

**ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTHERMAL DAERAH
MAMUNGAA, KABUPATEN BONE BOLANGO, PROVINSI
GORONTALO**

***ALTERATION AND MINERALIZATION HIDROTHERMAL OF
MAMUNGAA AREA, BONE-BOLANGO DISTRICT,
GORONTALO PROVINCI***

TESIS



**Djamal Adi Nugroho Uno
D062191007**

**PROGRAM PASCA SARJANA
MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA
2021**

**ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTHERMAL DAERAH
MAMUNGAA, KABUPATEN BONE BOLANGO, PROVINSI
GORONTALO**

***ALTERATION AND MINERALIZATION HIDROTHERMAL OF
MAMUNGAA AREA, BONE-BOLANGO DISTRICT,
GORONTALO PROVINC***

TESIS

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Geologi

Disusun dan diajukan oleh

DJAMAL ADI NUGROHO UNO
D06219007

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
MAGISTER TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA
2021**

TESIS

ALTERASI DAN MINERALISASI HIDROTHERMAL DAERAH MAMUNGAA, KABUPATEN BONE BOLANGO, PROVINSI GORONTALO

Disusun dan diajukan oleh

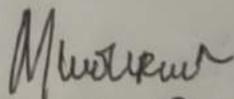
DJAMAL ADI NUGROHO UNO

Nomor Pokok D062191007

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Magister Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 30 Juni 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T.

NIP 19611231 198903 1 019

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Hamid Umar, M.S.

NIP 19601202 198811 1 001

Ketua Program Studi
Magister Teknik Geologi
Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T.

NIP 19590202 198601 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Djamal Adi Nugroho Uno

Nim : D062 19 1007

Program Studi : Magister Teknik Geologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tesis yang saya tulis benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juni 2021

Yang menyatakan,



Djamal Adi Nugroho Uno

D062 19 1007

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T, karena atas berkat rahmat dan inayah-Nya terutama rahmat kesehatan dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis penelitian yang berjudul “***Alterasi dan mineralisasi Hidrotermal Daerah Mamungaa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo***” penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu kritik dan saran semua pihak sangat diharapkan. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai geologi, alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian,

Ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya saya sampaikan kepada dosen pembimbing utama Dr. Ir. Musri Ma'waleda, MT dan pembimbing pendamping Dr.Ir. H. Hamid Umar, M.S yang telah membimbing serta memberikan arahan untuk menyelesaikan proposal tesis ini.

Penyelesaian penulisan tesis ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dukungan maupun diskusi dengan berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis berterima kasih banyak kepada :

1. Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, ST., M.Phil selaku penguji atas arahan dan koreksinya yang sangat berharga sehingga penulisan tesis ini dapat di selesaikan dengan baik.
2. Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T selaku penguji atas arahan dan masukan yang di berikan.

3. Dr.Ir.Ulva Ria Irfan, M.T selaku penguji atas arahan dan masukan yang sangat berharga sehingga penulisan tesis ini dapat di selesaikan dengan baik.
4. Ketua Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin Dr. Eng. Asri Jaya HS, ST.,M.T
5. Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T
6. Segenap Dosen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas jasa dan pengabdian yang telah di berikan kepada kami selama mengikuti kuliah di Universitas Hasanuddin.
7. Segenap mahasiswa S2 dan S3 Teknik Geologi Universitas Hasanuddin atas diskusi dan arahan dan interaksinya.
8. Kepada kedua orang tua saya yang tiada henti-hentinya mendorong dan mensupport selama ini. Serta kaka dan adik saya atas bantuan doanya.
9. Tak lupa kepada isteri tercinta yang dengan sabar dan penuh penantian selama saya dalam Pendidikan.

Dalam penyusunan tesis ini, berbagai keterbatasan baik dalam bentuk bahasa maupun metodologi penelitian serta hambatan lain yang dihadapi. Namun berkat Ridoh dari Allah S.W.T, Do'a tulus dari orang tua dan ketabahan, ketekunan serta kerja keras yang dibarengi dengan bantuan dari semua pihak terutama dari dosen yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan arahan-

arahan yang bermanfaat, sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Akhirnya segala bantuan yang telah diberikan semoga dinilai sebagai amal ibadah dan mendapatkan ridha dari Allah SWT Amin.

Makassar, Juni 2021

Djamal Adi Nugroho Uno

ABSTRAK

DJAMAL ADI NUGROHO UNO, *Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal Daerah Mamungaa, Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo* (dibimbing Oleh Musri Mawaleda dan Hamid Umar).

Daerah Kaidundu dan Mamungaa berada sekitar 60 km sebelah timur Kota Gorontalo, Lengan Utara Sulawesi Indonesia. Secara administrative daerah ini termaktub dalam Wilayah Kabupaten Bone-Bolango, Provinsi Gorontalo. Studi pendahuluan yang dilakukan terhadap cebakan emas daerah ini meliputi sampling batuan alterasi secara representative. Sebanyak 60 sampel telah dikoleksi dari 21 stasiun di dua lokasi yakni 9 sampel di Kaidundu dan 12 sampel lainnya dari Mamungaa. Metode yang digunakan adalah analisis petrografi, mineragrafi, AAS dan XRD. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui tipe alterasi dan paragenesa mineral bijih terutama keberadaan emas dan mineral pengikutnya, dan hasil akhirnya membuat model geologi tentative. Sebanyak 13 sample telah dilakukan analisis petrografi dan XRD sebagai penunjang untuk mengetahui himpunan mineral alterasi dan tipe alterasinya, serta 6 sampel dilakukan analisis mineragrafi serta analisis AAS. Hasil analisis petrografi dan ditunjang dengan hasil XRD diketahui himpunan mineral alterasi hidrotermal yang berkembang yakni: sericite, quartz, carbonate dan mineral opak; serisit, quartz, chlorite, epidote, clay, carbonate; serta sericite, epidote, clay, chlorite dan opak. Sedangkan emas hadir bersama kalkopirit, sphalerite dan arsenopyrite. Terdapat 2 sample mineragrafi yang menunjukkan kehadiran native gold yang bearing quartz veins serta di sana-sini dijumpai sebagai inklusi ataupun bercak pada kalkopirit dan pirit, terdapat tektur bijih berupa penggantian kalkopirit dan sphalerite oleh bornite dan covelit. Hasil analisis petrografi juga diketahui bahwa sebagai host cebakan emas di daerah ini adalah batuan andesite dari vulkanik Bilungala serta batuan plutonik dioritik dari kelompok diorite Bone. Atas dasar himpunan mineral alterasi maka diketahui bahwa alterasi hidrotermal yang berkembang menyertai mineralisasi emas di daerah ini adalah Philik overprinting Propilitik, Philik overprinting Argilik dan Propilitik overprinting Argilik. Jenis mineral bijih yang ada pada daerah penelitian secara keseluruhan baik secara megaskopis maupun mikroskopis terdiri dari Au, kalkopirit, pirit, sphalerit, kovelit, kalkosit, dan bornit. Unsur Au dan logam dasar di temukan di blok Kaidundu dan blok Mamungaa Timur meliputi Au,Ag,Cu,Pb,Zn. Serta hasil akhir menunjukkan tiga model geologi tentatif mineralisasi emas.

Keywords: Alterasi, Mineralisasi, Logam Dasar, Model Geologi Tentatif.

ABSTRACT

DJAMAL ADI NUGROHO UNO, Alteration and Hydrothermal Mineralization in Mamungaa Area, Bone Bolango Regency, Gorontalo Province (supervised by Musri Mawaleda and Hamid Umar).

The Kaidundu and Mamungaa areas are about 60 km east of Gorontalo City, North Arm of Sulawesi Indonesia. Administratively, this area is contained in Bone-Bolango Regency, Gorontalo Province. Preliminary studies conducted on gold deposits in this area include representative alteration rock sampling. A total of 60 samples were collected from 21 stations in two locations, 9 samples in Kaidundu and 12 samples from Mamungaa. The methods used are petrographic, mineral, AAS and XRD analysis. This research is intended to determine the type of alteration and paragenesis of ore minerals, especially the presence of gold and its associated minerals, and the final result is to create a tentative geological model. A total of 13 samples have been analyzed by petrographic and XRD as a support to determine the collection of alteration minerals and types of alteration, and 6 samples were carried out by mineralogical analysis and AAS analysis. The results of the petrographic analysis and supported by the XRD results show that the developed hydrothermal alteration mineral assemblages are: sericite, quartz, carbonate and opaque minerals; sericite, quartz, chlorite, epidote, clay, carbonate; As well as sericite, epidote, clay, chlorite and opaque. While gold is present with chalcopyrite, sphalerite and arsenopyrite. There are 2 mineralogical samples that show the presence of native gold bearing quartz veins and are found here and there as inclusions or spots on chalcopyrite and pyrite, there is an ore texture in the form of replacing chalcopyrite and sphalerite by bornite and covellite. The results of petrographic analysis, it is also known that the hosts of gold deposits in this area are andesite rocks from the Volcanic Bilungala and Dioritic Plutonic Rocks from the Diorite Bone group. Based on the set of alteration minerals, it is known that the hydrothermal alteration that develops accompanying gold mineralization in this area is phyllic propylitic overprinting, argillic overprinting and argillic propylitic overprinting. The types of ore minerals that exist in the study area as a whole, both megascopic and microscopic, consist of Au, chalcopyrite, pyrite, sphalerite, covellite, chalcocite, and bornite. Au and base metals found in Kaidundu block and East Mamungaa block include Au, Ag, Cu, Pb, Zn. The final results show that there are three tentative geological models of mineralization.

Keywords: Alteration, Mineralization, Base Metal and Tentative of Geology Model

Daftar Isi

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN SEMINAR HASIL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	5
C. BATASAN MASALAH	5
D. TUJUAN PENELITIAN	6
E. MANFAAT PENELITIAN TERDAHULU	6
F. PENELITIAN TERDAHULU	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. LANDASAN TEORI	8
a. Hidrotermal	8

b. Alterasi Hidrotermal	10
c. Faktor Yang Memengaruhi Proses Alterasi	11
d. Pola Ubahan	12
e. Intensitas Ubahan	13
f. Mineralisasi Hidrotermal	13
g. Tipe Alterasi hidrotermal	14
h. Tekstur Mineral Bijih	22
i. Paragenesa Mineral	23
B. GEOLOGI REGIONAL	24
a. Geomorfologi Regional	25
b. Statigrafi Regional	26
c. Struktur Regional	29
BAB III METODE PENELITIAN	32
A. RANCANGAN PENELITIAN	32
B. LOKASI DAN KESAMPAIAN DAERAH	33
C. ALAT DAN BAHAN	34
D. TAHAPAN PENELITIAN	35
a. Pengambilan Data Lapangan	36
b. Analisis Laboratorium	37
c. Pengolahan Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
A. Geologi Daerah Penelitian	40
a. Geomorfologi Daerah Penelitian	40

b. Stratigrafi Daerah Penelitian	42
B. Alterasi dan mineralisasi Hidrothermal Daerah Penelitian	49
a. Alterasi Hidrotermal	51
C. Mineralisasi Hidrotermal Daerah Penelitian	68
a. Analisis Mineralisasi Bijih	68
b. Tekstur Khusus Mineral Bijih Daerah Penelitian	79
c. Paragenesis Mineral Bijih Daerah Penelitian	81
d. Kadar emas dan logam dasar	83
e. Model Geologi Tentatif Mineralisasi Daerah Penelitian	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
A. KESIMPULAN	89
B. SARAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1.1 Peta geologi regional lembar Kotamobagu, kotak merah merupakan ruang lingkup daerah penelitian.	11
Gambar 2.1 Mineral alterasi yang umum pada sistem Hidrotermal, The Terrv Leach pH dan Suhu (Corbett and Leach.1998).	19
Gambar 2.2 Penampang ideal dari suatu proses alterasi pada endapan emas (Sillitoe, 1995).	21
Gambar 2.3 Peta geologi regional daerah penelitian (dimodifikasi dari peta geologi regional lembar Kotamobagu.	25
Gambar 2.4 Kolom stratigrafi regional daerah penelitian (Apani dan Bachri, 1997)	27
Gambar 2.5 Geomorfologi regional. Kotak merah merupakan lokasi daerah penelitian (data SRTM Sulawesi, 2020)	28
Gambar 2.6 Struktur regional Sulawesi (Wilson dan Moss, 1999 dalam Van Leeuwen T M. Dan Pieters P E., 2011)	29
Gambar 2.7 Pola struktur geologi regional Gorontalo (Bachri, 2011). Kotak merah merupakan lokasi penelitian	31
Gambar 3.1 Peta Lokasi Daerah dan pengambilan sampel penelitian (Sumber: RBI BAKOSURTANAL 1991, Google Earth 2021)	34
Gambar 3.2 Bagan alir (<i>Flowchart</i>) penelitian	39
Gambar. 4.1 Peta geomorfologi dan interpretasi daerah penelitian	41
Gambar. 4.2 Foto A. Kenampakan Perbukitan terjal yang ada di daerah penelitian.	42
Gambar 4.3 Andesit Porfiri (Kiri Sampel Batuan, Kanan Petrografi)	44
Gambar 4.4 1. Singkapang Diorite dan Xenolit. 2. Sampel Diorite. 3. Analisis Petrografi.	45
Gambar 4.5 Breksi Vulkanik Dengan Fragmen Andesit porfiri dan Diorit	46
Gambar 4.6 1. Singkapan Batugamping Klastik. 2. Sampel Batugamping klastik. 3. Analisis Petrografi	47
Gambar 4.7 Kiri endapan Aluvial. Kanan Material-material Lepas dari Endapan Aluvial.	48
Gambar. 4.8 Peta Geologi Daerah Mamungga dan Sekitarnya Kab. Bone Bolango Prov. Gorontalo. (Uno D. 2017.)	49
Gambar. 4.9 Peta Lokasi dan Pengambilan sampel daerah Mamungga dan Sekitarnya Kab. Bone Bolango.	50
Gambar. 4.10 Zona Alterasi hidrotermal yang ada di daerah Penelitian	52

Gambar. 4.11 Kenampakan Singkapan batuan yang ada di Lokasi Kd 01(A), Kd 03 (B) dan Kd 05 (C),	53
Gambar. 4.12 Foto Sampel st kd 01 A dan D hasil sayatan tipis kd 01, Foto Sampel st kd 03 B dan E hasil sayatan tipis	54
Gambar. 4.13 Kenampakan Singkapan batuan yang ada di Lokasi st MMT 1a (A), st MMT 2 (B) dan st MMT 4a (C),	58
Gambar. 4.14 Foto Sampel st MMT (1a) A dan D hasil sayatan tipis MMT (1a), Foto Sampel st MMT 2 B	59
Gambar. 4.15 Kenampakan Singkapan batuan yang ada di Lokasi st MM 1 (A), st MM 2A (B) dan st MM 3C (C),	63
Gambar. 4.16 Foto Sampel st MM 1 A dan D hasil sayatan tipis MM 1 A, Foto Sampel st MM 2a dan E	63
Gambar 4.17 Fotomikrograf sayatan poles stasiun Kd 03 yang menunjukkan mineral Emas (Au), kalkopirit (Ccp),	69
Gambar 4.18 Fotomikrograf sayatan poles stasiun Kd 05B yang menunjukkan mineral Emas (Au), dan pirit (Py).	70
Gambar 4.19 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MM 03C yang menunjukkan mineral Emas (Au),	71
Gambar 4.20 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MM 3A yang menunjukkan mineral sfalerit (Sph).	72
Gambar 4.21 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MM 4 yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), sfalerit	73
Gambar 4.22 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MM 4B yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), sfalerit	74
Gambar 4.23 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MM 4B yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), sfalerit (Sph),	75
Gambar 4.24 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MMT 3A yang menunjukkan mineral emas (Au), kalkopirit	76
Gambar 4.25 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MMT 4A yang menunjukkan mineral emas (Au), kalkopirit	77
Gambar 4.26 Fotomikrograf sayatan poles stasiun MMT 5 yang menunjukkan mineral emas (Au), kalkopirit (Ccp),	79
Gambar 4. 27 Model Geologi Tentatif Blok Kaidundu	86
Gambar 4. 28 Model Geologi Tentatif Blok Mamungaa Timur	87
Gambar 4. 28 Model Geologi Tentatif Blok Mamungaa Timur	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral Guilbert & Park (1986)	18
Tabel 2.2 Klasifikasi tipe alterasi dan himpunan mineralnya pada endapan epitermal sulfidasi rendah	20
Tabel 4.1 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit – kuarsa – klorit – kalsit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	56
Tabel 4.2 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi kuarsa – Epidote – Albite (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	56
Tabel 4.3 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi Klorite – Albite (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	57
Tabel 4.4 Hasil Analisis XRD pada sampel kd 03	57
Tabel 4.5 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit – kaolinit – Illit-smektit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	61
Tabel 4.6 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi kuarsa – kalsit – albit - serisit (Berdasarkan Lawless.,dkk.,1998)	61
Tabel 4.7 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi kuarsa – serisit – klorit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	61
Tabel 4.8 Tabel 4.8 Hasil Analisis XRD pada sampel MMT 1a	62
Tabel 4.9 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit – kuarsa - kalsit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	65
Tabel 4.10 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit – kuarsa - kalsit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	65
Tabel 4.11 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi Illit-smektit – Kaolinit - serisit – kuarsa - kalsit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998)	66
Tabel 4.12 Hasil Analisis XRD pada sampel MMT 1a	66
Tabel 4.13 Distribusi mineral alterasi pada daerah penelitian	66
Tabel 4.14 Paragenesa mineralisasi pada daerah penelitian	83
Tabel 4.15 Kadar Au dan Logam dasar yang ada di daerah penelitian	84

Tabel 4.16 Kadar Au dan Logam dasar yang ada di daerah penelitian

85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis Petrografi thin section atau sayatan tipis

Lampiran 2 Analisis mineragrafi poly section sayatan poles

Lampiran 3 Analisis *X-Ray Diffraction XRD*

Lampiran 4 Analisis *AAS Atomic Absorption Spectrophotometry*

Lampiran 5 Peta Lokasi penelitian, Peta Pengambilan Sampel, Peta Geomorfologi, Peta Struktur, Peta Geologi dan Peta Alterasi Dan Mineralisasi, Model Geologi Tentatif Daerah Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

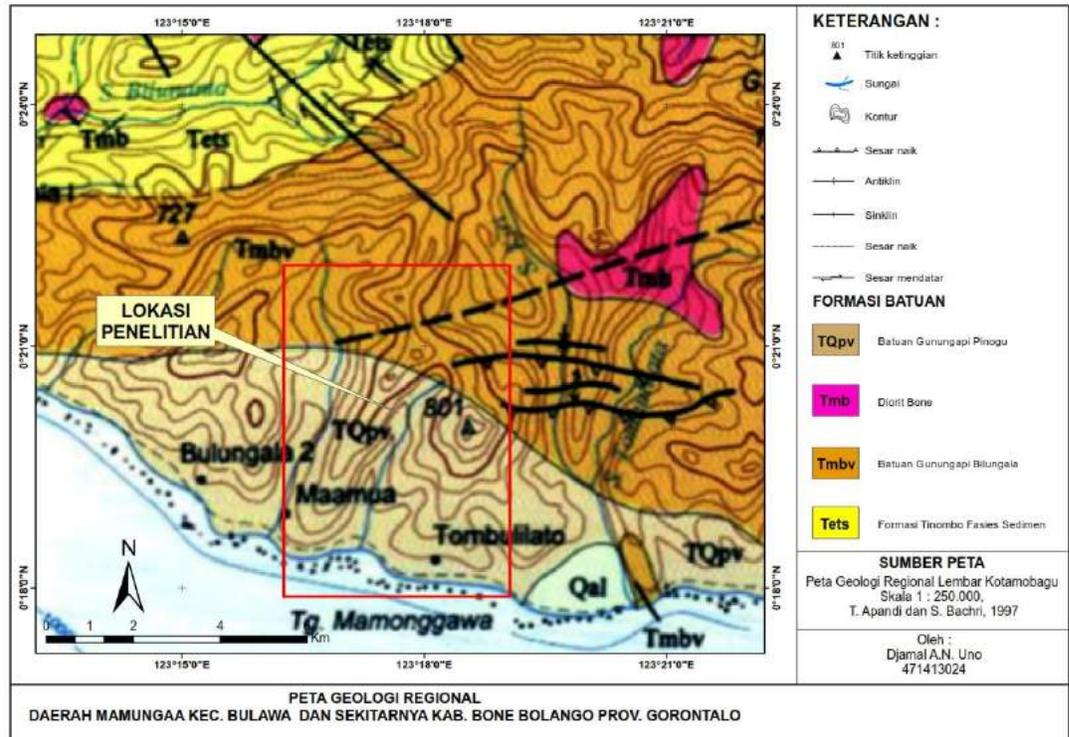
A. LATAR BELAKANG

Secara administratif lokasi penelitian termasuk dalam wilayah Kecamatan Bulawa, Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo. Sedangkan secara astronomis berada pada koordinat $0^{\circ}18'50''$ - $0^{\circ}20'50''$ Lintang Utara dan $123^{\circ}16'40''$ - $123^{\circ}19'20''$ Bujur Timur.

Daerah ini merupakan bagian dari lengan Utara Sulawesi yang disusun batuan-batuan volkano-plutonik yang terdiri atas granodiorit, diorit, Andesit dan Basaltis serta lava. Lengan Utara Sulawesi juga disusun batuan sedimen klastik dan Karbonat (S. Bachri, 2006). daerah ini juga dipengaruhi oleh jalur penunjaman dibagian Utara dan bagian Timur lengan Utara Sulawesi. Yang mengakibatkan tektonik tersebut menghasilkan struktur geologi berupa sesar, kekar dan lipatan (T.Apandi dan S.Bachri,1997).

Tektonik selama Miosen dan peristiwa geologi, nampaknya berpengaruh terhadap mineralisasi emas dan mineral pengikutnya di daerah ini (Kavalieris, drr., 1992). Secara ringkas dilihat dari peta geologi regional Lembar Kotamobagu menunjukkan bahwa lokasi penelitian disusun beberapa formasi batuan yaitu (Tmbv) batuan gunungapi Bilungala, (Tqpv) batuan

gunungapi Pinogu serta aluvium dan endapan pantai. Selain itu, (T.Apandi dan S.Bachri,1997).



Gambar 1.1 Peta geologi regional lembar Kotamobagu, kotak merah merupakan ruang lingkup daerah penelitian.

Singkapan yang baik sering dijumpai di sepanjang sungai Bilungala dan sungai Taludaa sebelah Timur Kota Gorontalo. Satuan disusun oleh tuf, lava, breksi dan bersusun andesitan, dasitan, riolitan. Bagian bawah satuan batuan ini terutama tersusun oleh perselingan breksi andesit dan tuf sela bersusun dasitan sampai riolitan, sedangkan bagian atasnya di kuasai oleh tuf sela, breksi gunung api andesit, dan beberapa selingan lava andesit. Di banyak

tempat satuan batuan ini diterobos oleh diorite dan dasit, serta mengalami alterasi.

Penelitian ini difokuskan pada studi cebakan emas dan mineral pengikutnya di daerah Mamungaa yang meliputi desa Kaidundu, Mamungaa, dan Mamungaan Timur. Studi ini didasarkan atas fakta bahwa aktifitas pertambangan bijih emas oleh masyarakat local di wilayah ini telah berlangsung sejak lama. Selain itu daerah ini juga telah dilaporkan bahwa indikasi dan prospektif cebakan emas di Lengan Utara Sulawesi terutama wilayah Gorontalo meliputi: Marisa, Hulawa dan Mamungaa termasuk di dalamnya daerah penelitian.

Daerah Mamungaa sendiri disusun batuan gunungapi bilungala yang terdiri atas lava, breksi, dan tuf bersusun andesit, riolit dan dasit. Kalsit dan Zeolit sering ditemui pada kepingan batuan penyusun breksi. Umumnya tuf bersifat dasitan, berlapis dan agak kompak di beberapa tempat. Daerah pantai selatan dekat bilungala, didominasi oleh satuan lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dicirikan oleh warna kuning sampai coklat yang teralterasi, mineralisasi berupa pirit, dan rekahan yang intensif, serta batuan terobosan berupa diorit banyak dijumpai. (T. Apandi dan S. Bachri). Hasil kandungan fosil dalam sisipan batugamping satuan ini berumur Miosen Awal-Miosen Akhir. Formasi batuan gunungapi bilungala dibagian timur yaitu peta geologi lembar tilamuta, lava pada formasi ini lebih bersifat andesit dan basalt. Teksturnya

hipokristalin sampai holokristalin, halus dan masif. Lava ini telah terkloritkan, terpropilitkan, dan terepidotkan. Batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir (Bachri, dkk., 1993).

Penelitian alterasi dan mineralisasi hidrotermal di wilayah Mamungaa bagian Selatan Kabupaten Bone Bolanggo, didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut: pertama, di daerah Bone Bolango khususnya yang berada di bagian Timur banyak di jumpai singkapan yang mengandung stockwork urat atau vein-vein kuarsa yang mengindikasikan alterasi dan mineralisasi hidrotermal yang signifikan. Hal itu terlihat dari banyaknya kegiatan pertambangan skala kecil yang telah menjadi mata pencaharian masyarakat local bahkan pendatang dari daerah lain di Gorontalo maupun daerah lainnya di Sulawesi Utara. Kedua, akibat dari aktifitas pertambangan rakyat yang tersebar hampir di seluruh Provinsi Gorontalo termasuk di daerah Mamungaa, disinyalir menimbulkan dampak bukaan lahan yang berpotensi menghasilkan kerusakan lingkungan. Ketiga, studi geologi pendahuluan menunjukkan keberadaan emas (Au) yang terdapat di daerah ini, juga terdapat sejumlah mineral penyerta seperti tembaga (Cu), Perak (Ag) dan logam dasar lainnya. Hal ini terbuang begitu saja oleh karena keterampilan pengolahan secara tradisional oleh masyarakat hanya mampu mengekstraksi Emas (Au). Secara jangka panjang tentu hal ini membawa kerugian yang tidak kecil.

Berdasarkan beberapa pertimbangan di atas, Penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan model geologi tentatif alterasi dan mineralisasi emas daerah Mamungaa dan sekitarnya dengan harapan dapat dijadikan acuan dalam eksplorasi lebih lanjut. selain itu juga diharapkan dapat diterapkan di tempat lain yang memiliki kondisi geologi yang sama dalam hal ini alterasi dan mineralisasi.

B. RUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana tipe alterasi dan mineralisasi yang berkembang di daerah penelitian?
2. Bagaiman paragenesis mineralisasi yang ada di daerah penelitian?
3. Bagaimana model geologi tentatif alterasi dan mineralisasi yang ada di daerah penelitian?

C. BATASAN MASALAH

Ada beberapa batasan masalah dalam penelitian ini dan lebih difokuskan pada studi alterasi dan mineralisasi hidrotermal yang meliputi, tekstrus, struktur, himpunan mineral alterasi, zona alterasi serta tipe dan paragenesisnya. Selain itu juga akan dilakukan studi mineragrafi untuk melakukan identifikasi mineral bijih meliputi tekstrur dan struktur serta asosiasi mineral dan paragenesisnya. Studi ini juga akan dilengkapi dengan analisis geokimia batuan yang tidak teralterasi untuk mengetahui lingkungan geologi pembentukannya serta untuk mengetahui evolusi

magmanya dan melihat hubungan antara mineralisasi dan magmatisme yang terjadi.

D. TUJUAN PENELITIAN

Maksud dilakukannya penelitian ini yaitu untuk bagaimana mengetahui karakteristik alterasi dan paragenesis mineralisasi yang ada di daerah penelitian dan tujuan khusus penelitian ini untuk membuat model geologi tentatif alterasi dan mineralisasi daerah Mamungaa, Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo.

E. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini berupa informasi bagi pemerintah tentang potensi sumber daya mineral logam terutama Cu dan Au. untuk melakukan eksplorasi sumber daya mineral yang bisa dijadikan nilai tambah untuk pemerintah dalam membangun daerah khususnya di daerah Mamungaa. Serta informasi geologi baik bersifat positif maupun negatif kepada masyarakat.

F. PENELITIAN TERDAHULU

- Eksplorasi di daerah penelitian telah dilakukan pada tahun 1970 dilakukan oleh PT. Tropic Endeavour Indonesia. Pada tahun 1973 PT. Kennecott Exploration melakukan pemboran di daerah Cabang Kiri, dan 1980 PT. Utah International Inc. melakukan pemboran di Cabang Kiri dan Sungai Mak. PT. BHP Minerals pada tahun 1984 melakukan eksplorasi di daerah Motomboto

- Perrelo menyebutkan bahwa daerah ini merupakan endapan hidrotermal dengan tipe epitermal.
- Skripsi Pemetaan Geologi Daerah Mamungga dan sekitarnya Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo oleh Uno 2017
- Skripsi Geologi daerah bukit Hijau dan sekitarnya, kabupaten Bone bolango, provinsi gorontalo Oleh, Mokoginta 2017
- Skripsi Studi Kualitas Air Tanah di Daerah Mopuya dan sekitarnya Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo, Putje 2018

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

a. Hidrotermal

Menurut Bateman, 1951 (Dalam Pirajno, 2009) proses pembentukan mineral dapat dibagi atas beberapa proses yang menghasilkan jenis mineral tertentu baik yang bernilai ekonomis maupun mineral yang hanya bersifat sebagai *gangue* mineral yaitu proses magmatis, pegmatisme, pneumatolisis, hidrotermal, *replacement*, sedimenter, evaporasi, konsentrasi residu dan mekanik, dan *supergen enrichment*.

Larutan hidrotermal adalah larutan panas dengan suhu 50°C – 500°C yang berasal dari sisa cairan magma dari dalam bumi yang bergerak ke atas dan kaya akan komponen-komponen (kation dan anion) pembentukan mineral bijih dan terbentuk pada tekanan yang relatif tinggi (Bateman (1950) dalam Pirajno, 2009).

Larutan sisa magma ini mampu mengubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum, cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali, dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil. Larutan hidrotermal

terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah (Maulana, 2017).

Larutan hidrotermal erat kaitannya dengan aktivitas gunung api, baik aktif maupun yang baru saja aktif (*recently active*) maupun dengan tubuh intrusi. Larutan hidrotermal juga sering dijumpai berasosiasi dengan sebuah sistem panas bumi (*geothermal system*). Fluida atau larutan pembawa bijih secara umum dibagi menjadi empat; yaitu: (Maulana, 2017) 1. Air magmatik, 2. Air meteorik, 3. Air metamorfik, 4. Air konat

Keempat jenis fluida atau larutan ini dapat dijumpai dalam kondisi panas atau dingin, di kedalaman atau dekat dengan permukaan. Apabila terpanaskan dan dalam fase cair, fluida-fluida tersebut disebut dengan istilah *hydrothermal fluid* atau larutan hidrotermal, sedangkan jika dijumpai dalam fase atau wujud gas disebut dengan *pneumatolytic* (Park & MacDiarmid, 1975, dalam Maulana, 2017).

Endapan hidrotermal dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan atas komposisi mineraloginya yaitu :

- Hipotermal dengan temperatur 450° – 300° C
- Mesotermal dengan temperatur 300° – 200° C
- Epitermal dengan temperatur 200° – 50° C

Interaksi antara hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (*wallrock*) akan menyebabkan terubahnya mineral - mineral primer menjadi mineral ubahan (*alteration minerals*) fluida itu sendiri. Beberapa efek perubahan hidrotermal pada beberapa batuan pada kondisi temperatur yang berbeda (Bateman, 1950, dalam Pirajno,1992).

Ubahan hidrotermal merupakan proses yang kompleks, melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya (Pirajno,1992). Perubahan - perubahan tersebut akan tergantung pada karakter batuan sampling, karakter fluida (Eh, pH), kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung (Guilbert dan Park, 1986). Walaupun faktor – faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang saling berpengaruh pada proses ubahan hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998). Henley dan Ellis (1983 didalam Pirajno ,1992) percaya bahwa ubahan hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan sampling, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, temperatur dan komposisi fluida.

b. Alterasi Hidrotermal

Sistem hidrotermal didefinisikan sebagai sirkulasi fluida panas (50° – >500°C), secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi di bawah permukaan bumi. Sistem ini mengandung dua komponen utama, yaitu sumber panas dan fase fluida. Sirkulasi fluida hidrotermal menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding menjadi tidak stabil dan

cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, yang dikenal sebagai alterasi (ubahan) hidrotermal.

Alterasi hydrothermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan akibat adanya interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan tersebut. Proses alterasi akan menyebabkan terubahnya endapan primer menjadi mineral sekunder yang kemudian disebut dengan mineral yang teralterasi (alteration minerals). Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena terjadi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh akibat adanya interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling (wall rock) yang dilaluinya pada kondisi fisika-kimia tertentu (Pirajno, 1992).

C. Faktor Yang Memengaruhi Proses Alterasi

Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal adalah suhu, kimia fluida (pH), komposisi batuan sampling, durasi aktivitas hidrotermal dan permeabilitas. Namun, faktor kimia fluida (pH) dan suhu adalah faktor yang paling berpengaruh (Corbett dan Leach, 1998).

1. Suhu

Suhu ialah hal yang paling penting dalam proses alterasi karena hampir semua reaksi kimia yang terjadi diakibatkan oleh adanya kenaikan suhu.

2. Permeabilitas

Permeabilitas dari suatu batuan akan menentukan intensitas pengaruh larutan hidrotermal terhadap batuan dan kecepatan presipitasi mineral-mineral baru. Batuan yang memiliki permeabilitas kecil akan menyebabkan tingkat pengaruh alterasi yang tidak signifikan.

3. Komposisi awal dari batuan

Komposisi kimia awal dari batuan yang terkena larutan hidrotermal akan menentukan komponen-komponen yang akan terbentuk akibat proses alterasi.

4. Komposisi fluida

Faktor pH dan komposisi fluida mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam menentukan kecepatan dan jenis mineral hidrotermal yang terbentuk.

d. Pola Ubahan

Pirajno (2009) menyebutkan bahwa perubahan suatu mineral merujuk kepada seberapa besar pengaruh alterasi pada suatu batuan. Pola ubahan dibagi menjadi 3, yaitu sebagai berikut :

a. Pervasive

Penggantian seluruh atau sebagian besar mineral pembentuk batuan. Semua mineral primer pembentuk batuan telah mengalami ubahan, walaupun intensitasnya dapat berlainan.

b. Selectively pervasive

Proses ubahan hanya terjadi pada mineral – mineral tertentu pada batuan. Misalnya klorit pada andesit hanya mengganti piroksin saja, sedangkan plagioklas tidak ada yang berubah sama sekali.

c. *Non – pervasive*

Hanya bagian tertentu dari keseluruhan batuan yang mengalami ubahan hidrotermal.

e. Intensitas Ubahan

Intensitas ubahan dalam batuan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Lingrend,1933 dalam Pirajno,1992):

- a. Tidak terubah (*unaltered*) : tidak ada mineral sekunder
- b. Lemah (*weak*) : mineral sekunder < 25 % volume batuan
- c. Sedang (*moderate*) : mineral sekunder 25 – 75 %
- d. Kuat (*strong*) : mineral sekunder > 75 %
- e. Intens (*intense*) : seluruh mineral primer terubah (kecuali kuarsa, zirkon dan apatit), tetapi tekstur primernya masih terlihat
- f. Total (*total*) : seluruh mineral primer terubah (kecuali kuarsa, zirkon dan apatit), serta tekstur primernya sudah tidak tampak lagi.

f. Mineralisasi Hidrotermal

Mineralisasi adalah proses pembentukan mineral baru pada tubuh batuan yang diakibatkan oleh proses magmatik ataupun proses yang lainnya, namun mineral yang dihasilkan bukanlah mineral yang sudah ada sebelumnya. Alterasi hidrotermal adalah salah satu proses yang dapat menyebabkan mineralisasi.

Larutan hidrotermal yang melewati batuan, ketika berinteraksi atau kontak dengan batuan tersebut maka larutan hidrotermal akan membawa ion-ion atau kation-kation yang diambil dari batuan tersebut, di dalam perjalanannya ion-ion dan kation-kation tersebut dapat berikatan membentuk senyawa, lalu dalam proses pendinginan, larutan tersebut menjadi jenuh dan terjadi presipitasi mineral-mineral baru, dapat berupa mineral-mineral logam atau mineral-mineral bijih, seperti tembaga, emas, molibdenum dll.

Menurut Bateman (1991) dan Pirajno (1992) secara umum proses mineralisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol meliputi :

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

g. Tipe Alterasi hidrotermal

Suatu zona yang memperlihatkan adanya penyebaran himpunan mineral-mineral tertentu yang terbentuk dari hasil proses alterasi disebut sebagai zona alterasi (*alteration zone*). Penggunaan istilah zona dan tipe

terkadang membingungkan untuk pemula, namun hendaknya hal ini tidak untuk terlalu dipermasalahkan. Beberapa ahli telah melakukan pengelompokan alterasi berdasarkan parameter yang berbeda-beda, namun pada intinya pengelompokan tersebut untuk mempermudah dalam mempelajari proses alterasi yang terjadi (Lowell & Guilbert, 1970; Thomson & Thomson, 1996).

Adapun macam macam macam alterasi yang umum dijumpai pada endapan hidrotermal yaitu antara lain:

a) Potasik

Jenis alterasi ini dicirikan oleh kehadiran mineral ubahan berupa biotit sekunder, k-feldspar, kuarsa, serisit, dan magnetit. Biotit sekunder hadir akibat reaksi antara mineral-mineral mafik terutama hornblende dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar, maupun piroksin. Selain itu, tipe alterasi ini dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali felspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai asesori, serta sejumlah kecil albit dan titanit (sphene) atau rutil. Alterasi potasik terbentuk pada daerah yang dekat dengan batuan beku intrusif porfiri, fluida yang panas ($>300^{\circ}\text{C}$), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat. Alterasi ini diakibatkan oleh penambahan unsur potasium (K) pada proses metasomatis dan disertai dengan banyak atau sedikitnya unsur kalsium dan sodium di dalam batuan yang kaya akan mineral aluminosilikat. Mineralisasi yang umumnya dijumpai pada zona ubahan potasik ini terbentuk menyebar tempat mineral

tersebut merupakan mineral-mineral sulfida yang terdiri atas pirit maupun kalkopirit dengan rasio yang relatif sama.

b) Filik

Tipe alterasi ini biasanya terletak pada bagian luar dari zona potasik terutama pada endapan tembaga porfiri. Batas zona alterasi ini berbentuk circular yang mengelilingi zona potasik yang berkembang pada intrusi pada endapan tembaga porfiri. Zona ini dicirikan oleh kumpulan mineral serisit (mika halus) dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pirit yang melimpah serta sejumlah anhidrit. Mineral bijih yang dijumpai berupa kalkopirit, tembaga dan native gold (emas). Mineral serisit terbentuk pada proses hidrogen metasomatis yang merupakan dasar dari alterasi serisit yang menyebabkan mineral feldspar yang stabil menjadi rusak dan teralterasi menjadi serisit dengan penambahan unsur H^+ , menjadi mineral filosilikat atau kuarsa. Zona ini tersusun oleh himpunan mineral kuarsa-serisit-pirit, dengan kehadiran pirit yang sangat melimpah yang umumnya tidak mengandung mineral-mineral lempung atau alkali feldspar. Zona ini terbentuk akibat influks air yang memiliki suhu yang lebih rendah dan fluida asam-netral, salinitas beragam, pada zona permeabel, dan pada batas dengan urat.

c) Argilik

Zona ini terdiri atas mineral lempung argilik seperti kaolinit dan montmorilonit. Kehadiran zona ini menandakan semakin intensnya kehadiran influks air meteorik yang memiliki suhu dan nilai pH yang lebih rendah.

Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur 100°–300°C (Pirajno, 1992), fluida asam-netral, dan salinitas rendah.

d) Argilik lanjut (advanced argilic)

Pada sistem epitermal sulfidasi tinggi (fluida kaya asam sulfat), ditambahkan istilah advanced argilic yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit-diaspor-andalusit-kuarsa-turmalin-enargit-luzonit (untuk suhu tinggi, 250°–350°C), atau himpunan mineral kaolinit-alunit-kalsedon-kuarsa-pirit (untuk suhu rendah <180°).

e) Propilitik

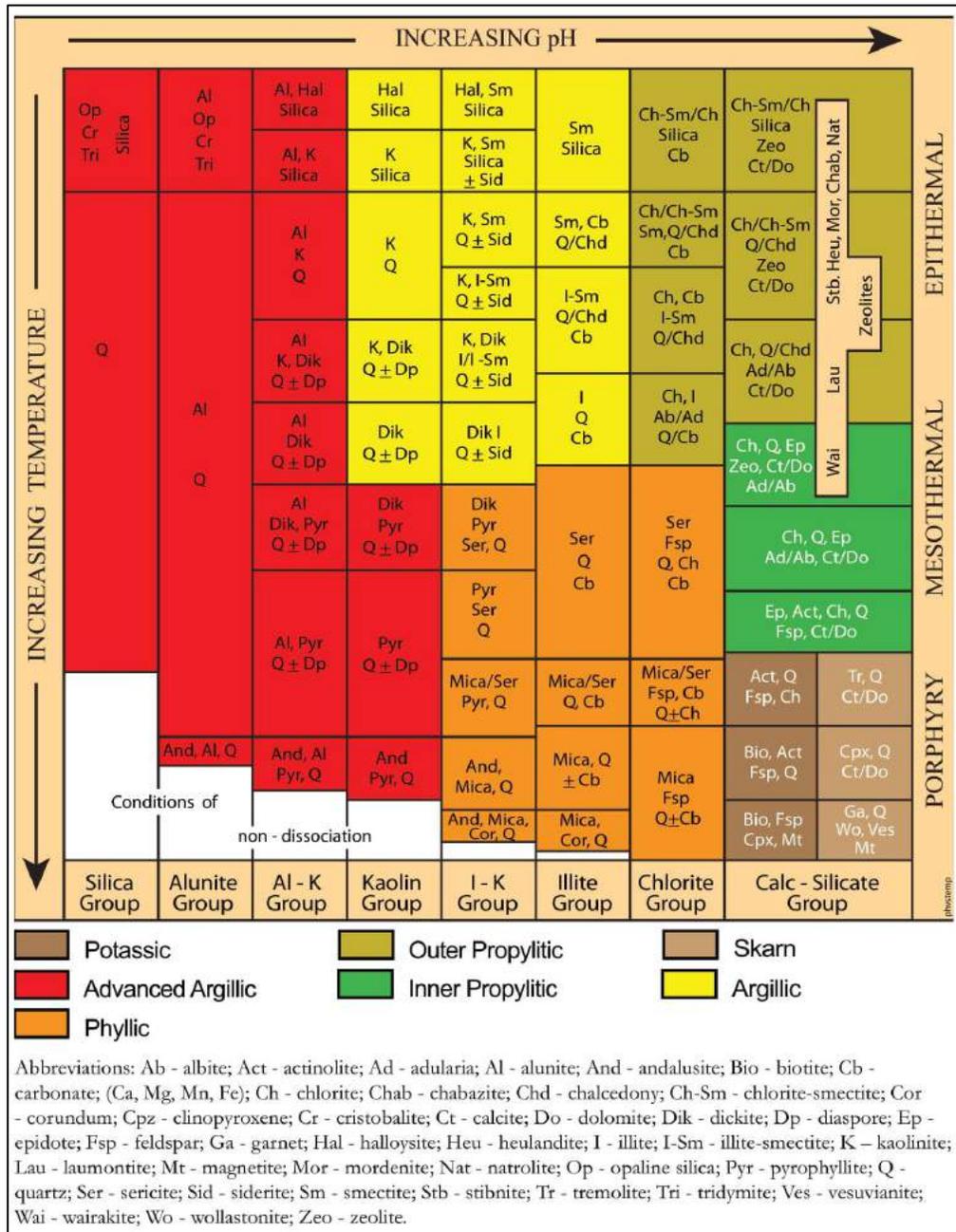
Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit, dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur 200°–300°C pada pH mendekati netral, dengan salinitas beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas rendah.

f) Propilitik dalam (inner propilitik)

Tipe alterasi ini dijumpai pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya klorida, pH mendekati netral), umumnya menunjukkan zona alterasi seperti pada sistem porfiri, tetapi menambahkan istilah inner propylitic untuk zona pada bagian yang bersuhu tinggi (>300°C) yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit.

Tabel 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral Guilbert & Park (1986)

Tipe	Mineral Kunci	Mineral Asesori	Keterangan
Argilik	Smektit, monmorilonit illite-smektit, kaolinit	Pirit, klorit, kalsit, kuarsa	Suhu 100–300°C, salinitas rendah, pH asam-netral
Propilitik	Klorit, epidot, karbonat	Albit, kuarsa, kalsit, pirit, lempung, oksida besi	Suhu 200–300°C, salinitas bervariasi, pH mendekati netral, permeabilitas rendah
Potasik	Adularia, biotit, kuarsa	Klorit, epidot, pirit, illit-serisit	Suhu >300°C, salinitas tinggi, dekat dengan intrusi
Filik	Kuarsa, serisit, pirit	Anhidrit, pirit, kalsit, rutil	Suhu 230–400°, salinitas beragam, pH asam netral, zona tembus air pada batas urat
Serisitik	Serisit (illit), kuarsa, muskovit	Pirit, illit-serisit	
Selisifikasi	Kuarsa	Pirit, illit-serisit, adularia	
Argilik lanjut (Suhu Rendah)	Kaolinit, alunite	Kalsedon, kristobalit, kuarsa, pirit	Suhu 180°C, pH asam
Argilik lanjut (suhu tinggi)	Pirofilit, diaspor, andalusit	Kuarsa, turmalin, energit, luzonit	Suhu 250–350°C, pH asam



Gambar 2.1 Mineral alterasi yang umum pada sistem Hidrotermal, The Terry Leach pH dan Suhu (Corbett and Leach, 1998).

Tabel 2.2 Klasifikasi tipe alterasi dan himpunan mineralnya pada endapan epitermal sulfidasi rendah

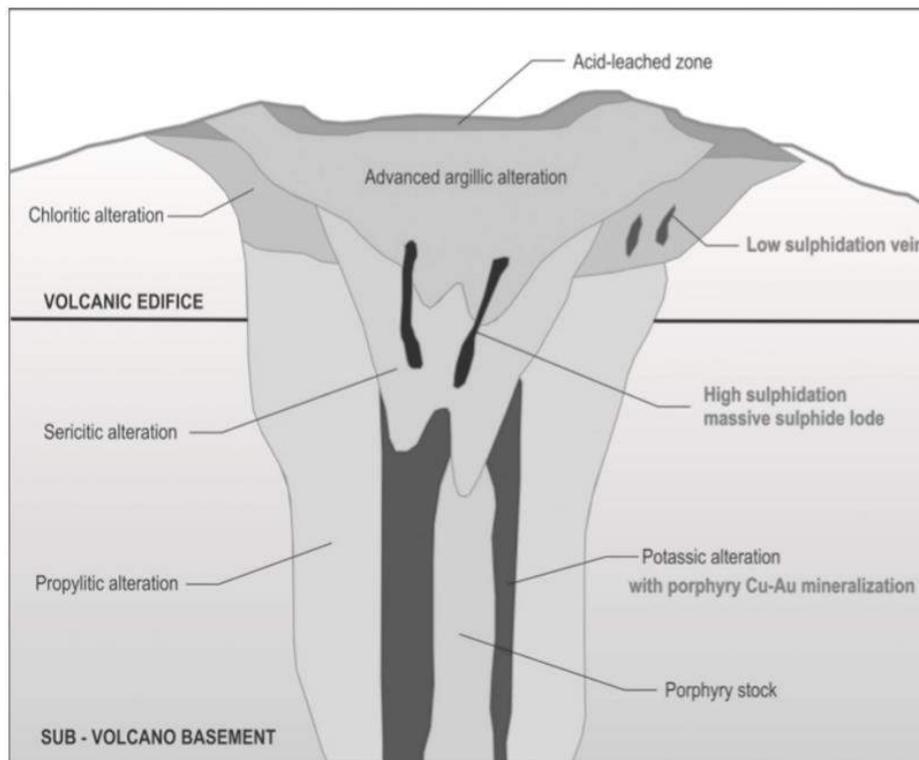
Tipe alterasi	Zone (himpunan mineral)
Silisik	Kuarsa, kalsedon, opal pirit, hematit
Adularia	Ortoklas (adularia), kuarsa, serisit-illit, pirit
Serisit, Argilik	Serisit (muskovit), illit-smektit, monmorilonit kaolinit, kuarsa, kalsit, dolomit, pirit
Argilik lanjut-Acid Sulphate	Kaolinit, alunite, kribobalit (opal, kalsedon), native sulphur, jarosit, pirit
Silika-karbonat	Kuarsa, kalsit
Propilitik, Alterasi Zeolitik	Kalsit, epidot, wairakit, klorit, albit, illit-smektit, monmorilonit, pirit

Dimodifikasi dari beberapa sumber. (Endapan Mineral,2017)

Corbett dan Leach (1996) mengemukakan bahwa komposisi batuan samping mempunyai peran yang Endapan Mineral sangat penting dalam mengontrol mineralogi alterasi. Mineralogi skarn yang dicirikan dengan kehadiran mineral-mineral karbonat akan terbentuk pada batuan karbonatan, sementara kehadiran kumpulan mineral adularia dan K-felspar menunjukkan lingkungan batuan yang kaya akan kandungan potasium (K).

Paragonit (Na-mika) akan hadir pada proses alterasi pada batuan yang kaya akan mineral dengan kandungan sodium (Na) seperti albit. Kehadiran muskovit menegaskan proses alterasi yang terjadi pada batuan kaya akan unsur potasik (K). Jenis alterasi juga mempunyai hubungan yang erat dengan temperatur dan pH dari batuan dan larutan hidrotermal. Zona alterasi di atas sering kali dijumpai tidak berurutan dan saling tumpang tindih satu sama lain yang disebut dengan overprinting.

Pola alterasi tersebut akan sangat bergantung dari jenis endapan hidrotermal dan umumnya setiap jenis endapan akan memperlihatkan zonasi alterasi yang berbeda satu sama lainnya. Pada umumnya, zonasi alterasi yang dijumpai pada endapan epitermal akan memperlihatkan perubahan secara lateral dari tubuh batuan pembawa larutan hidrotermal ataupun dari tubuh vein, sedangkan untuk endapan tembaga porfiri, zonasi alterasi akan membentuk seperti sebuah penampang yang menyerupai halo yang berasosiasi dengan tubuh intrusi (akan dijelaskan pada pembahasan tentang endapan tembaga porfiri).



Gambar 2.2 Penampang ideal dari suatu proses alterasi pada endapan emas dalam sistem hidrotermal yang memperlihatkan endapan jenis epitermal dan porfiri. (Sillitoe, 1995).

h. Tekstur Mineral Bijih

Tekstur bijih dapat bercerita banyak tentang genesa atau sejarah pembentukan bijih. Interpretasi genesa mineral dari tekstur sangat sulit dan haruslah hati-hati. Berdasarkan Sutarto (2010) terdapat tiga tekstur yang dikenal, yaitu tekstur *open space filling (infilling)*, tekstur *replacement*, serta *exolution*.

1. Tekstur *infilling* (pengisian)

Proses pengisian umumnya terbentuk pada batuan yang getas, pada daerah dimana tekanan pada umumnya relatif rendah, sehingga rekahan atau kekar cenderung bertahan. Tekstur pengisian dapat mencerminkan bentuk asli dari pori serta daerah tempat pergerakan fluida, serta dapat memberikan informasi struktur geologi yang mengontrolnya. Mineral-mineral yang terbentuk dapat memberikan informasi tentang komposisi fluida hidrotermal, maupun temperatur pembentukannya (Sutarto, 2011).

2. Tekstur *replacement* (penggantian)

Proses ubahan dibentuk oleh penggantian sebagian atau seluruhnya tubuh mineral menjadi mineral baru. Karena pergerakan larutan selalu melewati pori, rekahan atau rongga, maka tekstur penggantian selalu perpasangan dengan tekstur pengisian. Oleh karena itu mineralogi pada tekstur penggantian relatif sama dengan mineralogi pada tekstur pengisian, akan tetapi mineralogi pengisian cenderung berukuran lebih besar.

3. Tekstur *exolution* (eksolusi)

Mineral-mineral yang terbentuk sebagai *homogenous solid-solution*, pada saat temperatur mengalami penurunan, komponen terlarut akan memisahkan diri dari komponen pelarut, membentuk tekstur *exolution*. Kenampakan komponen (mineral) terlarut akan membentuk inklusi-inklusi halus pada mineral pelarutnya. Inklusi-inklusi ini dapat didapatkan secara teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur (Sutarto, 2011).

i. Paragenesa Mineral

Definisi dan batasan paragenesa mineral, antara ahli yang satu dengan lainnya sering sekali berbeda. Guilbert dan Park (1986) mengartikan paragenesa sebagai himpunan mineral bijih yang terbentuk pada kesetimbangan tertentu, yang melibatkan komponen tertentu. Sedangkan beberapa ahli lain mengartikan sebagai urutan waktu relatif pengendapan mineral; berapa kali suatu pengendapan mineral telah terbentuk. Kronologi pengendapan mineral tersebut oleh Guilbert dan Park (1986) disebut sebagai sikuen paragenesa. Sutarto (2001) mengartikan paragenesa mineral sebagai kronologi pembentukan mineral, yang dibagi menjadi beberapa stadia pembentukan. Batasan stadia sendiri juga sering menghasilkan banyak tafsiran. Secara umum dapat diartikan sebagai kumpulan mineral yang terbentuk atau diendapkan selama aliran fluida terus berjalan (Taylor, 1996).

Jika suatu aliran fluida berhenti dan kemudian terjadi aliran lain, maka dapat diartikan terdapat dua stadia. Secara ilmiah tidak mungkin mengetahui

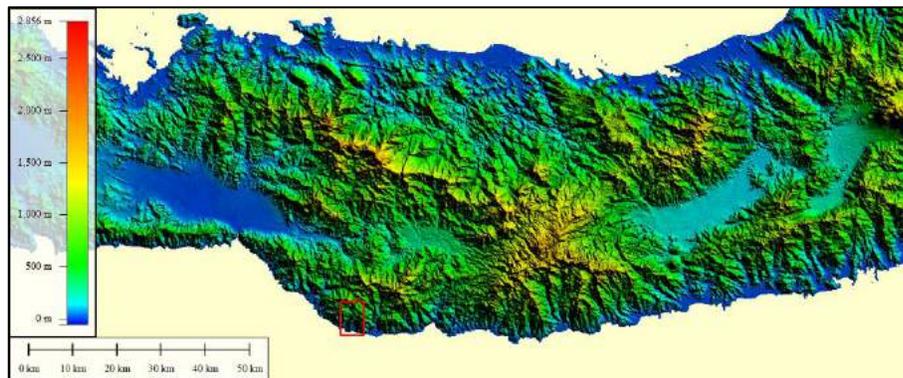
atau membuktikan secara pasti adanya ketidak menerusan aliran fluida Hidrotermal yang melewati suatu tempat. Dalam prakteknya pembagian stadia dihitung dari berapa kali suatu batuan mengalami proses tektonik. Dengan anggapan setiap rekahan hasil tektonik yang mengandung mineralisasi merupakan satu sekuen relatif.

Untuk dapat menyusun paragenesa mineral bijih pada suatu tempat, perlu dilakukan observasi *overprinting* pada sejumlah conto batuan. Pengertian *overprinting* dapat diartikan sebagai observasi tekstur pada sampel bijih untuk mengetahui bahwa suatu mineral terbentuk lebih awal atau lebih akhir dibanding mineral lain. Observasi *overprinting* adalah bagian dari proses untuk menyusun paragenesa mineral yang menjadi dasar untuk mengetahui apa yang terjadi pada suatu sistem hidrotermal (Sutarto, 2001).

B. GEOLOGI REGIONAL

a. Geomorfologi Regional

Secara fisiografi, daerah telitian merupakan bagian dari Lengan Utara Sulawesi. Sebagian besar daerah ini di tempati oleh batuan gunungapi Tersier. dimana aktifitas vulkanisnya sudah padam. Seksi Gorontalo merupakan bagian tengah dari lengan utara sulawesi, seksi ini dilintasi oleh sebuah depresi menengah yang memanjang yaitu sebuah jalur antara rangkaian pegunungan di pantai utara dan pantai selatan yang disebut Zona Limboto (Bemmelen, 1949).



Gambar 2.5 Geomorfologi regional. Kotak merah merupakan lokasi daerah penelitian (data SRTM Sulawesi, 2020)

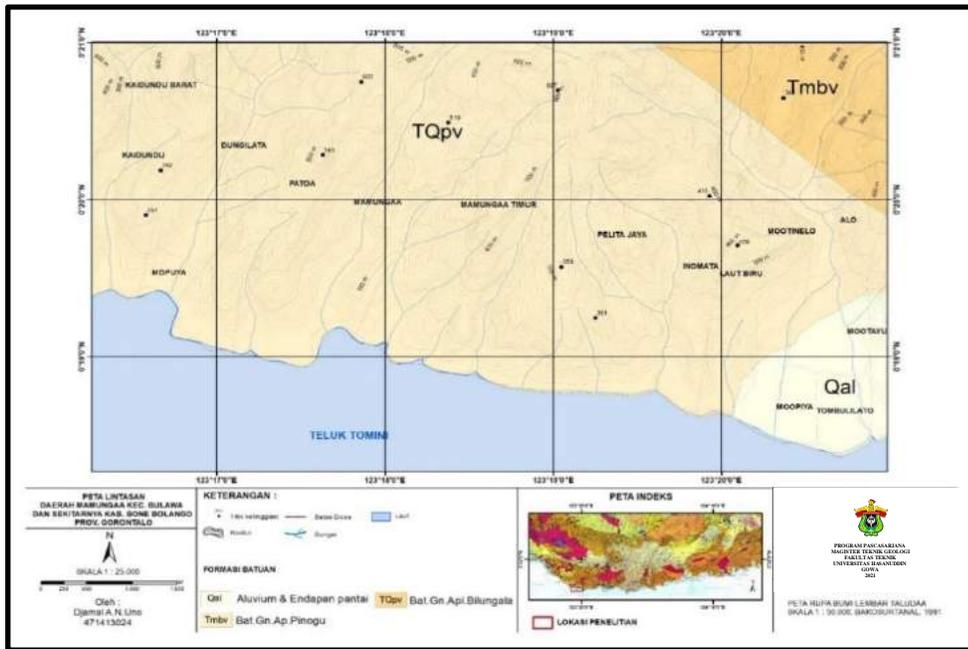
Jika didasarkan dari zona bentang alam, Gorontalo dibedakan ke dalam empat zona fisiografi utama, yaitu Zona Pegunungan Utara Tilongkabila- Boliohuto, Zona Dataran Interior Paguyaman-Limboto, Zona Pegunungan Selatan Bone-Tilamuta-Modelo dan Zona Dataran Pantai Pohnwato (Brahmantyo, 2009). Zona Pegunungan Utara Tilongkabila

Boliohuto disusun oleh formasi batuan gunungapi yang berumur Miosen-Pliosen dan batuan sedimenter yang berasal batuan gunungapi. Zona Dataran Interior Paguyaman-Limboto merupakan cekungan yang berada di tengah-tengah Provinsi Gorontalo. Cekungan ini berupa dataran yang sangat luas yang terbentang dari Lombongo di sebelah timur menerus ke Kota Gorontalo, Danau Limboto, Paguyaman dan Butalantio di sebelah barat dari daerah penelitian.

Zona Pegunungan Selatan Bone-Tilamuta-Modelo umumnya terdiri dari formasi-formasi batuan sedimenter yang berumur Eosen-Oligosen dan batuan intrusif yang berumur Pliosen. Zona Dataran Pantai Pohuwato merupakan dataran yang terbentang dari Marisa hingga Torosiaje yang berbatasan dengan Provinsi Sulawesi Tengah. Zona ini disusun oleh aluvial pantai yang sebagian besar daerah rawa dan pasang-surut.

b. Stratigrafi Regional

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Kotamobagu (Apandi dan Bachri, 1997), stratigrafi regional daerah penelitian dari muda ke tua terdiri dari 3 formasi, yaitu formasi batuan aluvim dan endapan pantai, batuan gunungapi pinogu dan batuan gunungapi bilungala.



Gambar 2.3 Peta geologi regional daerah penelitian (dimodifikasi dari peta geologi regional lembar Kotamobagu skala 1 : 250.000 oleh Apandi dan Bachri, 1997).

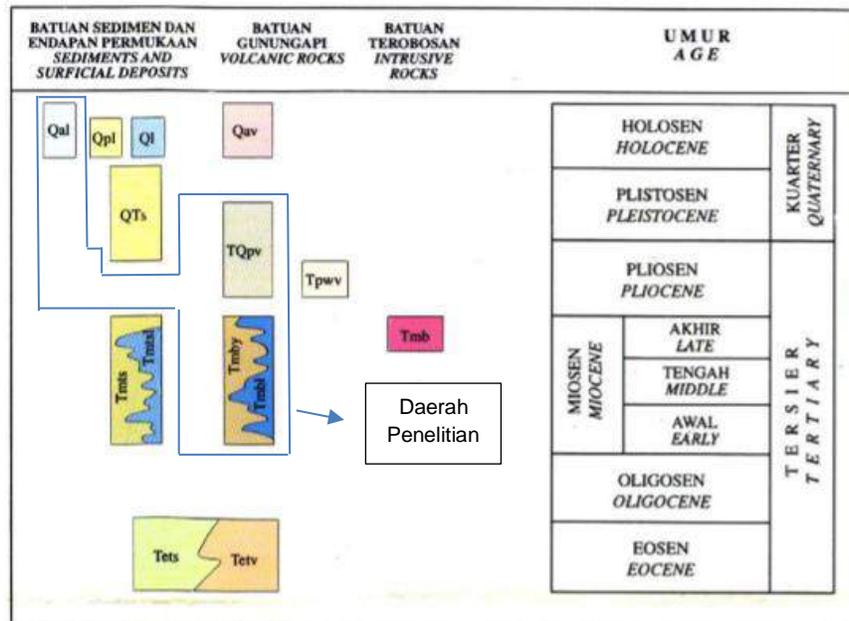
Aluvium dan endapan pantai satuan ini terdiri dari pasir, lempung, kerikil, dan kerakal.

Batuan gunungapi pinogu disusun oleh tuf, tuf lapili, breksi dan lava. Breksi gunungapi di Pegunungan Bone, Gunung Mongadalia dan Pusian bersusunan andesit piroksin dan dasit. Tuf yang tersingkap di Gunung Lemibut dan Gunung Lolombulan umumnya berbatuapung, kuning muda, berbutir sedang sampai kasar, diselingi oleh lava bersusunan menengah sampai basa. Tuf dan tuf lapili di sekitar Sungai Bone bersusunan dasitan. Lava berwarna kelabu muda hingga kelabu tua, pejal, umumnya bersusunan andesit piroksin. Satuan ini secara umum termampatkan lemah sampai sedang, Satuan ini diperkirakan berumur Pliosen-Plistosen (John dan Bird, 1973 dalam Apandi dan Bachri, 1997).

Batuan gunungapi bilungala disusun oleh breksi, tuf dan lava bersusunan andesit, dasit dan riolit. Zeolit dan kalsit sering dijumpai pada kepingan

batuan penyusun breksi. Tuf umumnya bersifat dasitan, agak kompak dan berlapis buruk di beberapa tempat. Di daerah pantai selatan dekat bilungala, satuan ini didominasi oleh lava dan breksi yang umumnya bersusunan dasit, dicirikan oleh warna alterasi kuning sampai coklat, mineralisasi pirit, perekahan yang intensif, serta banyak dijumpai batuan terobosan diorit. Berdasarkan kandungan fosil dalam sisipan batugamping satuan ini berumur Miosen Awal-Miosen Akhir.

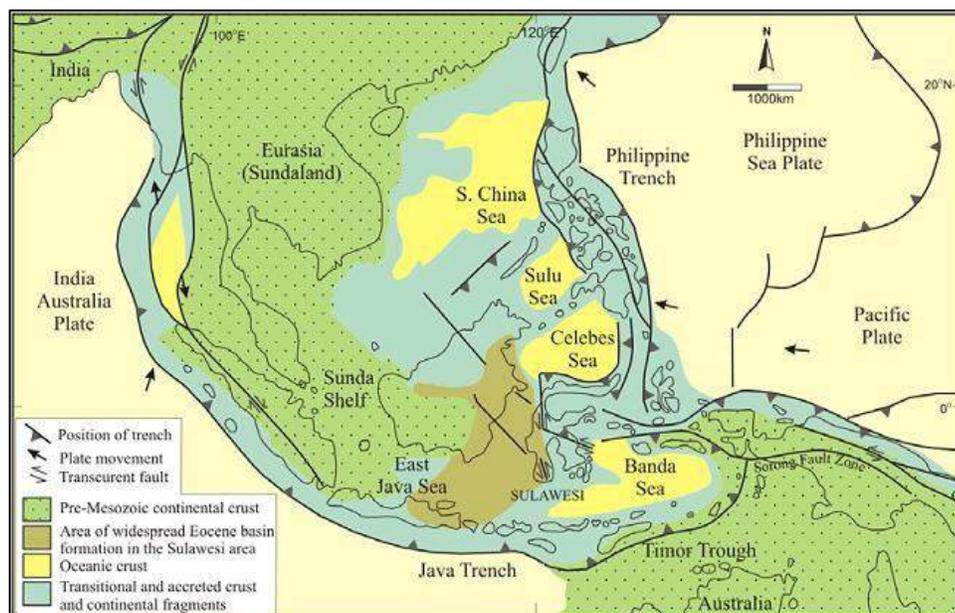
Batuan gunungapi bilungala dibagian timur yaitu peta geologi lembar tilamuta, lava pada formasi ini lebih bersifat andesit dan basalt. Lava ini bertekstur hipokristalin sampai holokristalin, halus dan masif. Lava ini telah terpropiltkan, terkloritkan dan terepidotkan. Batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir (Bachri, dkk., 1993).



Gambar 2.4 Kolom stratigrafi regional daerah penelitian (Apandi dan Bachri, 1997)

c. Struktur Geologi Regional

Sulawesi dan sekitarnya merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan menenggara, serta lempeng kecil yaitu Lempeng Philipina.



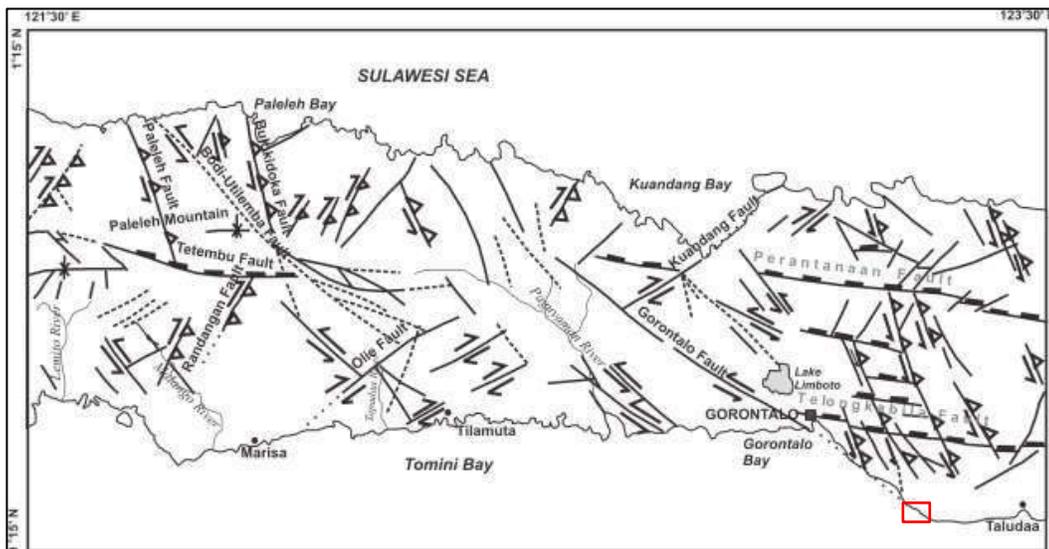
Gambar 2.6 Struktur regional Sulawesi (Wilson dan Moss, 1999 dalam Van Leeuwen T M. Dan Pieters P E., 2011)

Struktur regional yang mempengaruhi perkembangan tektonik geologi pulau Sulawesi (Katili, 1973 dalam Hartati, 2012) adalah :

- Selat Makasar yang memisahkan Paparan Sunda (yang merupakan bagian dari Lempeng Eurasia) dengan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tengah, terbentuk karena pemekaran sejak Kala Eosen.

- Adanya konvergensi antara lempeng Tenggara Sulawesi dengan Laut Banda melalui Tolo *trench* dibagian Tenggara.
- Dalam Sulawesi Utara yang terbentuk akibat penunjaman Lempeng Pasifik.

Dilihat dari tatanan tektonik regional, daerah penelitian termasuk dalam Lengan Utara Sulawesi. Lengan ini dipengaruhi oleh penunjaman ganda yaitu Lajur Tunjaman Sulawesi Utara dibagian utara dan Lajur Tunjaman Sangihe Timur dibagian timur dan selatan (Simandjuntak, 1986). Penunjaman ini mengakibatkan terjadinya kegiatan magmatisme dan gunungapi yang menghasilkan batuan plutonik dan gunungapi yang tersebar luas. Tunjaman Sulawesi Utara diduga aktif sejak awal Tersier, sedangkan Tunjaman Sangihe diduga aktif sejak awal kuartar.



Gambar 2.7 Pola struktur geologi regional Gorontalo (Bachri, 2011). Kotak merah merupakan lokasi penelitian

Akibat kegiatan tektonik ini, menyebabkan Lengan Utara Sulawesi khususnya daerah penelitian terjadi banyak sesar dan lipatan. Sesar besar yang ada di lengan utara Sulawesi ini adalah sesar mendatar Gorontalo. Sesar ini memanjang dari arah barat laut ke tenggara yaitu mulai dari Laut Sulawesi melewati Kota Gorontalo hingga perairan Teluk Tomini, mekanisme sesarnya adalah sesar mengangan. Sesar ini menghasilkan *fault trap* dan membentuk graben dengan memotong struktur yang sudah terbentuk sebelumnya. Selain itu, terdapat sesar naik yang berarah barat-timur dan sesar normal yang berarah relatif utara-selatan serta sesar mendatar yang tidak beraturan. Sesar-sesar ini terbentuk pada Neogen Akhir (Bachri, 2011).