihasilkan dari proses oksidasi dan hidrasi mineral besi primer. Limonit ini dapat berupa stalaktit yang berwarna coklat karst (gossan) dengan goresan coklat kekuningan. Di permukaan tanah limonit berupa lapisan kuning coklat atau topi besi (*iron hat*) yang menutupi lapisan bijih sulfida. Dalam limonit ditemukan pada urat-urat bijih besi yang mengandung besi primer. Di alam limonit juga berperan sebagai semen alami yang mengikat batuan sedimen (pasir) di batuan konglomerat. Pada lingkungan air seperti rawa-rawa dan tanah berlumpur, limonit terbentuk melalui proses penguapan pada mineral bijih yang dibantu bakteri-bakteri (Mottana, 1977). Gambar 2.4 menunjukkan mineral limonit (Lm) yang berasosiasi dengan covelit (Cv).

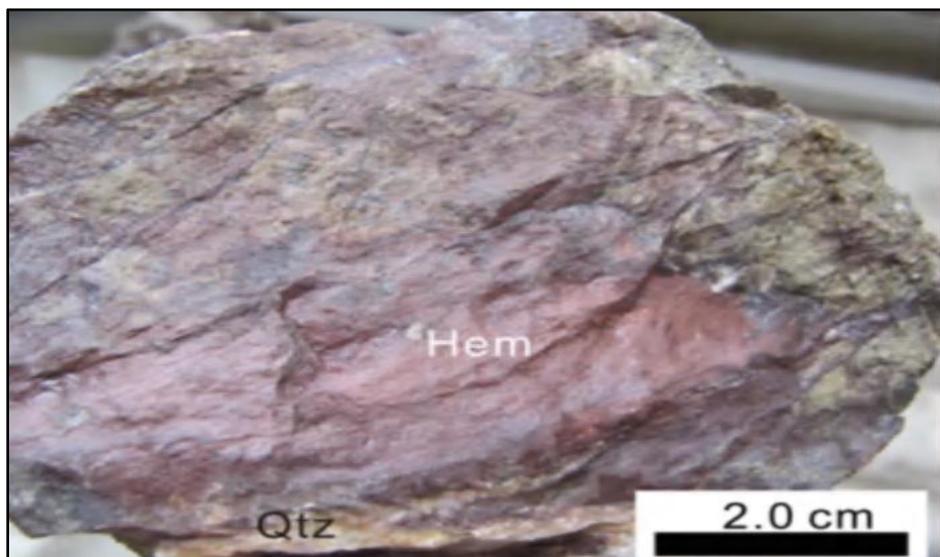


Gambar 2.4 Mineral limonit (Lm) berasosiasi dengan covelit (Cv)
(Zhou et. al, 2017).

3. Hematit

Hematit merupakan mineral besi golongan oksida dengan rumus kimia Fe_2O_3 . Hematit biasanya berbentuk tipis dan pipih. Mineral ini memiliki permukaan yang dapat berubah warna jika sinar datang dari berbagai arah (*iridescent*).

Hematite merupakan mineral besi golongan oksida dengan rumus kimia Fe_2O_3 . Hematit biasanya berbentuk tipis dan pipih. Mineral ini memiliki permukaan yang dapat berubah warna jika sinar datang dari berbagai arah (*iridescent*). Hematit berwarna kemerahan atau merah tua, abuabu gelap dan hitam. Mineral ini memiliki tingkat kekerasan 5,5 – 6,5 dan massa jenisnya 4,2 – 5,25. Hematit memiliki sistem kristal rhombohedral formasi raksasa (*massive formation*) berbentuk kelopak mawar (*iron rose*). Seringkali warna batuan dari mineralnya merah atau coklat kemerahan, bersifat opaque dengan kilap metalik. Hematit memiliki goresan merah ceri gelap yang mudah untuk dibedakan antara hematit, magnetit dan ilmenit. Hematit akan larut jika mineral ini dipanaskan dengan asam hidroklorik. Mineral ini terbentuk dari proses oksidasi yang banyak ditemukan pada batuan beku. Daerah deposit terbesar terdapat di danau Superior (USA), Quebec (Kanada), Venezuela, Brasil dan Angola. Hematit merupakan mineral utama pembawa logam besi (Mottana, 1977). Gambar 2.5 memperlihatkan mineral hematit (Hem) yang berasosiasi dengan kuarsa (Qtz)

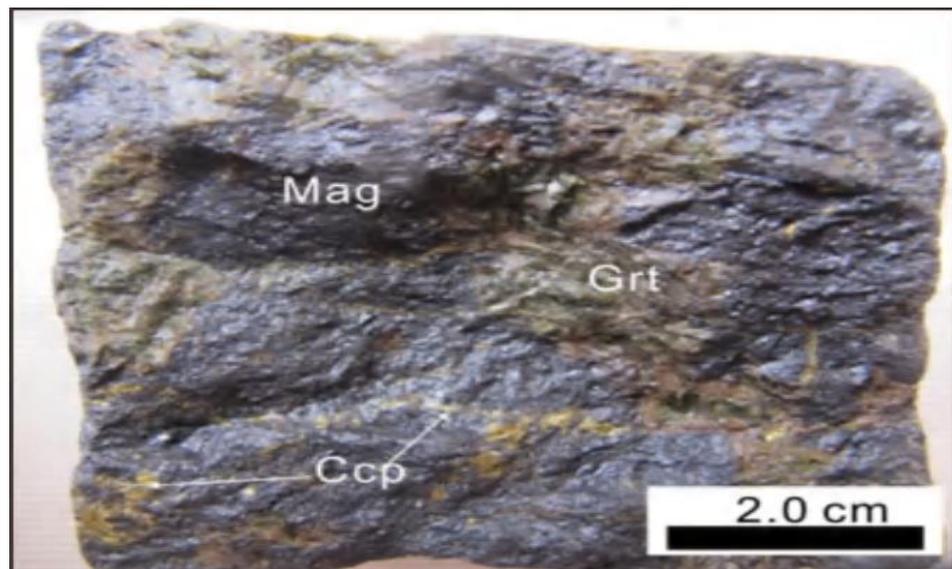


Gambar 2.5 Mineral hematit (Hem) yang berasosiasi dengan kuarsa (Qtz)

(Zhou et al, 2017).

4. Magnetit

Magnetit (magnet alam) berwarna hitam dan tidak tembus cahaya dengan rumus kimia Fe_3O_4 . Mineral ini memiliki susunan kristal sistem isometrik berupa oktahedron dan dodecahedron. Selain itu, mineral ini memiliki massa jenis 5,18 dan tingkat kekerasan 5,5 – 6,5. Mineral ini memiliki sifat fisik berupa kilap logam, ferromagnetik dan goresan berwarna hitam. Magnetit akan larut perlahan dengan asam hidroklorik. Magnetit juga mengandung titanium atau chromium. Daerah deposit magnetit yaitu berada di Norwegia, Romania, Rusia dan Afrika Selatan (Mottana, 1977). Gambar 2.6 memperlihatkan mineral magnetik (Mag) yang berasosiasi dengan garnet (Grt) dan kalkopirit (Ccp).



Gambar 2.6 Mineral magnetit (Mag) berasosiasi dengan garnet (Grt) dan kalkopirit (Ccp) (Zhou *et. al*, 2017).

5. Ilmenit

Ilmenit merupakan mineral golongan oksida dengan rumus kimia FeTiO_3 . Mineral ini memiliki sistem kristal heksagonal dan tingkat kekerasan 5 – 6. Mineral ini juga tidak tembus cahaya dan memiliki kilap sublogam. Mineral ini berwarna hitam atau coklat gelap dengan goresan berwarna hitam sampai coklat kemerahan. Ilmenit akan larut berbentuk bubuk jika terkonsentrasi

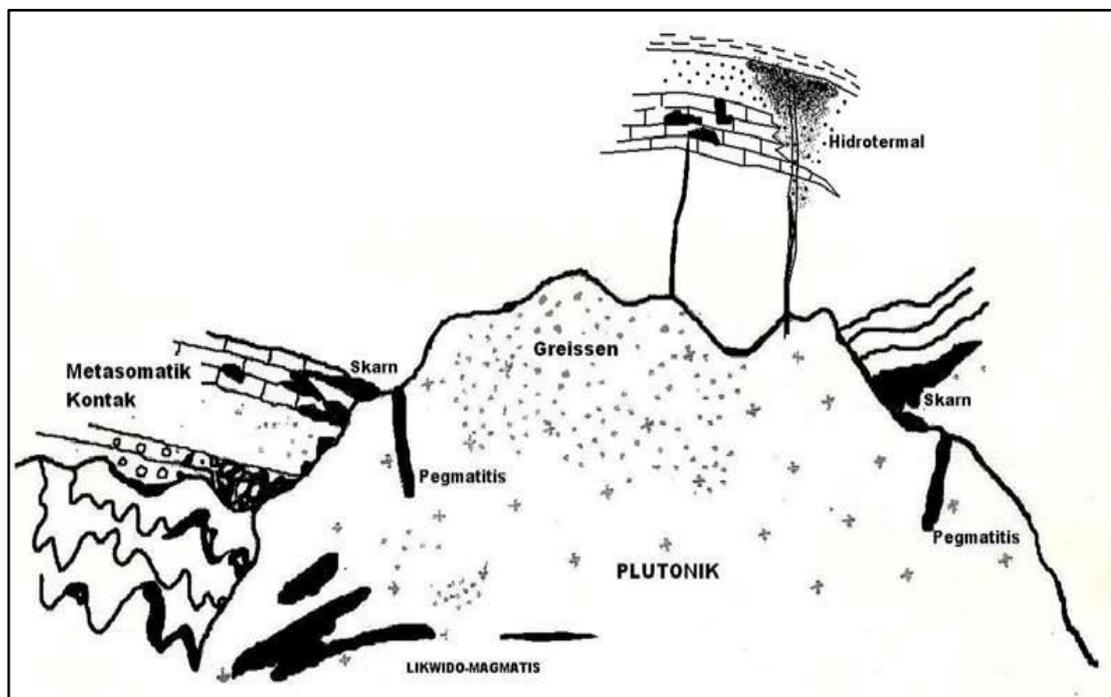
dengan asam hidroklorik. Jika dipanaskan mineral ini cenderung bersifat magnetik atau kurang magnetik dalam kondisi dingin. Karakteristik fisik bervariasi tergantung dengan jumlah magnesium dalam solid solution. Ilmenit membentuk solid solution dengan geikelite $MgTiO_3$. Pada lingkungan batuan plutonik ilmenit terbentuk sebagai produk segregasi temperatur tinggi yang juga terjadi di daerah pegmatites dan nepheline syenites. Daerah konsentrasi terbesar ilmenit terletak pada pasir terutama pada pasir laut atau batuan metamorphik seperti pada klorit. Kristal ilmenit besar ditemukan di daerah diorit Kragero (Norwegia) sementara kristal berukuran kecil bersinar dan berbentuk menarik ditemukan di Novara (Italia) dan kawasan St. Gotthard (Swiss). Kristal ilmenit berukuran 2,5 cm ditemukan di kota Orange dan Warwick (New York). Deposit terbesar di Norwegia, India, Brasil, Kanada, Florida dan Rusia. Ilmenit merupakan bijih utama dari titanium (Mottana, 1977).

2.8 Genesa dan Endapan Bijih Besi

Endapan bijih besi dapat terbentuk secara primer maupun sekunder. Pembentukan endapan bijih besi primer dapat terbentuk oleh proses magmatik, metasomatik kontak, dan hidrotermal. Sedangkan endapan bijih besi sekunder terbentuk oleh sedimenter, residual, dan oksidasi (Jensen and Batemen, 1981). Pembentukan bijih besi primer oleh proses magmatik dengan cara *gravity settling* dalam batuan ultrabasa, kemudian diikuti dengan proses metasomatik yang diakhiri oleh proses hidrotermal akibat terobosan batuan beku granitis (Pardiarto dan Widodo, 2007).

Endapan bijih besi magmatik terbentuk dari magma mafik-ultramafik karena proses kristalisasi pada temperatur tinggi dengan cara *gravity settling* dan secara langsung berhubungan dengan evolusi magma induk (Mondal, 2008). Mineral mineral berat yang mengandung kalsium, magnesium dan besi, cenderung memperkaya reservoir

magma yang terletak di bagian bawah reservoir dengan unsur-unsur tersebut Proses ini menghasilkan tubuh bijih besi masif dan disiminasi, bentuk lensa memanjang (*podform*), lensa, tumpukan lapisan dalam batuan induk. Lapisan paling bawah diperkaya dengan mineral-mineral yang lebih berat seperti mineral-mineral bijih kromit, platina, dan besi-titan, dan lapisan di atasnya diperkaya dengan mineral-mineral silikat yang lebih ringan (Gross, 1998). Gambar 2.7 memperlihatkan Hubungan diferensiasi magma dengan endapan mineral logam.



Gambar 2.7 Hubungan diferensiasi magma dengan endapan mineral logam(Batemen, 1951 dalam Sudradjat, 1987)

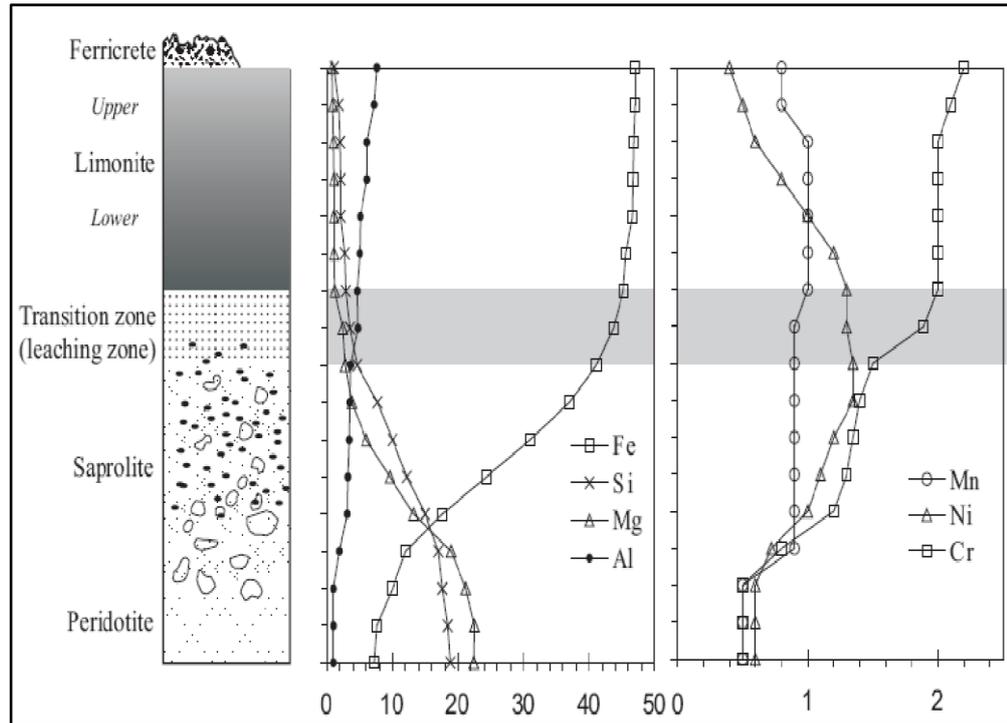
Proses metasomatik kontak terjadi pada tekanan dan suhu yang sangat tinggi terutama pada kontak terobosannya antara magma yang masih cair dengan batuan di sekitarnya (*country rocks*). Suhu di daerah kontak akan berkisar 500 - 1.100°C. Akibat dari kontak ini, pengaruh temperatur tanpa adanya perubahan kimia pada batuan sekitarnya akan terbentuk batuan metamorf, sedangkan jika terjadi perubahan kimia oleh pertukaran dan penambahan ion akan terbentuk endapan metasomatik Mineral

logam hasil kontak metasomatik sangat bervariasi seperti magnetit dan hematit, serta mineral aditifnya yaitu spinel, wolframit, kasiterit, arsenopirit, pirit, sfalerit, kalkopirit dan galena (Jensen and Batemen, 1981).

Proses hidrotermal merupakan produk akhir dari proses diferensiasi magmatik, dimana larutan hidrotermal ini banyak mengandung logam-logam yang relatif ringan. Larutan ini makin jauh dari sumber magma, akan makin kehilangan temperaturnya sehingga dikenal endapan Hipotermal (300°C - 500°) Mesotermal (150°C - 350°C), dan Epitermal (100°C - 200°C). Berdasarkan bentuk endapannya dikenal 2 jenis endapan hidrotermal yaitu *cavity filling* dan *metasomatic replacement* (Jensen and Batemen, 1981). Endapan bijih besi sekunder terjadi karena proses pelapukan, transportasi dan sedimentasi. Terbentuknya endapan ini dipengaruhi empat faktor yaitu komposisi dan struktur batuan sumber, keadaan topografi, temperatur dan iklim, medium transportasi dan waktu/lamanya proses (Jensen and Batemen, 1981).

Endapan laterit merupakan jenis endapan residu yang dihasilkan oleh proses pelapukan yang terjadi pada batuan ultramafik-mafik dengan melibatkan dekomposisi, pengendapan kembali dan akumulasi secara kimiawi. Proses pelapukan batuan ultramafik-mafik berjalan secara intensif karena pengaruh faktor-faktor kemiringan lereng yang relatif kecil, air tanah dan cuaca, sehingga menghasilkan tanah laterit yang masih mengandung bongkahan bijih besi hematit dan goetit berukuran kerikil – kerakal (Pardiarto dan Widodo, 2007). Gambar 2.8 Variasi komposisi kimia setiap zona horison endapan laterit.

Profil endapan laterit dari bawah ke atas terdiri atas 4 zona horison utama, yaitu *serpentinized peridotite*, *saprolite*, *limonite* dan *ferricrete (iron cap)*. Horison paling bawah sebagai tahap awal pelapukan, mewakili batuan ultramafik yang telah mengalami serpentinisasi. Zona saprolit ditandai oleh proses reduksi, dimana batas antara kedua zona tersebut tidak teratur.



Gambar 2.8 Variasi komposisi kimia setiap zona horison endapan laterit (Rodriguez et al., 2003 in Lewis et al., 2006)

Zona limonit ditentukan oleh komposisi dominan mineral gutit dan hematit. Seluruh zona dilindungi dari erosi oleh zona *iron cap*. (Rodrigues, 2003).

Pembentukan genetik endapan primer mineral besi selalu berkaitan dengan proses endogen yaitu magmatik, pirometasomatik, dan hidrotermal, sedangkan endapan sekunder mineral besi berkaitan dengan proses eksogen yaitu sedimentasi, diagenesis dan pelapukan. Mineralisasi endapan mineral besi oleh proses hidrotermal dapat terbentuk berupa pods, lenses dan urat-urat (*veins*), dicirikan dengan dominan hadirnya mineral magnetit, dan hematit, serta sedikit pirit dan kalkopirit, yang menempati batuan vulkanik dan batuan beku terbreksikan. Empat klasifikasi endapan bijih besi berdasarkan proses pembentukan yaitu (Brobst, 1973):

1. *Bedded Sedimentary Deposits*.

Konsentrasi besi di kerak bumi dihasilkan oleh sedimentasi kimiawi yang secara kimia dan mineralogi akan mengalami perubahan akibat gaya-gaya yang terjadi

pada saat pengendapannya (proses diagenesa) dan juga mengalami perubahan secara mineralogi akibat induksi panas dan tekanan lingkungan pengendapan.

- a) *Banded iron-formation*, pada *precambrian*.
- b) *Ironstone*, pada *post precambrian*.
- c) Endapan sedimen lainnya seperti "*black band*" siderite, yaitu endapan siderit yang terbentuk sebagai lapisan tipis pada bagian lapisan batubara; *bog iron*, yaitu akumulasi besi oksida yang terbentuk di rawa atau danau dangkal.

2. Endapan yang berhubungan langsung dengan aktivitas pembekuan.

Konsentrasi besi yang terjadi selama proses pembentukan batuan beku terjadi dalam beberapa cara yaitu sebagai unsur pokok pada saat pembentukan mineral seperti Ilmenit yang terendapkan pada dasar ruang magma, sebagai tahap akhir dari fraksi magmatik yang terendapkan setelah semua mineral mengkristal, dan sebagai unsur fluida yang bergerak keluar ruang magma.

3. Endapan yang terbentuk oleh proses hidrotermal.

Endapan yang terbentuk oleh proses hidrotermal dapat terbagi menjadi dua yaitu endapan yang bersumber dari tempat yang jauh yang kemudian tertransportasi dan terendapkan pada batuan nonferruginous sedangkan yang kedua yaitu endapan besi yang mengalami pengayaan relatif sehingga kadar besi menjadi meningkat.

4. Endapan yang terbentuk oleh proses pengayaan di permukaan maupun dekat permukaan.

Terdapat dua jenis endapan ini yaitu laterit dan *residual enrichment*. Endapan besi laterit umumnya berasal dari batuan ultrabasa serpentin yang dapat terbentuk hingga kedalaman beberapa meter. Umumnya mineral yang hadir adalah limonit (gutit) dengan kadar Fe 40-50%.