

**MODEL KONSEPTUAL CEBAKAN EMAS EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH PROSPEK MOTONGKAD  
KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW TIMUR  
PROVINSI SULAWESI UTARA**

*Conceptual Model of Low Sulphidation Epithermal Gold Deposits  
The Motongkad Prospect East Bolaang Mongondow Regency  
North Sulawesi Province*

**MUHAMMAD ADAM  
D033201002**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**PROGRAM STUDI DOKTOR  
TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN LINGKUNGAN  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**MODEL KONSEPTUAL CEBAKAN EMAS EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH PROSPEK MOTONGKAD  
KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW TIMUR  
PROVINSI SULAWESI UTARA**

*Conceptual Model of Low Sulphidation Epithermal Gold Deposits  
The Motongkad Prospect East Bolaang Mongondow Regency  
North Sulawesi Province*

**MUHAMMAD ADAM  
D033201002**

**PROGRAM STUDI DOKTOR  
TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN LINGKUNGAN  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

# **PENGAJUAN DISERTASI**

## **MODEL KONSEPTUAL CEBAKAN EMAS EPITERMAL SULFIDASI RENDAH PROSPEK MOTONGKAD KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW TIMUR PROVINSI SULAWESI UTARA**

Disertasi

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

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ADAM  
D033201002**

Kepada



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## DISERTASI

# MODEL KONSEPTUAL CEBAKAN EMAS EPITERMAL SULFIDASI RENDAH PROSPEK MOTONGKAD KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW TIMUR PROVINSI SULAWESI UTARA

**MUHAMMAD ADAM  
D03320 1002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam  
rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Teknologi Kebumian dan  
Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal, 27 Desember 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Promotor

Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T., IPM  
NIP.19690924 199802 1 001

Co-Promotor

Dr. Ir. Musri Mawa'leda, M.T  
NIP 196112311989031019

Co-Promotor

Dr. Ir. Irzal Nur, M.T  
NIP 19660409 199703 1002

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Dr. Muhammad Isran Ramli,  
M. ASEAN.Eng  
26 200012 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 : Muhammad Adam

Nomor mahasiswa : D033201002

Program studi : Teknologi Kebumihan dan Lingkungan

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara ” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamiharja, M.Eng (alm) dan Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T., IPM (alm) sebagai promotor, Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T sebagai co-promotor-1 dan Dr. Ir. Irzal Nur, M.T sebagai co-promotor-2). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam bentuk teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding EPI *Internasional Conference on Science and Engineering (EICSE)* sebagai artikel dengan judul *Hydrothermal Alteration and Epithermal Gold Mineralization in Motongkad Prospects Area, North Sulawesi, Indonesia* dan di Jurnal *Internasional Gospodarka Surowcami Mineralnymi Mineral Resources Management* sebagai artikel dengan judul *Geology and Characteristics of Epithermal Gold Mineralization at Motongkad Prospect, North Sulawesi, Indonesia*.

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

Gowa, 27 Desember 2023

Yang menyatakan



Muhammad Adam



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Keterdapatan cebakan emas epitermal pada Prospek Motongkad menjadi motivasi tersendiri penulis untuk melakukan penelitian tentang Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara.

Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad memiliki karakteristik tersendiri dan menarik untuk dikaji secara ilmiah dalam bentuk mewujudkan pikiran yang bersifat kebaruan yang dituangkan dalam sebuah susunan disertasi. Tersusunnya disertasi ini tidak terlepas dari bimbingan promotor dan co-promotor, pengetahuan dan arahan dari seluruh dosen selama perkuliahan, motivasi dari kedua orangtua, istriku dan anak-anakku tersayang serta dukungan dari semua pihak, maka disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamiharja, M.Eng (alm) dan Prof. Dr. Eng. Ir.Asri Jaya HS, S.T., M.T., IPM (alm) sebagai promotor, Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T selaku ko-promotor I dan Dr. Ir. Irzal Nur, M.T selaku ko-promotor II dalam pembimbingan disertasi ini.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Adi Maulana, S.T., M.Phil, Prof. Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T, Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T dan Dr. Ir. Haerany Sirajuddin, M.T sebagai tim penguji dan Dr. rer.nat. Ir. Arifudin Idrus, IPU sebagai penguji eksternal dalam ujian promosi disertasi ini.
3. Rektor Universitas Hasanuddin, Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Ketua Program Studi Teknologi Kebumian dan Lingkungan Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program doktor serta para dosen, staf departemen dan rekan-rekan mahasiswa dalam tim penelitian.



Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan disertasi Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad ini tidak terlepas dari keterbatasan dan ketidaksempurnaan, maka penulis memohon saran dan masukan dari berbagai pihak, sehingga dapat menguatkan dan menyempurnakan disertasi ini. Aamiin YRA.

Makassar, 8 Desember 2023

**Penulis**



## ABSTRAK

**MUHAMMAD ADAM.** Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara (dibimbing oleh **Asri Jaya HS, Musri Mawaleda, Irzal Nur**)

Penelitian ini berfokus pada studi tentang kondisi geologi, alterasi hidrotermal dan mineralisasi emas serta Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara. Secara umum penelitian ini bertujuan menghasilkan model konseptual cebakan emas epitermal pada prospek Motongkad dan secara khusus penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi geologi yang mempengaruhi cebakan emas epitermal, menentukan zona alterasi hidrotermal dan tipe mineralisasi emas dan merekonstruksi model konseptual dari cebakan emas epitermal prospek Motongkad.

Metode penelitian terdiri dari pemetaan geologi, zona alterasi dan mineralisasi, pengambilan sampel dan analisis sampel di laboratorium meliputi analisis petrografi, analisis mineragrafi, analisis X-ray diffraction (XRD) dan analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Prospek Motongkad tersusun oleh 3 (tiga) satuan batuan yaitu satuan andesit, satuan riolit dan satuan tufa. Alterasi hidrotermal pada Prospek Motongkad dibagi ke dalam 5 (lima) kelompok/zona, yaitu zona: kuarsa-serisit, kuarsa-serisit-illit, kuarsa-kalsit-serisit-klorit, kuarsa-kalsit-serisit, dan kuarsa-kalsit-kaolinit. Cebakan Emas Epitermal Prospek Motongkad dicirikan dengan adanya urat (*vein*) dan tersebar (*disseminated*). Karakteristik alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan mineralisasi, serta himpunan mineral bijih yang berasosiasi dengan emas, seperti pirit, kalkopirit, sfalerit, tenantit, bornit dan mineral-mineral supergen seperti kovelit, dan kalkosit

Model konseptual dari cebakan emas epitermal sulfidasi rendah didasarkan dari pengamatan dan pengambilan data di lapangan, hasil analisa laboratorium, analisis dan pengolahan data, karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi, cebakan emas epitermal, tahapan dan proses terbentuknya cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad dan model konseptual ini mengacu pada model konseptual yang dikembangkan dan dimodifikasi oleh Buchanan (1981).

**Kata Kunci:** Motongkad, Emas, Epitermal, Sulfidasi Rendah, Model Konseptual



## ABSTRACT

**MUHAMMAD ADAM.** Conceptual Model of Low Sulphidation Epithermal Gold Deposits The Motongkad Prospect East Bolaang Mongondow Regency North Sulawesi Province (Supervised by **Asri Jaya HS, Musri Mawaleda, Irzal Nur**)

This research focuses on the study of geological conditions, hydrothermal alteration and gold mineralization as well as conceptual models of epithermal gold deposits of the Motongkad prospect, East Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi Province. In general, this study aims to produce a conceptual model of epithermal gold deposits on the Motongkad prospect and specifically this study aims to analyze geological conditions affecting epithermal gold deposits, determine hydrothermal alteration zones and types of gold mineralization and reconstruct conceptual models of the Motongkad prospect epithermal gold deposits.

Research methods consist of geological mapping, alteration and mineralization zones, sampling and sample analysis in the laboratory including petrographic analysis, mineragraphic analysis, X-ray diffraction (XRD) analysis and Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) analysis.

The Motongkad Prospect is composed of 3 (three) rock units, namely andesite unit, rhyolite unit and tuff unit. Hydrothermal alteration in the Motongkad prospect is divided into 5 (five) groups/zones, namely: quartz-sericite, quartz-sericite-illite, quartz-calcite-sericite-chlorite, quartz-calcite-sericite, and quartz-calcite-kaolinite. The Motongkad prospect epithermal deposit is characterized by the presence of veins and disseminated. Characteristics of hydrothermal alteration associated with mineralization, as well as the assemblages of ore minerals associated with gold, such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, tennantite, bornite, and supergene minerals such as covellite and chalcocite.

The conceptual model of epithermal gold deposits is based on observations and data collection in the field, results of laboratory analysis, data analysis and processing, characteristics of hydrothermal alteration and mineralization, epithermal gold deposits, stages and processes of formation of the Motongkad prospect epithermal gold deposit and this conceptual model refers to the model conceptual developed and modified by Buchanan (1981).

**Keywords:** Motongkad, Gold, Epithermal, Low Sulphidation, Conceptual Model



## DAFTAR ISI

|                                                                                   | Halaman |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                                        | i       |
| <b>PENGAJUAN DISERTASI.....</b>                                                   | ii      |
| <b>PERSETUJUAN DISERTASI.....</b>                                                 | iii     |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI.....</b>                                         | iv      |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                        | v       |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                              | vii     |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                             | viii    |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                                           | ix      |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                                          | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                         | xii     |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>                                                       | xvii    |
| <b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....</b>                                      | xviii   |
| <br><b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                 | 1       |
| 1.1. Latar Belakang.....                                                          | 1       |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                                                         | 4       |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....                                                       | 5       |
| 1.4. Manfaat Penelitian.....                                                      | 5       |
| <br><b>BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS<br/>          PENELITIAN.....</b> | 6       |
| 2.1. Kerangka Konseptual.....                                                     | 6       |
| 2.2. Hipotesis Penelitian .....                                                   | 11      |
| <br><b>BAB III GEOLOGI DAERAH MOTONGKAD .....</b>                                 | 12      |
| 3.1. Pendahuluan .....                                                            | 12      |
| 3.2. Metode Penelitian.....                                                       | 14      |
| 3.3. Geologi Daerah Motongkad.....                                                | 14      |
| 3.3.1. Geomorfologi.....                                                          | 14      |
| 3.3.2. Litologi.....                                                              | 15      |
| 3.3.2.1. Satuan Andesit.....                                                      | 16      |
| 3.3.2.2. Satuan Riolit.....                                                       | 18      |
| 3.3.3. Satuan Tufa .....                                                          | 19      |
| 3.3.3. Struktur Geologi.....                                                      | 22      |



|                                                                                        |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>BAB IV ALTERASI HIDROTERMAL DAN MINERALISASI EMAS....</b>                           | <b>27</b>     |
| 4.1 Pendahuluan .....                                                                  | 27            |
| 4.2 Metode Penelitian.....                                                             | 35            |
| 4.3 Alterasi Hidrotermal .....                                                         | 36            |
| 4.3.1. Zona Alterasi Kuarsa-Serisit.....                                               | 37            |
| 4.3.2. Zona Alterasi Kuarsa-Serisit-illit .....                                        | 42            |
| 4.3.3. Zona Alterasi Kuarsa-Kalsit-Serisit-Klorit.....                                 | 45            |
| 4.3.4. Zona Alterasi Kuarsa-Kalsit-Serisit .....                                       | 48            |
| 4.3.5. Zona Alterasi Kuarsa-Kalsit-Kaolinit .....                                      | 53            |
| 4.4. Mineralisasi dan Kadar Bijih .....                                                | 55            |
| 4.5. Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah .....                                     | 72            |
| <br><b>BAB V PEMBAHASAN UMUM .....</b>                                                 | <br><b>75</b> |
| 5.1 Pendahuluan .....                                                                  | 75            |
| 5.2 Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah<br>Prospek Motongkad..... | 77            |
| <br><b>BAB VI KESIMPULAN DAN REKOMENDASI</b>                                           |               |
| 6.1. Kesimpulan .....                                                                  | 86            |
| 6.2. Rekomendasi .....                                                                 | 86            |
| <br><b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                         | <br><b>87</b> |



## DAFTAR TABEL

| Nomor                                                                                                                                                                                                                        | Halaman |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Tabel 1</b> Mineral bijih dan mineral <i>gangue</i> pada endapan epitermal sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (warna merah: mineral bijih, warna biru: mineral <i>gangue</i> ) (Hedenquist, <i>et al.</i> , 1996)..... | 34      |
| <b>Tabel 2</b> Kadar bijih sampel-sampel mineralisasi hasil analisis <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i> (AAS).....                                                                                                   | 57      |
| <b>Tabel 3</b> Kadar Au yang signifikan di Prospek Motongkad.....                                                                                                                                                            | 69      |
| <b>Tabel 4</b> Perbandingan karakteristik endapan epitermal sulfidasi rendah menurut Hedenquist, <i>et al.</i> , (2000) dengan daerah penelitain.....                                                                        | 82      |



## DAFTAR GAMBAR

| Nomor            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Halaman |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Gambar 1</b>  | Kerangka Konseptual Penelitian.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10      |
| <b>Gambar 2</b>  | Peta geologi Pulau Sulawesi. Kelima provinsi tektonik digambarkan pada peta <i>inset</i> . Lokasi penelitian ditunjukkan dengan kotak/blok berwarna merah, yang terletak di Lengan Utara ( <i>North Arm</i> ) Pulau Sulawesi. Palung Sulawesi Utara ( <i>North Sulawesi Trench</i> ) dan jalur subduksinya juga terlihat di sebelah utara Pulau Sulawesi (dimodifikasi dari Hall and Wilson, 2000)..... | 13      |
| <b>Gambar 3</b>  | Kenampakan satuan bentangalam perbukitan denudasional Prospek Motongkad difoto ke arah Baratlaut (N315°E).....                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 15      |
| <b>Gambar 4</b>  | Singkanan batuan andesit yang sebagian besar berubah menjadi warna hijau dan diindikasi telah teralterasi kuat .....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 16      |
| <b>Gambar 5</b>  | Kenampakan secara mikroskopis batuan andesit yang teralterasi kuat, memperlihatkan himpunan mineral alterasi yaitu kuarsa (Qz), serisit (Ser), kalsit (Cal), <i>clay</i> (Cl), kaolinit (Kao), dan opak (Op). Nikol sejajar (A,C) dan nikol silang (B,D).....                                                                                                                                           | 17      |
| <b>Gambar 6</b>  | Foto singkanan batuan riolit yang sebagian besar berwarna coklat dan diindikasi telah teralterasi kuat.....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 18      |
| <b>Gambar 7</b>  | Kenampakan secara mikroskopis batuan riolit yang teralterasi kuat, memperlihatkan himpunan mineral alterasi yaitu kuarsa (Qz), serisit (Ser), kalsit (Cal), <i>clay</i> (Cl), dan opak (Op). Nikol sejajar (A,C) dan nikol silang (B,D).....                                                                                                                                                            | 19      |
| <b>Gambar 8</b>  | Foto singkanan batuan tufa yang sebagian berwarna coklat dan diindikasi telah teralterasi kuat.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 20      |
| <b>Gambar 9</b>  | Kenampakan secara mikroskopis batuan tufa yang teralterasi kuat, memperlihatkan himpunan mineral alterasi yaitu kuarsa (Qz), serisit (Ser) dan opak (Op). Nikol sejajar (A,C) dan nikol silang (B,D).....                                                                                                                                                                                               | 21      |
| <b>Gambar 10</b> | Peta Geologi Prospek Motongkad .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 22      |
| <b>Gambar 11</b> | Kenampakan kekar gerus pada andesit di Prospek Motongkad di stasiun 6, difoto ke arah utara timurlaut (N20°E).....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 24      |
| <b>Gambar 12</b> | Kenampakan kekar sistematik pada litologi riolit di Sungai Tubiq Mulatoi stasiun 10, difoto ke arah timurlaut (N46°E).....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 24      |
|                  | Kenampakan kekar sistematik pada litologi tufa di prospek Motongkad stasiun 1, difoto ke arah Barat Baratlaut (N320°E).....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 25      |
|                  | Singkanan tufa dengan urat kuarsa berarah Baratlaut-Tenggara 325°E/30° di Stasiun 19.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 25      |



|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 15</b> | Penampang Tipikal Tubuh Bijih Sulfidasi Tinggi yang memperlihatkan zona inti (Hedenquist, et al., 2000).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 28 |
| <b>Gambar 16</b> | Bagian skema yang menggeneralisasi pola alterasi dalam sistem sulfidasi rendah, menunjukkan bentuk variabel dengan bertambahnya kedalaman, dan zonasi alterasi yang khas, termasuk distribusi sinter, selimut alterasi panas uap argilik lanjut (AA), dan muka air tanah silisifikasi. Variasi geologi antar endapan menyebabkan banyak penyimpangan dari generalisasi ini (Hedenquist, et al., 2000).....                          | 28 |
| <b>Gambar 17</b> | Zonasi mineralogi dari tipe endapan epitermal (Cooke and Simmons, 2000).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 29 |
| <b>Gambar 18</b> | Skema distribusi alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan endapan epitermal sulfidasi rendah (LS) dan epitermal sulfidasi tinggi (HS) (Hedenquist, et al, 1996).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 31 |
| <b>Gambar 19</b> | Peta zona alterasi hidrotermal Prospek Motongkad .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 37 |
| <b>Gambar 20</b> | (A) Singkapan tufa teralterasi di ST.1. (B) Sampel ST.1.D yang merupakan tufa teralterasi yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan butiran-butiran sulfida halus di sisi-sisinya.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 38 |
| <b>Gambar 21</b> | Fotomikroskopis sampel ST.1.D yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qz), serisit (Ser), illit (Ill), kaolinit (Kao), dan opak (Op). Himpunan mineral opak yang bertekstur <i>dendritic</i> terlihat di sisi kiri-bawah foto C. Foto A dan C nikol sejajar, foto B dan D nikol silang.....                                                                                                                           | 39 |
| <b>Gambar 22</b> | Fotomikroskopis sampel ST.13. yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qz), serisit (Ser), dan opak (Op). Himpunan mineral opak yang bertekstur <i>dendritic</i> terlihat di sisi kiri-atas foto B. Foto A nikol silang, foto B nikol sejajar.....                                                                                                                                                                     | 40 |
| <b>Gambar 23</b> | (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di lokasi ST.17. (B) Sampel ST.17. (C), (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.17 yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qz), serisit (Ser), klorit (Chl), <i>clay</i> , dan opak (Op). Mineral opak teroksidasi ( <i>oxidized</i> ) berwarna merah tampak pada foto D.....                                                                                           | 41 |
| <b>Gambar 24</b> | (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di lokasi ST.18 (B) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.18 yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qz), serisit (Ser), dan opak (Op) pada batuan bertekstur porfiritik.....                                                                                                                                                                                             | 42 |
| <b>Gambar 25</b> | (A) Sampel riolit porfiri teralterasi yang merupakan <i>host rock</i> mineralisasi <i>vein</i> kuarsa bertekstur <i>vuggy</i> dari ST.9. Sayatan tipis dibuat ada bagian alterasinya (ST.9.B). (B), (C), (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.9.B yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi <i>clay</i> di foto B, kuarsa (Qz) dan rekristalisasi Qz di foto C, serta <i>adularia</i> (Ad) dan opak (Op) di foto D..... | 43 |



|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 26</b> | (A) Singkapan tufa riolitik teralterasi di ST.23.(B) Sampel ST.23.A. (C) Sampel ST.23.B. (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.23.A yang memperlihatkan mineral alterasi silika-serisit (Si-Ser) dan <i>clay</i> -opak (Cl-Op). (E) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST.23.B yang memperlihatkan himpunan mineral silika-serisit-opak (Si-Ser-Op) yang terbentuk pada fase awal kemudian di-overprint sebagian oleh himpunan mineral <i>clay</i> -opak (Cl-Op).....                                                                                                                                           | 44 |
| <b>Gambar 27</b> | (A) Singkapan tufa teralterasi di ST.24. (B) Sampel ST.24 (C) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST.24 yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi serisit-silika (Ser-Si) dan <i>clay</i> -opak (Cl-Op) (D) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel yang sama, yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi serisit- <i>clay</i> (Ser-Cl) dan butiran-butiran opak (Op).....                                                                                                                                                                                                                                        | 45 |
| <b>Gambar 28</b> | (A) Sampel ST.3; andesit porfiri teralterasi yang mengandung urat-urat ( <i>veins</i> ) kuarsa. (B) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST.3-1 yang memperlihatkan <i>vein</i> kuarsa (Qz) terisi kalsit (Cal) dan mineral serisit-opak (Ser-Op). (C) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST.3-1 yang memperlihatkan himpunan mineral kuarsa (Qz), serisit (Ser), klorit (Chl), dan opak (Op). (D) dan (E) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST.3-2 yang memperlihatkan <i>vein</i> kuarsa (Qz) dan himpunan mineral kuarsa (Qz), serisit (Ser), <i>clay</i> (Cl), klorit (Chl), dan opak (Op)..... | 47 |
| <b>Gambar 29</b> | (A) Sampel ST.20; andesit porfiri teralterasi kuat, yang mengandung butiran-butiran sulfida (B) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST.20 yang memperlihatkan <i>vein</i> halus silika (Si) dan klorit (Chl) serta mineral-mineral alterasi serisit (Ser), <i>clay</i> (Cl), dan kalsit (Cal). (C) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST.20 yang memperlihatkan mineral alterasi serisit-silika (Ser-Si). (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.20 yang memperlihatkan mineral-mineral alterasi silika (Si), <i>clay</i> (Cl), dan klorit (Chl).....                                                         | 48 |
| <b>Gambar 30</b> | (A) Sampel ST.7; tufa teralterasi. (B) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.7-1. (C) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST.7-2. (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST.7-2. Mineral-mineral alterasi yang tampak adalah: kalsit (Cal), silika (Si), serisit (Ser), dan opak (Op).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 49 |
| <b>Gambar 31</b> | (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di ST.10 (B) Sampel ST.10.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 50 |
| <b>Gambar 32</b> | (A), (B) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sayatan tipis ST.10-1. (C) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sayatan tipis ST.10-2. (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sayatan tipis ST.10-2. Himpunan mineral alterasi adalah silika (Si), kuarsa (Qz), serisit (Ser), klorit (Chl), opak (Op). Klorit (Chl) di Gambar D <i>me-replace</i> fenokris hornblende (B) di Gambar C.....                                                                                                                                                                                                                                                | 51 |



|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 33</b> | (A)Sampel andesit porfiri teralterasi dari ST.46<br>(B)Fotomikroskopis (nikol sejajar) sayatan tipis ST.46-1.<br>(C)Fotomikroskopis (nikol silang) sayatan tipis ST.46-1.<br>(D)Fotomikroskopis (nikol silang) sayatan tipis ST.46-2. Himpunan mineral alterasi yang tampak adalah kuarsa (Qz), serisit (Ser), kalsit (Cal), <i>clay</i> (Cl), kaolinit (Kao), dan opak (Op) .....                                                                                 | 52 |
| <b>Gambar 34</b> | (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di ST.29 (B) Sampel ST.29. (C), (E)Fotomikroskopis (nikol sejajar) Sampel ST.29. (D), (F) Fotomikroskopis (nikol silang) Sampel ST.29. Himpunan mineral alterasi yang tampak adalah kuarsa (Qz), kalsit (Cal), kaolinit (Kao), dan opak (Op).....                                                                                                                                                                         | 53 |
| <b>Gambar 35</b> | Difraktogram XRD dari dua sampel alterasi menunjukkan mineral lempung (A) illit dan (B) kaolinit .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 54 |
| <b>Gambar 36</b> | Peta zona alterasi dan mineralisasi Prospek Motongkad.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 56 |
| <b>Gambar 37</b> | (A) Singkapan tufa teralterasi di ST.1 dengan <i>vein</i> kuarsa berkedudukan N292°E/4° (B) Sampel ST.1.A yang merupakan tufa teralterasi yang mengandung <i>vein</i> sulfida. (C) Sampel ST.1.D yang merupakan tufa teralterasi yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan butiran sulfida halus berspasi rapat di sisi-sisinya.....                                                                                                                                  | 58 |
| <b>Gambar 38</b> | Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.1.D yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya. Keterangan: Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ .....                                                                                                                                                                                                                | 59 |
| <b>Gambar 39</b> | (A) Sampel ST.3 yang merupakan batuan andesit porfiri teralterasi yang mengandung jaringan <i>vein</i> kuarsa yang saling berpotongan. (B), (C), (D) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.3 yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ .....                            | 61 |
| <b>Gambar 40</b> | (A) Sampel ST.9.B yang merupakan <i>vein</i> kuarsa bertekstur <i>vuggy</i> pada <i>host rock</i> batuan riolit porfiri teralterasi kuat. (B), (C), (D) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.3 yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Au: emas, Cc: kalkosit, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ ..... | 62 |
| <b>Gambar 41</b> | (A) Singkapan tufa teralterasi yang mengandung mineralisasi sulfida tersebar di ST.11. (B) <i>Closed-up</i> singkapan di Gambar A (ST.11). (C) Sampel ST.11 yang memperlihatkan butiran sulfida halus yang tersebar rapat; warna merah kehitaman pada permukaan sampel mengindikasikan oksida-besi.....                                                                                                                                                            | 63 |



|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 42</b> | Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.11 yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya. Keterangan: Au: emas, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ .....                                                                                                                                                                                                                               | 64 |
| <b>Gambar 43</b> | (A) Singkapan batuan tufa riolitik teralterasi di ST.13 (B) <i>Closed-up</i> foto A (C) Sampel ST.13.A (D) dan (E) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.13.A yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya Keterangan: Bn: bornit, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit, Tn: tenantit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ .....                                                                                           | 65 |
| <b>Gambar 44</b> | (A) Sampel ST.13.B. (B), (C), (D), (E) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.13.B yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya. Keterangan: Au: emas, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit, Tn: tenantit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ .....                                                                                                                                                                        | 66 |
| <b>Gambar 45</b> | A) Lokasi <i>test pit</i> di ST.20 (B) Sampel andesit porfiri teralterasi yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan butiran-butiran sulfida halus didominasi pirit dari <i>test pit</i> di ST.20 (C), (D) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST.20 yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala <i>bar</i> 100 $\mu\text{m}$ ..... | 68 |
| <b>Gambar 46</b> | (A) Singkapan tufa riolitik teralterasi-mineralisasi di ST.23 (B) <i>Closed-up</i> singkapan di Foto A yang menampakkan zona-zona silisifikasi dan oksidasi. (C) Sampel ST.23.A yang mengandung <i>vein</i> sulfida; kadar Au 0,85 g/t. (D) Sampel ST.23.B yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan produk oksidasi yang berwarna merah tua; kadar Au 0,88 g/t...                                                                                                                            | 70 |
| <b>Gambar 47</b> | (A) Singkapan tufa riolitik teralterasi-mineralisasi di ST.24. (B), (C) Sampel ST.24 yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan <i>vein</i> sulfida; kadar Au 0,83 g/t.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 70 |
| <b>Gambar 48</b> | (A) Singkapan tufa teralterasi setebal $\pm 3$ m di ST.4. (B) <i>Vein</i> kuarsa bertekstur <i>dog teeth</i> setebal 10 cm pada <i>host</i> tufa teralterasi di ST.4 (C) Sampel ST.4; <i>vein</i> kuarsa bertekstur <i>vuggy</i> ; kadar Au 0,42 g/t .....                                                                                                                                                                                                                                 | 71 |
| <b>Gambar 49</b> | A) <i>Test pit</i> yang dibuat pada batuan tufa teralterasi di ST.41 (B) Sampel mineralisasi dari ST.41 yang memperlihatkan <i>vein</i> kuarsa dan <i>cluster-cluster</i> butiran sulfida halus. Kadar Au 0,46 g/t.....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 72 |
| <b>Gambar 50</b> | Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi rendah Prospek Motongkad (dimodifikasi dari Buchanan, 1981).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 78 |



## DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor               |                                                                                 | Halaman |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Lampiran 1.</b>  | Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad..... | 90      |
| <b>Lampiran 2.</b>  | Peta Tunjuk Lokasi Penelitian.....                                              | 91      |
| <b>Lampiran 3.</b>  | Peta Stasiun.....                                                               | 92      |
| <b>Lampiran 4.</b>  | Peta Geomorfologi.....                                                          | 93      |
| <b>Lampiran 5.</b>  | Peta Geologi.....                                                               | 94      |
| <b>Lampiran 6.</b>  | Peta Kemiringan Lereng.....                                                     | 95      |
| <b>Lampiran 7.</b>  | Peta 3D Elevasi.....                                                            | 96      |
| <b>Lampiran 8.</b>  | Peta Kemiringan Lereng.....                                                     | 97      |
| <b>Lampiran 9.</b>  | Peta Pola Aliran Sungai.....                                                    | 98      |
| <b>Lampiran 10.</b> | Peta Citra .....                                                                | 99      |
| <b>Lampiran 11.</b> | Peta Zona Alterasi.....                                                         | 100     |
| <b>Lampiran 12.</b> | Peta Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi.....                                 | 101     |
| <b>Lampiran 13.</b> | Hasil Analisis Petrografi.....                                                  | 102     |
| <b>Lampiran 14.</b> | Hasil Analisis Mineragrafi.....                                                 | 140     |
| <b>Lampiran 15.</b> | Hasil Analisis XRD.....                                                         | 150     |
| <b>Lampiran 16.</b> | Hasil Analisis AAS.....                                                         | 158     |
| <b>Lampiran 17.</b> | Publikasi Jurnal Internasional .....                                            | 163     |
| <b>Lampiran 18.</b> | Prosiding Seminar Internasional.....                                            | 182     |



## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

| Lambang/singkatan   | Arti dan keterangan                             |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| AAS                 | = <i>Atomic Absorption Spectrophotometry</i>    |
| Au                  | = Emas                                          |
| Ag                  | = Perak                                         |
| Afs                 | = Alkali Felspar                                |
| Bn                  | = Bornit                                        |
| Cal                 | = Kalsit                                        |
| Ccp                 | = Kalkopirit                                    |
| Chl                 | = Klorit                                        |
| Cl                  | = Mineral lempung                               |
| Cu                  | = Tembaga                                       |
| °C                  | = Satuan derajat Celcius                        |
| Cv                  | = Kovelit                                       |
| <i>Disseminated</i> | = Tipe tersebar                                 |
| Fe                  | = Besi                                          |
| Ill                 | = Illit                                         |
| Kao                 | = Kaolin                                        |
| Mo                  | = Molibdenun                                    |
| Op                  | = Opak                                          |
| Pb                  | = Galena                                        |
| Pl                  | = Plagioklas                                    |
| Ppm                 | = Part Per Million/Satuan emas                  |
| Px                  | = Piroksen                                      |
| Py                  | = Pirit                                         |
| Qz                  | = Kuarsa                                        |
| Rf                  | = <i>Rock Fragmen</i> / Fragmen batuan          |
| -                   | = Serisit                                       |
| -                   | = Sfalerit                                      |
| b                   | = Satuan Batuan Gunungapi Bilungala/Diorit Bone |
| v                   | = Batuan Gunungapi/ breksi, lava dan tufa       |



|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| Tnt            | = Tennantit                        |
| <i>Veinlet</i> | = Urat halus pada mineral          |
| <i>Vein</i>    | = Tipe urat                        |
| <i>Vuggy</i>   | = Tekstur khusus pada mineralisasi |
| <i>XRD</i>     | = <i>X-ray Diffraction</i>         |
| Zn             | = Seng                             |
| ●              | = Prospek Motongkad                |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Secara administratif lokasi Penelitian Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad terletak di Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara, yang merupakan bagian dari Lengan Utara Pulau Sulawesi. Secara astronomis lokasi penelitian berada pada koordinat  $124^{\circ}31'56,89''$ - $124^{\circ}32'36,87''$  Bujur Timur dan  $0^{\circ}40'25,95''$ - $0^{\circ}40'25,95''$  Lintang Utara, berada di sebelah baratdaya Kota Manado.

Sulawesi merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar, yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina. Pada bagian utara pulau Sulawesi terdapat palung Sulawesi Utara yang terbentuk oleh subduksi kerak samudra dari laut Sulawesi (Hall and Smyth, 2008).

Secara geologi regional Prospek Motongkad secara keseluruhan disusun oleh Satuan Batuan Gunungapi (*Tmv*) terdiri atas breksi, lava dan tufa. Aliran lava pada umumnya berkomposisi andesit sampai basal. Struktur geologi yang berkembang di Prospek Motongkad adalah sesar terutama sesar normal yang berarah dominan baratlaut-tenggara dan sebagian kecil berarah timurlaut-baratdaya. Prospek Motongkad terletak di bagian timur dari Lengan Utara Sulawesi yang merupakan busur gunungapi yang secara tektonik terbentuk karena adanya tunjaman ganda, yaitu Lajur Tunjaman Sulawesi Utara di sebelah utara Lengan Utara Sulawesi dan Lajur Tunjaman Sangihe Timur di sebelah timur dan selatan Lengan Utara (Simandjuntak, 1986). Penunjaman tersebut mengakibatkan terjadinya kegiatan *magmatisme* dan *vulkanisme* yang menghasilkan terbentuknya batuan plutonik dan gunungapi (Effendi dan Bawono, 1997).

Di Lengan Utara Sulawesi terdapat dua distrik mineralisasi epitermal Au-Ag di tinggi hingga menengah, yang secara geografis berbatasan, yaitu distrik Lanut dan Lanut. Distrik mineralisasi Doup terdiri atas 5 (lima) prospek, yaitu Benteng, Tungau, Parabo dan Tapabeken. Sedangkan Distrik Lanut terdiri



atas beberapa jenis endapan, yaitu: (1) Riska dan Effendi (epitermal Au sulfidasi tinggi), (2) Tobongan dan Lanut (epitermal Au sulfidasi menengah), (3) Endapan Porfiri Cu, dan (4) Sistem mata air panas aktif yang kaya mineral logam.

Distrik mineralisasi Doup pernah diinvestigasi oleh Placer Dome antara tahun 1984 hingga 1991, termasuk pengeboran inti (*diamond drilling*) dengan total kedalaman 7.252 m di Prospek Doup dan Benteng dan telah ditambang dengan sistem *aluvial mining* oleh Pemerintah Belanda endapan di Tapabeken, (Kavalieris *et al.*, 1992).

Distrik Doup berada pada daerah geotermal aktif yang terletak sekitar 30 km di sebelah timurlaut Kompleks Vulkanik Gunung Ambang. Daerah ini disusun oleh batuan vulkanik Miosen dan batuan sedimen laut, yang diintrusi oleh stok-stok diorit dan ditutupi oleh batugamping dan batuan sedimen klastik karbonatan berumur Miosen Akhir serta batuan vulkanik dan endapan aluvium berumur Pliosen hingga Resen. Secara struktural, daerah ini merupakan suatu kompleks subduksi yang berhubungan dengan busur sesar-sesar paralel berarah timurlaut serta sesar-sesar ikutannya yang berarah baratlaut. Interaksi sesar-sesar tersebut diinterpretasikan mengontrol *emplacement* tubuh-tubuh intrusi dangkal dan dalam, bersama-sama dengan pengendapan mineralisasi proksimal tipe porfiri dan epitermal sulfidasi-menengah (Doup), dan mineralisasi distal tipe *sediment-hosted* (Mesel) dan epitermal sulfidasi-tinggi (Hutu Sita).

*Host rock* mineralisasi di Doup adalah diorit kuarsa yang mengalami alterasi awal tipe porfiri (biotit  $\pm$  albit), yang kemudian di-*overprint* oleh alterasi illit/illit-smektit-pirit-adularia yang intensif. Batuan-batuan berbutir/berkristal halus andesit porfiri dan dasit porfiri kemudian memotong batuan diorit teralterasi tersebut. Mineralisasi ini kemudian membentuk tubuh mirip pipa yang meluas sampai kedalaman minimal 200 m, dan berdiameter 100-200 m, serta memanjang ke arah timurlaut-baratdaya.

Distrik Lanut telah dilakukan penyelidikan detail yang difokuskan pada Prospek Riska dan Effendi, yang meliputi pengeboran inti dengan total kedalaman

n. Hasilnya adalah sumber daya sebesar 14,2 juta ton dengan 1,5 g/t Au g/t Ag, dimana di prospek Riska, yang membawanya ke tahap produksi di 004, berdasarkan sumber daya sekitar 600.000 ons. Pada tahun yang sama,



sumber daya sebesar 110.000 ons ditemukan di Prospek Effendi (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012).

Endapan Riska di-*host* oleh Sekuens Lanut, dan terdiri atas satu tubuh mineralisasi dengan panjang 450 m dan lebar 350 m, yang hampir keseluruhannya disusun oleh himpunan mineral silika-alunit. Endapan ini memiliki *trend* timur timurlaut-barat baratdaya (ENE-WSW) yang merefleksikan struktur geologi awalnya yang mengontrol sebaran alterasi awal argilik lanjut yang menyebar luas. Tubuh mineralisasi dipotong oleh sejumlah breksi hidrotermal yang tipis (lebar 2-8 m, panjang 100-250 m), berkemiringan tegak, berarah NNE-NS, yang dikontrol oleh struktur, dan berfungsi sebagai jalur naiknya volatil magmatik dan alterasi fasa utama, serta pengendapan emas. Riska memiliki karakteristik yang mirip dengan endapan-endapan epitermal sulfidasi-tinggi di dunia pada umumnya, yaitu dicirikan oleh inti *vuggy*, silika masif dan kumpulan silika-sulfida, yang terbentuk sepanjang *feeder* struktur, dan diselimuti oleh alterasi silika-alunit-sulfida±dikit±pirofilit±diaspor yang membentuk corong melebar ke arah permukaan dan membentuk *halo* alterasi yang luas. Zona silika-alunit tersebut dikelilingi/diselimuti oleh zona alterasi kaolinit-illit dan illit-smektit (Nugroho, dkk., 2005).

Endapan Riska memiliki evolusi pengendapan yang sama dengan endapan-endapan epitermal sulfidasi-tinggi pada umumnya, tetapi memiliki fitur yang unik di mana peristiwa mineralisasi utamanya dicirikan oleh dominasi alterasi alunit yang terdeposisi sepanjang zona struktur dengan orientasi yang berbeda dibandingkan yang dikontrol oleh alterasi fasa awal (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012).

Di Prospek Lanut sendiri (Carlile *et al.*, 1990), mineralisasi emas di-*host* oleh sekuens batuan sedimen-vulkaniklastik Miosen dan unit vulkanik Pliosen di bagian atasnya, yang disusun oleh lava traki-andesitik dan unit-unit vulkanik *interbedded*-nya. Sekuens vulkanik ini, yang tebalnya 250 m, meng-*host* sebagian besar mineralisasi. Sistem mineralisasi membentuk zona-zona *vein-veinlets* adularia yang menyelimuti zona-zona *halo* klorit-illit-pirit dan di-*overprint* na kaolinit-pirit-markasit di bagian atasnya. *Vein-veinlets* kuarsa tersebut ya miskin-sulfida, dan juga mengandung *veinlets* rijang berwarna hijau abu-abu, *veins* kuarsa bertekstur gigi anjing (*dog tooth*) dan *veinlets*/



*stockworks*, serta zona *wall rock* breksi yang tersemen kuarsa. Zona *veining* kuarsa dengan tipe yang berbeda terbentuk akibat peristiwa *hydraulic fracturing* yang berulang. Mineralisasi emas yang paling kaya terjadi pada urat-urat kuarsa dengan tebal mencapai 1,5 m, yang di beberapa tempat memperlihatkan adanya bukti telah terjadinya *recemented* breksiasi dalam beberapa episode oleh generasi kuarsa yang lebih belakangan. Temperatur inklusi fluidanya berkisar 175-250°C.

Di Tobongan (Carlile *et al.*, 1990), mineralisasi terjadi pada urat-urat kuarsa dan *stockworks* serta dalam bentuk diseminasi *fracture* yang di-*host* oleh batuan andesitik dan dikelilingi oleh alterasi illit-pirit yang ke arah luar bergradasi menjadi klorit.

Dari sejumlah lokasi endapan emas yang berada di sekitar Prospek Motongkad, yang telah diuraikan di atas, belum ada yang melaporkan tentang model konseptual cebakan, sehingga hal ini melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian dengan judul “Model Konseptual Cebakan Emas Epitermal Sulfidasi Rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut di atas, maka rumusan masalah utama dari penelitian disertasi ini adalah bagaimana model konseptual dari endapan emas eipermal sulfidasi rendah di daerah penelitian. Model konseptual atau model genetik endapan adalah suatu model yang menjelaskan dan menganalisis komponen-komponen genetik dari suatu endapan mineral dan menjelaskan interaksinya (Babcock, 1984). Komponen-komponen genetik dari endapan epitermal, adalah: kondisi geologi (morfologi, litologi, tektonik/struktur, umur), karakteristik alterasi dan mineralisasi, jenis/tipe mineralisasi, kadar bijih (Hedenquist *et al.*, 2000). Sehingga rumusan masalah secara umum dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi geologi yang mengontrol cebakan emas epitermal prospek Motongkad  
 2. Bagaimana karakteristik alterasi hidrotermal pada Prospek Motongkad.  
 3. Bagaimana karakteristik mineralisasi dan kadar bijih pada Prospek Motongkad.



### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian disertasi ini secara umum adalah merekonstruksi model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah di Prospek Motongkad, dengan tujuan khusus adalah:

1. Menganalisis bagaimana kondisi geologi yang mengontrol cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad
2. Menganalisis bagaimana karakteristik alterasi hidrotermal pada Prospek Motongkad.
3. Menganalisis bagaimana karakteristik mineralisasi dan kadar bijih pada Prospek Motongkad.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian tentang model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah masih sangat terbatas kajian dan informasi yang dapat diberikan dari aspek geologi rangka memberikan kontribusi penambangan emas yang bernilai ekonomis pada Prospek Motongkad. Mengingat masih sangat terbatasnya data ilmiah terkait dengan cebakan emas epitermal sulfidasi rendah yang dimiliki Prospek Motongkad, maka manfaat penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk studi geologi terutama tentang kondisi geologi yang mengontrol cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih dalam pengembangan ilmu pengetahuan geologi tentang karakteristik alterasi hidrotermal Prospek Motongkad
3. Dengan adanya karakteristik mineralisasi dan kadar bijih emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad diharapkan dapat menjadi acuan dalam eksploitasi serta pengembangannya dan pengusahaan secara ekonomis



## **BAB II**

### **KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN**

#### **2.1 Kerangka Konseptual**

Sebelum pembahasan tentang model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad, maka terlebih dahulu akan dibangun kerangka konseptual sebagai sebuah alur pemikiran terhadap suatu hubungan antar konsep yang satu dengan konsep yang lainnya untuk dapat memberikan gambaran dan mengarahkan asumsi terkait dengan variabel-variabel yang akan diteliti.

Pada penelitian disertasi tentang model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad akan didapatkan berbagai variabel-variabel yang akan diteliti untuk mendapatkan gambaran dan konsep mendapatkan kesimpulan dari penelitian disertasi ini.

Secara umum kerangka konseptual pada penelitian disertasi ini terdiri atas 3 (tiga) yaitu: (1) variabel bebas, (2) variabel antara dan (3) variabel menggantung. Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain, menjadi sebab atau berubahnya suatu variabel. Variabel bebas yang faktornya diukur, diinterpretasi, atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungannya dengan suatu gejala yang diobservasi. Variabel antara adalah faktor yang secara teoretik mempunyai pengaruh terhadap variabel menggantung sebagai variabel yang memperkuat dari kesempurnaan sebuah disertasi. Variabel menggantung merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas.

Variabel bebas yang mempengaruhi terjadinya perubahan pada batuan akibat naiknya fluida hidrotermal dan sangat berperan dalam pembentukan mineral ubahan dalam sistem hidrotermal, yaitu: larutan hidrotermal, temperatur, tekanan, konsentrasi larutan, batuan induk (hostrock), waktu dan permeabilitas (Corbett and Leach, 1996). Adapun variabel bebas yang berperan dalam menentukan alterasi hidrotermal dan mineralisasi pada model konseptual 1 emas epitermal sulfidasi rendah pada Prospek Motongkad dapat an sebagai berikut:



### 1. Larutan Hidrotermal (X1)

Larutan hidrotermal adalah cairan bertemperatur tinggi ( $100^{\circ}\text{C}$ - $500^{\circ}\text{C}$ ) sisa pendinginan magma yang mampu dan membentuk mineral-mineral tertentu serta membawa mineral-mineral berharga di dalamnya. Secara umum cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali dan alkali tanah, mengandung air dan unsur-unsur volatil.

### 2. Temperatur (X2)

Temperatur adalah ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem dengan menggunakan satuan derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Besar atau kecilnya suatu temperatur dari larutan hidrotermal yang mempengaruhi atau mengubah mineral-mineral dalam batuan induk (hostrock). Temperatur cairan hidrotermal memainkan peran utama dalam menentukan tingkat dan sifat perubahan. Temperatur yang lebih tinggi menghasilkan perubahan yang lebih intens, sementara suhu yang lebih rendah menghasilkan perubahan yang kurang intens.

### 3. Tekanan (X3)

Tekanan cairan hidrotermal dapat mempengaruhi tingkat dan sifat perubahan. Tekanan yang lebih tinggi dapat menghasilkan perubahan yang lebih intens, sementara tekanan yang lebih rendah dapat menghasilkan perubahan yang kurang intens.

### 4. Aliran Fluida (X4)

Aliran cairan hidrotermal melalui batuan adalah faktor penting lain yang mengontrol tingkat dan sifat perubahan. Aliran fluida yang lebih cepat dapat menghasilkan perubahan yang lebih intens, sementara aliran fluida yang lebih lambat dapat menghasilkan perubahan yang kurang intens.

### 5. Hostrock (X5)

Hostrock adalah batuan yang mengandung endapan bijih atau suatu batuan yang dapat dilewati larutan, di mana suatu endapan bijih terbentuk. Komposisi fluida didasarkan pada pH larutan sehingga akan mempengaruhi pembentukan mineral pada sistem geothermal. Jenis batuan induk dapat mempengaruhi

tingkat dan sifat perubahan. Berbagai jenis batuan dapat memiliki permeabilitas yang berbeda, dan permeabilitas batuan akan mempengaruhi laju tingkat aliran fluida dan oleh karena itu sifat perubahannya.



## 6. Waktu (X6)

Waktu adalah seluruh rangkaian proses atau kondisi dari awal sampai akhir berlangsungnya sistem alterasi dan mineralisasi pada suatu batuan. Lama atau singkatnya waktu pergerakan larutan hidrotermal akan mempengaruhi alterasi dan mineralisasi pada batuan terutama dalam mencapai tingkat keseimbangan. Durasi aliran fluida hidrotermal juga dapat berperan dalam tingkat dan sifat perubahan. Seiring waktu, perubahan yang lebih intens dapat terjadi jika aliran fluida berkelanjutan.

## 7. Permeabilitas (X7)

Permeabilitas adalah kemampuan batuan untuk meloloskan fluida pada media berpori. Batuan yang memiliki tingkat permeabilitas rendah akan mengalami sedikit perubahan dibandingkan dengan batuan yang memiliki permeabilitas yang tinggi. Permeabilitas dari suatu batuan akan menentukan intensitas pengaruh larutan hidrotermal terhadap batuan dan kecepatan presipitasi mineral-mineral baru.

Variabel bebas yang terdiri dari larutan hidrotermal, temperatur, tekanan, konsentrasi larutan, batuan induk (hostrock), waktu dan permeabilitas, menjadi faktor utama dalam proses terbentuknya alterasi hidrotermal dan mineralisasi, kemudian alterasi hidrotermal dan mineralisasi menjadi variabel antara untuk menghasilkan suatu disertasi dengan judul model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad. Adapun variabel antara dari kerangka konseptual disertasi ini, diuraikan sebagai berikut:

### 1. Alterasi Hidrotermal (Y1)

Alterasi hidrotermal adalah suatu proses alterasi pada batuan yang diakibatkan reaksi antara larutan fluida panas (larutan hidrotermal) dengan batuan yang dilaluinya pada kondisi fisik dan kimia tertentu. Reaksi tersebut menyebabkan terjadinya proses alterasi pada batuan, perubahan tersebut meliputi proses perubahan fisik, kimia, tekstur maupun mineralogi (Corbett and Leach, 1996).

### 2. Mineralisasi (Y2)



Mineralisasi adalah suatu proses pengendapan mineral bijih (metal) dari media yang membawanya akibat perubahan lingkungan kimia dan fisik sekitarnya. Proses alterasi dan mineralisasi cebakan tembaga dan emas berkaitan dengan aktivitas magma (Sillitoe, 2000). Mineral bijih adalah mineral yang mengandung satu atau lebih jenis logam dan dapat diambil secara ekonomis. Mineral bijih dapat terdiri dari satu unsur saja atau merupakan kombinasi dari

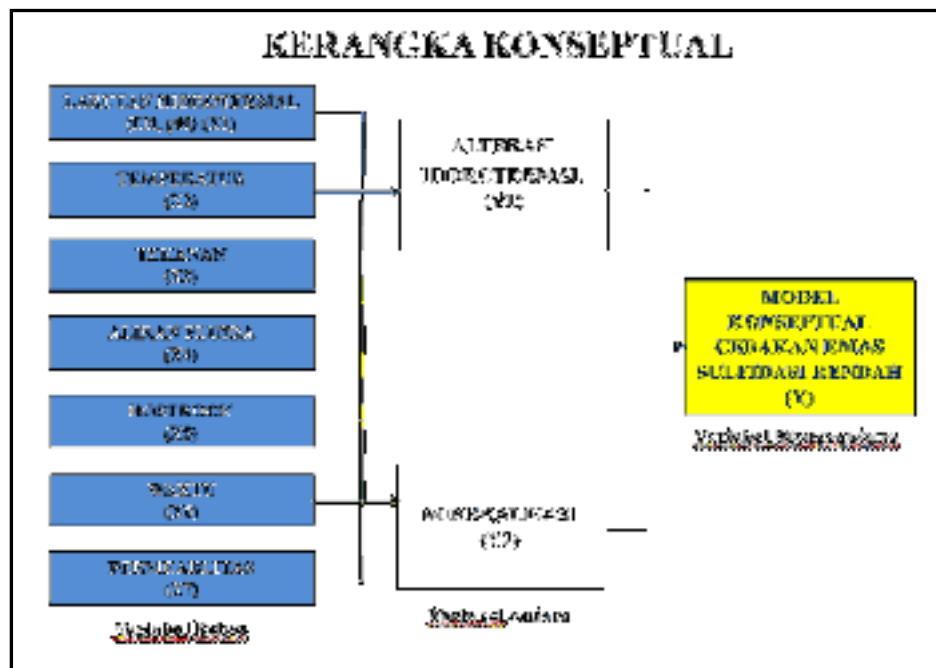
beberapa unsur atau elemen yang dikenal sebagai *complex ore* (Bateman and Jensen, 1981). Mineral bijih berharga dan memiliki kadar tinggi pada tipe endapan epitermal sulfidasi rendah pada umumnya ditemukan pada batuan yang memiliki struktur rekahan, yaitu kekar dan sesar (Corbett dan Leach, 1996). Endapan bijih yang bernilai ekonomis seperti emas, perak dan tembaga merupakan komoditas utama pada endapan mineral menempati urat-urat kuarsa dan breksi hidrotermal dengan sebaran yang dikontrol oleh struktur geologi yang berkembang (Setiawan, dkk., 2014).

Alterasi hidrotermal dan mineralisasi sebagai variabel antara, kedua variabel antara ini menjadi penghubung antara variabel bebas dengan variabel menggantung, sehingga menghasilkan sebuah disertasi tentang model konseptual cebakan emas sulfidasi rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara.

Model konseptual (Y) adalah suatu model yang menjelaskan dan menganalisis komponen-komponen genetik dari suatu endapan mineral dan menjelaskan interaksinya (Babcock, 1984). Sedangkan komponen-komponen genetik dari endapan epitermal, adalah: kondisi geologi (morfologi, litologi, tektonik/struktur, umur), karakteristik alterasi dan mineralisasi, jenis/tipe mineralisasi, kadar bijih (Hedenquist, et al., 2000).

Kerangka konseptual penelitian cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara yang terdiri dari variabel bebas, variabel antara dan variabel menggantung dapat dilihat pada gambar 1.





**Gambar 1** Kerangka Konseptual Penelitian

Berdasarkan penjelasan tentang variabel bebas, variabel antara dan variabel menggantung yang diuraikan di atas, maka pembentukan alterasi hidrotermal dan mineralisasi diawal adanya larutan hidrotermal terbentuk pada fase akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah (rekahan). Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya batuan induk akan menyebabkan berubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder.

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. Perubahan-perubahan tersebut tergantung pada beberapa faktor penting yaitu : karakteristik dari batuan sampling, sifat fluida (Eh dan pH), kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung (Guilbert and Park, 1986). Pada kesetimbangan tertentu, proses hidrotermal akan menghasilkan kumpulan mineral penciri khusus yang dikenal

himpunan mineral (mineral assemblage). Secara umum himpunan mineral akan mencerminkan tipe alterasi hidrotermal yang terjadi pada sistem (Sulistyo, dkk., 2019. dalam Prayogo, dkk., 2021).



Perubahan hidrothermal merupakan suatu proses metasomatisme dimana air selalu hadir sangat berlebihan sementara silika serta CO<sub>2</sub> kadang-kadang hadir sangat berlebihan. Alterasi merupakan perubahan di dalam komposisi mineralogi suatu batuan (terutama secara fisik dan kimia), khususnya diakibatkan oleh aksi dari larutan hidrothermal. Alterasi hidrothermal merupakan konversi dari gabungan beberapa mineral. Interaksi antara larutan hidrothermal dengan batuan yang dilewati akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral penyusun batuan sampling dan membentuk mineral alterasi. (Burnham, 1967, di dalam Guilbert and Park, 1986)

Untuk mengetahui bagaimana terjadinya proses alterasi hidrothermal dan mineralisasi emas pada Prospek Motongkad, maka dibutuhkan data lapangan yaitu batuan tidak mengalami alterasi dan batuan teralterasi dan kondisi geologi. Data yang diperoleh di lapangan kemudian akan dianalisis laboratorium dan diolah datanya dan akhirnya mendapatkan suatu kesimpulan tentang model konseptual cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad.

## 2.2 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara, yaitu:

1. Kondisi geologi yang mengontrol cebakan emas epitermal sulfidasi rendah Prospek Motongkad adalah litologi yang berfungsi sebagai *hostrock* dan struktur geologi, yaitu kekar dan sesar.
2. Alterasi hidrothermal pada Prospek Motongkad terdiri atas, yaitu tipe propilitik, tipe argilik dan tipe silifikasi, yang merupakan karakteristik alterasi epitermal sulfidasi rendah.
3. Berdasarkan kondisi geologi, karakteristik alterasi hidrothermal, karakteristik mineralisasi dan kadar bijih, tipe cebakan emas Prospek Motongkad adalah epitermal.

