



DISERTASI

MODEL GENETIK BIJIH BESI DAERAH TANJUNG KABUPATEN BONE SULAWESI SELATAN

*The Genetic Model of Iron Ore Tanjung Area Bone Regency
South Sulawesi*

HASBI BAKRI
D033192002



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



PENGAJUAN DISERTASI

MODEL GENETIK BIJIH BESI DAERAH TANJUNG KABUPATEN BONE SULAWESI SELATAN

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Teknologi Kebumihan Dan Lingkungan

Disusun dan diajukan oleh

HASBI BAKRI
D033192002

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

DISERTASI**MODEL GENETIK BIJIH BESI DAERAH TANJUNG
KABUPATEN BONE SULAWESI SELATAN****HASBI BAKRI**
D033192002

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Doktor Teknologi Kebumian dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Pebruari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui,

Promotor

Prof. Dr. rer.nat. Ir. A.M. Imran
NIP. 196306051989031 005

Co. Promotor,

Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, ST, M. Phil
NIP. 19800428 200501 1 001

Co. Promotor,

Dr. Ulva Ria Irfan, ST., M.T
NIP. 19700606 199412 2 001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Muhammad Isran Ramli,
ASEAN Eng.
00012 1 002

Ketua Program Studi Doktor
Teknologi Kebumian dan Lingkungan

Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T
NIP. 19700606 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Hasbi Bakri
Nomor mahasiswa : D033192002
Program studi : Teknologi Kebumian dan Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “**Model Genetik Bijih Besi Daerah Tanjung Kabupaten Bone Sulawesi Selatan**” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. rer.nat. Ir. A.M. Imran (promotor), Prof Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, ST, M. Pil co-promotor-1 dan Dr. Ulva Ria Irfan, ST., MT co-promotor-2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (GIESED 2023 1134 (2023) 012034, doi:10.1088/1755-1315/1134/1/012034), sebagai artikel dengan judul *Mineralogy and Texture of the iron ore deposits in Tanjung and Pake, Bontocani, South Sulawesi, Indonesia* dan *accepted Journal* (Iraqi Geological Journal (IGJ), Vol.57, No.1C, Year 2024.) dengan judul *Petrology and Geochemistry of Intrusive Rocks in the Tanjung Area, South Sulawesi, Indonesia: Implications for Magma Origin, Source Materials, and Geodynamic Settings*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 13 Maret 2024

Yang menyatakan



Hasbi Bakri





KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmatnya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Model genetik pada endapan bijih besi Daerah Tanjung penting untuk dibuat mengingat dalam rencana kegiatan eksplorasi membutuhkan sebuah kajian ilmiah terkait bentuk endapan yang akan dieksplorasi. Arah, luasan dan target eksplorasi berdasarkan model genetik adalah acuan dalam perencanaan eksplorasi.

Bukan hal yang mudah untuk mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan disertasi, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. rer.nat. A.M. Imran Umar sebagai promotor, Prof. Dr.Eng. Ir. Adi Maulana., S.T., M. Phil, sebagai co-promotor 1, dan Dr. Ulva Ria Irfan., S.T., M.T., sebagai co-promotor 2.
2. Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M.T., Dr. Ir. M. Fauzi Arifin, M. Si dan Dr. Sultan, S.T., M.T, sebagai komisi tim penguji.
3. Bapak Dr. Ir. Sutaro., M.T sebagai penguin External
4. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi peneliti menempuh Program Doktor Teknologi Kebumian dan Lingkungan (TKL), serta para Bapak dan Ibu Dosen serta rekan-rekan dalam tim penelitian
5. Pemerintah Kabupaten Bone, Camat Bontocani serta seluruh masyarakat Tanjung dan sekitarnya atas kesediaanya menerima kami dalam penelitian ini
6. Kepada Rektor Universitas Muslim Indonesia atas izin yang diberikan untuk studi lanjut di Universitas Hasanuddin
7. Kepada Prof. Dr. H. Zakir Sabara HW., ST., MT., IPM., ASEAN Eng, APEC Eng. Dekan Fakultas Teknologi Industri UMI Periode 2018-2022 atas izin, motivasi dan bantuannya sehingga dapat melanjutkan studi Pendidikan Doktor Teknologi Kebumian dan Lingkungan (TKL) UNHAS
8. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Lamatinulu., ST., MT., IPM., ASEAN Eng. Dekan Fakultas Teknologi Industri serta seluruh jajaran pimpinan FTI, atas bantuannya
9. Kepada Ketua, Sekretaris dan seluruh Dosen, dan Staf Program Studi Teknik Pertambangan FTI UMI
10. Kepada Andi Cakra Aspa Putra, Yan Sanjaya, Sovianto, Asramadan dan Tumming atas segala bantuannya selama penelitian di lapangan
11. Kepada Mertua Drs. Syamsul Bahri dan Andi Kartini Rachim
12. Kepada saudaraku yang telah mendahului *Allahu yarham*: Haidir Bakri, Hasbullah Bakri, Hasmila Bakri dan Husair Bakri



13. Kakak Ipar Gazali Amrah. Allahu yarham dan kakak sulung Hudaya Bakri semoga karya ini kelak menjadi amal jariah.
14. Kepada seluruh saudaraku tercinta, terima kasih yang terhingga atas segala motivasi dan doanya.

Akhirnya kepada kedua orang tua tercinta saya Muhammad Bakri Ramli dan Kasmayati Daeng Te'ne (Allahu yarham), semoga Allah merahmati dan mengampuni segala dosanya dan menempatkannya dalam surganya. Kepada seluruh saudaraku yang telah memberikan motivasi dan bantuannya baik moril maupun materil sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Kepada Istri tercinta Santih Anggereni, S. Si., M. Pd dan anak-anakku Muhammad Fatih Hasbi, Faiza Aziza Hasbi dan Faiha Zalfa Hasbi atas segala kesebaran dan kesetiaan kalian. Semoga penelitian ini menjadi amal jariah dikemudian hari.

Penulis

Hasbi Bakri



ABSTRAK

HASBI BAKRI. Model Genetik Bijih Besi Daerah Tanjung Kabupaten Bone Sulawesi Selatan (dibimbing oleh: **A. M. Imran, Adi Maulana, Ulva Ria Irfan**)

Daerah Tanjung terletak di Kecamatan Bontocani Kabupaten Bone Sulawesi Selatan, yang didominasi batuan vulkanik, plutonik dan piroklastik. Penelitian oleh peneliti sebelumnya didasarkan pada data geokimia batuan dan belum memuat hasil penelitian yang intensif khususnya keberadaan bijih besi. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model genetik bijih besi berdasarkan data terbaru sebagai bagian dari sejarah geologi yang berkembang. Studi tentang mineralogi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis sayatan tipis dan sayatan poles, SEM-EDS, XRD, dan ICP-MS-EOS. Komposisi kimia diidentifikasi dengan menggunakan XRF. Batuan plutonik didominasi oleh granodiorit, granit, monzonit, dan monzonit kuarsa. Batuan vulkanik terdiri dari basal porfiri, basal amigdaloidal, trakit, dan trachy-andesit, dengan afinitas kalk alkali hingga sositik. Alterasi yang berkembang pada daerah penelitian yakni alterasi skarn, berupa (a) alterasi tahap *prograde* (garnet-klinopiroksin±wollastonit±biotit), (b) alterasi *retrograde* tahap awal (alterasi kuarsa-felspar±epidot±biotit±amfibol±serisit, (c) alterasi *retrograde* akhir berupa alterasi kuarsa-klorit-illit-kalsit dan alterasi tahap akhir dan *supergen*. Kadar rata-rata Fe sebesar 63,14 %. Mineral bijih Fe yang ditemukan berupa magnetit, hematit, goetit, siderit, *chamosite*, *alabandite*, dan *franklinite*, bijih Mn (pirolusit dan *rhodokrosite*), bijih Cu (kalkopirit, kovelit, azurit), pirit, arsenopirit, galena. Mineral *gangue* yang terdiri dari kalsit, kuarsa, albit, diopsid, *hedenbergite*, *andradite*, klorit, serisit, kristobalit, dan magnesit. Tekstur mineral bijih berupa pengisian ruang terbuka (*open space filling*), penggantian (*replacement*), *intergrowth* dan granular. Berdasarkan karakteristik alterasi, mineralisasi dan geokimia, tipe endapan yang berkembang adalah Skarn Fe. Cebakan bijih besi dan asosiasi mineral lain secara genetik terbentuk melalui tahapan; (a) tahap pertama/*initial isochemical*, rekristalisasi dari *wall rock* akibat adanya intrusi basal pada batuan granodiorit; (b) tahap *prograde*, adanya infiltrasi antara fluida hidrotermal-metamorfik mengakibatkan terubahnya mineral yang sebelumnya sudah terbentuk pada tahapan pertama menjadi skarn; (c) tahap alterasi *retrograde*, merupakan perusakan yang diikuti oleh pendinginan batuan basal dan menyebabkan terjadinya alterasi *hydrous* akibat air meteorik; (d) tahap alterasi *retrograde* akhir dan *supergene*, proses ini yang akan menghasilkan mineral-mineral oksida hasil ubahan sulfida atau mineral oksida sebelumnya pada lingkungan dangkal.

Kata Kunci: Geokimia, alterasi-mineralisasi, Bijih besi, Skarn Fe, model genetik, Tanjung



ABSTRACT

HASBI BAKRI. *The Genetic Model of Iron Ore in Tanjung Area, Bone Regency, South Sulawesi (supervised by A. M. Imran, Adi Maulana, Ulva Ria Irfan)*

Tanjung area is located in Bontocani District, Bone Regency, South Sulawesi, which is dominated by volcanic, plutonic, and pyroclastic rocks. The Research by previous researchers was based on geochemical data of rocks and did not contain the results of intensive research, especially the presence of iron ore. This research aims to compile iron ore based on recent data as part of an evolving geological history. The study of mineralogy in this study was carried out using thin section analysis and polished section, scanning electron microscope with an SEM-EDS, XRD, and ICP-MS-EOS. The chemical composition is identified using an XRF. The composition of plutonic rocks is dominated by granodiorite, granite, monzonite, and quartz monzonite, while volcanic rocks consist of porphyry basalt, amygdaloidal basalt, trachyte, and trachy-andesite, the affinity magma calc-alkaline until shoshonitic. The alteration that develops in the research area is skarn alteration, in the form of (a) prograde alteration stage (garnet-clinopyroxene±wollastonite±biotite), (b) early retrograde alteration stage (quartz-Felspar alteration epidote ±biotite±amphibole±sericite), (c) late retrograde alteration and supergene (oxidation, in the form of quartz-chlorite-calcite alteration and). The average Fe content was 63.14%. The ore minerals Fe found in the form of magnetite, hematite, and goethite, Mn ore (pyrolusite and rhodochrosite), Cu ore (chalcopyrite, covellite, azurite), pyrite, arsenopyrite, galena. Gangue minerals consist of calcite, quartz, albite, diopside, hedenbergite, andradite, chlorite, sericite, cristobalite, and magnesite. Ore mineral texture in the form of open space filling, replacement, intergrowth, and granular. Based on alteration, mineralization, and geochemical characteristics, the type of deposit that developed was Skarn Fe. Iron ore deposits and other mineral associations are genetically formed through stages; (a) Initial isochemical stage, the recrystallization of wall rocks due to intrusion basalt in granodiorite rocks; (b) prograde stage, the infiltration between hydrothermal-metamorphic fluids results in the conversion of those previously formed in the first stage into skarn; (c) initial retrograde alteration stage, is destruction followed by cooling of basalt rocks and causing hydrous alteration due to meteoric water; (d) late retrograde alteration and supergene stage, this process will produce oxide minerals modified by sulfide or previous oxide minerals in a shallow environment.

Keywords: Geochemistry, alteration-mineralization, Iron ore, Skarn, genetic model, Tanjung



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| PENGAJUAN DISERTASI | ii |
| PERSETUJUAN DISERTASI | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 2 |
| 1.6 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| BAB II KERANGKA KONSEPTUAL, HIPOTESIS, METODOLOGI PENELITIAN DAN SISTEMATIKA PENULISAN | 4 |
| 2.1 Kerangka Konseptual | 4 |
| 2.2 Hipotesis | 10 |
| 2.2.1 <i>State of the Art</i> | 10 |
| 2.2.2 Kebaruan Penelitian | 12 |
| 2.3 Metodologi Penelitian | 13 |
| 2.3.1 Obyek Penelitian | 13 |
| 2.3.2 Peralatan | 13 |
| 2.3.3 Tahap Penelitian | 13 |
| 2.3.3.1 Tahap Analisis Data | 16 |
| 2.3.3.2 Tahap Penyusunan Disertasi | 21 |
| 2.3.4 Diagram Alir Penelitian | 21 |
| 2.4 Sistematika Penulisan | 22 |
| BAB III GEOLOGI, GEOKIMIA BATUAN DAN IMPLIKASI TERHADAP SUMBER MAGMA, TATANAN TEKTONIK DAN ASAL MATERIAL ENDAPAN | 24 |
| 3.1 Abstrak | 24 |
| 3.2 Pendahuluan | 24 |
| 3.3 Geologi Regional | 25 |
| 3.4 Metode Penelitian | 32 |
| 3.5 Hasil dan Penelitian | 32 |



| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 3.5.1 | Geologi Daerah Tanjung | 32 |
| 3.5.2 | Batuan Plutonik | 40 |
| 3.5.3 | Batuan Vulkanik | 49 |
| 3.5.4 | <i>Crystal Vitric Tuff</i> | 58 |
| 3.5.5 | Kristalisasi dan Fraksinasi | 60 |
| 3.5.6 | Geokimia Asal Magma | 60 |
| 3.5.7 | Tatanan Tektonik | 65 |
| 3.5.8 | Asal Material | 68 |
| 3.6 | Kesimpulan | 69 |
| | Daftar Pustaka | 69 |

BAB IV ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH BESI

| | | |
|-----------------------------|--|----|
| DAERAH TANJUNG | 73 | |
| 4.1 | Abstrak | 73 |
| 4.2 | Pendahuluan | 73 |
| 4.3 | Geologi Umum | 74 |
| 4.4 | Metode Penelitian | 75 |
| 4.5 | Hasil dan Pembahasan | 75 |
| 4.5.1 | Alterasi garnet-klinopiroksin±wollastonit±biotit | 78 |
| 4.5.2 | Alterasi kuarsa-felsfar±biotit±epidot±amfibol±serisit .. | 80 |
| 4.5.3 | Alterasi kuarsa-klorit-kalsit ±illit | 85 |
| 4.5.4 | Alterasi kalsit-kristobalit+kaolin+smektit | 87 |
| 4.6 | Kesimpulan | 89 |
| | Daftar Pustaka | 90 |

BAB V MINERALOGI, TEKSTUR DAN KARATERISTIK BIJIH BESI DAERAH TANJUNG

| | | |
|-----------|------------------------------------|-----|
| 93 | | |
| 5.1 | Abstrak | 93 |
| 5.2 | Pendahuluan | 93 |
| 5.3 | Geologi Umum | 94 |
| 5.4 | Metode Penelitian | 95 |
| 5.5 | Hasil dan Pembahasan | 95 |
| 5.5.1 | Singkapan Bijih Besi | 95 |
| 5.5.2 | Mineralogi | 97 |
| 5.5.3 | Tekstur Bijih Besi | 105 |
| 5.5.4 | Mineralisasi <i>Skarn-Fe</i> | 107 |
| 5.5.5 | Paragenesis Mineral | 113 |
| 5.5.6 | Kadar Bijih | 115 |
| 5.6 | Kesimpulan | 115 |
| | Daftar Pustaka | 116 |

BAB VI MODEL GENETIK DAN IMPLIKASI EKSPLORASI BIJIH BESI DAERAH TANJUNG

| | | |
|------------|---|-----|
| 118 | | |
| 6.1 | Pendahuluan | 118 |
| 6.2 | Model Genetik | 118 |
| 6.3 | Kontrol Geologi Terhadap Pembentukan Bijih Besi | 123 |
| 6.4 | Implikasi Eksplorasi Endapan | 123 |



| | |
|------------------------------|------------|
| Daftar Pustaka | 124 |
| BAB VII PENUTUP | 126 |
| 7.1 Kesimpulan | 126 |
| 7.2 Rekomendasi | 126 |
| DAFTAR PUSTAKA | 127 |
| LAMPIRAN | 129 |



DAFTAR TABEL

| Nomor | | Halaman |
|------------------|---|---------|
| Tabel 2.1 | Penggunaan sub-tipe model endapan (dimodifikasi dari Cox dan Singer, 1986) | 7 |
| Tabel 3.1 | Hasil analisis XRF batuan plutonik | 46 |
| Tabel 3.2 | Sebaran unsur jejak pada batuan plutonik daerah Tanjung | 47 |
| Tabel 3.3 | Sebaran REE pada batuan plutonik daerah Tanjung | 48 |
| Tabel 3.4 | Hasil analisis XRF batuan vulkanik | 52 |
| Tabel 3.5 | Sebaran unsur jejak pada batuan vulkanik daerah Tanjung | 52 |
| Tabel 3.6 | Sebaran REE pada batuan vulkanik Tanjung | 53 |
| Tabel 3.7 | Litologi, kumpulan mineral, afinitas, dan pengaturan geodinamik di daerah Tanjung dan beberapa penelitian sebelumnya | 67 |
| Tabel 4.1 | Kelompok dan jenis mineral sekunder yang berkembang berdasarkan analisis petrografi dan XRD | 77 |
| Tabel 4.2 | Jenis mineral pada alterasi alterasi garnet-klinopiroksin±wollastonit±Biotit pada setiap atuan berdasarkan analisis petrografi, XRD | 80 |
| Tabel 4.3 | Kisaran suhu pembentukan alterasi garnet-klinopiroksin±wollastonit±biotit | 80 |
| Tabel 4.4 | Jenis mineral kuarsa, felsfar, epidot, amfibol, biotit, serisit pada <i>retrograde</i> awal pada setiap batuan | 84 |
| Tabel 4.5 | Kisaran suhu pembentukan alterasi kuarsa, felsfar, epidot, amfibol, biotit, serisit | 84 |
| Tabel 4.6 | Kisaran suhu pembentukan alterasi kuarsa-klorit-kalsit ±illit | 87 |
| Tabel 4.7 | Kisaran suhu pembentukan alterasi kalsit-kristobalit±tridimit±kaolin | 89 |
| Tabel 5.1 | Mineral pembawa bijih besi berdasarkan analisis mineragrafi dan XRD | 105 |
| Tabel 5.2 | Mineral pengotor pada sampel bijih besi berdasarkan analisis mineragrafi dan XRD | 105 |
| Tabel 5.3 | Kandungan bijih oksida, sulfida beberapa mineral bijih lain berdasarkan analisis mineragrafi dan XRD | 108 |
| Tabel 5.4 | Deskripsi persentase massa, persentase atom, dan persentase mol masing-masing unsur (HTJ.01) | 110 |
| Tabel 5.5 | Deskripsi persentase massa, persentase atom, dan persentase mol masing-masing unsur HTJ.02 | 111 |
| Tabel 5.6 | Paragenesis mineral bijih dan <i>gangue</i> daerah Tanjung | 114 |
| Tabel 6.1 | Rangkuman Karakteristik endapan bijih besi Tanjung | 121 |



DAFTAR GAMBAR

| Nomor | | Halaman |
|-------------------|---|---------|
| Gambar 2.1 | Bagan alir evolusi model endapan | 6 |
| Gambar 2.2 | Kerangka konseptual penelitian | 9 |
| Gambar 2.3 | Pengambilan sampel bijih besi (a) dan batuan (b) | 14 |
| Gambar 2.4 | Kegiatan pengamatan (a) vein kuarsa, (b) pengamatan singkapan batuan dan struktur geologi batuan, dan (c) pengamatan singkapan bijih di lapangan. | 14 |
| Gambar 2.5 | Kegiatan preparasi sampel sayatan tipis untuk pengamatan petrografi (a), dan pengamatan petrografi sayatan tipis dan sayatan poles (b) | 14 |
| Gambar 2.6 | Foto penyiapan sampel, proses pengayakan, Penggerusan sampel batuan untuk analisis petrografi dan Mineragrafi XRD, proses memasukkan sampel kedalam alat XRD | 15 |
| Gambar 2.7 | XRF <i>beam</i> | 21 |
| Gambar 2.8 | Diagram alir jenis kegiatan lapangan, laboratorium dan pembuatan laporan disertasi | 22 |
| Gambar 3.1 | Peta geologi Daerah Biru. (a) Kotak lokasi Sulawesi Selatan, (b) peta lokasi sampling batuan wilayah Tanjung, dan kuning biru Daerah Tanjung. | 29 |
| Gambar 3.2 | (a) Batas lempeng dan zona subduksi wilayah timur Indonesia (Van Leeuwen, 1981) dan (Wilson dan Bosence, 2015). (b) Peta geologi regional dan lokasi sampel dari Sulawesi Selatan. Geologi regional modifikasi dari (Elburg dan Foden, 1999). | 30 |
| Gambar 3.3 | Kolom stratigrafi daerah penelitian dan kesebandingan dengan peneliti terdahulu (van Leeuwen, 1981; Sukanto & Supriatna, 1982; Elburg et al, 2002) | 31 |
| Gambar 3.4 | Foto bentangalam perbukitan daerah Tanjung | 33 |
| Gambar 3.5 | Foto singkapan granodiorit pada stasiun TJ-02 (a), granit TJ-16 (b), monzonit kuarsa stasiun Tj-72 (c), dan (d) monzonit stasiun Tj-86 | 35 |
| Gambar 3.6 | Kenampakan singkapan batuan vulkanik Tanjung sebagian besar batuan telah terubah: (a) Basal (Tj-01), (b) basal porfiri, (c) Andesit (Tj-5), (d) Trakit (Tj-88). | 37 |
| Gambar 3.7 | Foto singkapan <i>crystal vitric tuff</i> pada stasiun (Tj-56) | 38 |
| Gambar 3.8 | Foto gejala struktur geologi di lapangan berupa kekar gerus (a, b), cermin sesar © dan (d) hancuran | 38 |
| Gambar 3.9 | Peta geologi Daerah Tanjung | 39 |



| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 3.10 | Representasi fotomikrograf daerah Tanjung dari sayatan tipis dan sampel setangan batuan plutonik | 42 |
| Gambar 3.11 | Representasi difragtogram hasil analisis XRD batuan plutonik daerah Tanjung. | 45 |
| Gambar 3.12 | Representasi fotomikrograf sayatan tipis batuan vulkanik daerah Tanjung dan sampel setangan | 50 |
| Gambar 3.13 | Difragtogram batuan vulkanik Tanjung berdasarkan analisis XRD batuan basal. Sampel Tj-01 (a) dan sampel Tj-18 (b). | 55 |
| Gambar 3.14 | Difragtogram sampel Tj-46 pada batuan basal amigdaloidal (a) Difragtogram sampel Tj-58 (b) pada batuan basal | 56 |
| Gambar 3.15 | Difragtogram sampel Tj-88 pada batuan trakit (a), Difragtogram sampel Tj-89 pada batuan trakit-andesit(b) | 57 |
| Gambar 3.16 | Foto singkapan <i>Crystal Vitric Tuff</i> pada stasiun (Tj-56) | 58 |
| Gambar 3.17 | Difragtogram analisis XRD sampel Tj-56 pada batuan <i>Crystal Vitric Tuff</i> | 59 |
| Gambar 3.18 | Diagram magma afinitas SiO_2 vs K_2O plot sampel dari daerah penelitian dan beberapa penelitian sebelumnya (Peccerillo dan Taylor, 1976). | 61 |
| Gambar 3.19 | Diagram alkali-silika total untuk (a) batuan plutonik (Middleest, 2006) dan (b) batuan vulkanik di (Le Bas et al., 1986) dari daerah penelitian | 61 |
| Gambar 3.20 | Diagram Harker oksida utama versus tingkat SiO_2 di area penelitian | 62 |
| Gambar 3.21 | Diagram Harker dari elemen utama versus tingkat SiO_2 di area penelitian | 63 |
| Gambar 3.22 | (a) Normalisasi <i>primitive mantle</i> vs trace elements (Sun and McDonough, 1989). (b) Normalized chondrite mantle REE. Data from study areas and previous studies (Anders and Grevesse, 1989) | 64 |
| Gambar 3.23 | Diagram diskriminasi tektonik Rb vs (Y + Nb), Nb vs Y, Ta + Yb versus Rb, dan Yb + Ta dari batuan di daerah penelitian dan beberapa penelitian sebelumnya (Pearce et al., 1984). | 66 |
| Gambar 4.1 | Peta alterasi daerah Tanjung | 76 |
| Gambar 4.2 | Sampel <i>hand specimen</i> dengan dominasi tipe alterasi yang berkembang di Tanjung (a) alterasi <i>prograde</i> , (b) alterasi <i>retrograde</i> awal, (c) alterasi <i>retrograde</i> akhir | 77 |
| Gambar 4.3 | Alterasi skarn <i>prograde</i> pada batuan granodiorite (Tj.01). Keterangan: a) sampel granodiorit, b) fotomikrograf hasil analisis petrografi, c) difraktogram hasil analisis XRD. | 79 |



| | | |
|--------------------|--|-----|
| Gambar 4.4 | Alterasi skarn <i>retrograde</i> awal pada basal dari Stasiun Tj,58, dengan. Keterangan: a) sampel basal, b) fotomikrograf hasil analisis petrografi, c) difraktogram hasil analisis XRD. | 83 |
| Gambar 4.5 | Alterasi skarn <i>retrograde</i> akhir pada basal porpiri (a), (b) fotomikrograf sayatan tipis dari sampel basal porpiri, (c) difraktogram sampel basal porpiri. | 86 |
| Gambar 4.6 | Alterasi skarn Akhir pada (T-03). (a) <i>sampel hand specimen</i> andesit (b) fotomikrograf sayatan tipis dari sampel andesit yang telah berubah sangat kuat, (c) difraktogram sampel andesit. | 88 |
| Gambar 5.1 | Foto singkapan bijih besi daerah Tanjung yang telah mengalami perubahan dan gangguan pada struktur geologi | 96 |
| Gambar 5.2 | Fotomikrograph sayatan poles sampel HTJ-01 didominasi oleh mineral magnetit (Mag), hematit (Hem), goetit (Gth), dan kuarsa (Qz). | 98 |
| Gambar 5.3 | Representasi difraktogram analisis XRD dari sampel bijih besi daerah Tanjung | 100 |
| Gambar 5.4 | Fotomikrograph sayatan poles sampel HTJ-02 didominasi oleh mineral pirit, hematit, goetit, dan kovelit | 101 |
| Gambar 5.5 | Fotomikrograf sayatan poles sampel HTJ-04 yang menunjukkan mineral dalam sampel didominasi oleh mineral magnetit (Mag), hematit (Hem), goetit (Gth), dan kuarsa. | 101 |
| Gambar 5.6 | Fotomikrograf sayatan poles sampel TJM-01 didominasi oleh mineral magnetit, hematit, garnet, pirit, dan kuarsa. | 102 |
| Gambar 5.7 | Fotomikrograf sayatan poles sampel TJM-02 didominasi oleh mineral magnetit, hematit, braunit, pirit, dan kuarsa | 102 |
| Gambar 5.8 | Fotomikrograf sayatan poles sampel TJM-03 didominasi oleh mineral magnetit, hematit, garnet dan kuarsa | 103 |
| Gambar 5.9 | Representasi foto tekstur bijih yang berkembang di Daerah Tanjung | 107 |
| Gambar 5.10 | (a) singkapan Bijih besi dengan kehadiran pirit masif dan (b) bijih besi minor tembaga (kovelit dan azurit) dalam bentuk <i>dessiminated</i> didalam tubuh granodiorit teralterasi | 108 |
| Gambar 5.11 | Vein-vein magnetit dalam tubuh granodiorite yang telah teralterasi kuat pada zona patahan (a) dan tubuh masif Fe dalam bentuk vein pada batuan induk granodiorit. | 109 |
| Gambar 5.12 | Foto sampel <i>hand specimen</i> bijih besi dengan tekstur yang berkembang | 109 |



| | | |
|--------------------|---|-----|
| Gambar 5.13 | Hasil analisis SEM-EDX sampel bijih besi stasiun HTJ.01 | 110 |
| Gambar 5.14 | Hasil analisis SEM-EDX sampel bijih besi stasiun HTJ.02 | 111 |
| Gambar 6.1 | Tahapan pembentukan dan model genetik endapan bijih besi daerah Tanjung | 122 |



DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor | | Halaman |
|---------------------|--|---------|
| Lampiran 1. | Peta tunjuk lokasi penelitian | 129 |
| Lampiran 2. | Peta lokasi pengambilan sampel | 130 |
| Lampiran 3. | Hasil analisis petrografi | 131 |
| Lampiran 4. | Hasil analisis mineragrafi | 179 |
| Lampiran 5. | Hasil analisis XRD | 198 |
| Lampiran 6. | Hasil analisis XRF | 201 |
| Lampiran 7. | Hasil analisis ICP-MS-OES | 204 |
| Lampiran 8. | Hasil analisis SEM-EDX | 210 |
| | Tabel 1. Komposisi mineral batuan plutonik Tanjung | 214 |
| | Tabel 2. Himpunan mineral pada batuan Plutonik berdasarkan beberapa analisis daerah Tanjung | 215 |
| Lampiran 9. | Tabel 3. Komposisi mineral tipe batuan vulkanik Tanjung | 216 |
| | Tabel 4. Himpunan mineral pada batuan volkanik, batuan alterasi dan piroklastik daerah Tanjung berdasarkan analisis XRD | 217 |
| | Tabel 5. Data Mineral hasil analisis mineragrafi Daerah Tanjung | 218 |
| Lampiran 10. | Tabel 1. Kisaran suhu pembentukan mineral sekunder Daerah Tanjung | 219 |
| | Tabel 2. Kisaran suhu pembentukan mineral bijih Daerah Tanjung | 220 |



DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

| Lambang/Singkatan | Arti dan keterangan |
|-------------------|--|
| BIC | = <i>Biru Intrusive Complex</i> |
| XRF | = <i>X-Ray Fluorescence</i> |
| XRD | = <i>X-Ray Diffraction</i> |
| ICP-MS-OES | = <i>Inductively coupled plasma mass spectrometry-optical emission</i> |
| VAG | = <i>Volcanic Arc Granite</i> |
| WPG | = <i>Whitin Plate Granite</i> |
| Syn-COLG | = <i>Syn-collision</i> |
| REE | = <i>Rare earth Element</i> |
| HREE | = <i>Heavy Rare Earth Elements</i> |
| LREE | = <i>Light Rare Earth Elements</i> |
| LILE | = <i>Large-Ion Lithophile Element</i> |
| HFSE | = <i>High Field Strength Elements</i> |
| ASI | = <i>Alumina Saturation Index</i> |
| Mag | = <i>Magnetite/magnetit</i> |
| Gt | = <i>Goethite/goetit</i> |
| Hem | = <i>Hematite/hematit</i> |
| Sd | = <i>Siderite/siderite</i> |
| Frk | = <i>Franklinite/franklinit</i> |
| Hed | = <i>Hedenbergite/hedenbergit</i> |
| Gn | = <i>Galena</i> |
| Ccp | = <i>Calcopyrite/kalkopirit</i> |
| Bn | = <i>Bornite/bornit</i> |
| Mn | = <i>Manganese/maganese</i> |
| Cv | = <i>Covellite/kovelit</i> |
| Bnt | = <i>Braunite/braunit</i> |
| Py | = <i>Pyrite/pirit</i> |
| PyI | = <i>Pyrolusite/pirolusit</i> |
| Azu | = <i>Azurite/azurit</i> |



| | | |
|------|---|------------------------------------|
| Apy | = | <i>Arsenopyrite</i> /arsenopirit |
| Sp | = | <i>Sphalerite</i> /spalerit |
| Qz | = | <i>Quartz</i> /kuarsa |
| Gr | = | Garnet |
| Or | = | <i>Otrhoclase</i> /ortoklas |
| Pl | = | <i>Plagioclase</i> /plagioklas |
| Aug | = | <i>Augite</i> /Augit |
| Px | = | <i>Pyroxene</i> /Piroksin |
| Hbl | = | <i>Hornblende</i> |
| Bio | = | <i>Biotite</i> /Biotit |
| Vg | = | <i>Volcanic Glass</i> |
| RF | = | <i>Rock Fragmen</i> |
| Opq | = | <i>Mineral Opaque</i> |
| Chl | = | <i>Chlorite</i> /klorit |
| Mgs | = | <i>Magnesite</i> /Magnesit |
| Lct | = | <i>Leucite</i> /leusit |
| Adr | = | <i>Andradite</i> /andradit |
| Lb | = | <i>Labradorite</i> /labaradorit |
| Dio | = | <i>Diposide</i> /diopsid |
| Act | = | <i>Actinolite</i> /aktinolit |
| Kln | = | <i>Kaolinite</i> /kaolin |
| Bir | = | <i>Birnissite</i> /birnisit |
| Olg | = | <i>Oligoklase</i> /oligoklas |
| Wns | = | <i>Wonesite</i> /wobesit |
| Ab | = | <i>Albite</i> /albit |
| Ano | = | <i>Anhotoclase</i> /anortoklas |
| chal | = | <i>Calcedony</i> /kalsedon |
| Ep | = | <i>Epidote</i> /epidot |
| Cp | = | <i>Clinpyroxene</i> /klinopiroksin |
| Tr | = | <i>Trydmite</i> /tridmit |
| Sm | = | <i>Smectite</i> /smektit |



| | | |
|-----|---|---------------------------------|
| Il | = | <i>Illite</i> /illit |
| Ser | = | <i>Sericite</i> /serisit |
| And | = | <i>Andesine</i> /andesin |
| Chm | = | <i>Chamosite</i> /kamosit |
| Rod | = | <i>Rodhocrocite</i> /rodokrosit |

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagaimana dilaporkan oleh Leewuen (1981) daerah Bontocani telah mengalami intrusi yang disebut dengan Biru granodiorit yang berumur 19+3,4 m.a terdiri *intrusive body* dengan komposisi (granit, diorit, biotit granodiorit) kontak extensive “*zona skarn*” pada batugamping, dike porpiritik (mikro diorit dan mikro granit). Penelitian yang telah dilakukan Widi dkk (2007) di kawasan Tanjung, asosiasi mineral spesifik terjadi dari kelompok mineral karbonat silikat seperti garnet (warna coklat dan hijau), piroksin, dan epidot. Sedangkan dari golongan mineral bijih adalah magnetit, berasosiasi dengan garnet, dalam bentuk masif atau menyebar dalam diorit. Secara lokal, magnetit membentuk struktur lapisan gradasi dengan mineral garnet. Berbeda dengan mineral yang ditemukan di Tanjung, di kawasan Pakke (5 km timur laut Tanjung), menunjukkan pola mineralisasi yang sangat berbeda. Di kawasan ini mineralisasi bijih besi terjadi di dalam batuan karbonat (batugamping), membentuk zona bijih dengan kecenderungan mineralisasi timur-laut-barat daya.

Mineralisasi bijih besi yang ditemukan adalah jenis oksida, yaitu magnetit (Fe_3O_4) dan hematit (Fe_2O_3). Bijih besi tersebut dipermukaan, lereng-ereng bukit serta di sungai Garuppa. Berukuran bongkah-bongkah bervolume ratusan meter kubik. Bahkan ada sampai 500meter kubik seperti diatas bukit Pake dan sungai Garuppa. Mineralisasi besi daerah Tanjung didominasi oleh magnetit dengan luas penyebaran 187,5 ha, dengan ketebalan bervariasi antara 3-14 m (Utoyo, 2008).

Penelitian-penelitian tersebut diatas umumnya masih berskala regional dan penyelidikan pendahuluan, belum dilakukan studi akademik dan berskala detail tentang aspek-aspek genetik (mekanisme pembentukan) dan tipe mineralisasi bijih serta prospek pengembangannya, sehingga perlu dilakukan kajian mengenai keberadaan dan tipe mineralisasi bijih besi yang ada di daerah tersebut yang meliputi geologi, geokimia, karakteristik, genesis dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.



Berdasarkan penelitian pendahuluan prospek bijih besi daerah Tanjung, maka penelitian ini akan merekonstruksi model genetik cebakan bijih yang dapat digunakan untuk menentukan strategi eksplorasi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Proses geologi yang mengontrol mineralisasi bijih besi
2. Karakteristik *host rock*, alterasi dan mineralisasi
3. Karakteristik tipe mineralisasi dan bagaimana dan hubungannya dengan tipe mineralisasi bijih besi
4. Implikasi terhadap eksplorasi mineralisasi sejenis yang ada di dalam maupun di luar lokasi penelitian

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan-rumusan permasalahan yang dikemukakan maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis geokimia batuan daerah penelitian
2. Menganalisis batuan *source rock* dan *host rock* mineralisasi
3. Menganalisis tahapan alterasi yang berkembang
4. Membangun model genetik mineralisasi bijih besi

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah di dalam penelitian ini merupakan upaya untuk membatasi ruang lingkup masalah yang terlalu luas atau lebar. Batasan masalah ditentukan agar penelitian dapat menjadi fokus. Batasan masalah di dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Meliputi area Tanjung
2. Model yang dihasilkan meliputi kajian dari aspek litologi, mineralogi dan geokimia.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil-hasil yang diperoleh dari riset ini dalam aspek teoritis diharapkan dapat menyingkap kegiatan magmatisme-vulkanisme serta situasi tektonik pada



masa Paleogen di wilayah Sulawesi Selatan bagian selatan, khususnya bagaimana mula jadi magmanya dan implikasinya terhadap sumberdaya logam besi.

Batuan beku erat kaitannya dengan potensi beberapa mineralisasi mineral logam, maka diharapkan dengan riset di daerah Sulawesi khususnya bagian selatan ini akan menambah data daerah-daerah yang mungkin berpotensi mengandung bahan galian logam dan diharapkan dapat dijadikan sebagai model untuk perencanaan dan strategi eksplorasi mineralisasi logam di daerah lain yang mempunyai karakteristik batuan dan tatanan tektonik yang relatif sama dengan daerah penelitian.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang akan diuraikan dalam penelitian ini berupa:

1. Lingkungan geologi pembentukan mineralisasi (meliputi bentuk, litologi dan paragenesis).
2. Deskripsi mineralisasi pada daerah penelitian yang meliputi mineralogi, tekstur, struktur, alterasi dan geokimia.



BAB II

KERANGKA KONSEPTUAL, HIPOTESIS, METODOLOGI PENELITIAN DAN SISTEMATIKA PENULISAN

2.1 Kerangka Konseptual

Model adalah representasi realitas dimana kualitas-kualitas utama dari berbagai bagian dunia nyata ditampilkan dalam bentuk/pola yang lebih sederhana, membuat aspek-aspek tersebut lebih mudah dipahami, dan dalam banyak kasus, memungkinkan untuk diprediksi (Allaby, 2013). Model endapan mineral, atau informasi yang disusun secara sistematis dan menggabungkan berbagai karakteristik utama suatu kelas mineralisasi mineral, digunakan dalam eksplorasi mineralisasi mineral.

Model endapan dapat bersifat empiris (deskriptif), dimana berbagai atribut dalam model dinyatakan penting meskipun tidak diketahui hubungan antar atribut tersebut. Bisa juga bersifat teoritis (genetik), dalam hal ini atribut-atribut dalam model dihubungkan satu sama lain melalui beberapa dasar.

Model deskriptif dibagi menjadi dua bagian (Cox dan Singer, 1986): (1) lingkungan geologi, dan (2) deskripsi mineralisasi. Lingkungan geologi berkaitan dengan lingkungan dimana mineralisasi itu berada, seperti informasi jenis batuan, tekstur, umur pembentukan, tatanan tektonik, dan lain sebagainya. Sedangkan deskripsi endapan mengacu pada sifat-sifat endapan yang dapat dikenali, seperti anomali geokimia dan geofisika. Model endapan deskriptif juga dikenal sebagai model geologi endapan karena berkaitan dengan tatanan geologi yang mengatur pembentukan endapan.

Model kadar tonase memberikan informasi mengenai kadar tonase deposit dan sering diplot secara grafis (Cox dan Singer, 1986). Estimasi dilakukan pada saat pra-penambangan dengan menggunakan berbagai metode estimasi berdasarkan nilai *cutoff grade* terendah. Terdapat berbagai keterbatasan pada pendekatan ini, termasuk keterbatasan yang terkait dengan estimasi kadar tonase deposit, yang bervariasi tergantung pada operator yang melakukan estimasi. Konsep kadar tonase pada dasarnya adalah sebuah paradigma analog untuk deposit di domain lain.



Namun, pendekatan ini memberikan informasi yang berguna mengenai aspek ekonomi dari endapan (Cox dan Singer, 1986).

Menurut Moon dkk., (2006), model genetik adalah: (1) model yang terbentuk berdasarkan proses geologi pembentukan mineral, (2) model yang menjelaskan endapan dalam kaitannya dengan proses geologi penyebab; dan (3) model yang terkadang lebih subjektif namun bisa lebih kuat karena dapat memprediksi keberadaan endapan yang tidak ada dalam database deskriptif. Setelah menentukan konteks tektonik suatu daerah eksplorasi, harus dibuat model endapan yang mungkin ada, khususnya yang sedang dicari. Model empiris dan genetik sering digabungkan. Hal ini untuk menunjukkan bagaimana material target eksplorasi dikaitkan dengan parameter geologi seperti geofisika dan geokimia.

Dalam model genetik, ciri-ciri yang mendorong suatu peristiwa dapat langsung diukur dan diidentifikasi melalui proses deteksi. Atribut endapan model genetik terbentuk melalui proses genetik (genesis) endapan tersebut (Cox dan Singer, 1986). Model genetik adalah pengembangan model deskriptif yang dibentuk dengan menggabungkan ciri-ciri sekelompok endapan mineral yang berkerabat. Model empiris terkait keberadaan endapan mineral digunakan dalam pengembangan model genetik (Hodgson, 1987). Sebagai model awal dapat dikembangkan dan disempurnakan menjadi satu atau lebih model genetik yang lebih fleksibel dan dapat diandalkan.

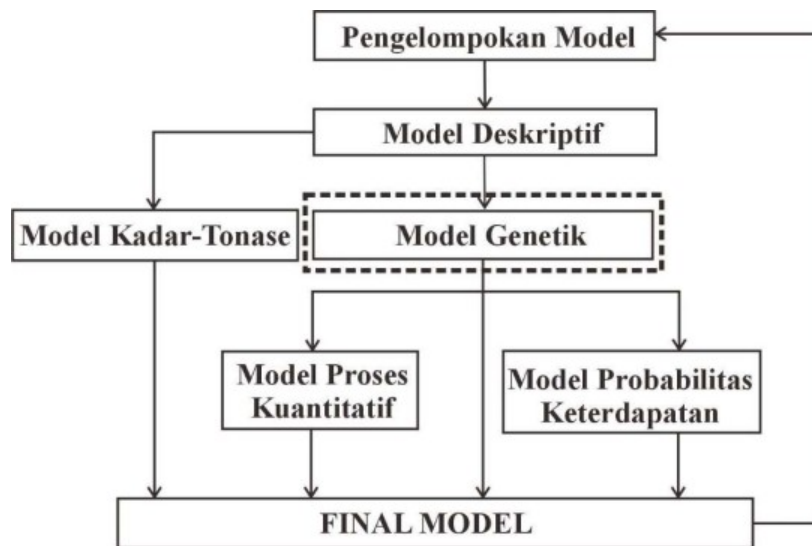
Model probabilitas keterdapatan endapan merupakan model yang memprediksi probabilitas keterdapatan suatu mineralisasi (ukuran dan kadar diindikasikan dengan model kadar-tonase yang sesuai) pada suatu area. Model ini dapat dibentuk bila model genetik telah ada terlebih dahulu. Terdapat banyak faktor yang harus dipelajari dan diidentifikasi sebelum model probabilitas ini dapat dipergunakan di dalam eksplorasi endapan. Namun demikian, dari data industri menunjukkan bahwa setidaknya secara kualitatif, area dengan probabilitas lebih baik dari rata-rata dapat diidentifikasi, terutama pada endapan sedimen dengan kompleksitas endapan yang relatif sederhana. Model probabilitas keterdapatan endapan cenderung menekankan kepada karakteristik litologi dan struktur geologi lokal. Model keterdapatan dihasilkan dari model genetik, yang memungkinkan prediksi dan juga pengenalan/rekognisi. Kapasitas prediktif model genetik adalah



hasil dari rekognisi proses geologis yang mendasari dan bertanggung jawab atas karakteristik yang dijelaskan dalam model keterdapatan (*occurrence model*) (Ludington dkk., 1985). Informasi dan pemahaman yang menjelaskan proses seringkali berasal dari bidang-bidang yang tidak berhubungan langsung dengan geologi ekonomi, seperti stratigrafi, paleontologi dan vulkanologi. Model probabilitas-keterdapatan adalah kuantifikasi dari prediksi yang dibuat dengan model genetik (Ludington dkk., 1985).

Model proses kuantitatif adalah cara untuk menggambarkan berbagai proses yang berkontribusi terhadap penciptaan deposit mineral. Model ini merupakan bagian dari model genetik. Model kuantitatif menekankan aspek kuantitatif dari proses pengmineralisasi (seperti suhu dan tekanan). Model ini dapat digunakan untuk menggambarkan aliran panas, laju pertumbuhan kristal, sumber daya mineral, dan urutan penguapan air.

Final Model dihasilkan dengan analisis komprehensif terhadap ke lima sub-tipe model yang saling terkait. Semua sub-tipe model tersebut merupakan suatu siklus yang dapat terus dikembangkan dan disempurnakan untuk dapat menghasilkan suatu model akhir yang akurat dan aplikatif (Cox dan Singer, 1986) (**Gambar 2.1.**)



Gambar 2.1 Bagan alir evolusi model mineralisasi (Cox and Singer, 1986)

Tingkat kesulitan dalam merumuskan pemahaman genetik suatu endapan berbeda-beda tergantung dari kompleksitas suatu endapan.



Tabel 2.1 Penggunaan sub-tipe model endapan (dimodifikasi dari Cox dan Singer, 1986)

| Penggunaan | Sub-tipe model | | | | |
|--------------------------------|----------------|------------|---------|--------------|--------------------|
| | Kadar-Tonase | Deskriptif | Genetik | Probabilitas | Proses Kuantitatif |
| Eksplorasi/ <i>development</i> | xx | xxx | xxx | xxx | xxx |
| <i>Supply potential</i> | xxx | xxx | x | xxx | x |
| Pemanfaatan Lahan | xxx | xxx | x | xxx | x |
| Edukasi | x | xxx | xxx | xxx | xxx |
| <i>Research guidance</i> | xxx | xxx | xxx | xxx | xxx |

Keterangan: xxx (mayor)
 xx (minor)
 x (minimal)

Untuk memahami lebih jauh bagaimana menghasilkan model cebakan yang diharapkan dalam disertasi ini, maka terlebih dahulu dibuatkan kerangka konseptual penelitian. Kerangka konseptual penelitian dimulai dari kegiatan *literatur review* terkait keberadaan bijih besi dan geologi regional yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Dari hasil *literatur review* kemudian selanjutnya dibuatkan beberapa poin penting terkait keberadaan bijih besi dan bagaimana keadaan geologi, hal ini kemudian menjadi permasalahan penelitian.

Hasil identifikasi masalah kemudian menyusun rumusan masalah dan tujuan penelitian yang terkait dengan rumusan masalah yang telah dibuatkan. Tujuan penelitian menghasilkan dugaan sementara (hipotesis) terkait objek yang akan diteliti. Langkah selanjutnya adalah menyusun metoda penelitian untuk mencapai tujuan. Metoda harus menerapkan presisi dan akurasi sehingga data yang terkumpul sesuai dengan yang diharapkan.

Data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis dengan teknik analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil analisis akan menjawab hipotesis atau didapatkan temuan baru yang terkait dengan penelitian.

Mineralisasi telah memainkan peran penting dalam perkembangan geologi. Besi adalah satu unsur yang logam yang paling banyak menyusun bumi. Sebagian tersingkap dan sebagian tidak yang memberikan sejarah yang lebih rinci proses-proses magmatik atau hidrotermal yang terjadi. Masih ada kesenjangan antara bijih besi, *source rock*, dan sumber magma, termasuk data geofisika, dan geokimia. Bijih besi mencapai permukaan melalui gunung api atau melalui celah yang terbentuk akibat *crack* dan dapat memberikan informasi tentang *source rock*, dari



mana asal material dan prosesnya dapat dikalibrasi di laboratorium. Kalibrasi melibatkan distribusi geokimia unsur utama, minor dan unsur jejak, REE (*Rare Earth Element*) diantara mineral.

Bijih besi ketika sampai ke permukaan dapat melepaskan gas ke atmosfer dan hidrosfer atau berinteraksi dengan fluida selama perjalanannya yang juga memberikan petunjuk tentang sifat material sumber di kedalaman.

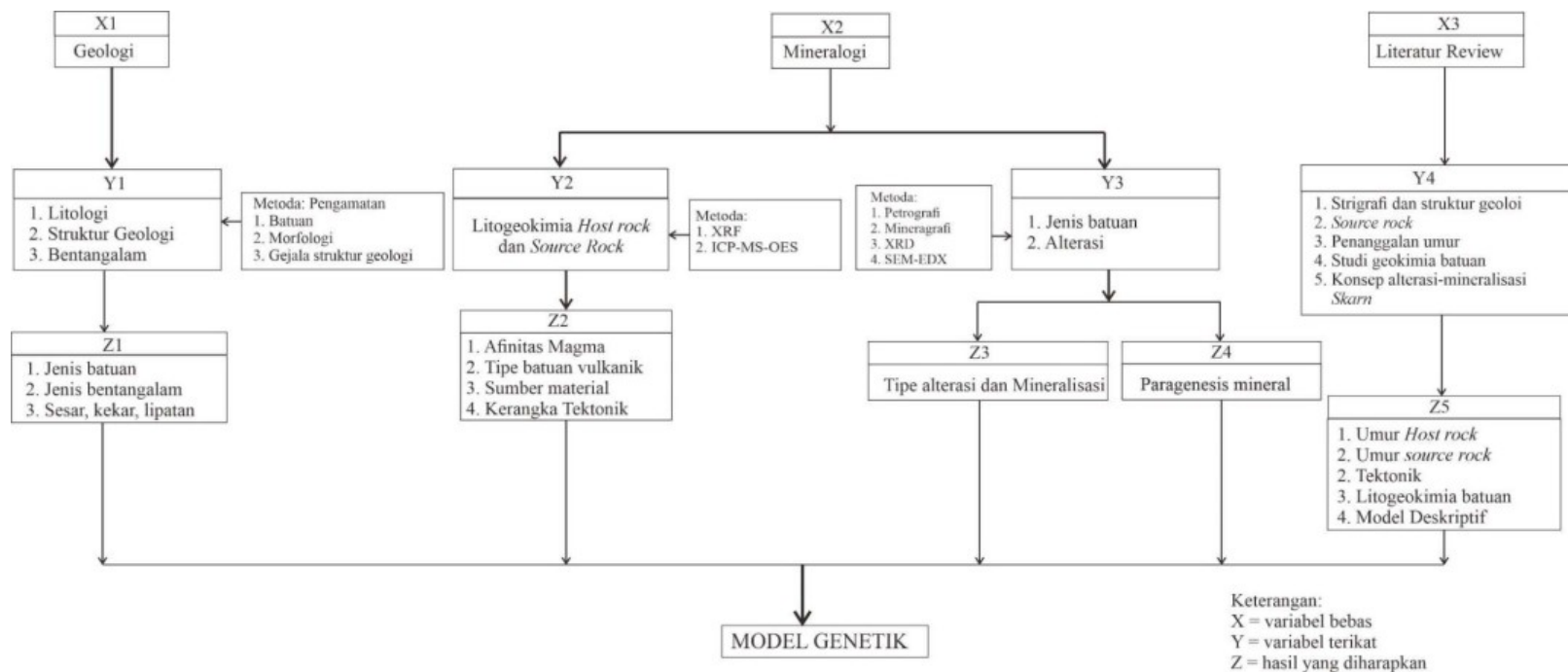
Variabel utama/bebas yang harus dipertimbangkan dalam genesis bijih besi adalah adalah:

1. Mineralogi, termasuk sumber magma dan produk magmatik (alterasi dan mineralisasi Fe dan asosiasinya)
2. Kondisi geologi (litologi dan struktur geologi)
3. Umur *host rock* dan *source rock*

Variabel bebas tersebut diatas akan mempengaruhi variabel yang lain antara lain:

1. Proses mineralisasi dan alterasi yang berkembang.
2. Setting geologi yang mengontrol pembentukan bijih besi dan asosiasinya.
3. Litogeokimia *host rock* dan *source rock*

Setelah proses alterasi dan mineralisasi, afinitas magma, umur *hostrock* dan *source rock*, mineralisasi dan dikompilasi dengan kerangka tektonik kemudian akan direkonstruksi bagaimana model mineralisasi yang terbentuk. Kerangka konseptual penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.2. Kerangka konseptual penelitian



Diantara perubahan yang paling signifikan dalam penelitian diharapkan adalah sebagai berikut: menyediakan kerangka lingkungan tektonik terhadap pembentukan bijih besi serta bagaimana model genetik terbentuk. Dari kerangka ini diharapkan menjadi model dalam eksplorasi.

2.2 Hipotesis

Berdasarkan atas uraian dalam kerangka konseptual penelitian, maka hipotesis yang diajukan dalam rencana penelitian ini adalah tipe mineralisasi daerah Tanjung adalah skarn Fe.

2.2.1 *State of The Art*

Sebagaimana dilaporkan oleh Leewuen (1981) daerah Bontocani telah mengalami intrusi yang disebut dengan Biru granodiorit yang berumur 19+3,4 m.a terdiri *intrusive body* dengan komposisi (granit, diorit, biotit granodiorit) kontak extensive “Zona Skarn” pada batugamping, dike porpiritik (mikro diorit dan mikro granit). Penelitian yang telah dilakukan Widi dkk (2007) di Kawasan Tanjung, asosiasi mineral spesifik terjadi dari kelompok mineral karbonat-silikat seperti garnet (warna coklat dan hijau), piroksin, dan epidot. Sedangkan dari golongan mineral bijih adalah magnetit, berasosiasi dengan garnet, dalam bentuk masif atau menyebar dalam diorit. Secara lokal, magnetit membentuk struktur lapisan gradasi dengan mineral garnet. Berdasarkan hasil pengujian, bijih kawasan Tanjung menunjukkan kandungan total Fe berkisar antara 59% - 67%, SiO₂: 0,7%-4%, Mn: 0,08%-1,4%, S: 0%-2% dan P: 0%-0,09%, sedangkan bijih kawasan Pakke memiliki kandungan Fe total berkisar antara 30%-54%, SiO₂: 2% -24%. Mn: 0,19% -12%, S: 0%-0,04% dan P: 0%-0,08%. Di kawasan Tanjung ditunjukkan dengan kadar besi yang tinggi (kadar total Fe tertinggi mencapai 67% dan silika rendah (SiO₂ 4%). Hal ini dikemukakan sebagai jenis endapan skarn yang indikasinya selalu dicirikan dengan adanya gugus garnet sebagai mineral yang dominan pada temperatur tinggi. Di kawasan Tanjung ke lingkungan bersuhu rendah dan dangkal nampaknya gaya mineralisasi di kawasan ini memiliki fenomena geologi yang unik dimana kasus ini jarang ditemukan di lokasi lain di Indonesia.



Mineralisasi bijih besi yang terdapat di daerah penelitian adalah jenis oksida, yaitu magnetit (Fe_3O_4) dan hematit (Fe_2O_3). Bijih besi tersebut dipermukaan, lereng-ereng bukit serta di sungai (S. Garuppa sepanjang 1 km). Berukuran bongkah-bongkah bervolume ratusan meter kubik. Mineralisasi besi daerah Tanjung didominasi oleh magnetit dengan luas penyebaran 187,5 ha, dengan ketebalan bervariasi antara 3-14 m (Utoyo, 2008). Dengan hadirnya bijih besi dan batuan gunungapi terpropilitkan dapat ditafsirkan bahwa khususnya daerah penelitian dan umumnya diseluruh Sulawesi pada Tersier Awal (Kala Paleosen) terjadi kegiatan magmatik yang besar, yaitu berupa aktivitas gunung api yang menghasilkan batuan yang membentuk satuan gunungapi. Berikutnya disusul transgresi atau genang laut yang mengakibatkan terbentuknya batugamping koral dengan penyebaran luas dikenal dengan Formasi Tonasa (Temt). Dari data yang ada diduga terjadi proses deformasi, dimana formasi batuan tersebut mengalami peretakan di sana-sini dan memudahkan jalannya larutan magma yang kaya akan bijih besi menerobos celah-celah batuan seperti yang tersingkap di Bukit Tanjung, dimana magnetit terdapat dalam rekahan-rekahan breksi andesit. Batuan terobosan tersebut adalah granodiorit, pegmatit diorit dan urat kuarsa sebagai produk akhir larutan magma yang menerobos, baik terhadap batuan vulkanik maupun batugamping Formasi Tonasa (Utoyo, 2008). Kontak tersebut dapat diamati di Sungai Lapak Tanjung, Bukit Tacala dan Bukit Cakempong di daerah Tanjung dan Bukit Latonrodi Dusun Pake. Persentase nilai Fe total daerah Tanjung 61,98%.

Magnetit, yang ditampilkan secara lokal berwarna perunggu terjadi baik dalam bentuk masif dan sebagai penyebaran. Skarn berkembang di blok tektonik kecil Pra-Tersier metamorfik (Jaya dan Nishihawa, 2011) yang diintrusi oleh Biru Intrusif Complex (BIC) dimana diperoleh umur K-Ar Eosen Tengah dan Miosen Akhir (van Leeuwen, 1981; Elburg et al., 2002). Jenis mineralisasi besi yang berbeda hadir di Pake, terletak 5 km timur laut dari Tanjung. Deposit besi terdiri dari *iron ore manganiferus* sekunder yang terbentuk setelah magnetit hidrotermal dan sulfida. Prospek ini diselidiki pada pertengahan 1970-an (termasuk pemboran terbatas) oleh Rio Tinto dengan target mineralisasi logam dasar di kedalaman. Baru-baru ini sebuah perusahaan dalam negeri dirintis eksplorasi untuk menguji prospek besi (Leeuwen and Peter E., 2011). Di bagian selatan dari daerah tersebut



bentuk batu besi terhampar massa luas. Tingkat kedalamannya tergantung pada *host rock*: sekitar 36 m dalam vulkanik (Tanjung). Berdasarkan geologi hubungan usia mineralisasi tersebut adalah Miosen Tengah. Kandungan zat besinya bervariasi dari 30% hingga 54%, mangan dari 0,2% hingga 12%, dan silika dari 2% hingga 24%. Pemeriksaan petrografi menunjukkan riwayat suatu kompleks oksidasi dan reduksi dengan beberapa magnetit diganti dan dikelilingi oleh hematit, diikuti oleh fase di mana beberapa hematit diubah kembali menjadi magnetit, sebelum batuan itu berada di permukaan yang oksidasi lebih jauh, pada gilirannya menunjukkan sejarah yang kompleks mineralisasi dan pelapukan.

Firdaus dkk (2019) meneliti terkait mineralisasi Daerah Tanjung menunjukkan kandungan total Fe rata-rata lebih dari 60% dengan kandungan silika kurang dari 5%. Harwan (2018) menyelidiki mineralisasi dan alterasi di daerah Pakke yang berada lima kilometer timurlaut daerah Tanjung menunjukkan pola mineralisasi yang berbeda. Di daerah ini dijumpai mineralisasi yang terjadi di batuan karbonat yang membentuk zona bijih dengan arah mineralisasi timur laut-barat daya. Kelompok mineral bijih pada daerah ini terdiri dari hematit, magnetit dan mineral pembawa bijih mangan di beberapa lokasi. Kandungan Fe kurang dari 40% dan kandungan silika lebih dari 23%.

2.2.2 Kebaruan Penelitian

Kebaruan dan orisinalitas (*novelty and originality*) didefinisikan sebagai studi, metode, atau terobosan teknis yang benar-benar orisinal dan inovatif yang membuka jalan ilmiah baru untuk eksplorasi. Inovasi ini memiliki nilai yang signifikan dan dapat dengan mudah ditransfer ke bidang ilmu pengetahuan lainnya. Hasil-hasil penelitian yang telah disampaikan dan dilakukan dianggap baru apabila dilakukan dengan menggunakan metode atau pendekatan baru yang sama sekali berbeda dengan yang digunakan sebelumnya adalah merupakan kebaruan. Dengan demikian, meskipun suatu topik sudah pernah dilakukan, apabila dilakukan lagi dengan metode dan cara baru, akan menghasilkan kajian baru.

Kebaruan di dalam penelitian disertasi ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan geokimia batuan dan bijih (Data ICP-MS/OES dan XRF) terkait alterasi dan mineralisasi bijih besi daerah Tanjung. Data geokimia



berupa unsur utama (*major element*), unsur jejak (*trace element*) dan unsur tanah jarang batuan dan bijih.

2. Pembuatan model deskriptif dan genetik yang berimplikasi pada strategi eksplorasi

2.3 Metodologi Penelitian

2.3.1 Objek Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi objek antara lain adalah:

1. Aspek geomorfologi
2. Aspek stratigrafi yang meliputi unsur litologi, umur dan lingkungan pengmineralisasi.
3. Aspek struktur geologi/tektonik
4. Aspek potensi yang meliputi mineral dan geokimia pada litologi batuan dan bijih.

2.3.2 Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Alat lapangan berupa peta dasar, palu, kompas, gps, lup, komparator, plastik sampel, hcl, *clipboard*, alat tulis dan buku catatan lapangan.
2. Alat Laboratorium berupa mikroskop polarisasi, sampel sayatan, alat tulis, kamera dan modul mineral optik dan petrografi dan
3. Alat geokimia berupa mesin pengolah sampel batuan, mesin pemecah sampel batuan, mesin penyerbukan sampel batuan dan bijih.
4. Alat pengujian XRF, XRD dan Pengujian ICP-MS/OES/AES

2.3.3 Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini terdiri dari:

1. Tahap lapangan yang meliputi tahap pemetaan dengan beberapa langkah diantaranya:
 - a. Survei lokasi, pembuatan peta dasar, perizinan, penyusunan rencana kerja lapangan dan pemilihan metode lintasan.
 - b. Pengumpulan data lapangan, berupa data geomorfologi, stratigrafi, litologi beserta mineralisasi dan alterasinya, serta data struktur.



Gambar 2.3 Pengambilan sampel bijih besi (a) dan batuan (b)



Gambar 2.4 Kegiatan pengamatan (a) vein kuarsa, (b) pengamatan singkapan batuan dan struktur geologi batuan, dan (c) pengamatan singkapan bijih di lapangan



Gambar 2.5. Kegiatan preparasi sampel sayatan tipis untuk pengamatan petrografi (a), dan pengamatan petrografi sayatan tipis dan sayatan poles (b)



Gambar 2.6 Foto penyiapan sampel dengan menggunakan resin sebelum dimasukkan ke ruang *vacuum* (a), proses pengayakan hingga 200 *mesh* (b), sampel yang telah dihaluskan (c), penggerusan sampel batuan uuntuk analisis petrografi dan mineragrafi untuk dianalisis XRD (d), proses memasukkan sampel kedalam alat XRD untuk proses analisis (e), dan (f) identifikasi mineral dengan XRD.

2. Tahap Laboratorium yang meliputi tahap mineralogi dan petrografi dengan beberapa langkah diantaranya:
 - a. Pemilahan sampel sayatan batuan yang mewakili satuan geologi
 - b. Analisis data menggunakan mikroskop polarisasi.
3. Tahap Pengujian geokimia batuan meliputi tahap XRF dilakukan di Laboratorium PT Intertek Utama Jakarta
4. Tahap Geokimia yang meliputi tahap XRD dengan beberapa langkah diantaranya:
 - a. Tahap persiapan sampel yang telah ditumbuk sehingga menjadi serbuk.
 - b. Tahap penanganan pada sampel serbuk yang dibuat menjadi pelet dengan menggunakan *boric acid* sebagai acuan sampel dengan menggunakan mesin *x-press*.
 - c. Analisis sampel menggunakan mesin XRD.



d. Pengujian dilakukan di departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Unhas

5. Tahap Geokimia yang meliputi tahap Pengujian XRF dan ICP-MS/OES/AES dilakukan di Laboratorium PT Intertek Utama Jakarta.

2.3.3.1 Tahap Analisis Data

Tahap analisis data terdiri dari analisis geomorfologi, stratigrafi, struktur, petrografi dan geokimia (XRF, XRD dan pengujian ICP-MS/OES/AES) yang akan dibahas secara rinci pada sub-bab berikut:

2.3.3.1.1 Geomorfologi

Pada aspek geomorfologi data yang dianalisis antara lain adalah morfografi yang berdasarkan klasifikasi terbagi menjadi tiga yaitu bentuk lahan pedataran, perbukitan atau pegunungan. Hubungan antara morfologi berdasarkan proses yang membentuk bentangalam.

2.3.3.1.2 Stratigrafi

Berdasarkan Sandi Stratigrafi Indonesia, pembagian satuan batuan didasarkan pada satuan litostratigrafi tidak resmi, yaitu penamaan satuan batuan yang berdasarkan pada ciri fisik batuan yang dapat diamati di lapangan meliputi jenis batuan, keseragaman gejala litologi dan posisi stratigrafinya, sedangkan penentuan batas penyebarannya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Batas satuan litostratigrafi adalah bidang sentuh antara dua satuan yang berlainan ciri litologinya.
2. Batas satuan ditempatkan pada bidang yang nyata perubahan litologinya atau bila perubahan tersebut tidak nyata, maka batasnya merupakan bidang yang diperkirakan kedudukannya.
3. Penyebaran satuan litostratigrafi semata-mata ditentukan oleh kelanjutan ciri-ciri litologi yang menjadi ciri penentunya.
4. Dari segi praktis, penyebaran satuan litostratigrafi dibatasi oleh batas cekungan pengmineralisasi atau aspek geologi lain.
5. Batas-batas hukum tidak boleh dipergunakan sebagai alasan berakhirnya penyebaran lateral (pelamparan) suatu batuan.



6. Penamaan satuan litostratigrafi didasarkan atas jenis litologi yang paling dominan dalam satuan tersebut.

2.3.3.1.3 Struktur Geologi

Dalam melakukan analisis struktur geologi, selain mengumpulkan data di lapangan perlu juga dilakukan interpretasi topografi untuk melihat indikasi struktur geologi yang meliputi interpretasi kerapatan garis kontur, kelurusan sungai, kelurusan punggung, pola aliran sungai dan sebagainya.

Indikasi-indikasi struktur geologi yang ditemukan, kemudian akan dimasukkan ke dalam peta dasar, yang dikompilasi dengan pola kelurusan punggung, sehingga diperoleh gambaran mengenai jenis dan arah dari struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian, hasil dari analisis ini menjadi dasar dalam analisis struktur geologi.

2.3.3.1.4 Petrografi

Analisis petrografi merupakan analisis laboratorium yang pertama kali dilakukan terhadap contoh batuan yang diambil dari lapangan. Data yang diperoleh dari analisis ini berupa susunan mineralogi beserta tekstur batuan. Dalam analisis petrografi digunakan mikroskop polarisasi atau petrografi dengan pengamatannya dilakukan secara cermat dan teliti, karena sebagai data dasar yang dapat mempengaruhi hasil akhir. Gejala-gejala yang diamati berupa tekstur dan mineralogi batuan, yang meliputi derajat kristalinitas, ukuran butir, kemas, kumpulan mineral utama dan tambahan serta proses-proses sekunder lainnya (seperti proses pengubahan dan deformasi) yang terdapat dalam batuan. Catatan hasil pengamatan petrografi akan dilakukan berupa catatan yang disertai dengan sketsa, dalam bentuk formulir khusus yang sudah didesain untuk keperluan deskripsi secara mikroskopis dan pengambilan mikrofotografi terhadap gejala-gejala yang. Pemerolehan data dilakukan Laboratorium Mineral Optik Departemen Geologi Universitas Hasanuddin dengan menggunakan alat mikroskop polarisasi merk Nikon.

Tujuan Analisis petrografi adalah;

1. Mengidentifikasi jenis mineral pembentuk batuan maupun mineral-mineral ubahan;
2. Mengidentifikasi jenis batuan;



3. Mengidentifikasi jenis struktur mikro.

Data yang diperoleh dari analisis ini akan merupakan informasi awal yang sangat diperlukan untuk analisis laboratorium selanjutnya, sehingga seleksi terhadap contoh batuan untuk analisis lebih lanjut (geokimia batuan) akan menjadi lebih akurat. Penentuan nama batuan diperoleh dari deskripsi sayatan tipis batuan (jenis mineral beserta persentasenya) yang diklasifikasikan secara rinci berdasarkan diagram klasifikasi batuan menurut beberapa ahli.

2.3.3.1.5 Mineragrafi

Analisis mineragrafi adalah deskripsi dan interpretasi sistematis terhadap mineralogi dan tekstur bijih di dalam sayatan poles. Untuk pengamatan mineral bijih dan mineral opak, dipergunakan mikroskop bijih, yang merupakan instrumen dasar untuk pengamatan petrografi mineral bijih dan mineral opak (Craig dan Vaughan, 1994; Pracejus, 2016). Mikroskop bijih mirip dengan mikroskop petrografi konvensional dalam sistem lensa, *polarizer*, *analyzer*, dan berbagai diafragma yang digunakan. Perbedaan utama adalah sumber cahaya yang berada di atas sampel pengamatan dengan cahaya yang dipantulkan dari permukaan yang dipoles. Tujuan analisis petrografi bijih adalah sebagai berikut;

1. Mengidentifikasi jenis mineral transparan, bijih, dan mineral opak opak
2. Mengidentifikasi jenis tekstur dan struktur mikro

Analisis mineragrafi dilakukan di Laboratorium Mineral optik, Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

2.3.3.1.6 Analisis geokimia ICP-MS/EOS/EAS

Batuan terpilih yang akan dianalisis hanya contoh yang keadaannya masih segar dan teralterasi yang merupakan hasil seleksi dari analisis petrografi yang dilakukan sebelumnya. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi unsur utama (*major element*), unsur jejak (*trace element*) dan unsur tanah jarang (UTJ) atau *Rare Earth Element* (REE) batuan. Untuk keperluan preparasi conto dan analisis unsur-unsur tersebut akan dikirim ke laboratorium yang berstandar. Data geokimia batuan unsur utama akan diperoleh dari hasil identifikasi atau analisis laboratorium dengan menggunakan metode XRF dan XRD terhadap conto batuan yang terpilih dari lapangan. Pemilihan conto yang akan dianalisis didesain atas dasar hasil analisis



petrografi. Identifikasi unsur utama yang akan diamati terdiri dari SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 total, MnO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , dan LOI . Data hasil analisis unsur utama akan digunakan sebagai indikator dan parameter petrogenetik, membuat klasifikasi, pengelompokan dan penamaan batuan secara kimia, mengetahui karakter magmanya, menentukan afinitas, mengidentifikasi proses-proses yang terjadi pada ruang magmanya (kristalisasi fraksional, asimilasi dan defrensiasi) dan daerah sumbernya (*partial melting*) serta tatanan tektoniknya. Analisis ICP-MS/OES/EAS untuk mengetahui persentase unsur-unsur jejak (*trace elements*) pada daerah penelitian. Sedangkan untuk pemilihan unsur jejak yang akan dianalisis didasarkan atas mudah dianalisisnya. Unsur *immobile* selama alterasi dan pelapukan dan mempunyai kekuatan pendiskriminan yang bagus. Identifikasi unsur jejak yang akan diamati terdiri dari kelompok unsur K (Ba, Cs, Rb, Sr), kelompok unsur tanah jarang (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Tm, Yb dan Lu), Y, kelompok Th (Th, U), kelompok Ti (Zr, Hf, Nb, Ta), kelompok kompatibel (Co, Cr, Ni, Sc, V), dan kelompok kalkopil (Cu, Zn). Data hasil analisis unsur jejak akan digunakan sebagai indikator dan parameter petrogenetik untuk mengetahui tentang sifat-sifat larutan magma dan lingkungan tektoniknya, dan evaluasi model petrogenetiknya.

Data hasil analisis geokimia batuan akan diproses menjadi bentuk tabel geokimia batuan meruah/*whole rocks* (unsur utama, unsur minor, unsur jarang), seperti diagram *Harker*, *spider diagram*, diagram TAS, kemudian ditafsirkan kualitas hasil analisis laboratorium, nama batuan, afinitas (defrensiasi/kristalisasi magma), karakter magma, evolusi magma dan lingkungan tektonik/*tectonic setting*, dan peranan kerak di dalam pembentukan magma primer.

Data hasil lapangan, analisis petrografi dan geokimia batuan akan dicatat, dikumpulkan, diolah dan dianalisis. Pengolahan data hasil analisis litologi serta hasil analisis petrografi akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak microsoft excel. Sedangkan untuk pengolahan data hasil analisis geokimia batuan akan dilakukan dengan komputer, menggunakan perangkat lunak *MATCH 3/Qual X*, *OriginPro 2023*, *GCDkit*.



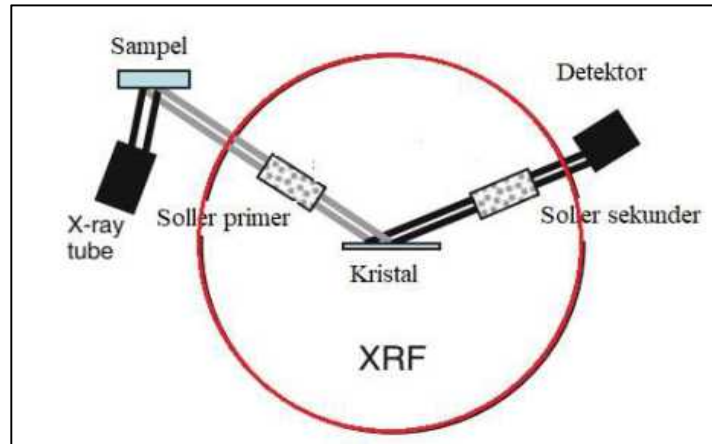
2.3.3.1.7 Analisis XRF

XRF merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi serta menentukan konsentrasi unsur yang ada pada suatu sampel (Beckhoff dkk., 2006; Schöenberger dkk., 2012). Prinsip kerja metoda XRF didasarkan atas terjadinya tumbukan antar atom pada permukaan sampel oleh sinar-X dari sumber sinar-X. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan dengan adanya puncak spektrum yang mewakili jenis unsur tertentu yang sesuai dengan karakteristik energi sinar-X yang dimiliki oleh unsur tersebut (Schöenberger dkk., 2012). Sedangkan analisis kuantitatif dihasilkan dengan membandingkan intensitas sampel dengan intensitas standar.

Sinar-X, dipancarkan oleh tabung sinar-X yang mengenai sampel, menstimulasi atom sehingga menghasilkan karakteristik sinar-X sekunder yang unik untuk setiap unsur kimia, dan intensitasnya sebanding dengan konsentrasi unsur. Dalam dispersif panjang gelombang spektrometer, sinar-X sekunder yang dipancarkan dari sampel akan melewati kolimator dan menekan penganalisis kristal. Karena sinar-X sekunder bersifat polikromatik dan dipancarkan selama rentang sudut yang luas, 56 penganalisis kristal diperlukan untuk analisis ini. Penganalisis kristal mendifraksi sinar-X pada sudut yang berbeda, menurut hukum Bragg, dan intensitasnya diukur dengan detektor. Umumnya, Garis-K dianalisis untuk unsur-unsur kimia ringan, F (fluor) hingga Sb (antimoni), dan Garis-L untuk unsur berat. Untuk hasil yang andal, kalibrasi yang akurat sangat penting, menyiratkan posisi sudut yang benar dan distribusi tinggi impuls (Schöenberger dkk., 2012).

Preparasi sampel dilakukan dengan memastikan bahwa permukaan sampel harus rata, halus dan bersih. Pembersihan permukaan sampel dilakukan dengan menggunakan aseton. Penempatan sampel pada sampel holder alat XRF (Gambar 7.) dilakukan ketika aseton telah mengering. Setelah dikeringkan pada suhu kamar, semua sampel ditumbuk dalam *ball mill* ke ukuran butir lebih kecil dari 150 μm . Untuk XRF, sisa kelembabannya atau air adsorptif dikeluarkan setelah 16 jam pada 105°C (*loss-on-drying*; LOD). Parameter lain yang harus diukur adalah LOI yang berkaitan dengan informasi tentang kandungan air tanah dan bahan organik (\pm sulfur, $[\text{CO}_3]^{2-}$ dari karbonat) dan ditentukan dengan memanaskan sampel pada

suhu 1050°C selama 5 jam. Setelah dingin, sampel ditimbang lagi dan LOI ditentukan dengan menghitung perbedaan antara massa awal dan akhir (Schönenberger dkk., 2012; Treacy dan Higgins, 2001).



Gambar 2.7 XRF beam (Schönenberger dkk., 2012)

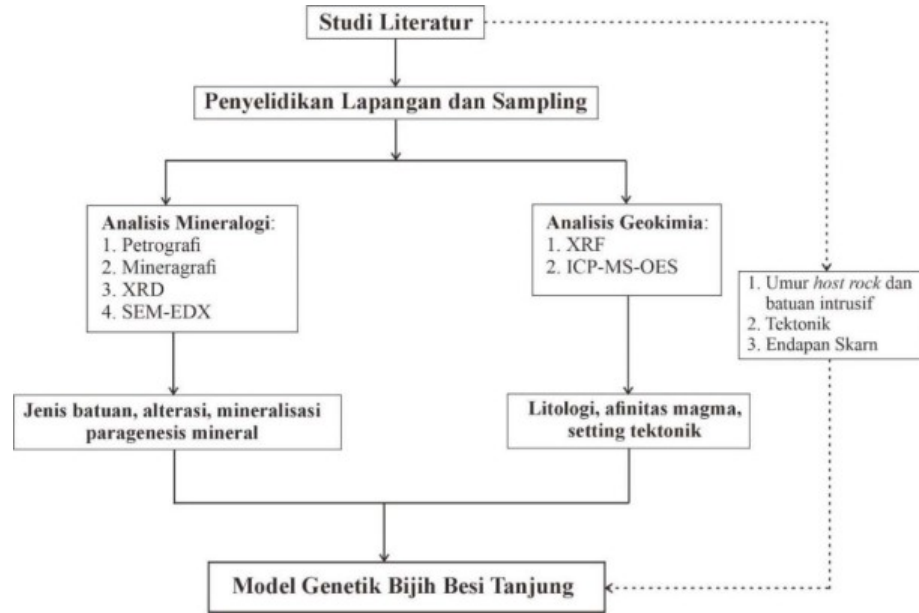
XRF merupakan analisis geokimia untuk menentukan komposisi kimia unsur-unsur mayor pada batuan dan mineral bijih pada daerah penelitian. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui unsur mayor pada mineralisasi bijih besi. Analisis XRF dilakukan sepenuhnya oleh PT Intertek Utama Jakarta.

2.3.3.2 Tahap penyusunan Disertasi

Pada tahap ini hasil penelitian disajikan dalam bentuk laporan. Pada laporan ini, disertakan juga analisis kondisi geologi (regional dan lokal), alterasi-mineralisasi hingga pembuatan model sesuai tujuan utama penelitian ini, yang menunjang kelengkapan data pada penelitian ini. Pada tahapan ini keseluruhan data hasil pengolahan dan analisis dituangkan dalam bentuk tulisan yang saling mendukung antara satu aspek dengan aspek lainnya.

2.3.4 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, setelah semua langkah penelitian dilakukan secara bertahap maka dapat dibuat sebuah diagram alir yang mencakup semua aspek penelitian seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Diagram alir jenis kegiatan lapangan, laboratorium dan pembuatan laporan disertasi

2.4 Sistematika Penulisan

Disertasi ini disusun menurut panduan dari panduan penulisan Karya Ilmiah Tesis/Disertasi mahasiswa Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, panduan rev.1. Susunan disertasi ini disusun menurut sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan, Pada Bab ini berisi: latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta ruang lingkup penelitian

BAB II Kerangka Konseptual, Hipotesis Dan Metodologi Penelitian. Pada Bab ini dibahas berupa: bagaimana membuat analisis agar penelitian lebih terstruktur yang dibuat dalam bentuk kerangka konseptual penelitian, hipotesis sebagai dugaan awal dan metodologi yang digunakan. Pada tiap bagian tertentu diuraikan metode yang lebih praktis terhadap hasil-hasil penelitian.

BAB III Geologi, Geokimia Batuan Dan Implikasi Terhadap Sumber Magma, Tatanan Tektonik Dan Asal Material Mineralisasi. Pada bab ini dibahas berupa: pendahuluan, geologi regional, metode penelitian, hasil dan pembahasan yang berisi: geologi umum daerah Tanjung, petrografi batuan plutonik, geokimia batuan plutonik, XRD batuan plutonik, petrografi batuan vulkanik, geokimia batuan vulkanik, XRD batuan vulkanik, kristalisasi dan



fraksinasi, geokimia asal magma, tatanan tektonik, asal material, kesimpulan dan daftar pustaka. Topik ini telah dibuat dalam bentuk jurnal dengan judul: “Petrology and Geochemistry of Intrusive Rocks in the Tanjung Area, South Sulawesi, Indonesia: Implications for Magma Origin, Source Materials, and Geodynamic Settings”, dengan status *Accepted* di *Iraqi Geological Journal (IGJ)*, Vol.57, No.1C, Year 2024.

Bab IV Alterasi Dan Mineralisasi Bijih Besi Daerah Tanjung Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Topik ini adalah kelanjutan dari topik pertama yang lebih difokuskan pada alterasi yang terbentuk sebagai dampak dari larutan hidrotermal fasa magmatisme. Pada bab ini terdiri atas: abstrak, pendahuluan, geologi umum, metode penelitian, hasil dan pembahasan yang meliputi alterasi yang berkembang di daerah Tanjung yang dalam penelitian ini dibagi menjadi empat tipe alterasi, paragenesis mineral, kesimpulan dan daftar pustaka). Tulisan pada bab IV ini dipublikasikan pada jurnal internasional/nasional bereputasi.

Bab V Mineralogi, Tekstur Dan Karakteristik Bijih Besi Daerah Tanjung Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Pada bab ini dibahas berupa: abstrak, pendahuluan, geologi umum, metode penelitian, hasil dan pembahasan yang meliputi: singkapan bijih besi daerah Tanjung, mineralogi bijih besi berdasarkan analisis XRD, tekstur bijih bijih besi, mineralisasi skarn-Fe, paragenesis mineral bijih, kesimpulan, dan daftar pustaka. Topik ini telah dibuat dalam bentuk prosiding dengan judul: “Mineralogy and Texture of the Iron Ore Deposits in Tanjung and Pake, Bontocani, South Sulawesi, Indonesia. ”, IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science* (GIESED-2023-1134-012034)

Bab VI Pembahasan Umum: Topik akhir dari disertasi ini adalah model genetik mineralisasi bijih besi dan implikasi eksplorasi. Topik ini disusun berdasarkan informasi dari data-data dari topik sebelumnya. Informasi tersebut disusun dalam bentuk tabel deskriptif untuk membangun model sebagaimana tujuan disertasi. Pada Bab VI ini secara berurut diuraikan: pendahuluan, model genetik yang dibangun sebagai tujuan penelitian, bagaimana kontrol geologi terhadap pembentukan bijih Fe serta Implikasi model genetik terhadap eksplorasi mineralisasi bijih besi, dan daftar pustaka. Tulisan pada Pada Bab VI ini akan dipublikasikan pada jurnal internasional/nasional bereputasi.