

SKRIPSI

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EMAS EPITERMAL DI LOKASI IUP PT X KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW, PROVINSI SULAWESI UTARA

Disusun dan diajukan oleh:

AGNES PUTRI YOSY
D111 20 1022



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EMAS EPITERMAL DI LOKASI IUP PT X KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW, PROVINSI SULAWESI UTARA

Disusun dan diajukan oleh

Agnes Putri Yosy
D111 20 1022

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 09 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.

NIP 19660409 199703 1 002

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T.

NIP 19701005 200801 2 026



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini ;

Nama : Agnes Putri Yosy
NIM : D111 20 1022
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Epitermal di Lokasi IUP PT X
Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara}

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Agnes Putri Yosy



ABSTRAK

AGNES PUTRI YOSY. *Studi Alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Epitermal di Lokasi IUP PT X Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara* (dibimbing oleh Irzal Nur)

Studi alterasi dan mineralisasi merupakan kunci utama dalam kegiatan eksplorasi untuk menemukan deposit mineral yang baru, terutama pada endapan mineral hidrotermal, termasuk endapan epitermal. Melalui pemahaman tentang pola alterasi dan mineralisasi dapat menjadi petunjuk atau mengarahkan upaya eksplorasi ke daerah-daerah yang berpotensi tinggi. Pemahaman terperinci mengenai jenis dan pola penyebaran alterasi penting untuk mengidentifikasi area-area di mana endapan epitermal berkembang. Sedangkan Studi mineralisasi memungkinkan untuk mengidentifikasi pola dan distribusi mineralisasi dalam endapan Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan studi alterasi dan mineralisasi endapan emas tipe epitermal di lokasi IUP PT X, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Metode penelitian yang diterapkan terdiri atas pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium. Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pemetaan geologi dan alterasi-mineralisasi pada areal *pit* penambangan. Sedangkan pekerjaan laboratorium meliputi analisis: Petrografi, Mineragrafi, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Analytical Spectral Device (ASD)*, dan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*. Hasil pemetaan geologi menunjukkan bahwa terdapat tiga satuan batuan di lokasi penelitian, yang ketiganya merupakan *host rock* mineralisasi, yaitu breksi hidrotermal yang tersebar setempat di bagian tengah, breksi freatomagmatik yang tersebar di bagian barat laut hingga selatan, dan tufa dasitik yang tersebar di bagian barat dan timurlaut. Alterasi hidrotermal terdiri atas empat, yang terzonasi dari luar ke dalam sebagai berikut: *propylitic* (klorit), *argillic* (illit±monmorilonit±kaolinit±dikit±halloysite) *advanced argillic* (kuarsa±alunit±kaolinit±dikit±pirofilit), *silicic* (kuarsa±alunit), dan *vuggy quartz* (kuarsa±alunit). Himpunan mineral bijih yang teridentifikasi meliputi: emas yang berasosiasi dengan mineral sulfida pirit, kalkopirit, kovelit dan mineral oksida hematit dan goetit. Studi paragenesis mineral bijih menunjukkan bahwa terdapat dua fasa pengendapan bijih, yaitu fasa hipogen (emas, pirit, dan kalkopirit), fasa supergen (kovelit, hematit, dan goetit). Berdasarkan hasil analisis host rocks, host mineralisasi, mineral gangue, tekstur bijih, karakteristik alterasi hidrotermal, dan himpunan mineral bijih, maka disimpulkan bahwa tipe endapan mineral di daerah penelitian adalah epitermal sulfidasi tinggi.

Kata Kunci: Emas, Geologi, Alterasi, Mineralisasi, Eksplorasi



ABSTRACT

AGNES PUTRI YOSY. *Alteration and Mineralization Study of Epithermal Gold Deposit in the Area of PT X Mining Permit, Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi Province* (supervised by Irzal Nur)

Alteration and mineralization studies are key in exploration activities to find new mineral deposits, especially in hydrothermal mineral deposits, including epithermal deposits. Understanding alteration and mineralization patterns can guide or direct exploration efforts to areas of high potential. A detailed understanding of the type and distribution pattern of alteration is important to identify areas where epithermal deposits develop. Meanwhile, mineralization studies allow to identify the pattern and distribution of mineralization in deposits. Based on this, the purpose of this research is to conduct alteration and mineralization studies of epithermal-type gold deposits in the area PT X mining permit, Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi Province. The research method applied consists of field work and laboratory work. The field work carried out was geological mapping and alteration-mineralization in the mining pit area. While laboratory work includes analysis: Petrography, Mineragraphy, X-Ray Diffraction (XRD), Analytical Spectral Device (ASD), and Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Geological mapping results show that there are three rock units at the study site, all of which are host rocks for mineralization, namely hydrothermal breccia locally distributed in the central part, phreatomagmatic breccia distributed in the northwest to south, and dacitic tuff distributed in the west and northeast. Hydrothermal alteration consists of four, which are zoned from outside to inside as follows: propylitic (chlorite), argillic (illite±monmorillonite±kaolinite±dickite±halloysite) advanced argillic (quartz±alunite±kaolinite±dickite±pyrophyllite), silicic (quartz±alunite), and vuggy quartz (quartz±alunite). The identified ore mineral assemblage includes: gold associated with sulfide minerals pyrite, chalcopyrite, covellite and oxide minerals hematite and goethite. The study of ore mineral paragenesis shows that there are two phases of ore deposition, namely hypogene phase (gold, pyrite, and chalcopyrite), supergene phase (covellite, hematite, and goethite). Based on the analysis of host rocks, host mineralization, gangue minerals, ore texture, hydrothermal alteration characteristics, and ore mineral clusters, it is concluded that the type of mineral deposits in the study area is epithermal high sulfidation.

Keywords: Gold, Geology, Alteration, Mineralization, Exploration



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional	4
2.2 Endapan Epitermal.....	12
2.3 Alterasi Hidrotermal	14
2.4 Mineralisasi.....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Lokasi Penelitian.....	21
3.2 Metode Penelitian	22
BAB iv HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Geologi Daerah Penelitian	29
4.2 Alterasi Hidrotermal	40
4.3 Mineralisasi Daerah Penelitian	51
4.4 Tipe Endapan	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Hall & Wilson, 2000)	5
Gambar 2 Geologi Regional Sulawesi Utara bagian timur menunjukkan lokasi proyek Tambang Riska dan Bakan (Hardjana, 2012)	6
Gambar 3 Peta lembar Kotamobagu (Apandi & Bachri, 1997)	10
Gambar 4 Lokasi daerah penelitian dalam lembar Kotamobagu	10
Gambar 5 Stratigrafi Bakan (Hardjana, 2012)	12
Gambar 6 Model koseptual endapan epitermal (Hedentquist, et al., 2000)	13
Gambar 7 Himpunan mineral alterasi umum dalam sistem hidrotermal berdasarkan pH dan temperatur pembentuknya (Corbett & Leach, 1998).....	17
Gambar 8 A. Kisaran suhu dan pH fase mineral hidrotermal dalam sistem epitermal. B. Skema yang disederhanakan dari distribusi mineral hidrotermal pada sistem epitermal bersulfidasi rendah dan tinggi (Pirajno, 2009).....	18
Gambar 9 Lokasi Penelitian	21
Gambar 10 Kegiatan pemetaan lokasi penelitian.....	22
Gambar 11 Mikroskop Nikon Eclipse LV-100 POL	23
Gambar 12 Analisis Mineragrafi sampel sayatan poles.....	24
Gambar 13 Pengujian sampel menggunakan ASD	25
Gambar 14 Alat ASD TerraSpec 4 High Resolution	25
Gambar 15 Tampilan hasil pengolahan data ASD menggunakan <i>software</i> The Spectral Geologist	25
Gambar 16 Alat <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	26
Gambar 17 tampilan pengolahan data XRD menggunakan <i>software</i> Impact Match!3	26
Gambar 18 Bagan alir penelitian.....	28
Gambar 19 Kenampakan satuan geomorfik <i>pit</i> (Azimuth N 297° E).....	30
Gambar 20 Kenampakan satuan geomorfik <i>haul road</i> (Azimuth N138°E).....	30
Gambar 21 Kenampakan satuan geomorfik lereng struktural (Azimuth N277°E).....	31
Gambar 22 A. Foto singkapan tufa dasitik LP 34 (Azimuth N 65° E). B. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 34. C. Foto singkapan Tufa dasitik LP 41 (Azimuth N 118° E). D. Foto <i>hand specimen</i> LP 41. E. Foto singkapan tufa dasitik LP 5. F. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 5. ...	32
Gambar 23 A,B. Fotomikrograf tufa dasitik sampel LP 67 yang menunjukkan kehadiran mineral Qtz (kuarsa), Or (ortoklas), Alu (alunit), Ep (epidot), Opq (mineral opak), Gv (gelas vulkanik); A. Nikol sejajar B. Nikol silang.....	32
Gambar 24 A. Foto singkapan breksi freatomagmatik LP 10 (Azimuth N 58° E) B. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 10. C. Foto singkapan breksi freatomagmatik LP 74 (Azimuth N 34° E). D. Foto <i>hand specimen</i> LP 74.	34
25 A,B. Fotomikrograf breksi fretomagmatik sampel LP 1 yang menunjukkan kehadiran mineral Pl (plagioklas), Qtz (kuarsa), Or	



	(ortoklas), Ill (Illit), Opq (mineral opak), Gv (gelas vulkanik). ; A. Nikol sejajar B. Nikol silang.....	34
Gambar 26	A. Breksi Hidrotermal LP 47 teroksidasi mineral hematit. B. Breksi Hidrotermal LP 11 teroksidasi mineral goetit.....	36
Gambar 27	A. Fotomikrograf nikol silang breksi hidrotermal sampel LP 46 yang menunjukkan kehadiran mineral Ep (Epidot), Alu (alunit), Px (piroksen), Qtz (kuarsa), Gv (gelas vukanik). B. Fotomikrograf nikol silang breksi fretomagmatik sampel LP 11 yang menunjukkan kehadiran mineral Qtz (kuarsa), Or (ortoklas), Kln (kaolin), Opq (mineral opak), Gv (<i>glass vulkanic</i>).	36
Gambar 28	Kolom stratigrafi daerah penelitian.....	37
Gambar 29	Kekar gerus pada LP 75	38
Gambar 30	Kekar Tarik yang rekahannya terisi oleh mineral lempung pada LP 74.....	38
Gambar 31	Hasil analisis stereografis sesar pada LP 12 berarah NNE-SSW pergerakan sesar mendatar mengaanan (<i>dextral</i>).	39
Gambar 32	Hasil analisis stereografis sesar pada LP 6 berarah NNE-SSW pergerakan sesar mendatar menganan (<i>dextral</i>).	39
Gambar 33	Hasil analisis stereografis sesar pada LP 14 berarah NW-SE pergerakan sesar mendatar mengiri (<i>sinistral</i>).	40
Gambar 34	Hasil analisis stereografis sesar pada LP 12 berarah NNE-SSW pergerakan sesar mendatar mengiri (<i>sinistral</i>).	40
Gambar 35	A. Sampel <i>coring</i> (MRD-1347) dari kedalaman 255 m, yang memperlihatkan dominasi mineral klorit berwarna hijau, serta sedikit fragmen batuan breksi yang berwarna kehitaman. B. <i>Hand specimen</i> sampel MRD-1347.	41
Gambar 36	A. Foto singkapan alterasi <i>argillic</i> pada breksi freatomagmatik LP 1 (Azimuth N3°E). B. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 1. C. Foto singkapan alterasi <i>argillic</i> pada litologi tufa dasitik LP 38 (Azimuth N132°E). D. Foto <i>close-up</i> LP 38.	42
Gambar 37	A,B. Fotomikrograf sampel LP 1 yang menunjukkan kehadiran mineral Or (ortoklas), Pl (plagioklas), Qtz (kuarsa), Ill (illit), Opq (opak), dan Gv (gelas vulkanik); A. Nikol sejajar, B. Nikol silang. C. Difaktogram XRD Sampel LP 1 yang menunjukkan kehadiran mineral anortoklas, kuarsa, illit, dan pirit. D. Difaktogram XRD Sampel LP 38 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa dan <i>halloysite</i> . E. Hasil analisis ASD sampel LP 1 yang menunjukkan kehadiran mineral illit muskovitik. F. Hasil analisis ASD sampel LP 38 yang menunjukkan kehadiran mineral illit muskovitik. G. Hasil analisis ASD sampel LP 5 yang menunjukkan kehadiran mineral monmorilonit dan muskovitik illit. H. Hasil analisis ASD sampel LP 16 yang menunjukkan kehadiran mineral kaolinit dan dikit.....	43
38	A. Foto <i>hand specimen</i> alterasi <i>advance argillic</i> pada litologi tufa LP 41. B. Foto sampel <i>hand specimen</i> alterasi <i>advance argillic</i> pada litologi tufa LP 57.....	44
39	A,B. Fotomikrograf sampel LP 42 yang menunjukkan kehadiran mineral Alu (Alunit), Opq (opak), dan Gv (gelas vulkanik); A.	



	Nikol sejajar, B. Nikol silang. C. Difaktogram XRD Sampel LP 34 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa dan kaolinit. D. Difaktogram XRD Sampel LP 57 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa dan alunit E. Hasil analisis ASD sampel LP 34 yang menunjukkan kehadiran mineral kaolinit dan dikit. F. Hasil analisis ASD sampel LP 57 yang menunjukkan kehadiran mineral K-alunit dan dikit. G. Hasil analisis ASD sampel LP 23 yang menunjukkan kehadiran mineral pirofilit.....	45
Gambar 40	A. Foto singkapan alterasi <i>silicic</i> pada litologi tufa LP 67 (Azimuth N47°E). (B) Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 67. C. Foto singkapan alterasi <i>silicic</i> pada litologi breksi freatomagmatik LP 13 (Azimuth N63°E). (D) Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 13.....	46
Gambar 41	Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 11 dari zona alterasi <i>silicic</i> pada litologi breksi hidrotermal yang bertekstur <i>vuggy</i>	47
Gambar 42	A. Fotomikrograf nikol silang sampel LP 67 yang menunjukkan kehadiran mineral Qtz (kuarsa), Alu (alunit), Px (piroksen), Ep (epidot), Opq (opak), dan gelas vulkanik (Gv). B. Fotomikrograf nikol silang sampel LP 67 yang menunjukkan kehadiran mineral Or (ortoklas), Kln (kaolinit), Opq (opak), dan RF (<i>rock fragment</i>)....	47
Gambar 43	A. Difaktogram XRD Sampel LP 47 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa dan alunit. B. Difaktogram XRD Sampel LP 67 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa. C. Hasil analisis ASD sampel LP 47 yang menunjukkan kehadiran mineral K-alunit.	48
Gambar 44	A. Foto singkapan alterasi <i>vuggy quartz</i> pada litologi tufa LP 31 (Azimuth N65°E). B. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 31 yang memperlihatkan kandungan mineral oksida. C. Foto singkapan <i>vuggy quartz</i> pada litologi breksi freatomagmatik LP 14 (Azimuth N 113° E). D. Foto sampel <i>hand specimen</i> LP 14 yang memperlihatkan kandungan mineral oksida.....	49
Gambar 45	A,B. Fotomikrograf sampel LP 1 yang menunjukkan kehadiran mineral Qtz (kuarsa), Alu (alunit), Or (ortoklas), Px (piroksen), dan Opq (opak); A. Nikol sejajar, B. Nikol silang. C. Difaktogram XRD Sampel LP 31 yang menunjukkan kehadiran mineral kuarsa. D. Hasil analisis ASD sampel LP 14 yang menunjukkan kehadiran mineral K-alunit.	50
Gambar 46.	A. Fotomikrograf sayatan poles LP 11. B. Fotomikrograf sayatan poles LP 31 C. Fotomikrograf sayatan poles LP 41. D. Fotomikrograf sayatan poles LP 67. Keterangan: Py (pirit), Ccp (kalkopirit), Cv (kovelit), Hem (hematit), Gt (goetit).	52



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perkembangan klasifikasi modern tipe endapan epitermal	13
Tabel 2 Pemerian karakteristik bentuklahan daerah penelitian.....	29
Tabel 3 Himpunan mineral alterasi lokasi penelitian.....	50
Tabel 4 Hasil analisis AAS (dalam ppm).....	51
Tabel 5 Paragenesis mineral bijih	53



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
IUP	Izin Usaha Pertambangan
PT	Perseroan Terbatas
VQ	<i>Vuggy Quartz</i>
S	<i>Silicic</i>
AA	<i>Advanced argillic</i>
AR	<i>Argillic</i>
WX	<i>Well Cristalinity</i>
PX	<i>Poor Cristalinity</i>
BF	Breksi Freatomagmatik
TFDA	Tufa Dasitik
BHX	Breksi Hidrotermal



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis petrografi	59
Lampiran 2 Analisis mineragrafi	72
Lampiran 3 Analisis XRD.....	77
Lampiran 4 Analisis ASD	119
Lampiran 5 Deskripsi lapangan dan analisis ASD.....	125
Lampiran 6 <i>Logging</i> data bor.....	128
Lampiran 7 Hasil analisis AAS.....	132
Lampiran 8 Peta Lokasi pengamatan	134
Lampiran 9 Peta geomorfologi.....	135
Lampiran 10 Peta geologi	136
Lampiran 11 Peta alterasi.....	137
Lampiran 12 Peta mineralisasi	138
Lampiran 13 Kartu konsultasi tugas akhir	139



KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kahadirat Tuhan Yesus Kristus, karena dengan anugerah-Nya penyusunan tugas akhir yang berjudul “Studi alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Epitermal di Lokasi IUP PT X Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara”, yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pertambangan pada program studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dapat terselesaikan.

Selama penulisan tugas akhir ini sangat banyak pihak yang telah membantu dan membari masukan. Sehingga penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada PT J Resources Bolaang Mongondow yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir, Bapak Arief Hermawan selaku *General Manager Mine Geology Department* yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan Tugas Akhir di *site* Bakan, dan juga Mas Rino Dwi Utama selaku pembimbing lapangan yang telah membantu dan mengarahkan penulis selama pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir dan penyusunan laporan. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada seluruh *geologist* dan *staff Mine Geology Department* yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama melaksanakan akan Tugas Akhir.

Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, M. T., selaku kepala Laboratorium Ekplorasi Mineral dan pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan mengarahkan selama penulisan Tugas Akhir. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh Dosen Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat sampai Tugas Akhir.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Namira Hilwa dan Ida Ayu Made Putri Wulandari, sesama peserta tugas akhir di PT J Resources, yang selalu menemani, membantu, dan membimbing selama pelaksanaan Tugas Akhir dan penulisan laporan. Tak lupa penulis menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan DRILLING 20 (Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2020) yang telah memberikan banyak dukungan, bantuan dan semangat kepada penulis. Tidak lupa juga penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan banyak dukungan selama penulis kuliah di Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan pada laporan Tugas Akhir ini, sehingga diharapkan masukan terhadap penyempurnaannya. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Gowa, 09 Agustus 2024



Agnes Putri Yosy

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas merupakan suatu jenis mineral yang bernilai nilai ekonomis sangat tinggi (*precious metal*). Pembentukan mineral emas berkaitan dengan naiknya suatu larutan fluida hidrotermal pada permukaan melalui rekahan pada batuan, kemudian terjadi proses diferensiasi dan proses pengendapan (Sukandarrumidi, 2009). Secara umum mineralisasi dapat terbentuk akibat panas dari larutan hidrotermal yang bereaksi dengan batuan sampling (*wallrock*) di sepanjang rekahan (*fracture*) dan ruang antara butiran/mineral, sehingga terjadi proses alterasi yang mengubah mineral penyusun *wallrock*, baik itu sifat fisik maupun kimianya (Pirajno, 1992). Tipe alterasi dan mineralisasi pada suatu daerah mempunyai sifat dan karakteristik masing-masing yang sering dicirikan dengan adanya himpunan mineral tertentu. Keberadaan zona alterasi dan mineralisasi ini akan membantu dalam perencanaan pengembangan eksplorasi mineral bijih yang mengandung logam berharga (Bakkar, *et al.*, 2020).

Emas memiliki nilai ekonomi yang sangat tinggi dan telah menjadi logam berharga selama ribuan tahun. Seiring berjalannya waktu kegiatan eksploitasi terus dilakukan, maka yang terjadi adalah berkurangnya cadangan yang sudah ada sehingga hal ini menuntut kegiatan pengembangan eksplorasi lanjut untuk menemukan cadangan baru (Cahaya, 2017). Alterasi dan mineralisasi berkaitan dengan identifikasi dan eksploitasi sumberdaya mineral. Studi alterasi dan mineralisasi merupakan kunci utama dalam kegiatan eksplorasi untuk menemukan deposit mineral yang baru, dengan memahami pola alterasi dan mineralisasi dapat menjadi petunjuk atau mengarahkan upaya ekplorasi ke daerah-daerah yang berpotensi tinggi (Binsar, *et al.*, 2014).

Pemetaan geologi merupakan suatu kegiatan untuk mengidentifikasi dan struktur geologi, stratigrafi dan potensi endapan mineral suatu daerah. Geologi membantu dalam menentukan distribusi spasial batuan-batuan mineral dan zona-zona alterasi yang berhubungan dengan endapan



tersebut (Proyogi & Suganda, 2014). Pemahaman terperinci mengenai pola penyebaran alterasi untuk mengidentifikasi area-area di mana endapan epitermal sulfidasi tinggi berkembang. Studi mineralisasi memungkinkan untuk mengidentifikasi pola dan distribusi mineralisasi dalam endapan.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian dengan mengangkat judul “Studi Alterasi dan Mineralisasi Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi Dilokasi IUP PT X Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah studi ini yaitu:

1. Bagaimana kondisi geologi pada daerah penelitian.
2. Bagaimana himpunan mineral alterasi yang terdapat pada daerah penelitian.
3. Bagaimana himpunan mineral bijih yang terdapat pada daerah penelitian.
4. Bagaimana persebaran alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian.
5. Apa tipe endapan yang terdapat pada daerah penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian yang dijabarkan pada rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Melakukan pemetaan geologi pada daerah penelitian.
2. Menganalisis jenis dan himpunan mineral alterasi pada daerah penelitian.
3. Menganalisis jenis dan himpunan mineral bijih pada daerah penelitian.
4. Memetakan zonasi alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian.
5. Mengidentifikasi tipe endapan mineral pada daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian



Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi dan rujukan pustaka mengenai statistik dan sebaran mineral, tipe dan zona alterasi, serta hubungan antara alterasi dan distribusi kadar berdasarkan zona alterasi endapan emas pada Desa abupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini terbatas pada pemetaan geologi, alterasi, dan mineralisasi untuk menganalisis kondisi geologi dan himpunan mineral alterasi dan mineralisasi serta penyebarannya. Batas geografis penelitian terletak pada areal *pit* penambangan PT X, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara dengan luas wilayah pemetaan sekitar 600×600 meter. Kegiatan pengambilan data lapangan dilakukan pada lokasi penelitian di PT X pada bulan Desember 2023 hingga Februari 2024.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

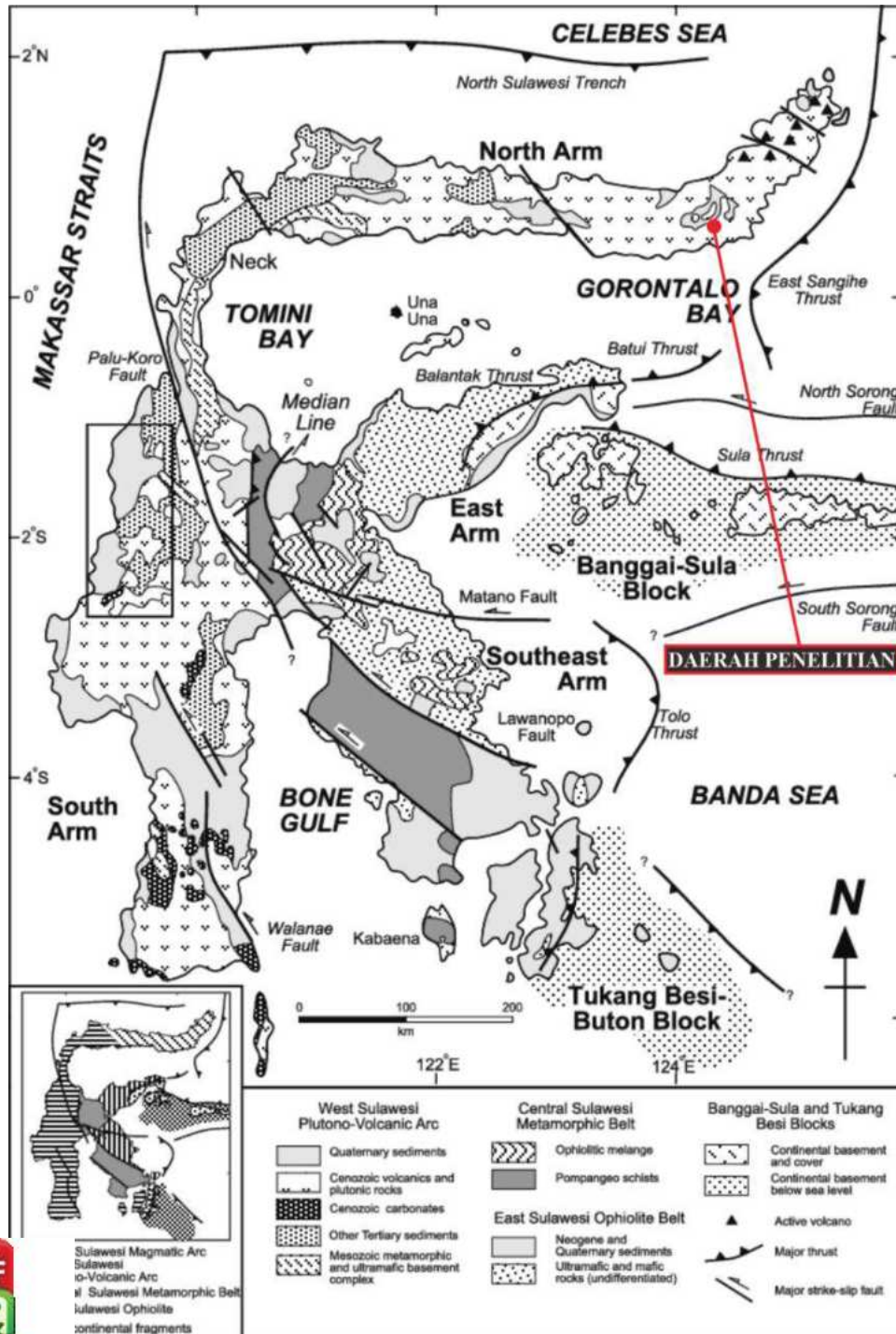
2.1.1 Fisiografi

Secara umum Hamilton (1979), Sukamto (1975), dan Sith (1983) telah membagi wilayah Sulawesi ke dalam tiga bagian fisiografi (Gambar 1) yaitu:

1. Mandala barat (*West Sulawesi Pluton-Volcanic Arc*) terdiri dari kompleks *basement Paleozoikum* Akhir dan *Mesozoikum* Awal pada bagian utara dan tengahnya, batuan melange pada awal Kapur Akhir di bagian selatan (Sukamto, 1975), sedimen *flysch* berumur Kapur Akhir hingga Eosen yang kemungkinan diendapkan pada *fore arc basin* (cekungan muka busur) (Sukamto, 1975) pada bagian utara dan selatan, *volcanic arc* (busur vulkanik) berumur Kapur Akhir hingga pertengahan Eosen, sekuen batuan karbonat Eosen Akhir sampai Miosen Awal dan *volcanic arc* (busur vulkanik) Miosen Tengah hingga Kuarter (Silver, *et al.*, 1983). Batuan plutonik berupa granitik dan diorit berumur Miosen Akhir hingga Pleistosen, sedangkan batuan vulkanik berupa alkali dan kalk-alkali berumur Paleosen sampai Pleistosen. Sulawesi bagian barat memiliki aktifitas vulkanik kuat yang diendapkan pada lingkungan *submarine* sampai *terrestrial* selama periode Pliosen hingga Kuarter Awal di bagian selatan, namun pada Sulawesi Utara aktifitas vulkanik masih berlangsung hingga saat ini.
2. Mandala tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) satuan ini terdiri dari kompleks melange dan batuan metamorf. Batuan metamorf akibat tumbukan lempeng eurasian di barat dengan lempeng australia hingga mengangkat kompleks melange dibagian pulau sulawesi.
3. Mandala timur (*East Sulawesi Ophiolite*) Merupakan jalur ofiolit dan sedimen terimbrikasi serta molasse. Pada lengan Tenggara Sulawesi (segmen selatan) didominasi oleh batuan ultramafik (Van Bemmelen, 1970; Hamilton, 1979; dan Sith, 1983), harzburgit dan serpentin harzburgite (Silver, *et al.*, 1983), sedangkan pada lengan Timur Sulawesi (segmen utara) merupakan



segmen ofiolit lengkap, berupa harzburgit, gabro, sekuen dike diabas dan basalt, yang merupakan hasil dari tumbukan antara platform Sula dan Sulawesi pada saat Miosen Tengah sampai Miosen Akhir (Hamilton, 1979; Sith, 1983), serta batuan sedimen pelagos dan klastik yang berhubungan dengan batuan ultramafik (Silver, *et al.*, 1983)

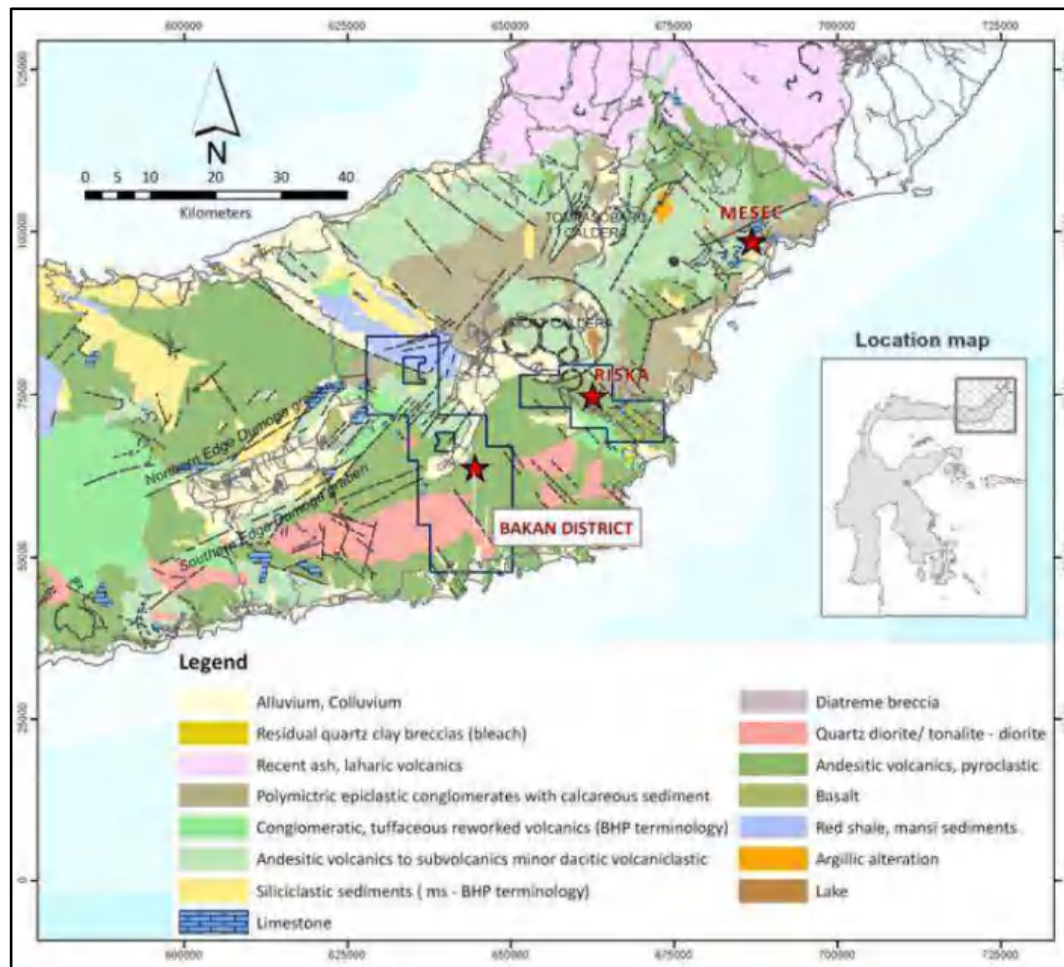


Gambar 1 Pembagian jalur fisiografi Sulawesi (Hall & Wilson, 2000)



2.1.2 Struktur

Geologi Sulawesi Utara didominasi oleh vulkanik Kenozoikum dan intrusi yang terkait, yang membentuk busur kepulauan komposit (Gambar 2). Struktur busur ini diyakini sebagian besar didasari oleh kerak samudera yang terbentuk selama pembukaan Laut Sulawesi pada masa Eosen (Van Leeuwen & Muhardjo, 2005) dan kerak benua yang tipis di bagian barat (Carlile, *et al.*, 1990).



Gambar 2 Geologi Regional Sulawesi Utara bagian timur menunjukkan lokasi proyek Tambang Riska dan Bakan (Hardjana, 2012)

Tiga peristiwa busur utama telah dikenali di wilayah Sulawesi Utara:

- i) Eosen Tengah - Miosen awal, yang dicirikan oleh rangkaian tebal gunungapi yang dominan basaltik dengan komposisi tholeiitic yang berasosiasi dengan sedimen laut dalam (van Leeuwen dan Muhardjo, 2005);



osen, diwakili oleh gunungapi berkapur-basa yang disisipi oleh granitoid magmatik dan berselingan dengan batuan sedimen laut dangkal dan;

- iii) Pliosen - Resen, sebagian besar terdiri dari vulkanik sub-*aerial* dengan komposisi andesit - dasit dan intrusi komagmatik tingkat tinggi (Carlile dkk., 1990; Kavalieris dkk., 1992; Pearson dan Caira, 1999).

Busur Sulawesi Utara merupakan tempat terjadinya mineralisasi Miosen awal yang berkembang di bawah rezim tektonik kunci pas dekstral regional dan mineralisasi Pliosen yang berkembang di bawah rezim tektonik kunci pas sinistral. Sesar mendatar berarah ESE sesar normal berarah NNW, yang berkembang pada Miosen mendominasi struktur-struktur. Perpotongan kumpulan sesar besar ini merupakan lokasi yang disukai untuk mineralisasi Cu-Au porfiri Miosen awal tingkat rendah.

2.1.3 Tatanan Stratigrafi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotamobagu (Gambar 3), tatanan stratigrafi daerah Kotamobagu dari tua ke muda terdiri dari (Apandi & Bachri, 1997):

- 1) Formasi Tinombo fasies gunungapi (Tetv)
Terdiri dari lava basal, lava andesit, selingan batupasir hijau, batulanau hijau, sedikit konglomerat, batugamping merah dan kelabu. Lava basal umumnya berstruktur bantal, banyak zeolite, barik-barik silika, serta batu lumpur merah gampingan yang mengisi antara struktur bantal.
- 2) Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets)
Terdiri dari serpih dan batu pasir dengan sisipan batu gamping dan rijang, serpih berwarna kelabu dan merah, getas, sebagian gampingan, rijang mengandung radiolaria. Batu pasir berupa *greywake* dan batu pasir kuarsa, kelabu dan hijau, pejal yang berbutir halus sampai dengan sedang, sebagian mengandung pirit. Satuan batuan ini diterobos oleh granit, diorit dan trakit. Satuan ini mempunyai hubungan menjari dengan Formasi Tinombo Fasies Gunung Api, berumur Eosen – Oligosen Awal.
- 3) Anggota Batu gamping Batuan Gunung Api Bilungala (Tmbl)
Terdiri dari Batu gamping kelabu mengandung fosil *Lepidocyclina* sumatransis. Kumpulan fosil tersebut menunjukkan umur Miosen Awal – Eosen Akhir.



4) Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv)

Terdiri dari breksi, tuf dan lava bersusun andesit, dasit dan riolit. Zeolite dan kalsit sering dijumpai pada kepingan batuan penyusun breksi. Tuf umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Tebal satuan diperkirakan lebih dari 1000 meter, sedangkan umurnya berdasarkan kandungan fosil dalam sisipan batugamping adalah Miosen Bawah-Miosen Akhir.

5) Anggota Batu Gamping Formasi Tapadaka (Tmtl)

Terdiri dari breksi, tufa dan lava 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. Propilitisasi, kloritisasi dan epidotisasi banyak dijumpai pada lava. Berdasarkan kandungan fosil, dalam sisipan batu gamping maka batuan tersebut berumur Miosen Akhir.

6) Formasi Tapadaka (Tmts)

Terdiri dari batu gamping kelabu terang, pejal, mengandung pecahan batuan gunung api hijau. Batu gamping ini sebagian membentuk lensa-lensa di dalam Formasi Tapadaka dan sebagian terlihat berganti fasies ke arah samping menjadi batu pasir. Umur satuan ini adalah Miosen Awal – Miosen Akhir.

7) Diorit Bone (Tmb)

Terdiri dari batu pasir, gres, batu pasir terkarsikan, dan serpih. Batu pasir berwarna kelabu muda hingga tua dan hijau, berbutir halus sampai kasar, mengandung batuan gunung api hijau dan serpih merah, setempat gampingan. Serpih berwarna kelabu sampai hitam, mengandung fosil *Spaerodinella subfheiscens*. Berdasarkan hasil penyelidikan, batuan tersebut berumur Miosen Awal – Miosen Akhir.

8) Breksi Wobudu (Tpww)

Terdiri dari diorit kuarsa, diorit, granodiorit, granit. Diorit kuarsa dijumpai di daerah Sungai Taludaa, sedangkan granit di daerah Sungai Bone. Satuan ini nerobos batuan gunung api Bilungala maupun Formasi Tinombo. Umur an diorit bone ini sekitar Miosen Akhir.



9) Molasa Selebes (Qts)

Merupakan endapan pasca orogen yang terbentuk di cekungan-cekungan kecil. Terdiri dari konglomerat, breksi, batu pasir pada umumnya termampatkan lemah. Konglomerat dan breksi tersusun oleh aneka bahan komponen berupa kepingan andesit, basal, granit, granodiorit, batu gamping, batu pasir maupun kuarsa, batuan ini berumur Pliosen – Plistosen.

10) Batuan Gunung Api Pinogu (Tqpv)

Terdiri dari tufa, tufa lapili, breksi dan lava. breksi gunung api di pegunungan Bone, Gunung Mongadalia dan Pusian bersusunan andesit piroksen dan dasit. Tufa yang tersingkap di Gunung Lemibut dan Gunung Lolombulan umumnya berbatu apung, kuning muda, berbutir debu sedang – kasar, diselingi lava bersusun menengah - basa. Tufa dan tufa lapili di sekitar Sungai Bone bersusunan dasitan. Lava berwarna kelabu muda hingga tua, pejal, bersusun andesit piroksen, umurnya diduga Pliosen – Plistosen.

11) Endapan Danau (Qpl)

Satuan endapan danau ini disusun oleh batu lempung kelabu, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit. Batu pasir berbutir halus – kasar serta kerikil dijumpai di beberapa tempat.

12) Batu Gamping Terumbu (Ql)

Batu gamping terumbu terangkat dan batu gamping klastik dengan komponen utama koral, setempat berlapis terutama dijumpai di daerah pantai selatan dan pantai utara.

13) Batuan Gunung Api Ambang (Qav)

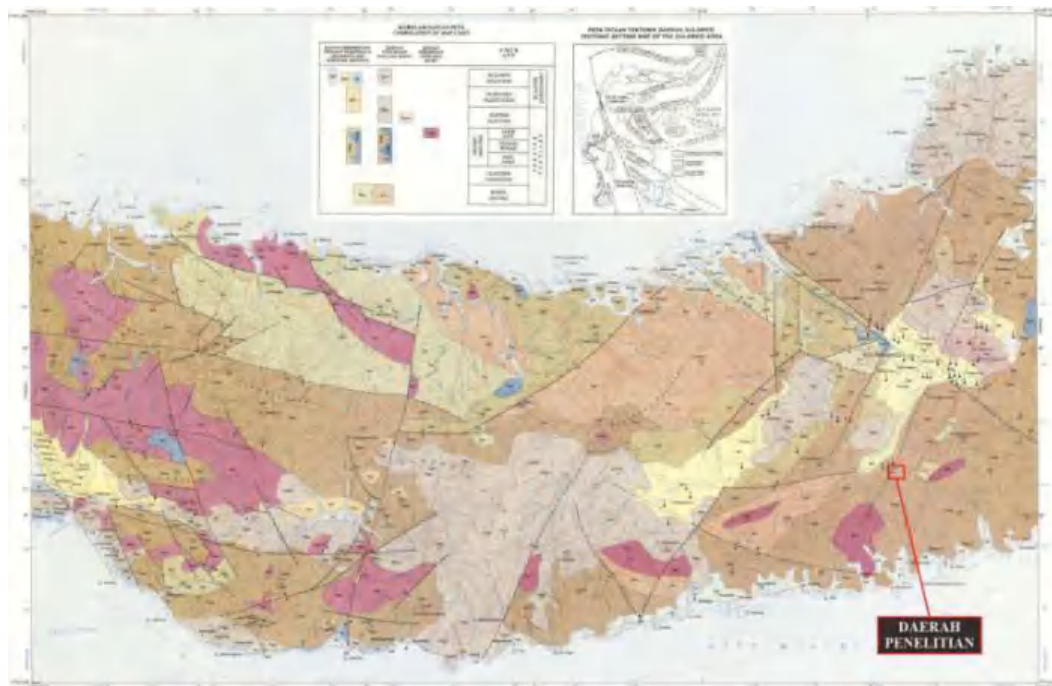
Merupakan tufa, aglomerat, lahar, lava dan endapan belerang di dalam kawah. Tufa berwarna kelabu muda, lava pejal, bersusunan andesit hipersten – hornblende dan andesit hornblenda. Gunung api Ambang masih aktif berbentuk strato dengan lima lapangan fumarol.

14) Aluvium (Qa)

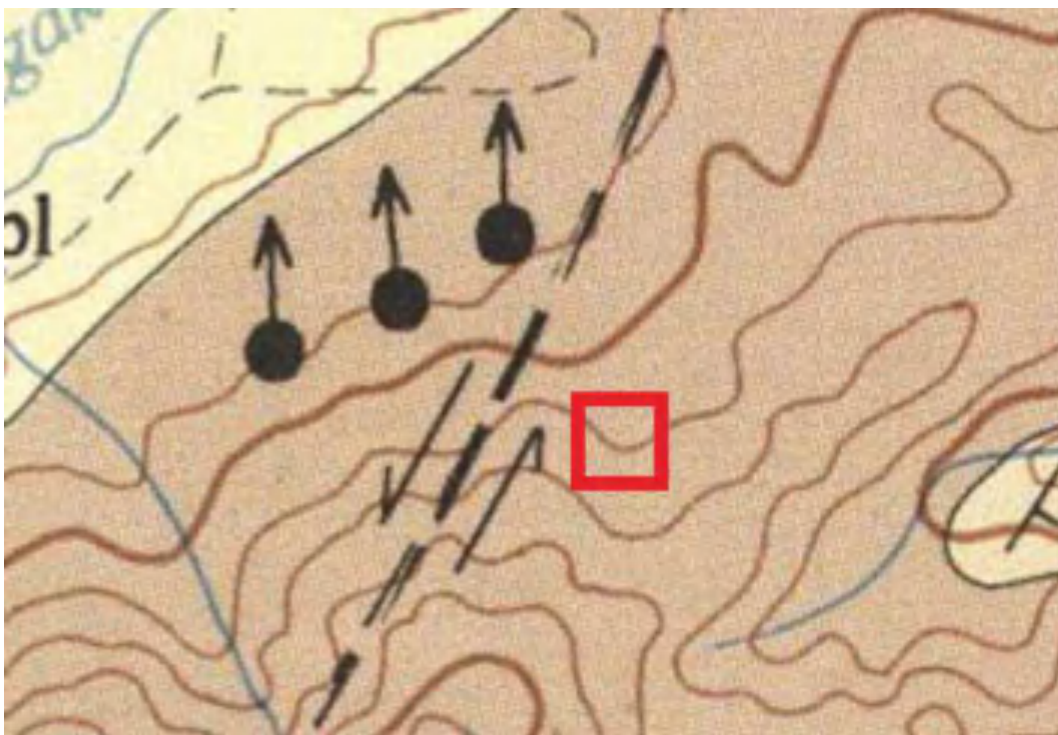
Endapan Aluvium terutama terdiri dari akumulasi endapan yang berumur arter, berukuran butir dari lempung, lumpur pasir, kerikil, kerakal, hingga ngkah berbagai macam batuan yang masih bersifat lepas belum konsolidasi. Proses pengendapannya masih berlangsung hingga kini dan



umumnya terdapat sebagai endapan rombakan di daerah aliran sungai, dataran, rawa dan Pantai



Gambar 3 Peta lembar Kotamobagu (Apandi & Bachri, 1997)



Gambar 4 Lokasi daerah penelitian dalam lembar Kotamobagu



atigrafi dari pada daerah bakan yang dapat dilihat pada Gambar 5
dari paling tua ke muda yaitu (Hardjana, 2012):

1) Batuan dasar berumur Miosen tengah hingga akhir

Batuan ini terdiri dari batuan sedimen laut dangkal dan laut dalam, antara lain batu pasir, batulanau, batulempung, batupasir konglomeratan, dan sesekali ditemukan lensa batugamping lempung abu-abu. Sekuen sedimentasi tersebut memiliki hubungan menjadi dengan aliran lava andesitic. Kemudian batuan-batuan tersebut diterobos oleh diorit yang berbutir halus hingga sedang yang muncul sebagai *stock* dan *dikes* khususnya pada bagian timur

2) Sekuen batuan berumur Pliosen hingga Pleistosen

Secara tidak selaras diatas satuan dasar, terbentuk unit sekuen batuan, pada unit bagian bawah terdiri dari perselingan kristal, vitrik dan tuf litik pada bagian dalam dan atas terbentuk batuan laharik yang terkonsolidasi. Sekuen pelapisan unit batuan terbentuk pada permukaan atau dibawah permukaan pada lapisan permukaan masa lampau yang dibentuk oleh unit batuan dasar. Intrusi subvulkanik atau kubah kecil porfiri dasit, pada beberapa bagian mengintrusi batuan dasar dan kemungkinan terbentuk secara bersamaan dengan piroklastik dasit. Selama tahap mudarnya kegiatan vulkanisme fluida hidrotermal menyebabkan terbentuknya rekahan karena fluida dan breksiasi, breksi hidrotermal yang dikontrol oleh struktur dikarenakan fluida. Tahap selanjutnya dari vulkanisme ditandai dengan pengerjaan ulang dan erosi batuan dasit yang membentuk breksi laharik yang dominan dengan fragmen pecahan dasit. Sekuen batuan merupakan formasi paling luas yang ada pada distrik batuan.

3) Satuan batuan berumur Pleistosen

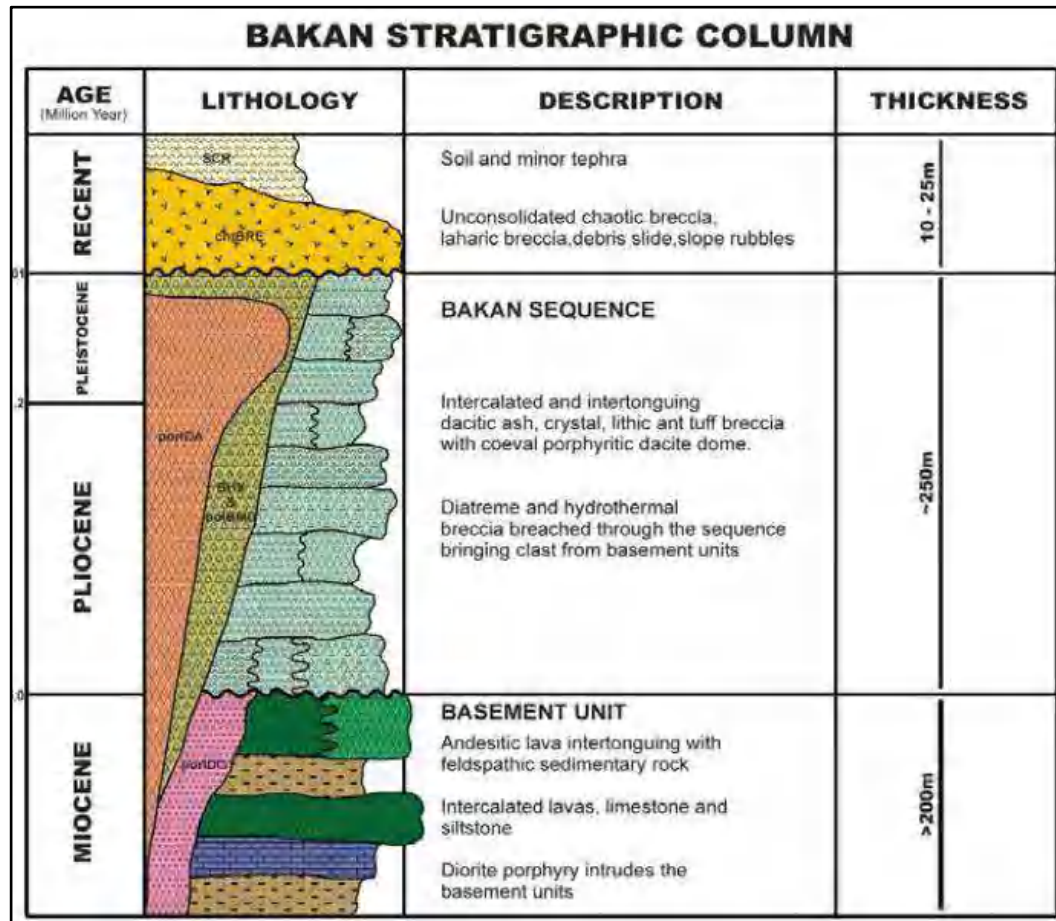
Kegiatan vulkanisme yang berlanjut dan yang baru terbentuk kemungkinan dilanjutkan lagi pada saat pleistosen hingga resen awal Pada resen awal terbentuk breksi laharik tuffan dan breksi longoran. Menurut Umbal, dkk. (2007) dalam Hardjana (2012) menyatakan bahwa satuan batuan breksi kemungkinan diendapkan oleh mekanisme *debris flow*, dan relatif jauh dari sumber batuan.



lapan berumur Resen

lapan ini ditandai dengan pengangkatan pada distrik batuan disertai dengan kegiatan erosi yang mengarah pada pembentukan kerikil alluvial, kipas

alluvial, dan endapan pecahan batuan pada area lereng. Pelapukan menghasilkan endapan berumur alluvium, kerikil fluvial, dan mulai terbentuk horizon tanah.



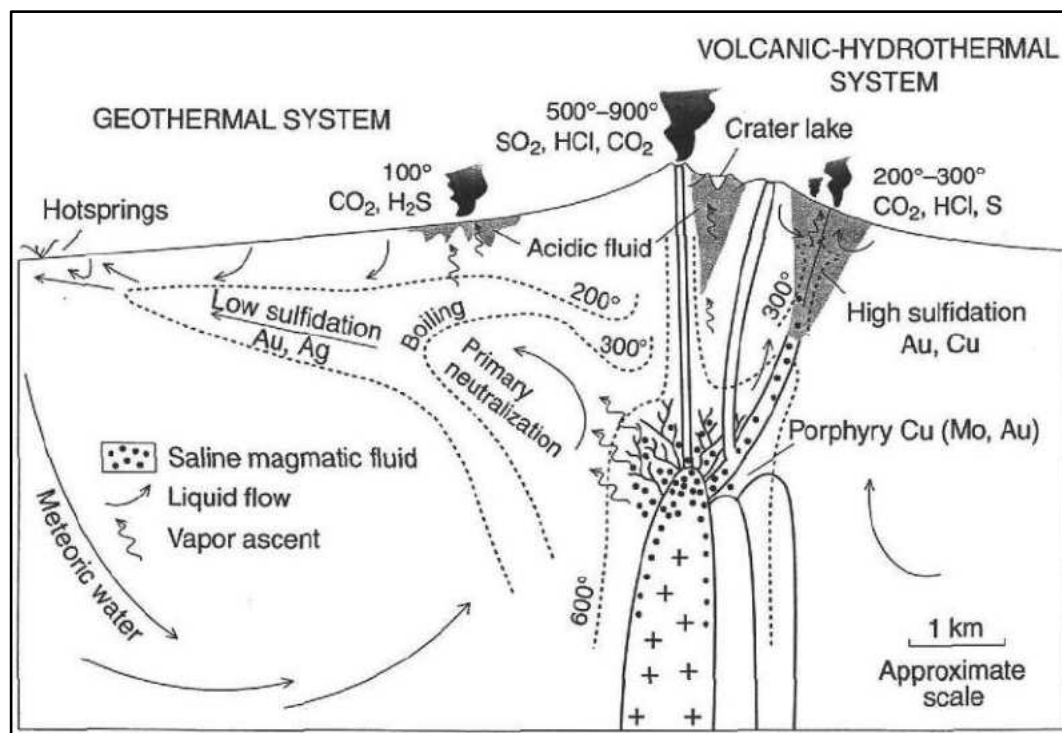
Gambar 5 Stratigrafi BAKAN (Hardjana, 2012)

2.2 Endapan Epitermal

Klasifikasi endapan epitermal mendasarkan pada himpunan mineral alterasi dan mineral ikutan (*gangue mineral*), kandungan logam, kandungan sulfida dan himpunan mineral sulfida. Simmons *et al.* (2005) cenderung untuk mengklasifikasikan endapan epitermal berdasarkan himpunan mineral ikutan karena bijih teroksidasi oleh proses pelapukan. Endapan epitermal merupakan salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang a pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons, *et al.*,



Endapan epitermal umumnya ditemukan sebagai sebuah *pipe* seperti zona di mana batuan mengalami breksiasi dan teralterasi atau berubah tingkat tinggi. *veins* juga ditemukan, khususnya sepanjang zona patahan, namun mineralisasi *vein* mempunyai tipe tidak menerus (*discontinuous*). Tipe endapan epitermal dibagi menjadi dua tipe yaitu *low sulphidation* dan *high sulphidation* yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya (Hedenquist, 1987). Studi terbaru dalam Hedenquist (2000) tipe endapan ini dibagi lagi menjadi tiga tipe yaitu sulfidasi tinggi (*high sulphidation*), sulfidasi menengah (*intermediate sulphidation*), dan sulfidasi rendah (*low sulphidation*). Model konseptual endapan epitermal dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Model konseptual endapan epitermal (Hedenquist, et al., 2000)

Tabel 1 Perkembangan klasifikasi modern tipe endapan epitermal.

<i>Acid</i>	<i>Alkaline</i>	Sillitoe (1977)
<i>Epithermal</i>		Buchanan (1981)
<i>Energite-gold</i>		Ashley (1981)
	<i>Hot-spring type</i>	Giles and Nelson (1982)
<i>High sulfur</i>	<i>Low sulfur</i>	Bonham (1986, 1988)
<i>ve</i>	<i>Adularia-sericite</i>	Hayba <i>et al.</i> (1985) Heald <i>et al.</i> (1987)
<i>ation</i>	<i>Low Sulfidation</i>	Hedenquist (1987)



<i>Alinite-kaolinite</i>	<i>Adularia-sericite</i>		Berger and henley (1989)
	<i>Type 1 adularia-sericite</i>	<i>Type 2 adularia-sericite</i>	Albino and Margolis (1991)
<i>High sulfidation</i>	<i>High sulfide+base metal, low sulfidation</i>	<i>Low sulfide + base metal, low sulfidation</i>	Sillitoe (1989, 1993)
<i>High sulfidation</i>	<i>Intermediet sulfidation</i>	<i>Low sulfidation</i>	Hedenquist (2000)

Sumber: Sillitoe & Hedenquist (2003)

Endapan epitermal sulfidasi tinggi (*high sulfidation*) dicirikan dengan batuan induk (*host rock*) berupa batuan vulkanik bersifat asam hingga intermediet dengan kontrol struktur berupa sesar secara regional atau intrusi sub-vulkanik, kedalaman formasi batuan sekitar 500-2000 meter dan temperatur 100°C-320°C. Endapan Epitermal *high sulfidation* terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200-300°C), fluida ini didominasi oleh fluida magmatik dengan kandungan *acidic* yang tinggi yaitu berupa HCl, SO₂, H₂S (Pirajno, 2009).

Endapan epitermal sulfidasi rendah (*low sulfidation*) dicirikan dengan batuan induk (*host rock*) berupa batuan piroklastik dan batuan sedimen dan larutan hidrotermal yang bersifat netral dan mengisi celah-celah batuan. Tipe endapan ini dikontrol oleh struktur-struktur pergeseran. Kedalaman formasi batuan 0-800 meter dan temperature 220-280°C. endapan ini terbentuk jauh dari tubuh intrusi dan terbentuk dengan cara larutan sisa magma yang berpindah jauh dari sumbernya kemudian bercampur dengan air meteorik didekat permukaan (Hedenquist, *et al.*, 2000).

2.3 Alterasi Hidrotermal

Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (*wall rock*), akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (*secondary minerals*) maupun fluida itu sendiri. Ubahan hidrotermal merupakan proses yang kompleks, melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, dan tekstur, interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya (Pirajno, 1992). Alterasi



merupakan perubahan di dalam komposisi mineralogi suatu batuan (terutama secara fisik dan kimia), khususnya diakibatkan oleh aksi dari larutan hidrotermal. Alterasi hidrotermal merupakan konversi dari gabungan beberapa mineral. Interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan yang dilewati akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral penyusun batuan sampling dan membentuk mineral alterasi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan yang terjadi pada batuan akibat naiknya fluida hidrotermal, antara lain (Corbett & Leach, 1998):

- a) Temperatur dan tekanan pada saat reaksi berlangsung
- b) Sifat kimia larutan hidrotermal (EH, pH)
- c) Konsentrasi larutan hidrotermal
- d) Komposisi batuan sampling
- e) Durasi aktivitas hidrotermal
- f) Permeabilitas

Corbett *and* Leach (1996) alterasi pada endapan hidrotermal diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Propilitik

Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit, dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur >200-300°C pada pH mendekati netral, dengan salinitas beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah. Terdapat empat kecenderungan himpunan mineral yang hadir pada tipe propilitik, yaitu klorit-kalsit-kaolinit, klorit-kalsit-talk, klorit-epidot-kalsit, kloritepidot.

b. Propilitik dalam (*inner propilitik*)

Zona alterasi pada sistem epitermal sulfidasi rendah yaitu fluida kaya klorida, pH mendekati netral umumnya menunjukkan zona alterasi seperti pada sistem porfiri. Zona propilitik dalam untuk zona pada bagian yang bertemperatur tinggi yaitu >300°C dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit.

c. Argilik

Terdiri dari mineral lempung yang terbentuk pada pH cairan asam-netral

5). Tipe argilik terdapat dua kemungkinan himpunan mineral, yaitu



Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur 100°-300°C, fluida asam-netral, dan salinitas rendah.

d. Argilik lanjut (*advanced argillic*)

Alterasi argilik lanjut merupakan alterasi yang meliputi fase mineral yang terbentuk pada kondisi pH rendah (≤ 4) yang didominasi oleh kelompok mineral silika dan alunit. Mayer dan Hemley (1967) dalam Corbett dan Leach (1997) menambahkan kelompok mineral kaolin yang terbentuk pada fase temperatur tinggi seperti dickit dan peridotit. Untuk sistem epitermal sulfidasi tinggi yaitu fluida kaya asam sulfat, zona *advanced argilic* yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit-diasporandalusit-kuarsa-turmalin-enargitluzonit untuk temperatur tinggi yaitu 250°-350°C, atau himpunan mineral kaolinit-alunit-kalsedon-kuarsa-pirit untuk temperatur rendah yaitu $<180^\circ\text{C}$.

e. Potasik

Merupakan zona alterasi yang berada dekat dengan intrusi. Temperatur fluida hidrotermal $>300^\circ\text{C}$ dan salinitas tinggi. Zona alterasi ini dicirikan dengan pembentukan mineral sekunder berupa K-feldspar, biotit, kuarsa, dan magnetit. Selain itu aktinolit, epidot, klorit dan anhidrit, serta sedikit rutil dan albit juga dapat muncul dalam zona ini. Zona potasik terbentuk pada saat awal terbentuk tubuh intrusi porfiri.

f. Filik

Zona ini dicirikan dengan rangkaian mineral serisit, kuarsa, dan pirit. Mineral bijih yang dijumpai terdiri dari kalkopirit, moliBFenit, kasiterit, *native gold* (Au). Zona ini mengandung banyak pirit paling banyak, sehingga sering disebut zona pirit. Zona ini terbentuk akibat hadirnya influks air yang memiliki temperatur sedang-tinggi yaitu 230°C -400°C dan pH asam-netral.

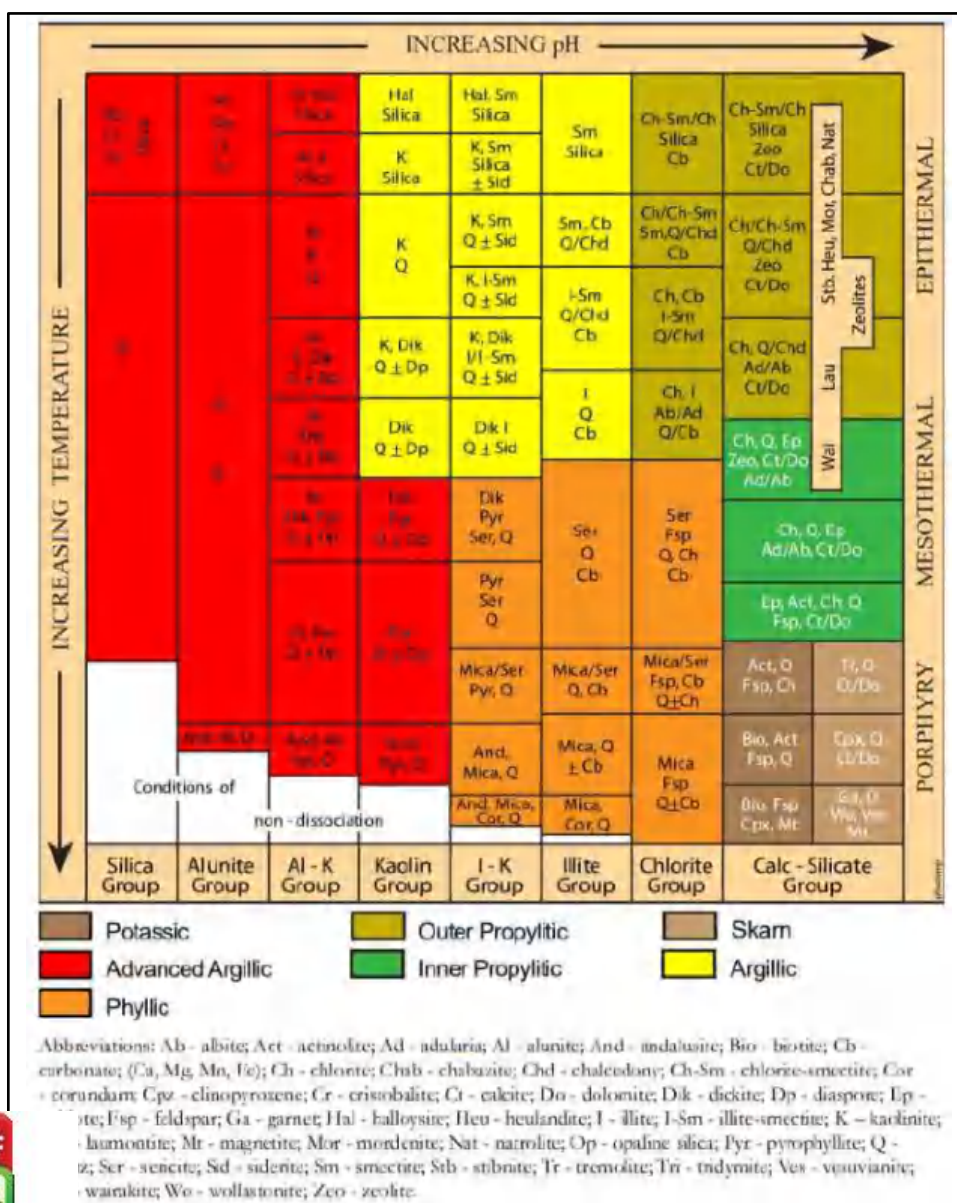
g. Skarn

Alterasi ini terbentuk akibat kontak antara batuan sumber dengan batuan karbonat, zona ini sangat dipengaruhi oleh komposisi batuan yang kaya akan

neral karbonat. Pada kondisi yang kurang akan air, zona ini dicirikan oleh pembentukan mineral garnet, klinopiroksen dan wollastonit serta mineral magnetit dalam jumlah yang cukup besar sedangkan pada kondisi yang kaya



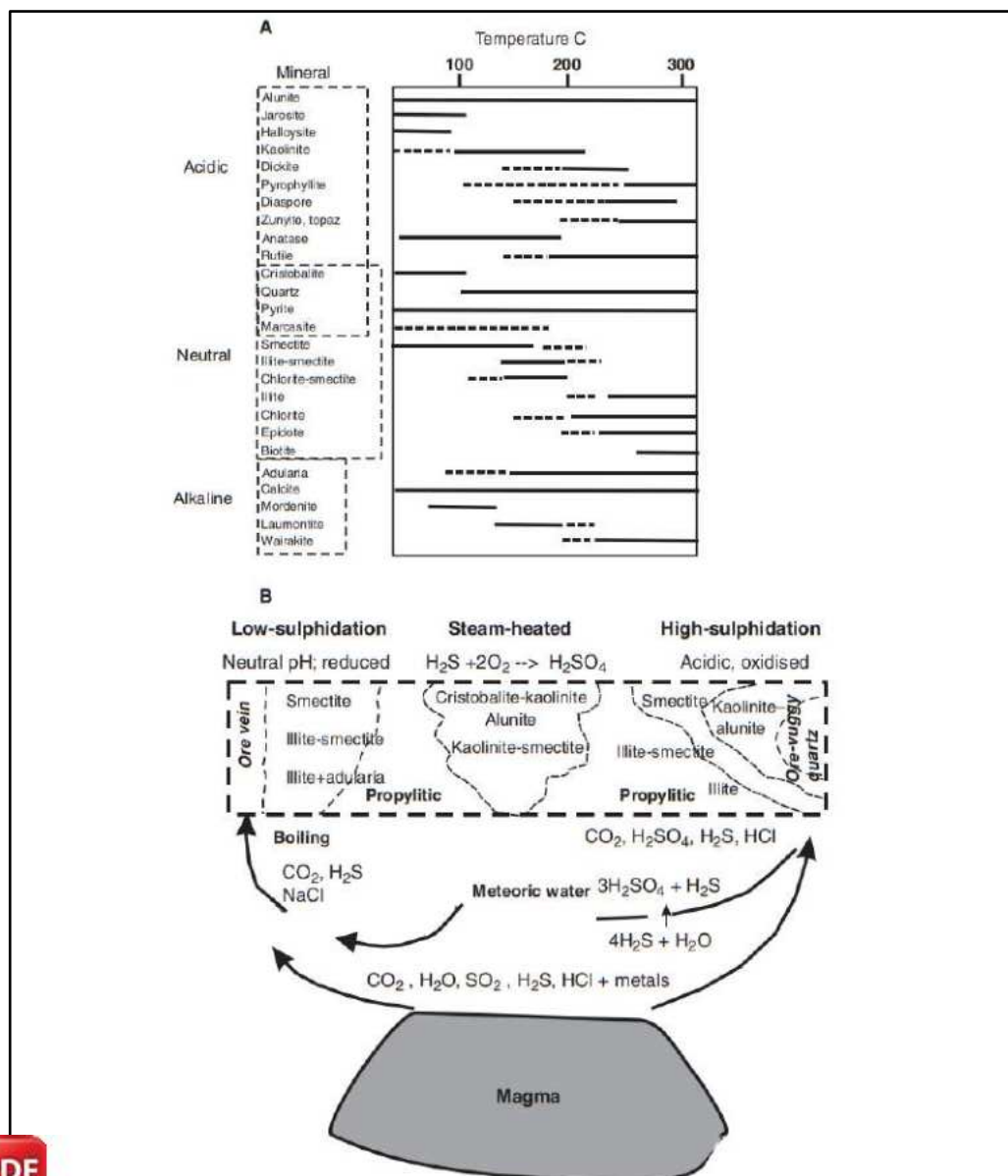
akan air, zona ini dicirikan oleh mineral klorit, tremolit-aktinolit dan kalsit dan larutan hidrothermal. Garnet-piroksen-karbonat adalah kumpulan yang paling umum dijumpai pada batuan induk karbonat. Amfibol umumnya hadir pada skarn sebagai mineral tahap akhir yang menutupi mineral-mineral tahap awal. Aktinolit (CaFe) dan tremolit (CaMg) adalah mineral amfibol yang paling umum hadir pada skarn. Jenis piroksen yang sering hadir adalah diopsid (CaMg) dan hedenbergit (CaFe). Alterasi skarn terbentuk pada fluida yang mempunyai salinitas tinggi dengan temperatur tinggi sekitar 300°C-700°C.



r 7 Himpunan mineral alterasi umum dalam sistem hidrothermal berdasarkan pH dan temperatur pembentuknya (Corbett & Leach, 1998)



Fase mineral hidrotermal yang berkembang dalam sistem epitermal merupakan fungsi dari suhu, tekanan, jenis batuan, sifat cairan yang bersirkulasi (seperti pH, aktivitas CO_2 , H_2S) dan rasio perbandingan antara air dan batuan. Alterasi hidrotermal pada sistem epitermal dapat dipertimbangkan dalam hal interaksi dari (1) cairan asam; (2) cairan klorida yang mendekati netral; dan (3) cairan basa (Gambar 7). Pengenalan kumpulan mineral sangat penting dalam membedakan sistem epitermal bersulfidasi rendah, bersulfidasi tinggi, bersulfidasi menengah, dan alkali.



8 A. Kisaran suhu dan pH fase mineral hidrotermal dalam sistem epitermal. B. yang disederhanakan dari distribusi mineral hidrotermal pada sistem epitermal bersulfidasi rendah dan tinggi (Pirajno, 2009)



Pada kisaran suhu yang lebih rendah ($<180^{\circ}\text{C}$), fase mineral utama yang terkait dengan cairan panas bumi asam-sulfat adalah kaolinit, alunit, kristobalit, gipsum, opal, *native S*, kuarsa, dan sulfida. Pirofilit, diaspore, dan andalusit stabil pada suhu $> 250^{\circ}\text{C}$ dan bahkan mungkin $> 350^{\circ}\text{C}$, seperti dalam kasus andalusit. Barit, anhidrit, dan oksida Fe terhidrasi juga dapat ditemukan pada kisaran suhu yang lebih rendah. Fase-fase mineral ini merupakan kumpulan alterasi argilik lanjut dan ciri khasnya, yang mudah dikenali di lapangan, adalah yang disebut *vuggy quartz*, yang merupakan residu silika yang dihasilkan dari *leaching* asam yang ekstrim. Alterasi argilik tingkat lanjut berubah ke arah luar menjadi illit, illit-Sektit (Gambar 8). Di atas muka air tanah, alterasi *steam-heated*, akibat oksidasi H_2S , menghasilkan kristobalit, kaolinit, dan alunit, yang merupakan mineral-mineral yang stabil terhadap asam pada temperatur rendah. Mineral-mineral ini umumnya membentuk zona perubahan di atas sistem sulfidasi tinggi, namun yang terpenting, mineral-mineral ini dapat meluas ke bawah di sepanjang rekahan dan menindih sistem sulfidasi rendah (White & Hedenquist, 1995). Selain itu, erosi dan runtuhnya sistem epitermal dapat menyebabkan terjadinya alterasi yang dipanaskan dengan uap panas yang mencetak bijih secara berlebihan (Hedenquist, *et al.*, 1996)

2.4 Mineralisasi

Mineralisasi adalah proses pergantian unsur-unsur tertentu dari mineral yang ada pada batuan dinding digantikan oleh unsur lain yang berasal dari larutan sehingga menjadi lebih stabil. Proses ini berlangsung dengan cara pertukaran ion sehingga batuan yang dilewatinya berubah. 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 pada daerah tersebut.

Secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol, yaitu (Bateman, 1981):



1. Fluida hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.

2. Saluran lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat fluida hidrotermal.

3. Ruang sedianya untuk pengendapan larutan hidrotermal.

- d. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk (*host rock*) dengan fluida hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral.
- e. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral.

Mineralisasi bijih endapan epitermal sulfidasi tinggi umumnya dijumpai dalam tubuh biji berupa tubuh masif dari residual *vuggy quartz*, tetapi dapat juga dijumpai pada variasi tubuh bijih lainnya seperti vein, breksi hidrotermal, jejaring (*stockwork*), dan disseminasi atau penggantian. Variasi tersebut dipengaruhi oleh struktur geologi dan kondisi litologi batuan induknya (Hedenquist *et al.*, 2000; Arribas, 1995). Tekstur *vuggy* merupakan produk residual dari *leaching* pada batuan induk. Kenampakkannya berupa silika dengan lubang-lubang menjadikan tekstur ini sangat khas dan menjadi kunci pembeda tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi dengan endapan lain (Idrus & Prihatmoko, 2022).

Mineralisasi Au pada endapan epitermal sulfidasi tinggi berasosiasi dengan mineral energi, pirit, dan kovelit yang tidak dominan (khususnya pada zona yang dalam) serta tennantit-tetrahidrit yang setempat-setempat dan umumnya mengelilingi area (White dan Hedenquist, 1995; Corbet dan Leach, 1998; Sillitoe, 1999; Corbett, 2002). Mineral sulfida, seperti *native gold* dan *argentian gold* (elektrik), markasit, kalkopirit, sfalerit dan galena hadir dengan kelimpahan yang sedikit. Selain itu mineral bijih lainnya yang jarang seperti, bornit, kasiterit, cinnabar, molibdenit, orpimen, realgar, stibnit dan wolframit (Idrus & Prihatmoko, 2022). Ciri khas mineral *gangue* yang umum ditemukan pada endapan epitermal seperti barit, kaolinit, alunite, pirofilit, diaspor serta mineral fosfat-sulfat pembawa Ca-, Sr-, Pb- dan REE (Arribas, 1995).

