

SKRIPSI

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH PADA PROSPEK CEBAKAN
EMAS DI DAERAH MOTONGKAD, KABUPATEN BOLAANG
MONGONDOW TIMUR, PROVINSI SULAWESI UTARA**

Disusun dan diajukan oleh

AMBO UPE

D62115008



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH PADA PROSPEK CEBAKAN
EMAS DI DAERAH MOTONGKAD, KABUPATEN BOLAANG
MONGONDOW TIMUR, PROVINSI SULAWESI UTARA**

Disusun dan diajukan oleh

AMBO UPE

D62115008

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 14 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



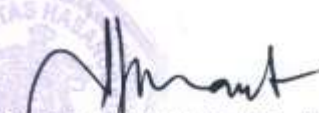

Dr. Ir. Irzal Nur, MT.
NIP.196604091997031002

Pembimbing Pendamping,



Dr. Phil.nat. Sri Widodo, ST, MT.
NIP.197101012012121001

Ketua Program Studi,

Dr. Eng. Purwanto, ST, MT
NIP.197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ambo Upe

NIM : D62115008

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH PADA PROSPEK CEBAKAN EMAS DI
DAERAH MOTONGKAD, KABUPATEN BOLAANGMONGONDOW TIMUR,
PROVINSI SULAWESI UTARA

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

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

Makassar, 14 Maret 2022

Yang menyatakan


Ambo Upe

ABSTRAK

Lengan utara Pulau Sulawesi disusun oleh busur magmatik yang berpotensi mengandung mineral-mineral ekonomis. Hal tersebut dibuktikan dengan ditemukannya mineral logam ekonomis seperti Au, Cu, Pb, Zn dan Fe. Lokasi penelitian berada di bagian tengah lengan utara Pulau Sulawesi yaitu tepatnya di daerah Motongkad, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui mineral alterasi dan mineral bijih yang terbentuk di daerah penelitian serta untuk mengetahui sebaran zona alterasinya agar mempermudah kegiatan penelitian lebih lanjut. Metode yang digunakan selama penelitian adalah pengambilan data lapangan dan pengambilan sampel batuan dan alterasi yang kemudian dianalisis dengan metode petrografi, mineragrafi, XRD dan AAS untuk mengetahui kandungan mineral dan unsur pada sampel batuan. Mineral bijih yang dikenali melalui analisis mineragrafi dan XRD yaitu pirit, kalkopirit, spalerit, tenantit, kovelit, kalkosit, bornit serta emas. Mineral alterasi yang ditemukan melalui analisis mineragrafi dan XRD yaitu kuarsa, muskovit, illit, kalsit, kaolinit, adularia, biotit, dan epidot. Mineralisasi yang terbentuk di lokasi penelitian terdiri atas dua tipe yaitu tipe *vein* dan tipe *disseminated*. Tipe alterasi yang dijumpai di daerah penelitian yaitu tipe kuarsa-serisit, tipe kuarsa-serisit-clay, tipe kuarsa-kalsit-serisit-klorit, tipe kuarsa-kalsit-serisit dan tipe kuarsa-kalsit-kaolinitit.

Kata kunci: Mineral Bijih, Mineral alterasi, Tipe alterasi, Analisis XRD, Bolaang Mongondow.

ABSTRACT

The northern arm of Sulawesi Island is composed of magmatic arcs that has potential to contain economic minerals. This has been proven by the discovery of economic metal minerals such as Au, Cu, Pb, Zn and Fe. The research location is in the middle of northern arm of the Sulawesi island, precisely in the Motongkad area, East Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi Province. The purpose of this study are to determine the alteration minerals and ore minerals formed in the research area and to determine the distribution of the alteration zones in order to facilitate further research activities. The methods used for this research are data retrieval and rock sampling for analyzed using petrography, mineragraphy, XRD and AAS to determine the mineral and element content in rock samples. The ore minerals found in mineragraphy analysis and XRD are pyrite, chalcopyrite, sphalerite, tenantite, covelite, chalcocite, bornite and gold. The alteration minerals found in mineragraphy analysis and XRD are quartz, muscovite, illite, calcite, kaolinit, adularia, biotite, and epidote. The mineralization formed at the research location consists of two types, which are vein type and disseminated type. The types of alteration found in the research location are quartz-serisite type, quartz-serisite-clay type, quartz-calcite-serisite-chlorite type, quartz-calcite-serisite type and quartz-calcite-kaolinitite type.

Keywords: Ore Mineral, Alteration type, Alteration zone. XRD, Bolaang Mongondow.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga skripsi dengan judul "Studi Alterasi dan Mineralisasi Bijih Pada Crospek Cebakan Emas di Daerah Motongkad, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara" dapat terselesaikan dengan baik.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa, dalam proses penulisan Tugas akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, Kerjasama dari berbagai pihak sehingga penulis dapat melalui dan mengatasi kendala-kendala yang di alami. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin sekaligus pembimbing I yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, dan Bapak Dr.phil.nat. Sri Widodo. ST, MT. Selaku pembimbing II atas bimbingan dan saran-saran yang telah diberikan selama menyusun laporan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih kepada Saudara-saudari Teknik Pertambangan Unhas, terkhusus Stability 2015, Saudara-saudari Laboratorium Eksplorasi Mineral, serta teman-teman satuan elite tambang orientasi lapangan dan keahlian (SETAPAK), Serta ucapan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua, yang senantiasa memberikan motivasi dan mendoakan penulis dalam setiap hari-harinya Bapak D.g Darise, dan Ibu I Yamma. Dan seluruh pihak yang terlibat dan telah memberikan dukungan dan semangat dalam penyelesaian Tugas akhi ini.

Dengan kerendahan hati penulis meminta maaf jika terdapat kesalahan dalam penulisan dan penguraian tugas akhir ini. Harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan penulisan penelitian. Semoga semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini

mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam dunia akademik di masa depan dan menjadi pembelajaran positif bagi seluruh pihak.

Makassar, 14 Maret 2022

Ambo Upe

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Geologi Regional	6
2.2 Distrik Mineralisasi	12
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Pekerjaan lapangan	23
3.2 Preparasi Sampel	24
3.3 Analisis Laboratorium	24
3.4 Pengolahan Data.....	29
BAB IV ALTERASI DAN MINERALISASI	32
4.1 Geologi Daerah Penelitian.....	32
4.2 Identifikasi Mineral Alterasi.....	50
4.3 Mineralisasi dan Kadar Bijih Daerah Penelitian	76
BAB V PENUTUP.....	98

5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran	98
	DAFTAR PUSTAKA	99
	DAFTAR LAMPIRAN.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta tunjuk lokasi	5
2.1 Peta geologi Pulau Sulawesi. Kelima provinsi tektonik digambarkan pada peta <i>inset</i> . Lokasi eksplorasi 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 <i>and</i> Wilson, 2000)	7
2.2 Peta geologi regional Daerah Eksplorasi yang digambar berdasarkan Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara (Effendi dan Bawono, 1997; lihat peta indeks), di mana blok/lokasi eksplorasi secara keseluruhan disusun oleh Satuan Batuan Gunung api (<i>Tmv</i>)	9
2.3 Peta tataan tektonik dan struktur regional Pulau Sulawesi (Effendi dan Bawono, 1997; Apandi dan Bachri, 1997)	11
2.4 Distribusi tipe dan distrik mineralisasi di Lengan Utara Sulawesi (Van Leeuwen <i>and</i> Pieters, 2012)	13
2.5 Peta sebaran lokasi-lokasi bekas tambang emas, perak dan logam dasar serta prospek-prospek endapan emas di Lengan Utara Pulau Sulawesi (Kavalieris <i>et al.</i> , 1992)	14
2.6 Peta geologi Distrik Doup yang memperlihatkan lokasi-lokasi prospeknya (dimodifikasi dari Porter, 1997 oleh Van Leeuwen <i>and</i> Pieters, 2011)	16

2.7 Peta geologi Distrik Lanut yang memperlihatkan lokasi-lokasi mineralisasi dengan tipe yang berbeda-beda (Flindell, 2003 dalam Van Leeuwen <i>and</i> Pieters, 2011).....	18
2.8 Endapan Riska. (A) Peta alterasi; (B) Penampang (dimodifikasi dari Nugroho <i>et al.</i> , 2005 oleh Van Leeuwen <i>and</i> Pieters, 2011).....	20
3.1 Analisis mineragrafi sampel sayatan poles	26
3.2 Alat X-Ray difraktometer	27
3.3 Tampilan hasil pengolahan data XRD pada <i>software</i> Impact Match 3	29
3.4 Diagram alir penelitian	31
4.1 Peta lokasi (stasiun) pengambilan data dan sampel di lokasi penelitian	33
4.2 Peta geologi lokasi penelitian	34
4.3 (A) Bongkah dan singkapan andesit di dasar cabang Sungai Tubig Mulatoi (ST.2). (B) Sampel andesit dari ST-2 yang memperlihatkan tekstur hipokristalin dan warna kehijauan sebagai indikasi alterasi	35
4.4 (A) Singkapan batuan andesit porfiri di ST-5. (B) Singkapan batuan andesit porfiri yang terkekarkan di ST-6. (C) <i>Vein</i> kuarsa pada singkapan batuan andesit porfiri di ST-6. (D) Sampel andesit porfiri yang teralterasi lemah dari ST-46. (E) Sampel andesit porfiri yang teralterasi kuat dari ST-46.....	36
4.5. (A) Sampel andesit porfiri mengandung <i>veins</i> kuarsa (ST.3). (B) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-3 yang memperlihatkan fenokris plagioklas (Pl) tertanam dalam massa dasar	

<p>kristalin dan gelas vulkanik. <i>Vein</i> kuarsa (Qz) yang mengandung kalsit (Ca) terlihat di sisi kiri-atas foto</p>	37
<p>4.6 (A) Sampel andesit porfiri teralterasi kuat yang berwarna kehijauan (ST-20). (B) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-20 yang memperlihatkan <i>relicts</i> fenokris plagioklas (Pl) dan piroksen (Px) yang berubah menjadi kalsit (Cal), tertanam dalam massa dasar mikrokristalin felspar</p>	38
<p>3.7 (A) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-46-1 (foto sampel pada Gambar 3.4.D) yang memperlihatkan fenokris-fenokris plagioklas (Pl) dan K-felspar / alkali felspar (Afs) serta opak (Op) yang tertanam dalam massa dasar mikrolit dan gelas vulkanik. (B) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-46-2 (foto sampel pada Gambar 3.4.E) yang memperlihatkan fenokris plagioklas (Pl) dan mineral-mineral alterasi yang tertanam dalam massa dasar mikrolit dan gelas vulkanik.....</p>	39
<p>4.8 (A) Singkapan lava dan bongkah riolit di ST-10. (B) <i>Test pit</i> yang dibuat pada riolit teralterasi di ST-25. (C) <i>Close-up</i> riolit berbutir halus yang difoto di dalam <i>tes pit</i> di ST-25. (D) Sampel riolit bertekstur porfiritik (riolit porfiri) dari ST-10. (E) Sampel riolit berstruktur vesikuler, dengan diameter lubang/pori mencapai 1 cm, dari ST-43</p>	41
<p>4.9 (A) Sampel riolit porfiri teralterasi yang merupakan <i>host rock</i> mineralisasi <i>vein</i> kuarsa bertekstur <i>vuggy</i> (ST-9.B). (B) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-9.B (<i>host rock</i> riolit porfiri) yang memperlihatkan mineral-mineral primer kuarsa (Qz) dan alkali felspar (Afs), serta opak (Op)</p>	42

4.10 Dua kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-10-1 (foto sampel pada Gambar 3.8.D) yang memperlihatkan tekstur porfiritik, di mana fenokris-fenokris kuarsa (Qz) dan alkali-felspar (Afs) tertanam dalam massa dasar mikrokristalin	43
4.11 (A) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST-17 yang memperlihatkan fenokris-fenokris alkali felspar (Afs) dan plagioklas (Pl) dengan massa dasar mikrokristalin dan gelas. (B) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST-18 yang memperlihatkan <i>relicts</i> mineral-mineral primer kuarsa (Qz), alkali felspar (Afs) dan plagioklas (Pl)	44
3.12. (A) Sampel riolit porfiri dari ST-29. (B) Kenampakan mikroskopis (nikol silang) sampel ST-29 yang memperlihatkan intensitas alterasi yang kuat, di mana <i>relicts</i> fenokris mineral primer telah di- <i>replace</i> oleh <i>pseudomorf</i> mineral-mineral alterasi kalsit (Cal) dan kaolinit (Kao).....	45
4.13 Foto-foto singkapan di ST-1: (A) Singkapan tufa yang ditutupi oleh breksi vulkanik setebal ± 2 m. (B) Singkapan tufa teralterasi dan breksi vulkanik di bagian atasnya, yang difoto lebih dekat. (C) <i>Vein</i> kuarsa pada tufa (ditunjuk dengan tanda panah); warna kemerahan pada permukaan singkapan mengindikasikan oksida besi. (D) <i>Closed-up</i> singkapan breksi vulkanik yang berukuran pasir hingga bongkah, dengan fragmen-fragmen yang umumnya menyudut, dan disusun oleh andesit, riolit, dasit dan basal.....	46
4.14 (A), (B) Singkapan tufa teralterasi di ST-23. (C) Sampel ST-23.A. (D) dan (E) Kenampakan mikroskopis sampel ST-23.A (Gambar D nikol sejajar, Gambar E nikol silang) yang memperlihatkan batuan <i>vitric</i>	

<i>tuff / rhyolitic tuff</i> yang disusun dominan oleh gelas vulkanik dan kristal-kristal kuarsa dan alkali felspar (Afs), serta fragmen batuan (Rf)	47
4.15 (A), (B) Singkapan tufa teralterasi di ST-13. (C) Singkapan tufa teralterasi di ST-24. (D) Sampel ST-13.A. (E) Sampel ST-24.....	48
4.16 (A) Singkapan tufa dengan urat kuarsa berarah N325°E/30° di ST-19. (B) <i>Cropped-out</i> foto A yang memperlihatkan urat kuarsa pada tufa (garis putus-putus berwarna merah).....	49
4.17. Peta zonasi alterasi hidrotermal Daerah Penelitian	51
4.18 (A) Singkapan tufa teralterasi di ST-1. (B) Sampel ST-1.D.....	52
4.19 Fotomikroskopis sampel ST-1.D yang memperlihatkan himpunan mineral alterasi kuarsa (Qz), serisit (Ser), illit (Ill), kaolinitit (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.....	53
4.20 Difraktogram XRD sampel ST-1.D	53
4.21. 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	54
4.22 Difraktogram XRD sampel ST-13	55
4.23 (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.....	56
4.24 (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	57
4.25 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 pada 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 adularia (Ad) dan opak (Op) di foto D. (E) Difraktogram XRD sampel ST-9B	58
4.26 Difraktogram XRD sampel ST-9A dan ST-9B	59
4.27 (A) Singkapan tufa riolitik teralterasi di ST-23. (B) Sampel ST-23.A. (C) Sampel ST-23.B. (D) Foto mikroskopis (nikol silang) sampel ST-23.A yang memperlihatkan mineral alterasi silika-serisit (Si-Ser) dan <i>clay</i> -opak (Cl-Op). (E) Foto mikroskopis (nikol sejajar) sampel ST-23.B yang memperlihatkan himpunan mineral silika-serisit-opak (Si-Ser-Op) yang terbentuk pada fase awal kemudian di- <i>overprint</i> sebagian oleh himpunan mineral <i>clay</i> -opak (Cl-Op)	60
4.28 (A) Difraktogram XRD sampel ST-23A. (B) Difraktogram XRD sampel	

ST-23B	61
4.29 (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)	62
4.30 Difraktogram XRD sampel ST-24	63
4.31 (A) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST-3-1. (B) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST-3-1 (C) dan (D) Fotomikroskopis nikol silang sayatan tipis ST-3-2	65
4.32 Difraktogram XRD sampel ST-3	65
4.33 (A) Sampel ST-20; andesit porfiri teralterasi kuat, yang mengandung butiran-butiran sulfida (B) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST-20. (C) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sampel ST-20. (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sampel ST-20	66
4.34 Difraktogram XRD sampel ST-20	67
4.35 (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)	68
4.36. (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di ST-10. (B) Sampel ST-10	69

4.37 (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	70
4.38 (A) Sampel andesit porfiri teralterasi dari ST-46 (B) Fotomikroskopis (nikol sejajar) sayatan tipis ST-46-1. (C) Fotomikroskopis (nikol silang) sayatan tipis ST-46-1. (D) Fotomikroskopis (nikol silang) sayatan tipis ST-46-2	72
4.39 Difraktogram XRD sampel ST-46	72
4.40. (A) Singkapan riolit porfiri teralterasi di ST-29 (B) Sampel ST-29.....	73
4.41 (A), (B) Fotomikroskopis (nikol sejajar) Sampel ST-29. (C), (D) Fotomikroskopis (nikol silang) Sampel ST.29. Himpunan mineral alterasi yang tampak adalah kuarsa (Qz), kalsit (Cal), kaolinitit (Kao), dan opak (Op)	74
4.42 Difraktogram XRD sampel ST- 29	74
4.43. Peta zona alterasi dan mineralisasi lokasi penelitian.....	77
4.44. (A) Singkapan tufa teralterasi di ST-1 dengan <i>vein</i> kuarsa berkedudukan N292°E/40°. (B) Sampel ST-1.A merupakan tufa teralterasi yang mengandung <i>vein</i> sulfida. (C) Sampel ST-1.D merupakan tufa teralterasi yang mengandung <i>vein</i> kuarsa dan butiran sulfida halus.....	80
4.45 Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST-1.D yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan	

- teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala *bar* 100 μm 81
- 4.46 (A) Sampel ST-3 yang merupakan batuan andesit porfiri teralterasi yang mengandung jaringan *vein* 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 *bar* 100 μm 83
- 4.47 (A) Sampel ST-9.B yang merupakan *vein* kuarsa bertekstur *vuggy* pada *host rock* 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 *bar* 100 μm 84
- 4.48 (A) Singkapan tufa teralterasi yang mengandung mineralisasi sulfida tersebar di ST-11. (B) *Closed-up* 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-besi85
- 4.49 Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST-11 yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Au: emas, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit. Skala *bar* 100 μm 86

4.50 (A) Singkapan batuan tufa riolitik teralterasi di ST-13. (B) <i>Closed-up</i> foto A	87
4.51 (A) Sampel ST-13.A. (B) dan (C) Fotomikroskopis nikol silang sayatan poles sampel ST-13.A yang memperlihatkan himpunan mineral bijih dan hubungan-hubungan teksturalnya seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Bn: bornit, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit, Tn: tenantit. Skala <i>bar</i> 100 μm	88
4.52. (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 seperti yang diuraikan pada teks. Keterangan: Au: emas, Ccp: kalkopirit, Cv: kovelit, Py: pirit, Sp: sfalerit, Tn: tenantit. Skala <i>bar</i> 100 μm	89
4.53 (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 μm	91
4.54 Distribusi kadar Au pada sampel-sampel mineralisasi yang signifikan di lokasi penelitian	93
4.55 (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	94
4.56 (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	95
4.57 (A) Singkapan tufa teralterasi setebal ± 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	96
4.58 (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	97

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Himpunan mineral alterasi	75
4.2 Kadar bijih sampel-sampel mineralisasi hasil analisis AAS.....	78
4.3 Kadar Au yang signifikan di lokasi penelitian	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Simbol-Simbol Mineral	101
B. Data Lapangan	107
C. Hasil Analisis Petrografi	157
D. Hasil Analisis Mineragrafi	188
E. Hasil Analisis AAS.....	199
F. Hasil Analisis XRD	206
G. Peta Geologi Regional.....	220
H. Peta Stasiun Pengambilan Sampel	222
I. Peta Geologi Lokal	224
J. Peta Alterasi	226
K. Peta Alterasi dan Mineralisasi	228

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksplorasi emas dan tembaga yang dilakukan di Indonesia telah menghasilkan banyak temuan jenis deposit (Van Leeuwen, 1994). Hasil kegiatan tersebut menunjukkan hubungan antara mineralisasi dengan busur magmatik, serta memberikan informasi mengenai hubungan antara tatanan geologi dan lingkungan tempat terbentuknya mineralisasi (Carlile *and* Mitchell, 1994). Jenis-jenis endapan mineral yang ditemukan di Indonesia yaitu endapan emas-tembaga porfiri, skam, epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi, serta endapan emas yang berasosiasi dengan batuan metamorf (Van Leeuwen, 1994).

Peneliti terdahulu menemukan berbagai macam mineral logam (*base metal*) yang ekonomis seperti Au, Cu, Pb, Zn dan Fe. Di lengan Utara Pulau Sulawesi (Gorontalo dan Sekitarnya) eksplorasi dan penambangan emas (Au) telah dilakukan sejak zaman penjajahan Belanda yakni tahun 1896 – 1908 di daerah Sumalata (Van Bemmelen, 1949). Lokasi prospek Au, Cu, Pb dan Zn di utara Gorontalo yakni di sepanjang pantai utara yang dijumpai pada Formasi Breksi Wobudu (*Tmww*) yaitu di daerah Atingola, Tanjung Dinuhe, Sumalata dan Daerah Bungalo Sulawesi Tengah (Bachri.S, dkk, 1993).

Secara regional, Peta Geologi Bersistem Lembar Manado, Sulawesi Utara di mana Daerah penelitian berada, berbatasan dengan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi yang disusun oleh Apandi dan Bachri (1997). Pada Peta Lembar Kotamobagu ini, satuan batuan yang ekuivalen dan tersebar pada wilayah geografis yang berdekatan/berbatasan dengan lokasi Daerah penelitian, adalah Batuan Gunungapi Bilungala yang juga berumur Miosen (*Tmbv*). Satuan batuan ini juga disusun oleh breksi,

lava dan tufa bersusunan andesit, dasit dan riolit. Zeolit dan kalsit sering dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Tufa umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di beberapa tempat satuan ini didominasi oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dan dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat, mineralisasi pirit, perekahan yang intensif, serta banyak dijumpai batuan terobosan diorit. Propilitisasi, kloritisasi, dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava (Apandi dan Bachri, 1997).

Daerah Lembar Manado (di mana Daerah penelitian berada, lihat juga lampiran G) 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).

Bolaang Mongondow terletak di bagian tengah lengan utara Sulawesi yang disusun oleh busur magmatik berumur Neogen dan berpotensi mengandung mineral ekonomis. Hal tersebut yang melatarbelakangi dilakukan penelitian Studi Alterasi Dan Mineralisasi Bijih Pada Prospek Cebakan Emas Di Daerah Motongkad, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Diharapkan penelitian dapat menjawab tujuan dan manfaat sesuai dengan penelitian yang dipaparkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang akan di angkat yaitu:

1. Himpunan mineral alterasi apa yang terbentuk di daerah penelitian.
2. Himpunan mineral bijih apa yang terbentuk di daerah penelitian berdasarkan mineral alterasinya.
3. Zona alterasi apa yang terbentuk pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang akan di angkat yaitu:

1. Mengidentifikasi jenis dan himpunan mineral alterasi yang terbentuk di daerah penelitian.
2. Mengidentifikasi mineral bijih yang terbentuk di daerah penelitian berdasarkan mineral alterasinya.
3. Mengidentifikasi zona alterasi yang terbentuk pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber referensi bagi akademis dan praktisi mengenai studi alterasi dan mineralisasi bijih pada prospek cebakan emas didaerah Motongkad Kabupaten, Bolaang Mongondow Timur Provinsi, Sulawesi Utara.

1.5 Tahapan Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal penelitian berupa pengumpulan berbagai referensi yang diperoleh dari artikel ilmiah, jurnal dan buku terkait penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang dikumpulkan kemudian digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap menentukan masalah-masalah yang akan dijadikan sebagai pembahasan utama penelitian. Masalah yang dirumuskan untuk menjadi pembahasan utama penelitian ini yaitu identifikasi himpunan

mineral alterasi hidrotermal dan zonasi alterasinya, estimasi temperatur pembentukan mineralisasi dan pH larutan hidrotermal yang membentuknya.

3. Pengambilan Data

Pengambilan data primer di lapangan meliputi pengambilan data berupa koordinat stasiun pengamatan, data kedudukan batuan dan struktur geologi (*strike/dip*), deskripsi batuan dan pengambilan sampel batuan induk yang belum teralterasi ataupun yang sudah teralterasi.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data lapangan meliputi *plotting* stasiun dan data singkapan pada peta dasar sesuai titik koordinatnya. Pekerjaan laboratorium meliputi analisis AAS, petrografi, mineragrafi dan XRD untuk mengetahui himpunan mineral alterasi dan mineral bijih. Hasil analisis di laboratorium kemudian digabungkan dengan data lapangan untuk membuat peta zonasi alterasi hidrotermal dan peta sebaran mineral bijih di daerah penelitian.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

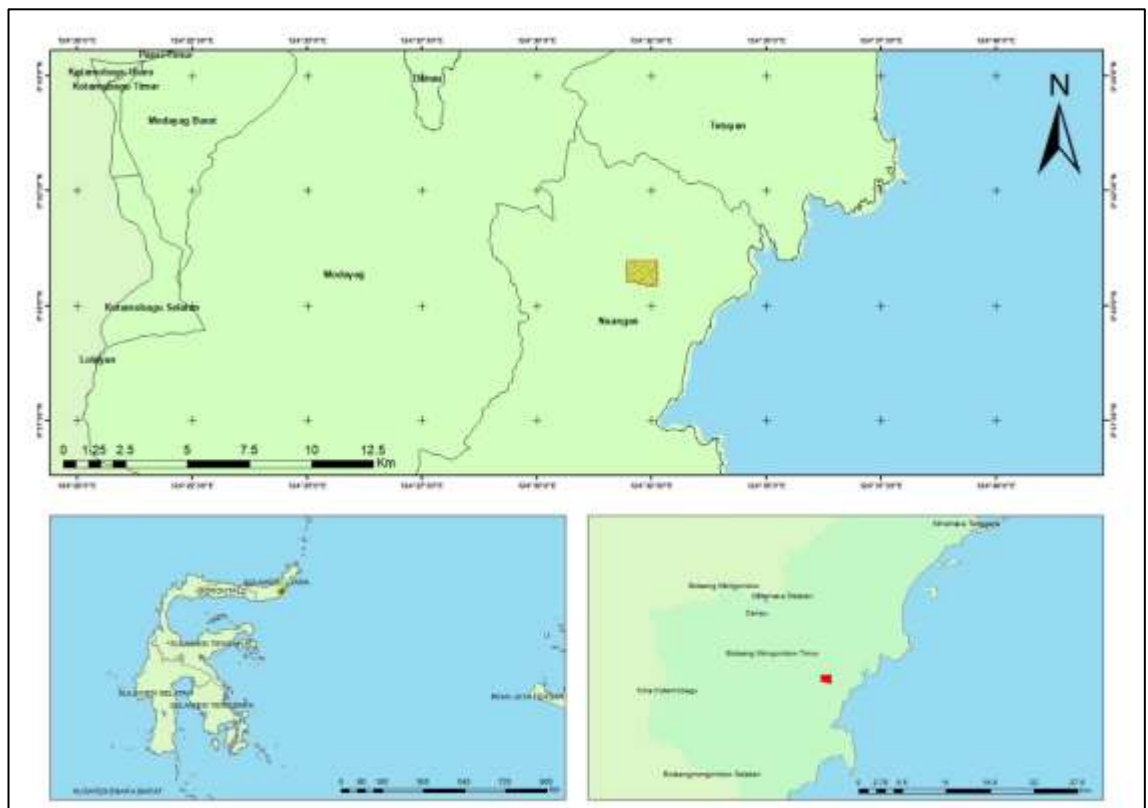
Setelah pengumpulan dan pengolahan data selesai, maka tahap selanjutnya adalah penyusunan tugas akhir. Di akhir penyusunan tugas akhir ini, akan ditarik kesimpulan dari masalah-masalah yang telah dirumuskan sebelumnya berdasarkan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan.

6. Presentasi dan Penyerahan Laporan Tugas Akhir

Laporan tugas akhir yang telah disusun kemudian dipresentasikan di depan pembimbing dan tim penguji dalam seminar hasil dan ujian meja. Laporan tugas akhir yang telah dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian meja serta telah dilakukan perbaikan, selanjutnya diserahkan ke perpustakaan Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Desa Motongkad, Kecamatan Nuangan, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Perjalanan menuju lokasi penelitian dari Kota Makassar dapat ditempuh melalui jalur udara ke Kota Manado dengan waktu tempuh sekitar hampir 2 jam, dan selanjutnya ditempuh dengan jalur darat selama 1 jam dari Kota Manado menuju daerah penelitian. Peta tunjuk lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi.

BAB II

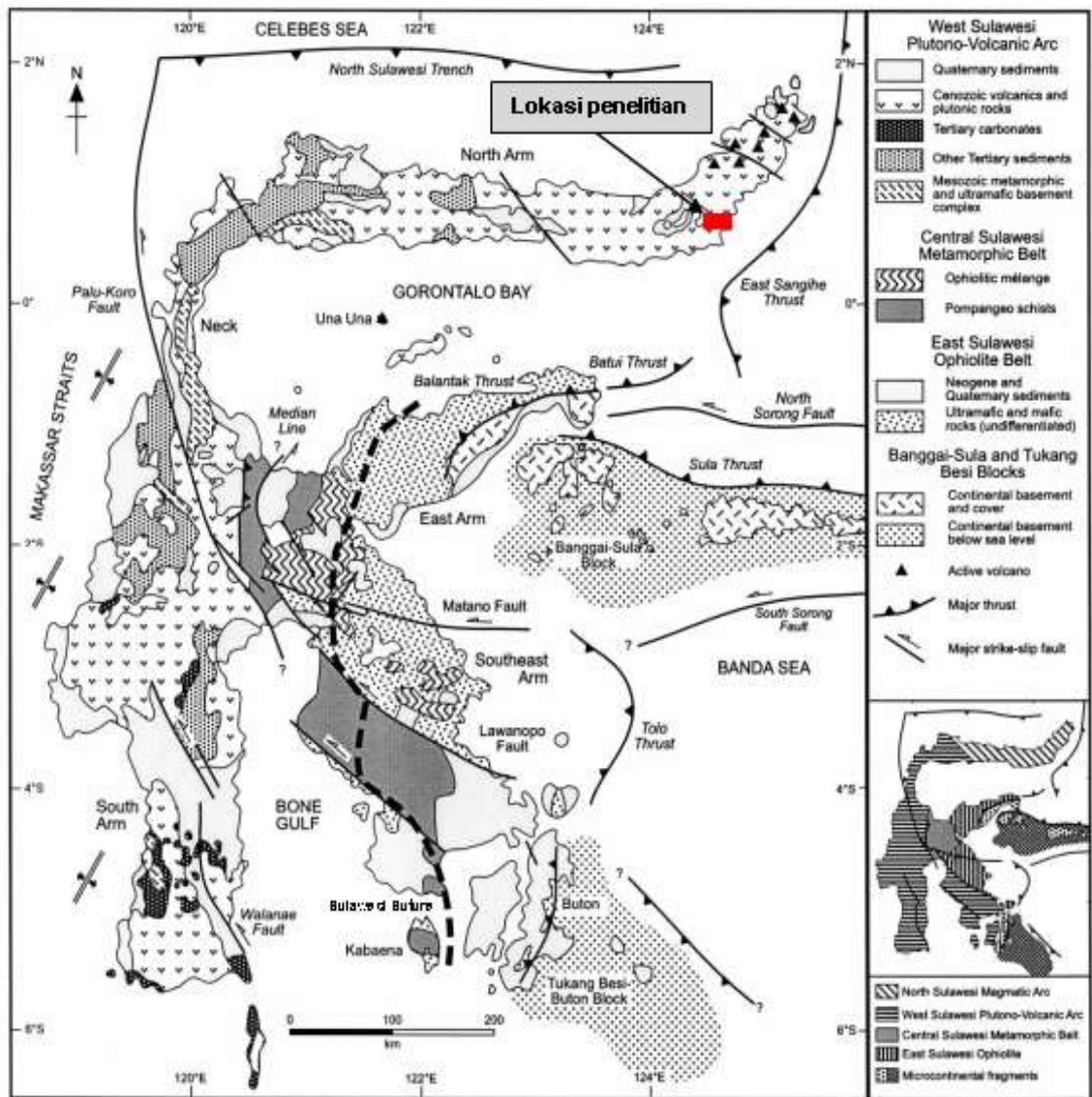
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Pulau Sulawesi yang berada di bagian tengah Indonesia memiliki bentuk yang unik, yaitu berbentuk huruf K, di mana secara genetis bentuk ini berhubungan dengan kompleksitas tataan tektonik dan magmatismenya. Pulau ini berada pada pertemuan (konvergensi) tiga lempeng mayor, yaitu: Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik, di mana subduksi dan kolisi telah dan masih aktif bekerja. Kompleksitas tataan tektonik dan magmatisme Pulau Sulawesi ini terefleksikan oleh kompleksnya litologi dan struktur geologinya. Berdasarkan asosiasi litologi dan perkembangan tektoniknya, Sulawesi dan pulau-pulau di sekitarnya dibagi ke dalam lima provinsi tektonik (Gambar 2.1): (1) Busur Vulkanik Tersier Sulawesi Barat; (2) Busur Vulkanik Kuarter Minahasa-Sangihe; (3) Sabuk Metamorfik Kapur-Paleogen Sulawesi Tengah; (4) Sabuk Ofiolit Sulawesi Timur dan asosiasi batuan sedimen pelagik penutupnya, yang berumur Kapur; dan (5) Fragmen-fragmen mikro-kontinen Paleozoikum Banda yang berasal dari Benua Australia. Kontak antara provinsi-provinsi tektonik tersebut adalah patahan/sesar. Lokasi penelitian (wilayah IUP PT Sultan Bobutan Jaya) berada pada Busur Vulkanik Tersier Sulawesi Barat (Gambar 2.1). Secara umum, busur ini disusun oleh batuan-batuan plutono-vulkanik berumur Paleogen-Kuarter dan batuan sedimen serta metamorfik berumur Mesozoikum-Tersier (Darman and Sidi, 2000).

Struktur-struktur geologi mayor di Pulau Sulawesi yang tersebar di sekitar Busur Vulkanik Tersier Sulawesi Barat adalah Palung Minahasa atau Palung Sulawesi Utara (*North Sulawesi Trench*) yang berarah barat-timur, dan Sesar Minahasa yang berarah

hampir utara-selatan. Palung Sulawesi Utara merupakan ekspresi permukaan dari Zona Benioff (*Benioff Zone*) di mana Laut Sulawesi tersubduksi di bawah Lengan Utara Sulawesi pada Paleogen Akhir (Gambar 2.1). Di samping itu, terdapat juga sejumlah patahan yang lebih minor yang tersebar hampir sejajar berarah baratlaut-tenggara hingga barat-baratlaut – timur-tenggara di sepanjang Lengan Utara Pulau Sulawesi (Gambar 2.1) (Darman *and* Sidi, 2000; Hall *and* Wilson, 2000).

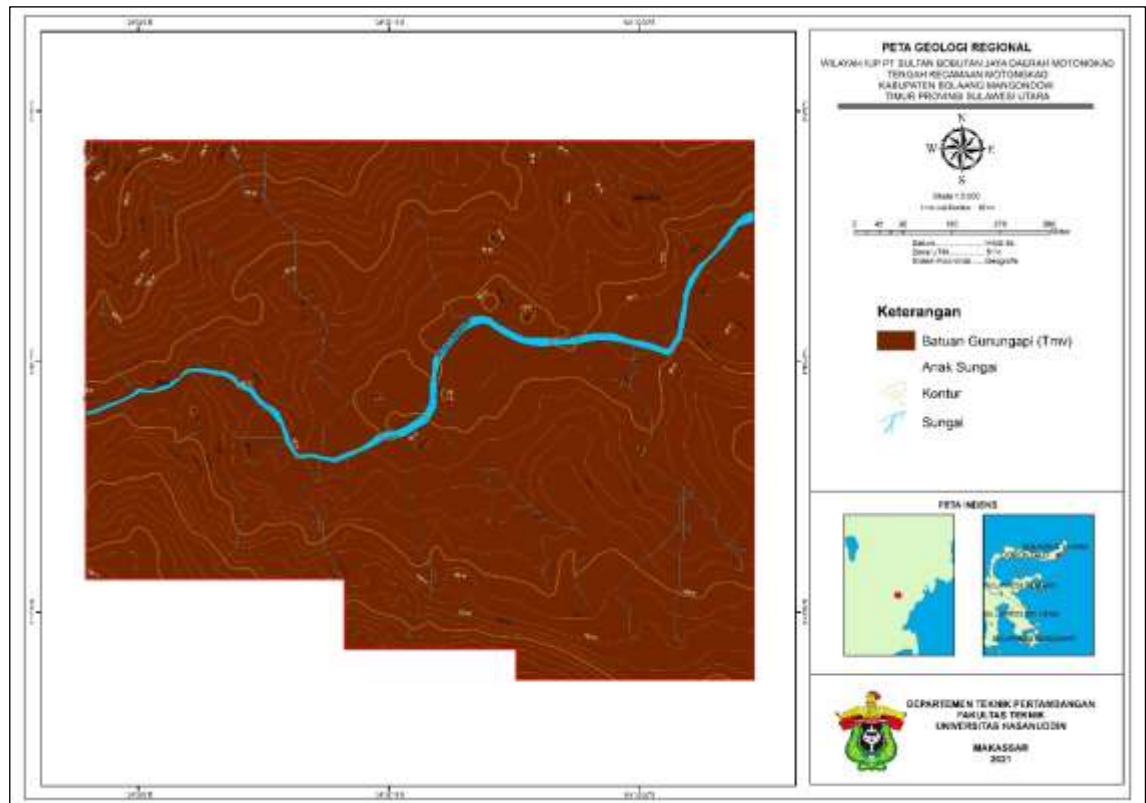


Gambar 2.1 Peta geologi Pulau Sulawesi. Kelima provinsi tektonik digambarkan pada peta *inset*. Lokasi eksplorasi ditunjukkan dengan kotak/blok berwarna merah, yang terletak di Lengan Utara (*North Arm*) Pulau Sulawesi. Palung Sulawesi Utara (*North Sulawesi Trench*) dan jalur subduksinya juga terlihat di sebelah utara Pulau Sulawesi (dimodifikasi dari Hall *and* Wilson, 2000).

Pada Peta Geologi Bersistem Indonesia skala 1: 250.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, daerah penelitian termasuk ke dalam Peta Lembar Manado, Sulawesi Utara, yang disusun oleh Effendi dan Bawono (1997). Berdasarkan peta tersebut, lokasi penelitian secara keseluruhan disusun oleh Satuan Batuan Gunungapi (*Tmv*) (Gambar 2.2, Lampiran G) yang terutama terdiri atas breksi, lava dan tufa. Aliran lava pada umumnya berkomposisi andesit sampai basal. Breksi berbutir sangat kasar, berkomposisi andesit, sebagian bersifat konglomerat, mengandung sisipan tufa, batupasir, batulempung dan lensa batugamping. Lava dasit (*Tmv*) juga merupakan anggota dari batuan gunungapi ini, yang terdapat di hulu sungai daerah Kotabunan. Berdasarkan kandungan fosil foraminifera kecilnya, Satuan Batuan Gunungapi ini berumur Miosen Tengah. Retas-retas (*dikes*) yang bersifat andesit juga dilaporkan terdapat dalam satuan ini. Di daerah antara Molobok dan Nuangan, sepanjang pantai tenggara, di antara batuan gunungapi ini ada yang terkarsikan dan mengandung barik-barik kuarsa halus berwarna coklat kemerahan. Mineralisasi termasuk emas, perak, dan pirit terdapat dalam urat-urat kuarsa tersebut (Effendi dan Bawono, 1997).

Secara regional, Peta Geologi Bersistem Lembar Manado, Sulawesi Utara di mana Daerah penelitian berada, berbatasan dengan Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi yang disusun oleh Apandi dan Bachri (1997). Pada Peta Lembar Kotamobagu ini, satuan batuan yang ekuivalen dan tersebar pada wilayah geografis yang berdekatan/berbatasan dengan lokasi penelitian, adalah Batuan Gunungapi Bilungala yang juga berumur Miosen (*Tmbv*). Satuan batuan ini juga disusun oleh breksi, lava dan tufa bersusunan andesit, dasit dan riolit. Zeolit dan kalsit sering dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Tufa umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di beberapa tempat satuan ini didominasi oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dan dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat, mineralisasi pirit, perekahan yang intensif, serta banyak dijumpai batuan terobosan

diorit. Propilitisasi, kloritisasi, dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava (Apandi dan Bachri, 1997).



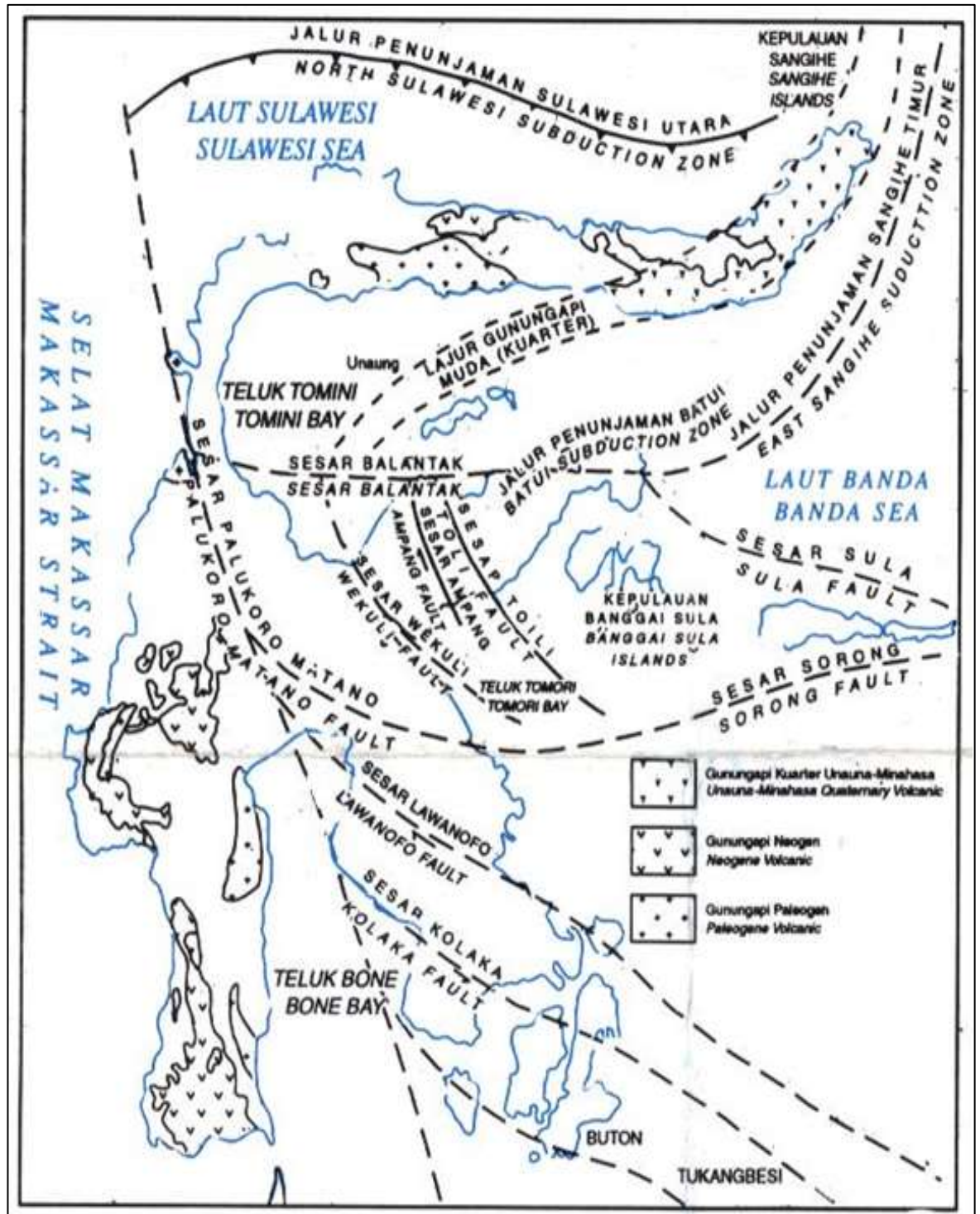
Gambar 2.2 Peta geologi regional Daerah penelitian yang digambar berdasarkan Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara (Effendi dan Bawono, 1997; lihat peta indeks), di mana blok/lokasi penelitian secara keseluruhan disusun oleh Satuan Batuan Gunung api (*Tmv*).

Pada Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Satuan Batuan Gunungapi Bilungala di banyak tempat diterobos oleh batuan intrusi berumur Miosen Akhir, yang dinamakan Diorit Bone (*Tmb*). Satuan Batuan Intrusi Diorit Bone ini disusun oleh diorit kuarsa, diorit, granodiorit, dan granit (Apandi dan Bachri, 1997). Satuan batuan intrusi *Tmb* yang menerobos batuan-batuan gunungapi *Tmbv* di Lembar Kotamobagu dan *Tmv* di Lembar Manado ini diperkirakan merupakan sumber larutan hidrotermal yang membentuk mineralisasi pada kedua satuan batuan vulkanik tersebut, termasuk di Daerah penelitian.

Secara regional, struktur geologi yang berkembang pada lokasi penelitian dan sekitarnya (pada Peta Geologi Lembar Manado) adalah sesar, terutama sesar normal

yang dominan berarah baratlaut-tenggara dan sebagian kecil timurlaut-baratdaya (Effendi dan Bawono, 1997).

Daerah Lembar Manado (di mana lokasi penelitian berada; lihat juga Gambar 2.1) 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 yang tersebar luas di wilayah ini. Tunjaman Sulawesi Utara diduga aktif sejak awal Kuartar dan menghasilkan Lajur Gunungapi Kuartar di bagian timur Lengan Utara Sulawesi dan menerus ke arah baratdaya hingga ke daerah G. Una-Una (Effendi dan Bawono, 1997). Peta tataan tektonik Pulau Sulawesi yang menggambarkan jalur-jalur penunjaman dan lajur gunungapi di Sulawesi Utara dapat dilihat pada Gambar 2.3.

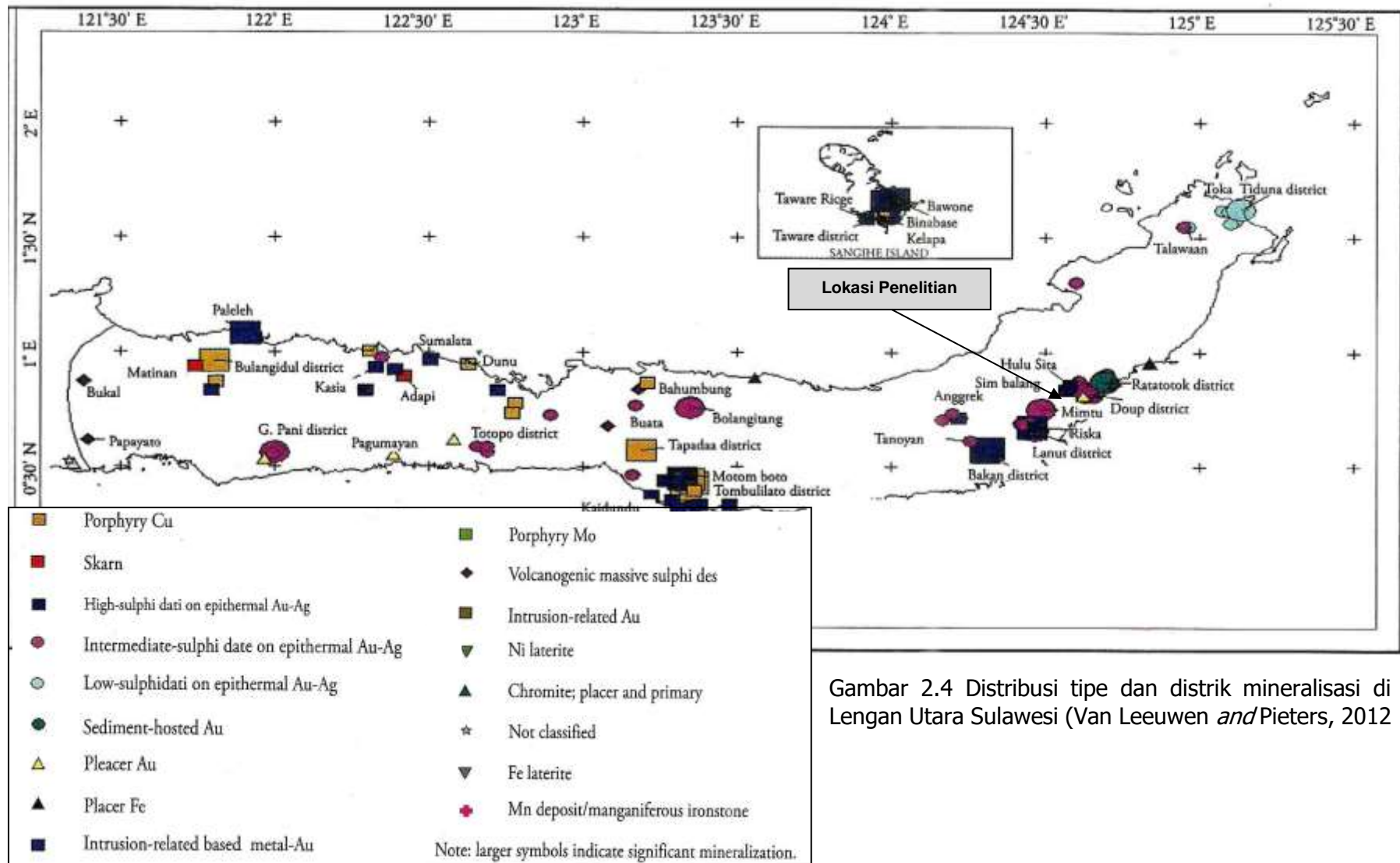


Gambar 2.3 Peta tataan tektonik dan struktur regional Pulau Sulawesi (Effendi dan Bawono, 1997; Apandi dan Bachri, 1997).

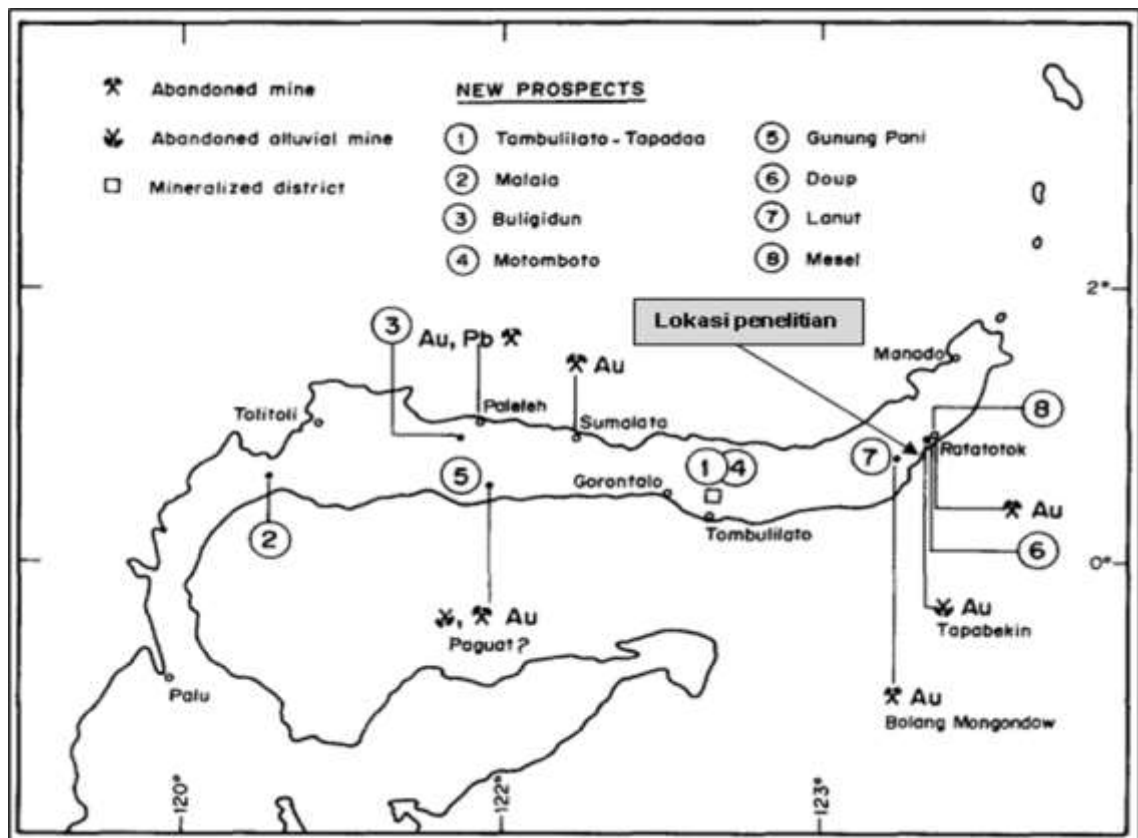
2.2 Distrik Mineralisasi

Lengan Utara Sulawesi, di mana lokasi penelitian berada, yang seperti telah diuraikan di atas termasuk ke dalam Busur Vulkanik Tersier Sulawesi Barat dan Busur Vulkanik Kuartar Minahasa-Sangihe, merupakan *region* yang kaya akan berbagai jenis endapan mineral. Di *region* ini aktivitas penelitian dan pertambangan emas dan logam-logam ekonomis lainnya telah berlangsung sejak dahulu hingga sekarang. Sejumlah tipe mineralisasi telah dikenali dan dilaporkan di *region* ini, seperti *porphyry Cu-Au±Mo*; *high- , intermediate- and low-sulphidation epithermal Au-Ag*; *sediment hosted-Au*; *breccia-hosted base metal-Au*; *intrusion-related base metal-Au veins*; *Fe±Au skarns*; dan *Cu-Pb-Zn volcanogenic massive sulphides (VMS)*, yang umumnya terbentuk selama Miosen dan terutama pada periode magmatisme Pliosen (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012).

Distribusi mineralisasi di Lengan Utara Sulawesi yang digambar oleh Van Leeuwen *and* Pieters (2012) dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pada gambar tersebut, lokasi penelitian secara geografis berdekatan dengan Distrik mineralisasi epitermal (*high-to intermediate sulphidation epithermal Au-Ag*) Doup dan Lanut. Untuk lebih mengenali tipe mineralisasi emas yang ada di sekitar lokasi penelitian, yang kemungkinan memiliki tipe genetik yang sama, maka pada bagian ini diuraikan secara ringkas karakteristik mineralisasi-mineralisasi tersebut. Lokasi dan sebaran sejumlah mineralisasi emas di wilayah ini, termasuk Distrik Doup dan Lanut, juga telah digambarkan oleh Kavalieris *et al.* (1992) (Gambar 2.5).



Gambar 2.4 Distribusi tipe dan distrik mineralisasi di Lengan Utara Sulawesi (Van Leeuwen and Pieters, 2012)



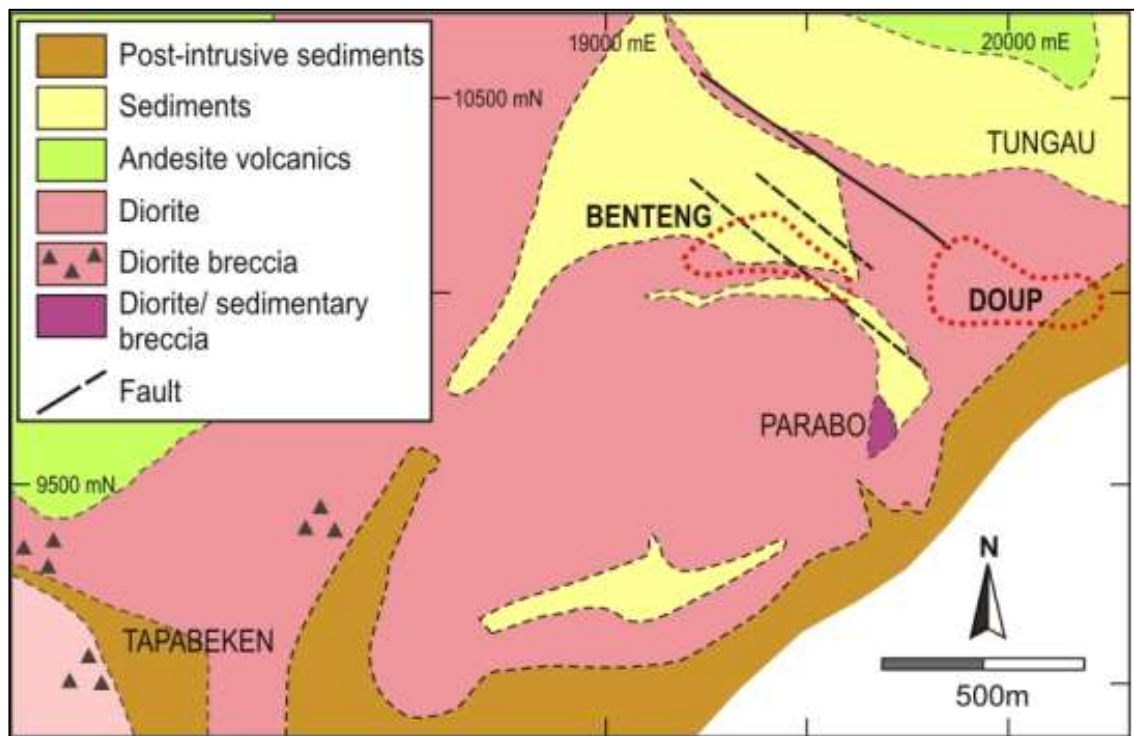
Gambar 2.5 Peta sebaran lokasi-lokasi bekas tambang emas, perak dan logam dasar serta prospek-prospek endapan emas di Lengan Utara Pulau Sulawesi (Kavalieris *et al.*, 1992).

2.2.1 Distrik mineralisasi Doup

Distrik mineralisasi Doup terdiri atas 4 (empat) prospek endapan emas tipe epitermal sulfidasi-menengah, yaitu Doup, Benteng, Tungau, dan Parabo, serta satu lokasi bekas tambang emas aluvial yang dilakukan di era pemerintahan Belanda (Tapabeken) (Gambar 2.6). Distrik ini telah 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, yang menghasilkan sumber daya sekitar 12 juta ton (12 Mt) pada 2,09 g/t Au dan 4,4 g/t Ag. Pada tahun 1996 distrik ini kemudian dieksplorasi lebih lanjut oleh *joint venture* PT Aneka Tambang (Antam) dan Pacific Wildcat Resources, yang melaporkan sumberdaya tereka sebesar 17 Mt pada 2,15

g/t Au. Pada tahun 2007 Avocet melakukan pengeboran inti dan pengeboran *reverse circulation (RC drilling)* dengan total kedalaman 11.288 m, dan di awal tahun 2009 mengumumkan sumberdaya terduga sebesar 25 Mt Au dengan kadar 1,2 g/t (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012). Sedangkan endapan di Tapabeken, yang telah ditambang dengan sistem *aluvial mining* oleh Pemerintah Belanda, menurut laporan dari Van der Ploeg (1944), dari kisaran tahun 1938-1941 telah diproduksi sebanyak 68 kg Au dan 23 kg Ag (Kavalieris *et al.*, 1992).

Lokasi 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). Daerah Doup-Benteng sebagian besar ditutupi oleh endapan aluvial yang disusun oleh konglomerat yang mengandung *boulder-boulder* dioritik-dasitik, dan material *waste* yang diproduksi oleh penambangan Pemerintah Belanda serta aktivitas penambangan rakyat yang terjadi kemudian.



Gambar 2.6 Peta geologi Distrik Doup yang memperlihatkan lokasi-lokasi prospeknya (dimodifikasi dari Porter, 1997 oleh Van Leeuwen *and* Pieters, 2011).

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. Di Benteng, suatu tubuh batuan dioritik dijumpai menerobos batuan-batuan sedimen dan menampakkan alterasi yang sama dengan himpunan mineral lempung yang terdapat di Doup. Silika-pirit yang mengandung emas me-*replace* batulempung karbonatan pada suatu zona berarah timur-barat, dengan lebar 50-100 m dan panjang 300 m, yang meluas sampai kedalaman 300 m.

Secara umum, tiga tipe mineralisasi dikenali di distrik ini, yaitu:

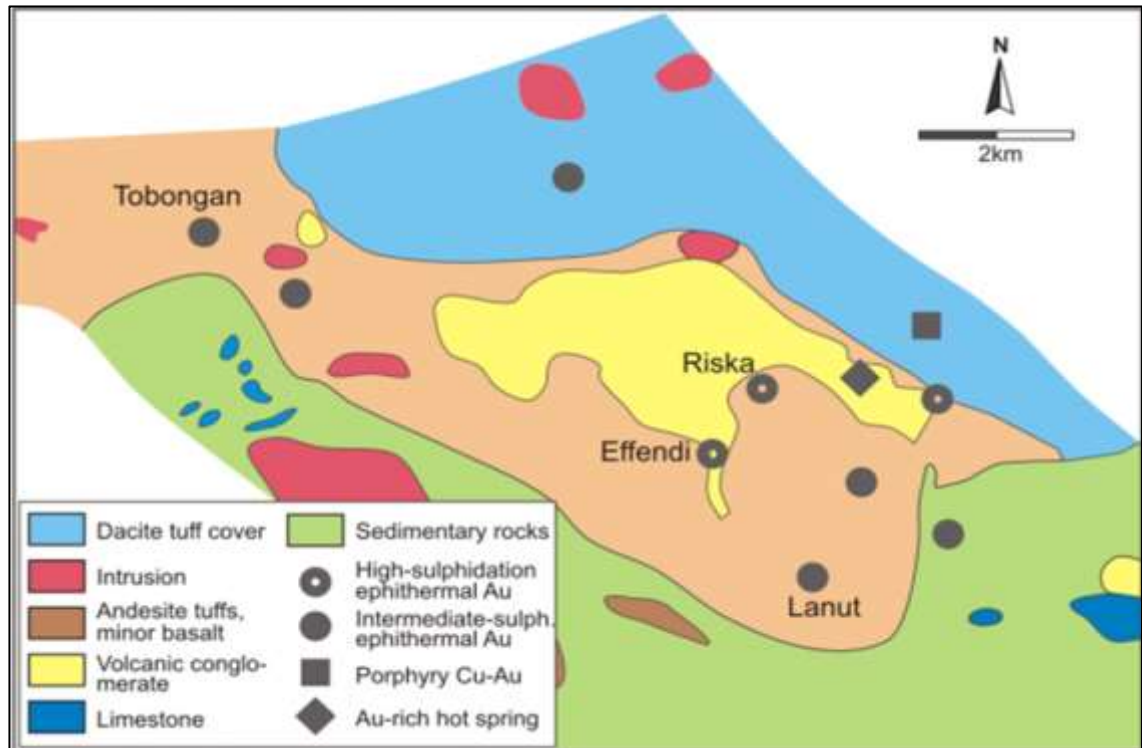
1. Mineralisasi awal Cu-Au porfiri yang berasosiasi dengan *stockwork stringers/veinlets* kuarsa-magnetit-sulfida yang terpusat pada intrusi-intrusi diorit teralterasi. Mineralisasi ini mengandung 0,7-1,32 g/t Au dan 0,1% Cu.
2. Urat-urat karbonat-*base metal*-Au berkadar tinggi yang berasosiasi dengan alterasi serisit-karbonat-*clay* yang dikontrol oleh kontak-kontak diorit-batuan sedimen dan perpotongan sesar-sesar. Urat-urat ini umumnya tipis (<1 m) dan merupakan target utama para penambang rakyat. Mineralisasi sfalerit-galena tipe tersebar hingga masif dijumpai setempat di dalam material pembawa bijih. Salah satu hasil pengeboran terbaik menunjukkan tebal sekitar 2 m dengan kadar 49 g/t Au dan 27 g/t Ag.
3. Mineralisasi *sediment-hosted*, tipe *replacement base metal*-Au-Ag-As. Tipe ini berasosiasi dengan alterasi kuat karbonat-serisit/*clay*-sulfida, dan sedikit silisifikasi pada batuan vulkaniklastik-karbonatan batulempung dan batupasir. Hasil pengeboran menunjukkan kadar 3,33 g/t Au dan 1,7 g/t Ag.

Secara umum sekuens paragenetik alterasi, *veining* dan mineralisasi di Doup dan Benteng terdiri atas empat tahapan, yaitu: 1. Porfiri/metasomatik; 2. Kuarsa-adularia-serisit; 3. Pirit-*base metal*-sulfida-emas; dan 4. Karbonat-*clay*-markasit (Van Leeuwen and Pieters, 2011; 2012).

2.2.2 Distrik mineralisasi Lanut

Distrik Lanut merupakan sebuah sistem hidrotermal yang besar, dengan luas 7 x 9 km², yang merupakan bagian dari suatu zona sesar *strike-slip* berarah barat laut dengan panjang 30 km dan lebar 4 km, yang selama ini dikenal sebagai *Kotamobagu Shear Zone* atau Zona Sesar Inobonto. Distrik ini mengandung beberapa tipe mineralisasi (Gambar 2.7), yaitu: 1. Epitermal Au sulfidasi-tinggi (endapan Riska dan Effendi), 2.

Epitermal Au sulfidasi-menengah (Tobongan dan Lanut), 3. Endapan Cu porfiri, dan 4. Sistem mata air panas aktif yang kaya logam.



Gambar 2.7 Peta geologi Distrik Lanut yang memperlihatkan lokasi-lokasi mineralisasi dengan tipe yang berbeda-beda (Flindell, 2003 dalam Van Leeuwen *and* Pieters, 2011).

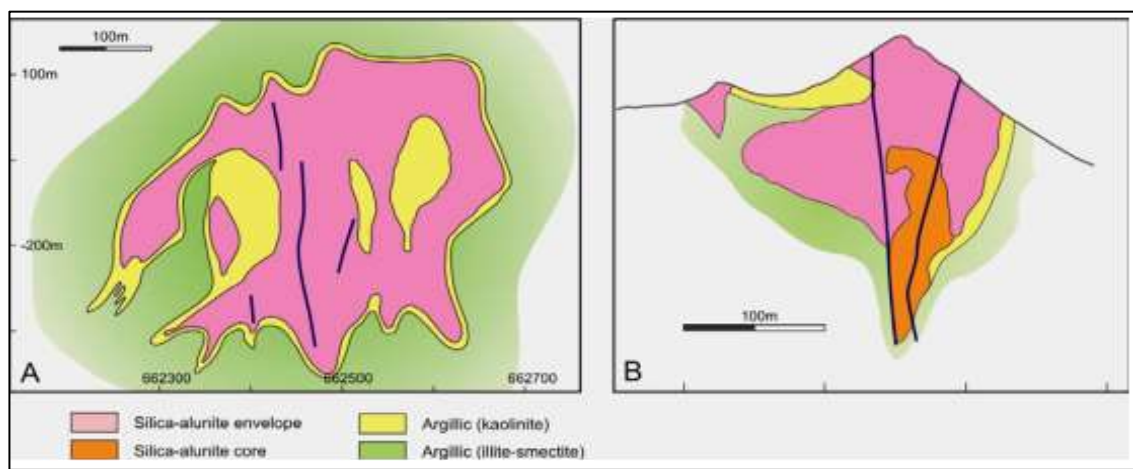
Endapan emas di Tobongan dan Lanut telah ditambang di awal abad 20. Lanut kemudian menjadi areal pertambangan lokal (pertambangan rakyat) yang signifikan di awal tahun 1980-an. Daerah ini telah diinvestigasi oleh *joint venture* Placer Dome-BHP-Antam dari tahun 1986 hingga 1990, yang meliputi pengeboran inti (*diamond drilling*) dengan kedalaman total 4.560 m. Di tahun 1990, setelah *joint venture* tersebut menarik diri dari lokasi ini, Newmont memulai program survei pada Blok Kontrak Karya yang luas, termasuk di Distrik Lanut. Sejumlah daerah anomali kemudian ditemukan. Penyelidikan detail kemudian dilakukan antara tahun 1998 hingga 2000, yang difokuskan pada prospek Riska dan Effendi, yang meliputi pengeboran inti dengan total kedalaman 6.332 m. Hasilnya adalah sumber daya sebesar 14,2 juta ton dengan 1,5 g/t Au dan 4,5 g/t

Ag, yang masih berada di bawah target minimum perusahaan, sehingga lokasi ini dijual ke Avocet pada 2003. Perusahaan ini awalnya memfokuskan kegiatannya di Riska, yang membawanya ke tahap produksi di tahun 2004, berdasarkan sumber daya sekitar 600.000 ons. Pada tahun yang sama, sumber daya sebesar 110.000 ons ditemukan di Effendi (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012).

Secara geologi, *Kotamobagu Shear Zone* disusun oleh suatu sekuens batugamping laut dangkal dan batulumpur vulkaniklastik, batulanau, serta batupasir yang karbonatan dan berumur Miosen Akhir. Di bagian atasnya terendapkan oleh sekuens batuan piroklastik *subaerial* berumur Pliosen yang terdiri atas tufa kristal-litik andesitik hingga dasitik, breksi tufa, serta batupasir dan batulanau vulkanik yang telah mengalami *reworked* fluvial. Sekuens ini merupakan unit batuan yang dominan di Distrik Lanut, dan dikenal secara informal sebagai Sekuens Lanut. Sebuah seri intrusi *plug* diorit dan dasit menerobos setempat Sekuens Lanut yang berumur Miosen Akhir – Pliosen tersebut. Abu dasit-tufa kristal kemudian terendapkan pada daerah batas timurlaut dari zona sesar tersebut dan menutupi sebagian besar wilayah Distrik Lanut. Material vulkanik ini berasal dari erupsi vulkanik yang saat ini sudah non-aktif, yaitu Gunungapi Ambang yang berlokasi dekat dengan daerah Lanut, dan terjadi setelah peristiwa mineralisasi (Flindell, 2003).

Endapan Riska (Gambar 2.8) telah dilaporkan oleh Nugroho *et al.* (2005). Endapan ini 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 kaolinitit-illit dan illit-smektit (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Endapan Riska. (A) Peta alterasi; (B) Penampang (dimodifikasi dari Nugroho *et al.*, 2005 oleh Van Leeuwen *and* Pieters, 2011).

Sekuens mineralisasi endapan Riska adalah sebagai: (i) Peristiwa awal; *vuggy silica*, silika-alunit dan alterasi argilik menengah terjadi di sepanjang zona struktur berarah timurlaut – timur yang mengendapkan pirit berbutir halus dan enargit-luzonit plus emas di sepanjang zona *feeder* struktur dan litologi yang *favourable*; kadar berkisar 0,5 - 2 g/t Au di zona *feeder*, dan 0,1 – 0,5 g/t Au di zona selimut silika-alunit; (ii) Peristiwa utama; di mana terjadi hidrobreksiasi dan *fracturing* tudung silika-alunit disertai pengendapan alunit dan emas di sepanjang struktur berarah utara timurlaut – utara-selatan; butiran-butiran sub-mikroskopis terendapkan di dalam pori dan rongga tufa, breksi yang dikontrol struktur, dan pada *wall rock* terlaterasi alunit > silika dengan kadar >10 g/t Au pada breksi, 1,0 - 5,0 g/t Au pada zona perifer *hydrofractured*, dan

1,0 - 3,0 g/t Au di bagian luar, yaitu pada zona selimut kaya alunit; dan iii) Peristiwa akhir; zona supergen oksidasi dan pelapukan, yang intensif, tetapi dibatasi oleh struktur.

Studi petrografi menunjukkan adanya gradien temperatur yang sangat tinggi antara bagian atas dan bawah endapan Riska selama terjadinya peristiwa utama, yang kemungkinan disebabkan efek penutupan (tudung) zona silika-alunit di bagian atas endapan. Karakteristik isotop alunit mengindikasikan adanya input magmatik yang kuat. Umur K-Ar alunit yang menunjukkan $2,09 \pm 0,08$ juta tahun, yang mengindikasikan bahwa peristiwa mineralisasi utama terjadi selama Pliosen Akhir.

Tingginya kadar emas pada urat-urat limonit di zona oksidasi, hadirnya sulfur natif di kedalaman, serta besarnya peningkatan kadar Au pada zona *interface* oksida-sulfida mengindikasikan bahwa pelindian supergen dan represipitasi emas terjadi pada peristiwa akhir.

Sebagai kesimpulan, 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* kuarsa-adularia yang menyelimuti zona-zona *halo* klorit-illit-pirit dan di-*overprint* oleh zona kaolinitit-pirit-markasit di bagian atasnya. *Vein-veinlets* kuarsa tersebut umumnya miskin-sulfida, dan juga mengandung *veinlets* rijang berwarna hijau hingga 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. Carlile *et al.* (1990) melaporkan bahwa kontak antara batuan sedimen-vulkaniklastik dan unit-unit vulkanik memiliki kontrol signifikan pada mineralisasi.

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. Seperti di Lanut, kandungan pirit dan logam dasarnya rendah (Van Leeuwen *and* Pieters, 2011; 2012).