

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI
HIDROTHERMAL DAERAH DUNDRUNG
KECAMATAN PATIMPENG KABUPATEN BONE
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI



OLEH : HALIK RIFKI DAENG TAHA
NIM : D611 15 306

MAKASSAR
2020

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI
HIDROTHERMAL DAERAH DUNDRUNG
KECAMATAN PATIMPENG KABUPATEN BONE
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST)
pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

**OLEH : HALIK RIFKI DAENG TAHA
NIM : D611 15 306**

**MAKASSAR
2020**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI
HIDROTHERMAL DAERAH DUNDRUNG
KECAMATAN PATIMPENG KABUPATEN BONE
PROVINSI SULAWESI SELATAN**



SKRIPSI

Nama Mahasiswa : HALIK RIFKI DAENG TAHA
No. Mahasiswa : D611 15 306

Makassar, November 2020

**Diketahui oleh,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**Disetujui oleh,
Pembimbing I**

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

Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T
NIP : 195902021986012001

Pembimbing II

Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T
NIP. 19611231 198903 1 019

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk memperoleh gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di Lembaga Pendidikan lainnya, dimanapun, kecuali yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan dibantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, November 2020

Penulis



Halik Rifki Daeng Taha

ABSTRACT

The research area is located in Dundrung area, Patimpeng district, Bone regency South Sulawesi, about 118 km from Makassar. The area is dominated by Intrusive rock consist of granodiorite (monzonite), diorite, and basalt that have been hydrothermal alternated process. Alteration type in the research area can be divided in 3 type, that is prophylic type (unaltered-weak prophylic type), phyllic type (strong phyllic overprinting propylitic alteration type), potassic type (strong potassic overprinting phyllic alteration type). Mineralization is controlled by fracture process that represent cavity filling and vein quartz depositional texture. On the other hand, the polish section showed the special texture such as replacement, open space filling, and intergrowth, The mineralization process is begin from pyrite, and chalcopyrite, then chalcopyrite is replaced by pyrite and sphalerite in the second stage. In the final stage pyrite and chalcopyrite are oxidize and form malachite.

Keywords: Mineralization, Alteration, Patimpeng, Bone

SARI

Daerah penelitian terletak di Daerah Dundrung, Kecamatan Patimpeng, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan sekitar 118 km dari kota Makassar. Daerah penelitian didominasi batuan intrusif yaitu diorit, granodiorit (monzonit), dan basalt. telah mengalami ubahan hidrotermal. Tipe alterasi pada daerah penelitian terbagi menjadi 3 yaitu Tipe profilitik (*Weak-medium Prophylic Type*), Tipe filik (*Strong Phyllic overprinting Propylitic Alteration Type*), Tipe potasik (*Strong Potassic overprinting Phyllic alteration type*). Mineralisasi umumnya dikontrol oleh breksiasi dan perekahan, memperlihatkan tekstur *endapan cavity filling* dan tekstur urat kuarsa. Sementara pada pengamatan *polish section* memperlihatkan tekstur khusus berupa *replacement*, *open space filling*, dan *intergrowth*. Adapun tahapan mineralisasi dimulai dari pembentukan mineral, pirit-kalkopirit, kemudian kalkopirit di gantikan oleh pirit dan sfalerit pada tahap kedua, dan pada tahap ketiga terjadi proses oksidasi yang membentuk mineral malasit.

Kata kunci : Mineralisasi, Alterasi, Patimpeng, Bone

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Studi Alterasi Dan Mineralisasi Daerah Libureng Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan”**.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu penulis dalam menyusun laporan ini, antara lain :

1. Ibu Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T. sebagai Dosen Pembimbing Satu pada Penelitian ini.
2. Bapak Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T. sebagai Dosen Pembimbing Dua pada Penelitian ini.
3. Bapak Dr. Ir, H. Hamid Umar, MS, Ibu Dr. Ir. Ulva Ria Irvan. S.T., M.T, dan Bapak Prof. Dr-Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phill sebagai Dosen Penguji pada Penelitian ini
4. Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T sebagai Penasehat Akademik penulis yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis.
5. Bapak Dr. -Eng. Asri Jaya HS, S.T, M.T. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya selama perkuliahan.

7. Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang selama ini selalu membantu dalam pengurusan administrasi di kampus.
8. Kedua orang tua atas segala bantuan materil dan moril yang senantiasa tercurah kepada penulis.
9. Rekan-rekan mahasiswa Geologi angkatan 2015 (AGATE).
10. Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH).
11. Teman-teman Geologi Se-Indonesia yang tergabung di PERHIMAGI
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis mengharapkan adanya saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun demi perbaikan laporan ini. Segala kesalahan serta kekeliruan yang ada tidak luput dari keterbatasan penulis sebagai manusia biasa yang memiliki banyak kekurangan.

Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis. Amin

Makassar, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
SARI.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Peneliti Terdahulu	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Geologi Regional	4
2.1.1 Geomorfologi Regional.....	5
2.1.2 Stratigrafi Regional	5
2.1.3 Struktur Geologi Regional	9
2.2 Geologi Daerah Penelitian	12
2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	12
2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	12
2.2.2.1 Satuan Basalt.....	13
2.2.2.2 Satuan Granodiorit.....	14
2.2.2.3 Satuan Diorit.....	15

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian	15
4.1.3.1 Struktur Kekar.....	16
4.1.3.3 Struktur Sesar.....	17
2.3 Teori Ringkas	18
2.3.1 Pengertian Alterasi Hidrothermal.....	18
2.3.2. Faktor Pembentukan Endapan.....	19
2.3.3 Tipe Alterasi Hidrothermal	21
2.3.4 Tekstur Khusus Mineral Bijih	28
2.3.4.1 Tekstur infilling (pengisian)	28
2.3.4.2 Tekstur <i>Replacement</i> (penggantian)	32
2.3.4.3 Tekstur <i>Exolution</i>	33
2.3.5 Geothermometer Mineral Alterasi	33
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 35
3.1 Variabel Penelitian	35
3.2 Metode Pengumpulan Data	35
3.3 Metode Analisis Data	36
3.4 Penyusunan Skripsi	37
3.5 Presentasi	37
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 39
4.1. Petrografi Batuan Daerah Penelitian	39
4.1.1 Satuan Diorit	39
4.1.2 Satuan Granodiorit.....	40
4.1.3 Satuan Basalt	40
4.2 Alterasi Hidrothermal.....	41
4.2.1 <i>Weak-medium Prophylic Type</i>	44
4.2.2 <i>Strong Phyllic overprinting Propylitic Type</i>	45
4.2.3 <i>Strong Potassic Overprinting Phyllic Propylitic Type</i>	48
4.3 Mineralisasi Bijih Daerah Penelitian	50
4.3.1 Tekstur Endapan.....	50

4.3.2 Tekstur Khusus Mineral Bijih	51
4.3.2.1 <i>Intergrowth</i>	51
4.3.2.1 <i>Open Space Filling</i>	52
4.3.2.1 <i>Replacement</i>	53
4.4 Paragenesa Mineral Bijih	54
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Rekomendasi	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	
Peta Geologi	
Peta Zonasi Alterasi	
Tabel Deskripsi Sayatan Tipis	
Tabel Deskripsi Sayatan Poles	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian	2
2.1 Peta Geomorfologi Regional Lengan Selatan Pulau Sulawesi	5
2.2 Peta Geologi sepanjang Sesar Walanae Timur (modifikasi after Sukamto, 1982; Sukamto dan Supriatna, 1982) (Jaya & Nishikawa, 2013).).....	8
2.3 Kolom Stratigrafi Depresi Sesar Walanae dan Wilayah Bone dengan Peristiwa Tektonik Sejak Paleogen Akhir (Jaya & Nishikawa, 2013).	9
2.4 Peta Topografi dan Struktur Geologi. (a) untuk pulau Sulawesi, (b) untuk Sulawesi Selatan (Jaya & Nishikawa, 2013).....	11
2.5 Foto satuan geomorfologi bergelombang lemah dengan kelerengan yang relatif landai.....	12
2.6 Singkapan basalt pada stasiun 05-180-RO pada Daerah Dundrung di foto pada arah N 130 °E.	13
2.7 Singkapan Granodiorit pada stasiun 05-184-RO pada Daerah Patimpeng difoto pada arah N 325 °E	14
2.8 (A) Diorit teralterasi kuat, tersingkap di (Stasiun 05-225-RO); (B) Singkapan Diorit teralterasi lemah hingga sedang (Stasiun 05-225-RO).....	15
2.9 Kenampakan kekar sistematik pada litologi basalt	17
2.10 Kenampakan breksi sesar pada fragmen basalt.....	18
2.11 Zonasi Alterasi Mineral.....	28

2.12	Foto kiri memperlihatkan kenampakan <i>vuggy quartz</i> , sedangkan foto kanan memperlihatkan tekstur <i>crustiform-colloform</i> , sebagai penciri tekstur pengisian.....	29
2.13	Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian. A) <i>Vuggy</i> atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal zoning, d). Gradasi ukuran Kristal, e).Tekstur <i>crutiform</i> , f). Tekstur <i>cockade</i> , g).Tekstur triangular, h). Comb structure, i).Pelapisan simetris	31
2.14	Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986).	32
2.15	Beberapa kenampakan khas tekstur <i>exolution</i> pada mineral sulfida dan oksida (Evans, 1993).	33
3.1	Bagan Alir Tahapan Penelitian.....	38
4.1	Fotomikrograf diorit pada nomor sayatan 05-221-RO yang mineral plagioklas (Pl), piroksin (Px), epidot (Ep), dan mineral opak (Oq)	39
4.2	Fotomikrograf diorit pada nomor sayatan 05-184-RO yang mineral plagioklas (Pl), piroksin (Px), kuarsa (Qz) epidot (Ep), dan mineral opak (Oq).....	40
4.3	Fotomikrograf basalt porfiri pada nomor sayatan 03-228B-RO yang tersusun oleh hornblende (Hb), aktinolit (Act), epidot (Ep), mineral opak (oq) dan plagioklas (Pl)	41
4.4	Fotomikrograf alterasi propilitik pada nomor sayatan 05-193-RO yang tersusun hornblende (hbl), aktinolit (act), epidot (ep), plagioklas (pl), dan opaq (oq).....	45

4.5	Fotomikrograf himpunan alterasi Ep-Q pada nomor sayatan 05-221 RO, dan 05-253 RO (yang tersusun oleh mineral alterasi epidot (Ep), dan kuarsa sekunder (Q)).....	46
4.6	Fotomikrograf himpunan mineral alterasi (Ep-Ser) pada nomor sayatan 05-215 RO yang tersusun oleh Epidot (Ep), serisit (ser),	47
4.7	Fotomikrograf himpunan mineral alterasi pada Ser-Bio-Ort-Q pada nomor sayatan 05-225-RO yang tersusun oleh orthoklas sekunder (ort), biotit sekunder (bio), serisit (ser), dan kuarsa (qz).....	48
4.8	Fotomikrograf himpunan mineral alterasi Ort-Ser-Act pada nomor sayatan 05-131-RO yang tersusun oleh orthoklas sekunder (ort), serisit (ser), dan aktinolit (act).....	49
4.9	Vein pada sampel handspeciment basalt dan kenampakan vein (<i>stockwork</i>) pada batuan diorit di lapangan (Sumber : Kaharuddin M.S dkk).....	51
4.10	Tekstur <i>intergrowth</i> pada kalkopirit dan pirit	52
4.11	Tekstur <i>openspace filling</i> pada kalkopirit dan pirit.....	52
4.12	Tekstur <i>replacement</i> pada kalkopirit, sfalerit dan malasit	54
4.13	Tahap I (A) Mineral Pirit dan Kalkopirit tumbuh mengisi rekahan.....	56
4.14	Tahap II (B) Tekstur replacement mineral pirit yang menunjukkan pirit tumbuh menggantikan kalkopirit	56
4.15	Tahap III (C) kalkopirit dan sphalerite mengalami oksidasi dan membentuk malasit.	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Hal
2.1 Mineralogi Alterasi di Dalam Sistem Hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996).....	22
2.2 Geothermometer mineral (Reyes, 1990)	34
4.1 Distribusi mineral alterasi	43
4.2 Tabel temperatur alterasi propilitik (modifikasi Reyes, 1990).....	45
4.3 Tabel temperatur alterasi filik-propilitik (modifikasi Reyes, 1990)....	47
4.4 Tabel temperatur alterasi potasik (modifikasi Reyes, 1990).....	50
4.5 Tabel temperatur alterasi filik (modifikasi Reyes, 1990).....	50
4.2 Paragenesa mineral bijih	55

BAB I

PENDAHULUAN

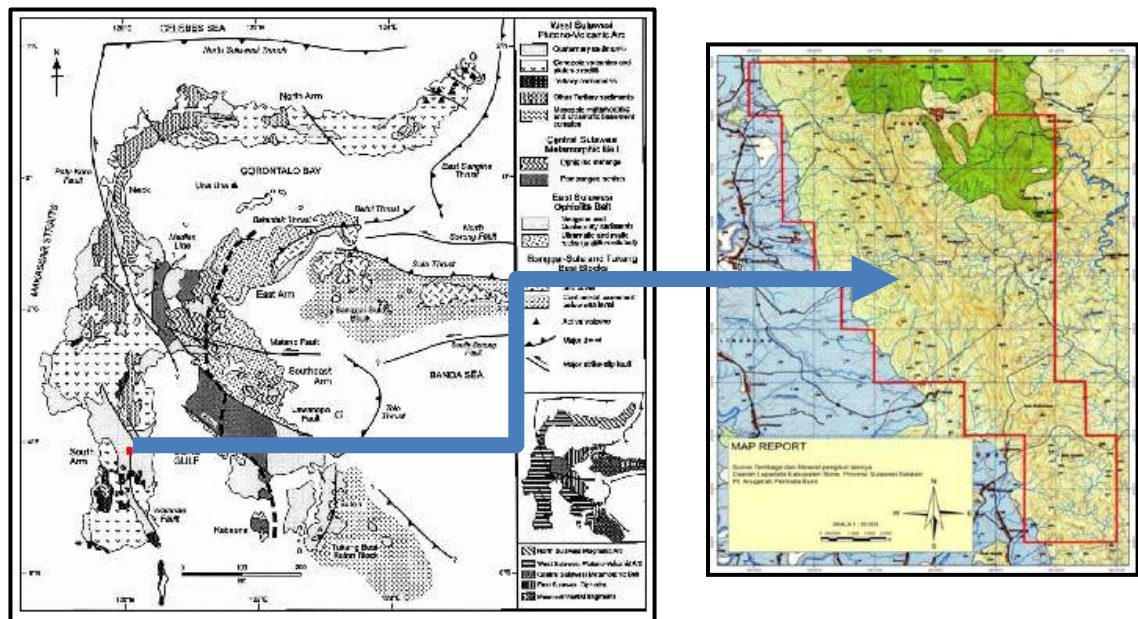
1.1 Latar Belakang

Penelitian dilakukan pada area konsesi bijih Cu DMP Blok V yang dimiliki oleh PT. Wijaya Eka Sakti (P.T WES), Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah ini tersusun oleh batuan intermediet-basa yang telah mengalami alterasi dan berpotensi sebagai bahan galian mineral bijih.

Menurut Pirajno (1992) alterasi hidrothermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan akibat adanya interaksi antara larutan hidrothermal dan batuan tersebut, sedangkan mineral bijih adalah *metalliferous mineral* atau agregat dari *metalliferous mineral* yang berasosiasi dengan mineral *gangue* yang jika ditambang dapat memberikan keuntungan. Mineral bijih merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Seiring dengan berkembangnya zaman, kebutuhan akan sumberdaya mineral bijih pun semakin meningkat.

Karena kebutuhan yang semakin meningkat maka perlu diadakatan pendekatan studi karakteristik alterasi dan mineralisasi menjadi penting untuk diketahui, maka penulis melakukan penelitian tugas akhir yang berjudul “Studi Alterasi Dan Mineralisasi Daerah Dundrung Kecamatan Patimpeng Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan” sehingga dapat membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir pendidikan Strata-1 Teknik Geologi ini.

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam Desa Dundrung Kecamatan Patimpeng, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian.

Secara astronomis terletak pada koordinat $120^{\circ}8'0''\text{BT} - 120^{\circ}10'30''\text{BT}$ dan $04^{\circ}48'30''\text{LS} - 04^{\circ}50'30''\text{LS}$. Daerah penelitian termasuk dalam Lembar Camming. Skala 1:50.000 yang diterbitkan BAKOSURTANAL tahun 1990. Daerah penelitian dapat dicapai dengan menggunakan transportasi darat dari Makassar menuju Kabupaten Bone menggunakan kendaraan bermotor beroda dua atau beroda empat yang ditempuh sekitar kurang lebih 5 jam.

1.2 Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi masalah pada daerah penelitian berdasarkan pengambilan data lapangan berupa indikasi alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian serta akan dilakukan pengambilan contoh batuan yang selanjutnya akan dianalisis kandungan mineralnya.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan studi mengenai alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian, sedangkan tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui tipe alterasi pada daerah penelitian
- b. Mengetahui tipe endapan pada daerah penelitian
- c. Mengetahui tekstur khusus mineral bijih
- d. Mengetahui paragenesa mineral bijih daerah penelitian

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu dengan tersedianya data tipe alterasi dan sebaran alterasi akan memberikan peluang pengembangan untuk pertambangan dan industri. Data tersebut menjadi akan menambah *database* keberadaan sumber daya mineral di Sulawesi Selatan serta mendorong sebuah langkah untuk menarik investasi eksploitasi sumber daya mineral di daerah ini.

1.5 Peneliti Terdahulu

Adapun Peneliti terdahulu yang telah melakukan penelitian di daerah ini adalah :

1. M. Van Leeuwen, 1981 melakukan penelitian kondisi geologi biru area
2. Asri Jaya dan Nisihikawa, (2013) melakukan pengukuran umur pada batuan dasar daerah Sulawesi Selatan bagian selatan
3. Irzal nur dkk 2013 menjelaskan proses alterasi mineralisasi daerah Baturape
4. Kaharuddin M.S dkk, (2020) menjelaskan tentang potensi mineralisasi Daerah Dundrung Kecamatan Patimpeng dan sekitarnya

BAB II

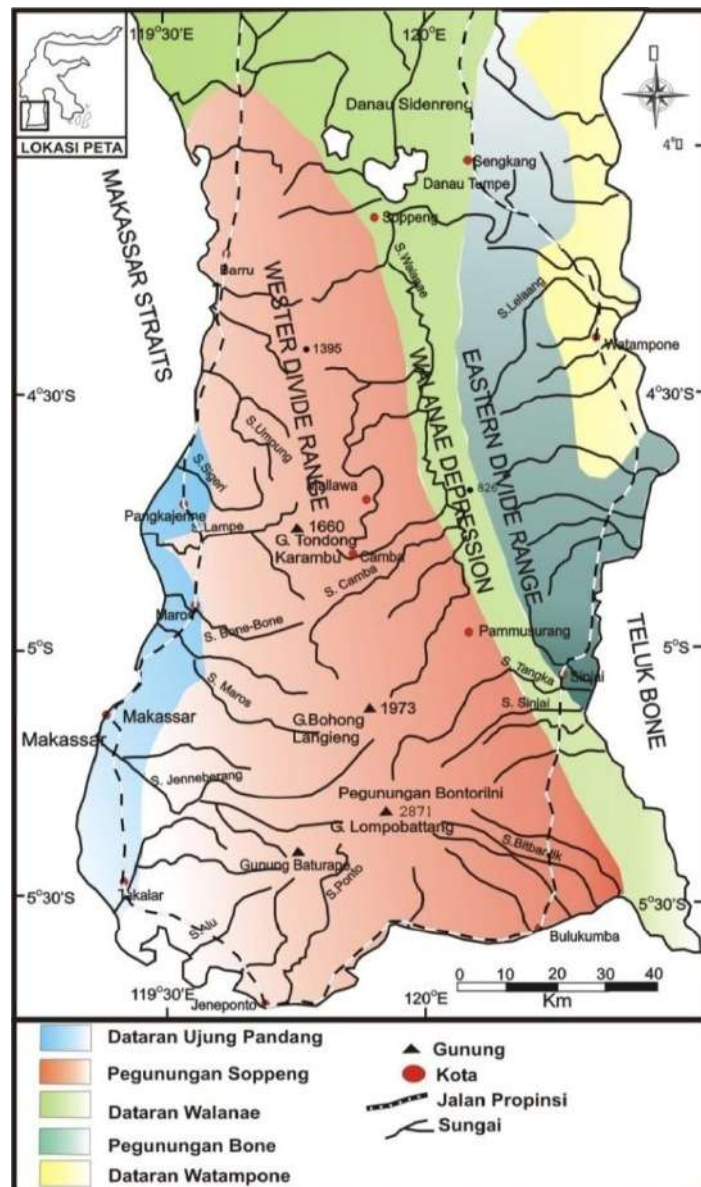
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

2.1.1 Geomorfologi Regional

Pegunungan yang di timur relatif lebih sempit dan lebih rendah, dengan puncaknya rata-rata setinggi 700 m, dan yang tertinggi 787 m juga pegunungan ini sebagian besar berbatuan gunungapi. Bagian selatannya selebar 20 km dan lebih tinggi, tetapi ke utara menyempit dan merendah ke bawah batas antara lembah Walanae dan dataran Bone. Bagian utara pegunungan ini bertopografi karst yang permukaannya sebagian berkerucut. Batasnya di timurlaut adalah dataran Bone yang sangat luas, yang menempati hampir sepertiga bagian timur (Gambar 2.1) (Sukanto, 1982).

Sesar Walanae Timur dapat ditelusuri dari 150 km sebagai fitur topografi linier yang berarah NNW-SSE di bagian selatan dan N-S di bagian tengah dan utara. Di bagian selatan dan tengah, dua *lineament* secara kontinyu bergerak paralel kira-kira 3 km yang memisahkan antara pegunungan Bone dan *Walanae depression*. Di bagian utara jejak EWF dapat ditarik sepanjang sisi timur punggung antiklin Sengkang (Jaya & Nishikawa, 2013).



Gambar 2.1 Peta Geomorfologi Regional Lengan Selatan Pulau Sulawesi (Wilson, 1995)

2.1.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional daerah penelitian menurut Rab. Sukamto (1982) pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat yang telah dimodifikasi Jaya dan Nishikawa (2013) (Gambar 2.2) yaitu sebagai berikut :

1) Tmpw: Formasi Walanae

Formasi ini terdiri dari batupasir berselingan dengan batulanau, tufa, napal, batulempung, konglomerat dan batugamping (Sukamto, 1982).

Formasi Walanae merupakan batupasir berselingan batulanau, batulempung, dan batugamping, sebagian menyerpih, umumnya berwarna muda, putih keabu abuan, kecoklatan dan kelabu muda. Batupasir berbutir halus sampai kasar, umumnya tufaan dan gampingan, terdiri terutama dari sepaian batuan beku dan sebagian mengandung banyak kuarsa.

2) Tmpt: Formasi Walanae (Anggota Tacipi)

Formasi ini terdiri dari batugamping koral dengan sisipan batugamping berlapis, napal, batulempung, batupasir dan tufa: putih, kelabu muda dan kelabu kecoklatan; beberapa mengandung banyak moluska (Sukamto, 1982).

Fosil foram kecil banyak ditemukan di dalam napal dan sebagian batugamping; setempat moluska ditemukan melimpah di dalam batupasir, napal dan batugamping; di daerah selatan setempat ditemukan ada tumbuhan di dalam batupasir silangsiur dan beberapa lensa batubara di dalam batulempung; batulanau ditemukan di dalam batupasir dekat Pompanua dan Sengkang, daerah utara, selain itu pada formasi ini ditemukan fosil-fosil lain seperti moluska, ganggang dan koral. Bagian bawah formasi ini diperkirakan menjemari dengan Formasi Camba dan bagian atasnya menjemari dengan Batuan Gunungapi Parepare; tebal diperkirakan <4.500 m (Sukamto, 1982).

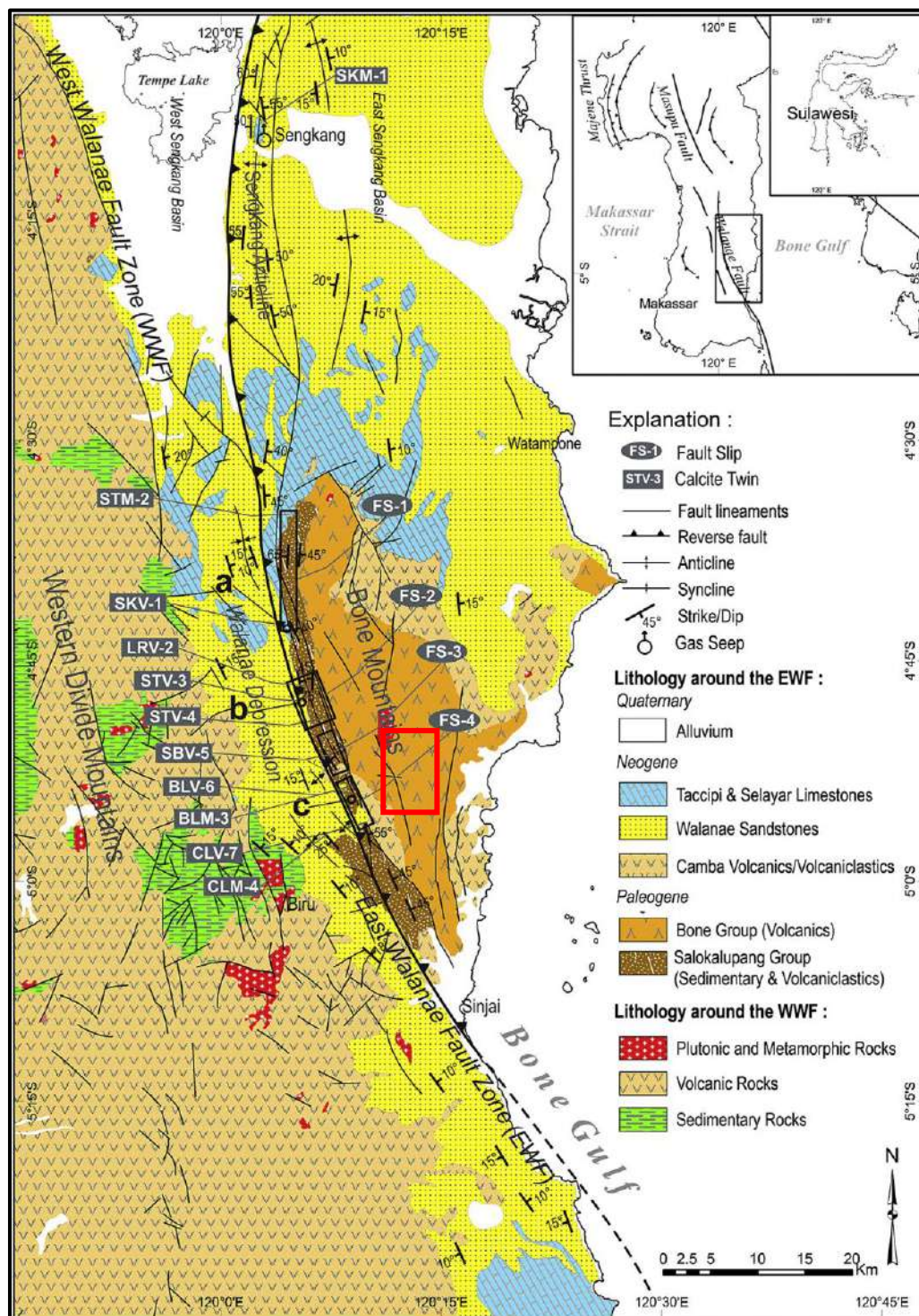
3). Teos (*Tertiary Eocene Oligocene Salokalupang*): Batupasir, batulempung, berselingan dengan breksi; bersisipan lava, batugamping dan napal; batulempung,

dan batupasir di beberapa tempat tercirikan oleh warna merah, coklat, kelabu, dan hitam, setempat mengandung fosil moluska dan foraminifera, terutama dalam lapisan batugamping dan napal; pada umumnya gampingan, padat, dan sebagian dengan urat kalsit, kebanyakan lapisan terlipat kuat dengan kemiringan 20° - 57° , batumannya berwarna coklat kemerahan dan kelabu, berselingan dengan batugamping berlapis Teol (*Tertiary Eocene Oligocene Limestone*) dan batupasir.

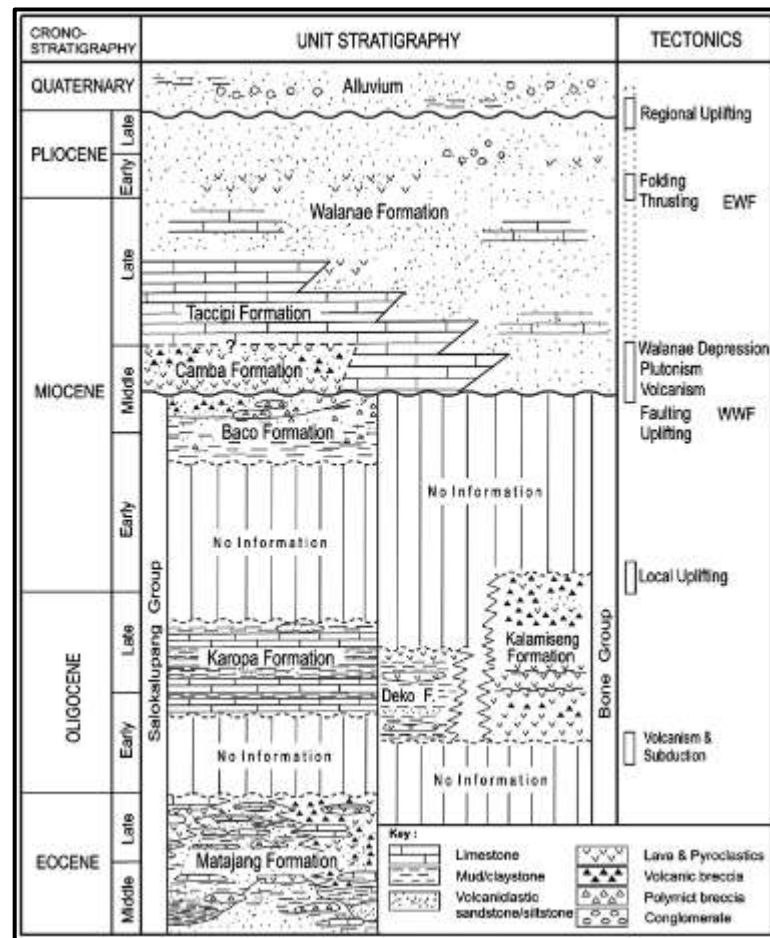
4) Tmkv (*Tertiary Miocene Kalamiseng Volcanik*) : Lava dan breksi, dengan sisipan batupasir, dan batulempung, kebanyakan bersusun basal dan sebagian andesit, kelabu tua hingga kelabu kehijauan, umumnya kasar mata, umumnya terubah, amigdaloid dengan mineral sekunder karbonat dan silikat; sebagian lavanya menunjukkan struktur bantal.

5). Intrusi Diorit : Merupakan batuan yang berumur paling muda, yang mengintrusi Formasi Kalamiseng (Tmkv) dan Formasi Salo kalupang (Teos atau Teol).

Hubungan serta umur dari masing-masing formasi dapat dilihat jelas pada kolom stratigrafi depresi Sesar Walanae dan wilayah Bone (Gambar 2.3) dengan peristiwa tektonik sejak paleogen akhir (Jaya dan Nishikawa, 2013).



Gambar 2.2 Peta Geologi sepanjang Sesar Walanae Timur (modifikasi after Sukamto, 1982; Sukamto dan Supriatna, 1982) (Jaya & Nishikawa, 2013).



Gambar 2.3 Kolom Stratigrafi Depresi Sesar Walanae dan Wilayah Bone dengan Peristiwa Tektonik Sejak Paleogen Akhir (Jaya & Nishikawa, 2013).

2.1.3 Struktur Geologi Regional

Proses tektonik di bagian barat ini berlangsung sampai Miosen Awal, sedangkan di bagian timur kegiatan gunungapi sudah mulai lagi selama Miosen Awal, yang diwakili oleh Batuan Gunungapi Kalamiseng dan Soppeng (Tmkv dan Tmsv).

Akhir dari aktivitas gunungapi pada Kala Miosen Awal diikuti oleh aktivitas tektonik yang menyebabkan terjadinya permulaan terban Walanae. Terban Walanae ini memanjang dari utara ke selatan lengan Sulawesi bagian Barat sehingga struktur sesar ini sangat berpengaruh terhadap struktur geologi sekitarnya. Proses tektonik

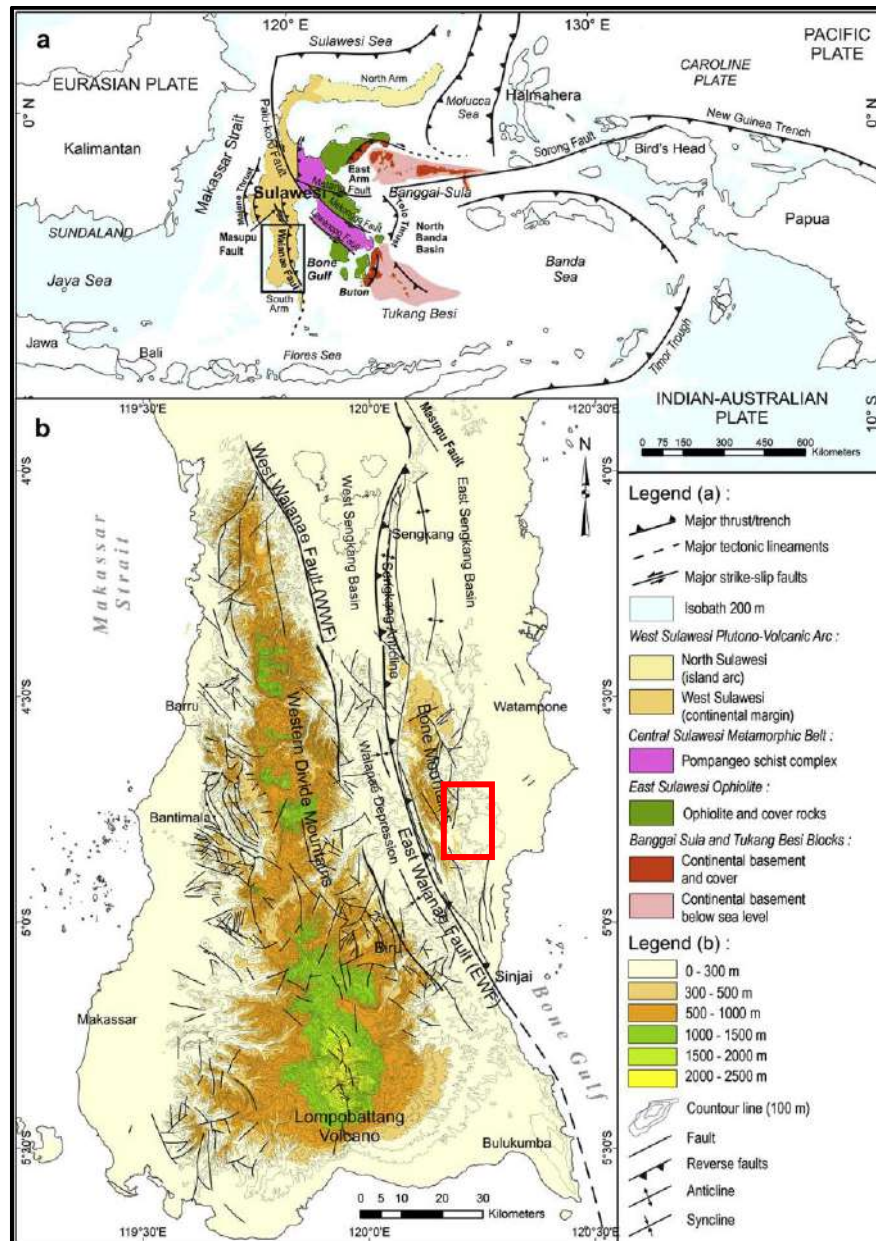
ini juga yang menyebabkan terbentuknya cekungan tempat pembentukan Formasi Walanae. Peristiwa ini berlangsung sejak awal Miosen Tengah dan menurun perlahan selama proses sedimentasi hingga Kala Pliosen (Sukamto, 1982).

Sesar utama yang berarah utara – barat laut terjadi sejak Miosen Tengah dan tumbuh sampai *Post-Pliosen*. Adanya perlipatan besar yang berarah hampir sejajar dengan sesar utama diperkirakan terbentuk sehubungan dengan adanya tekanan mendatar berarah timur – barat pada kala sebelum Pliosen Atas. Perlipatan dan pensesaran yang relatif lebih kecil di bagian timur Lembah Walanae dan di bagian barat pegunungan barat, yang berarah barat laut – tenggara (Sukamto, 1982).

Secara lokal, batuan karbonat terumbu dari Anggota Tacipi terbentuk pada Cekungan Sengkang Timur, di mana fasies laut dangkal ini diinterpretasikan tertindih selaras oleh batulempung karbonatan Formasi Walanae berumur Miosen Akhir. Batulempung terakumulasi pada depresi Walanae yang tersesarkan pada bagian utara Pegunungan Bone. Selama Kala Pliosen, evolusi struktural Sulawesi Selatan ditandai dengan deformasi *compressive* (Suyono & Kusnama, 2010).

Tipe Sesar Walanae merupakan sebuah sistem patahan yang berarah dari utara barat laut – selatan menenggara dan memisahkan bagian timur dan barat Sulawesi Selatan dan mengakibatkan deposisi pada Miosen Akhir sampai Kuartar (Gambar 2.4). Sesar ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu bagian barat yang dikenal sebagai *West Walanae Fault* (WWF) dan bagian timur yang dikenal sebagai *East Walanae Fault* (EWF). Patahan ini kemudian membagi dua cekungan yang berada di EWF yaitu Cekungan Sengkang Barat dan Timur (WSB dan ESB).

Cekungan Sengkang Barat terdiri dari Depresi Walanae dan Danau Tempe (Suyono & Kusnana, 2010; Jaya & Nishikawa, 2013).



Gambar 2.4 Peta Topografi dan Struktur Geologi. (a) untuk pulau Sulawesi, (b) untuk Sulawesi Selatan (Jaya & Nishikawa, 2013).

2.2 Geologi Daerah Penelitian

Pemaparan geologi daerah penelitian mencakup pembahasan aspek geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi yang disusun berdasarkan data yang diperoleh dan data yang dianalisis sebelumnya (Kaharuddin MS dkk, 2020).

2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi daerah penyelidikan umumnya didominasi oleh perbukitan dengan ketinggian rata-rata 200 m – 600 m Intensitas erosi yang cukup kuat pada daerah ini dicirikan oleh adanya sungai yang mengalir, diantaranya Salo Sunaba (Gambar 2.5). Vegetasi pada daerah ini cukup lebat dicirikan oleh perkebunan tebu hingga pepohonan yang cukup rapat pada daerah perbukitan. Tata guna lahan pada daerah ini digunakan sebagai areal pemukiman, perkebunan tebu, serta pertanian (Kaharuddin MS dkk, 2020)



Gambar 2.5 Foto satuan geomorfologi bergelombang lemah dengan yang relatif landai. (Sumber : Kaharuddin MS dkk, 2020)

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Pengelompokan dan penamaan satuan batuan pada daerah penelitian didasarkan atas litostratigrafi tidak resmi. Berdasarkan interpretasi, pengamatan

dan laboratorium maka stratigrafi daerah penelitian, dibagi menjadi lima (3) satuan batuan (Kaharuddin MS dkk, 2020), mulai dari yang termuda hingga yang tertua yaitu sebagai berikut:

1. Satuan Diorit
2. Satuan Granodiorit
3. Satuan Basal

Pembahasan tiap-tiap satuan batuan akan dimulai dari yang tertua-termuda.

2.2.2.1 Satuan Basalt

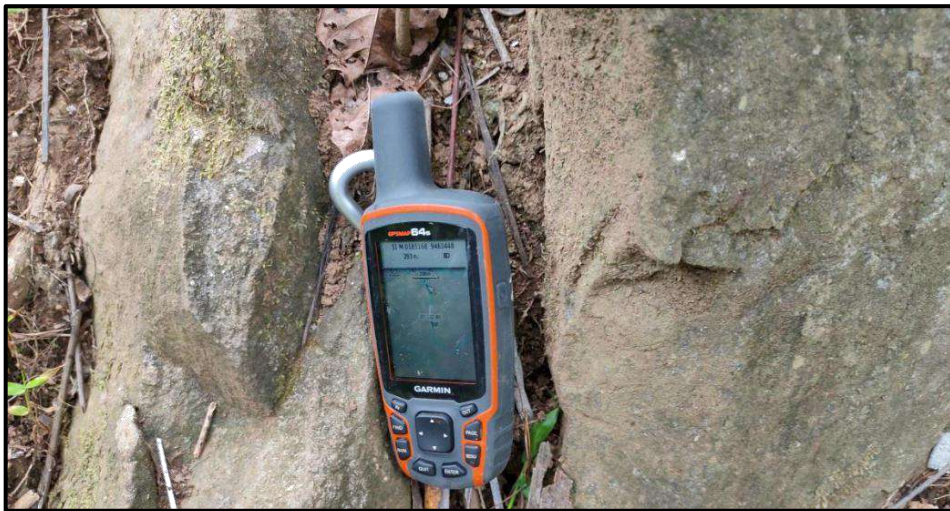
Penyebaran satuan ini menempati sekitar 35 % dari luas keseluruhan daerah. Pada beberapa tempat terlihat basalt ini telah mengalami alterasi dengan isian urat-urat kuarsa yang membawa mineralisasi sulfida dan logam lainnya. Kenampakan lapangan dari basalt stasiun 05-193-RO (Gambar 2.6) dalam keadaan segar berwarna abu – abu kehitaman sampai abu-abu kehijauan dan dalam keadaan lapuk berwarna kecoklatan, tekstur kristalinitas holohialin, granularitas afanitik, bentuk anhedral, relasi inequigranular, struktur masif, komposisi mineral : hornblende, aktinolit, epidot, dan plagioklas (Kaharuddin MS dkk, 2020).



Gambar 2.6 Singkapan basalt pada stasiun 05-193-RO pada Daerah Dundrung di foto pada arah N130°E.
(Sumber : Kaharuddin MS dkk, 2020)

2.2.2.2 Satuan Granodiorit

Penyebaran satuan ini menempati sekitar 25% dari luas keseluruhan daerah. Secara megaskopis deskripsi batuan diorit adalah sebagai berikut, keadaan segar berwarna putih kehitaman, dalam keadaan lapuk berwarna abu-abu kehitaman dengan tekstur kristalinitas: holokristalin, granularitas: faneritik, bentuk: subhedral - anhedral, relasi: inequigranular; struktur: masif, komposisi mineral plagioklas, piroksin, dan orthoklas. Satuan granodiorit dijumpai pada bagian utara daerah penelitian dengan nomor stasiun 07-114-RO (Gambar 2.7), satuan granodiorit merupakan batuan intrusif yang menerobos batuan yang lebih tua. Di lapangan secara setempat dikenali sebagai Granodiorit, berwarna terang kehijauan. Warna kehijauan nampaknya akibat pengaruh alterasi yang didominasi mineral alterasi hidrotermal seperti klorit dan epidot (Kaharuddin MS dkk, 2020).



Gambar 2.7 Singkapan Granodiorit pada stasiun 07-114-RO. (Sumber : Kaharuddin MS dkk, 2020)

2.2.2.1 Satuan Diorit

Penyebaran satuan ini menempati sekitar 40% dari luas keseluruhan daerah. Secara megaskopis deskripsi batuan diorit adalah sebagai berikut, keadaan segar berwarna putih kehitaman, dalam keadaan lapuk berwarna abu-abu kehitaman dengan tekstur kristalinitas: holokristalin, granularitas: faneritik, bentuk: subhedral - anhedral, relasi: inequigranular; struktur: masif, komposisi mineral plagioklas, piroksin, dan orthoklas, maka berdasarkan klasifikasi Fenton (1940) maka nama batuan ini adalah Diorit (Gambar 2.8) (Kaharuddin MS dkk, 2020).



Gambar 2.8 (A) Diorit teralterasi kuat, tersingkap di (Stasiun 05-225-RO);
 (B) Singkapan Diorit teralterasi lemah hingga sedang (Stasiun 05-225-RO)
 (Sumber : Kaharuddin MS dkk, 2020)

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Pembahasan mengenai struktur geologi pada lokasi daerah penelitian menjelaskan tentang pola struktur geologi, identifikasi jenis struktur, umur dari struktur yang dihubungkan dengan stratigrafi daerah penelitian dan interpretasi mekanisme gaya yang menyebabkan terjadinya struktur pada daerah penelitian. Penentuan struktur geologi yang bekerja pada daerah penelitian berdasarkan data

struktur primer dan data struktur sekunder serta interpretasi kontur pada peta topografi (Kaharuddin MS dkk, 2020).

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di lapangan maka diperoleh data penciri struktur berupa data kekar, kedudukan batuan yang kemiringannya bertolak belakang dan *fault slip*. Melalui data penciri struktur yang ditemukan di lapangan tersebut maka dapat diasumsikan struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa struktur kekar dan struktur sesar (Kaharuddin MS dkk, 2020).

2.2.3.1 Struktur Kekar

Kekar yang berkembang di daerah penelitian meliputi kekar gerus (*tension joint*) dan kekar Tarik (*extensional joint*) (Gambar 2.9). Dua sistem kekar yang berkembang menunjukkan bahwa kekar gerus terjadi berkenaan dengan rezim tektonik kompresional atau saat peristiwa subduksi regional di wilayah Selatan atau Timur Lengan Selatan Sulawesi. Peristiwa ini berakhir pada Miosen Tengah, dan selanjutnya pada Miosen Akhir tektonik di daerah ini berkembang menjadi *Extensional* setelah tumbukan yang mencapai puncaknya pada pada Miosen Tengah (Hamilton, 1979, Yuwono, 1988 dalam Kaharuddin MS dkk, 2020).



Gambar 2.9 Kenampakan kekar sistematis pada litologi Basalt (Sumber : Kaharuddin MS dkk, 2020)

2.2.3.3 Struktur Sesar

Berdasarkan hasil analisa terhadap data lapangan berupa data primer ataupun sekunder serta korelasi terhadap tektonik regional maka sesar yang bekerja pada daerah penelitian berupa sesar normal, sesar geser dan sesar naik (Kaharuddin MS dkk, 2020).

Berdasarkan hasil analisis data lapangan, berupa data primer ataupun data sekunder serta korelasi terhadap tektonik regional maka sesar yang bekerja pada daerah penelitian berupa sesar geser. Berdasarkan pergerakan relatif serta daerah yang dilaluinya maka sesar pada daerah penelitian adalah Sesar Geser Walanae (Kaharuddin MS dkk, 2020).

Sesar geser Walanae memanjang relatif pada arah Barat laut - Tenggara. Sesar geser ini memotong satuan basalt dan satuan batugamping. Sesar geser dengan arah relatif sinistral (Kaharuddin MS dkk, 2020).

Penentuan struktur sesar geser Walanae yang bekerja di daerah penelitian ini didasarkan dengan adanya data primer dan data sekunder yang dijumpai di

lapangan yaitu dijumpai Breksi sesar (Gambar 2.10) pada stasiun 08-193-RO dengan arah breksiasi N 40 °E (Kaharuddin MS dkk, 2020).



Gambar 2.10 Kenampakan breksi sesar pada fragmen basalt (Sumber : Kaharuddin MS dkk 2020)

2.3 Teori Ringkas

2.3.1 Pengertian Alterasi Hidrotermal

Larutan Hidrotermal adalah larutan panas dengan suhu 50°C sampai 500°C yang berasal dari sisa cariran 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, 1956 dalam Pirajno, 2009).

Alterasi dan mineralisasi adalah suatu bentuk perubahan komposisi pada batuan baik itu kimia, fisika ataupun mineralogi sebagai akibat pengaruh cairan hidrotermal pada batuan, perubahan yang terjadi dapat berupa rekristalisasi, penambahan mineral baru, larutnya mineral yang telah ada, penyusunan kembali komponen kimia-nya atau perubahan sifat fisik seperti permeabilitas dan porositas batuan (Pirajno,1992).

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 siklus pembentukan magma pada umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada Tipe lemah (Maulana, 2017)

Endapan Hidrotermal merupakan jenis endapan bijih yang sangat penting karena endapan ini merupakan salah satu sumber utama dari bijih emas dan tembaga serta logam ekonomis lainnya. Ada beberapa hal penting yang berperan dalam pembentukan endapan bijih hidrotermal, yaitu sumber air, asal usul komponen bijih, proses transportasi dari bijih, permeabilitas, penyebab dan pengendapan bijih (Maulana, 2017)

Sumber dari logam pada larutan hidrotermal (Maulana, 2017) yaitu:

1. Batuan dan material sedimen yang dilalui oleh larutan hidrotermal,
2. Berasal dari magma itu sendiri,
3. Kombinasi diantara keduanya seperti pada system geothermal

2.3.2 Faktor Pembentukan Endapan

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)

Secara umum proses pembentukan *ore* atau mineralisasi bijih pada endapan jenis hidrotermal di pengaruhi oleh beberapa faktor pengontrol (Pirajno, 2009) meliputi:

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

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 merupakan faktor yang paling berpengaruh (Corbett and Leach, 1996)

1. Suhu

Suhu merupakan hal 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 terbentuk akibat proses alterasi.

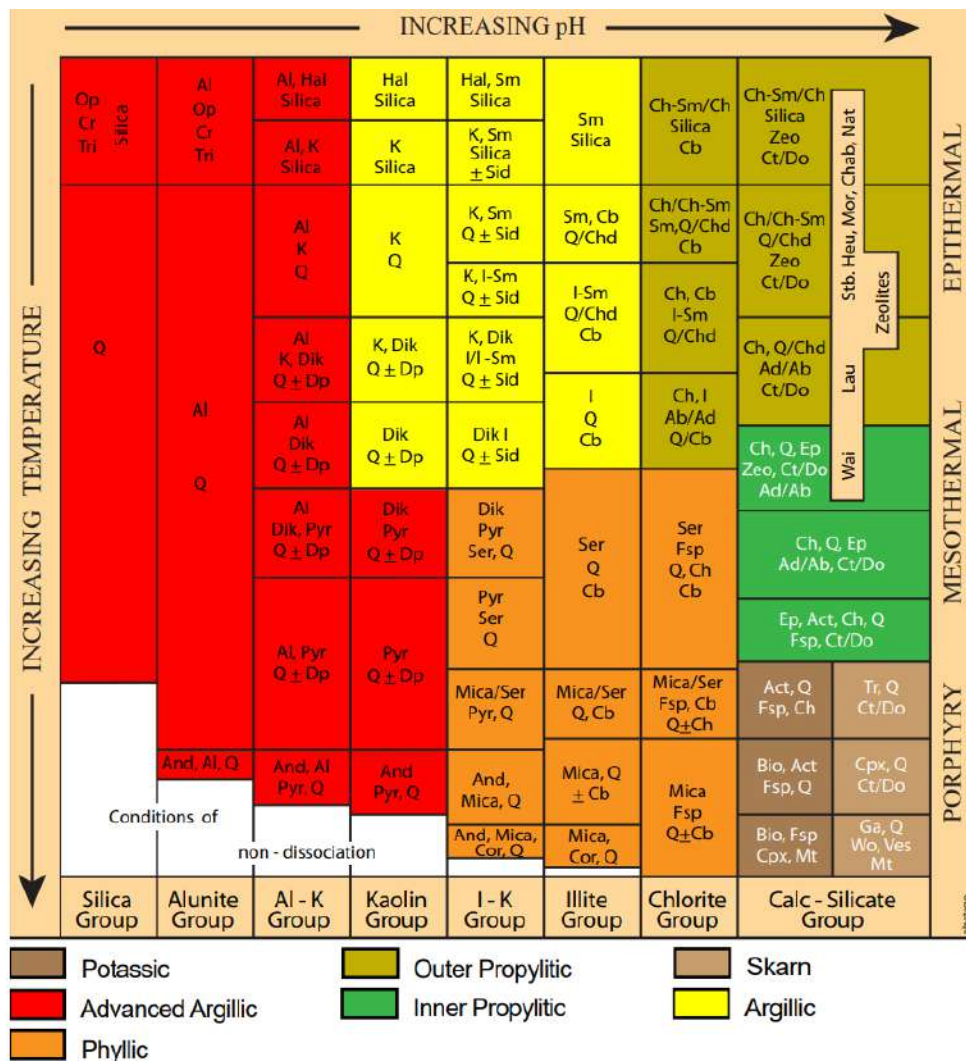
4. Komposisi fluida

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

Walaupun faktor-faktor di atas saling terkait, tetapi temperatur dan kimia fluida kemungkinan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996). Henley dan Ellis (1983, dalam Sutarto, 2004), mempercayai bahwa alterasi hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan dinding, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, temperatur, dan komposisi fluida

2.3.3 Tipe Alterasi Hidrotermal

Corbett dan leach membuat model alterasi-mineralisasi juga pada endapan bijih porfiri, menambahkan istilah Tipe filik untuk himpunan mineral kuarsa, serisit, pirit, klorit, rutil, kalkopirit. Model alterasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.



Keterangan : Ab - albite; Act - Aktinolit; Ad - adularia; Al - alunite; And - andalusite; Bio - biotite; Cb - carbonate; (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch - chlorite; Chab - chabazite; Chd - chalcedony; Ch-Sm - chlorite-smectite; Cor corundum; Cpz - clinopyroxene; Cr - cristobalite; Ct - calcite; Do - dolomite; Dik - dickite; Dp - diaspore; Ep - Epidot; Fsp - feldspar; Ga - garnet; Hal - hallosite; Heu - heulandite; I - illite; I-Sm - illite-smectite; K – kaolinite; Lau - laumontite; Mt - magnetit; Mor - mordenite; Nat - natrolite; Op - opaline silica; Pyr - pyrophyllite; Q - quartz; Ser - Serisit; Sid - siderite; Sm - smectite; Stb - stibnite; Tr - tremolite; Tri - tridymite; Ves - vesuvianite; Wai - wairakite; Wo - wollastonite; Zeo - zeolite.

Tabel 2.1: Mineralogi Alterasi dalam Sistem Hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996).

Adapun tujuh macam tipe alterasi antara lain :

1. 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. Menurut Creasey (1966, dalam Sutarto, 2004), terdapat empat kecenderungan himpunan mineral yang hadir pada tipe propilitik, yaitu :

- Klorit-kalsit-kaolinit.
- Klorit-kalsit-talk.
- Klorit-epidot-kalsit.
- Klorit-epidot.

2. Argilik

Pada tipe argilik terdapat dua kemungkinan himpunan mineral, yaitu muskovit - kaolinit-monmorilonit dan muskovit-klorit-monmorilonit. Himpunan mineral pada tipe argilik terbentuk pada temperatur 100°-300°C fluida asam-netral, dan salinitas rendah (Pirajno, 1992).

3. Potasik

Tipe potasik merupakan Tipe alterasi yang berada pada bagian dalam suatu sistem hidrotermal dengan kedalaman bervariasi yang umumnya lebih dari beberapa ratus meter. Tipe alterasi ini dicirikan oleh mineral ubahan berupa biotit sekunder, K-Feldspar, kuarsa, serisit dan magnetit. Pembentukan biotit sekunder ini dapat terbentuk akibat reaksi antara mineral mafik terutama hornblende dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar maupun piroksen.

Dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali feldspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai aksesoris, serta sejumlah kecil albit, dan

titanit (*sphene*) atau rutil kadang terbentuk. Alterasi potasik terbentuk pada daerah yang dekat batuan beku intrusif yang terkait, fluida yang panas ($>300^{\circ}\text{C}$), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat.

Selain biotisasi tersebut mineral klorit muncul sebagai penciri tipe ubahan potasik ini. Klorit merupakan mineral ubahan dari mineral mafik terutama piroksin, hornblende maupun biotit, hal ini dapat dilihat bentuk awal dari mineral piroksin terlihat jelas mineral piroksin tersebut telah mengalami ubahan menjadi klorit. Pembentukan mineral klorit ini karena reaksi antara mineral piroksin dengan larutan hidrotermal yang kemudian membentuk klorit, feldspar, serta mineral logam berupa magnetit dan hematit.

Alterasi ini di akibatkan oleh penambahan unsur potasium pada proses metasomatis dan disertai dengan banyak atau sedikitnya unsur kalsium dan sodium didalam batuan yang kaya akan mineral aluminosilikat, sedangkan klorit, aktinolit, dan garnet kadang dijumpai dalam jumlah yang sedikit.

Mineralisasi yang umumnya dijumpai pada Tipe ubahan potasik ini berbentuk menyebar dimana mineral tersebut merupakan mineral – mineral sulfida yang terdiri atas pirit maupun kalkopirit dengan pertimbangan yang relatif sama.

Bentuk endapan berupa hamburan dan *veinlet* yang dijumpai pada tipe potasik ini disebabkan oleh pengaruh metasomatik atau rekristalisasi yang terjadi pada batuan induk ataupun adanya intervensi daripada larutan magma sisa (larutan hidrotermal) melalui pori-pori batuan dan seterusnya berdifusi dan mengkristal pada rekahan batuan.

4. Filik

Tipe alterasi ini biasanya terletak pada bagian luar dari Tipe potasik. Batas tipe alterasi ini berbentuk *circular* yang mengelilingi tipe potasik yang berkembang pada intrusi. Tipe ini dicirikan oleh kumpulan mineral serisit dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pirit yang melimpah serta sejumlah anhidrit.

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. Tipe ini tersusun oleh himpunan mineral kuarsa-serisit-pirit, yang umumnya tidak mengandung mineral-mineral lempung atau alkali feldspar. Kadang mengandung sedikit anhidrit, klorit, kalsit, dan rutil. Terbentuk pada temperatur sedang-tinggi (230° - $400^{\circ}C$), fluida asam-netral, salinitas beragam, pada tipe permeabel, dan pada batas dengan urat.

Dominasi endapan dalam bentuk veinlet dibandingkan dengan endapan yang berbentuk hamburan kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya pengaruh metasomatik yang lebih mengarah ke proses hidrotermal. Hal ini disebabkan karena tipe ini semakin menjauh dari pusat intrusi serta berkurangnya kedalaman sehingga interaksi membesar dan juga diakibatkan oleh banyaknya rekahan pada batuan sehingga larutan dengan mudah mengisinya dan mengkristal pada rekahan tersebut, mineralisasi yang intensif

dijumpai pada vein kuarsa adalah logam sulfida berupa pirit, kalkopirit dan galena.

5. Propilitik Dalam (*Inner Propylitic*)

Menurut Hedenquist dan Linndqvist (1985, dalam Sutarto, 2004), Tipe alterasi pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya klorida, pH mendekati netral) umumnya menunjukkan tipe alterasi seperti pada sistem porfiri, tetapi menambahkan istilah *inner propylitic* untuk tipe pada bagian yang bertemperatur tinggi (>300°C), yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit.

6. Argilik Lanjut (*Advanced Argilic*)

Sedangkan untuk 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 temperatur tinggi, 250°-350°C), atau himpunan mineral kaolinit+alunit±kalsedon±kuarsa±pirit (untuk temperatur rendah, < 180 °C).

7. Skarn

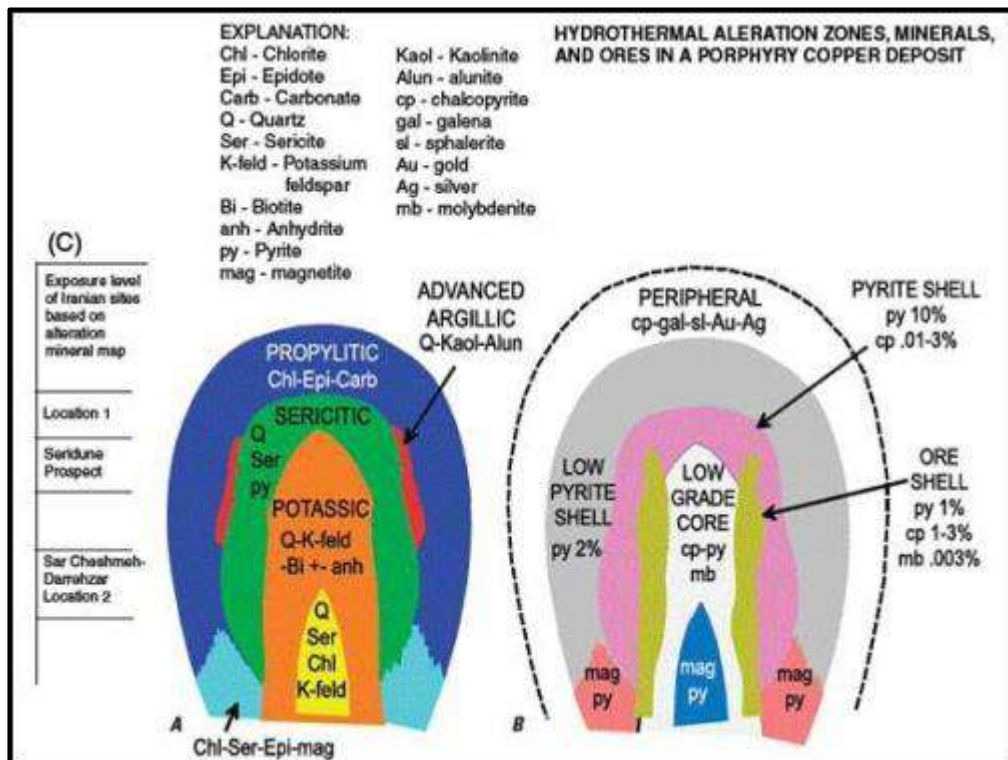
Alterasi ini terbentuk akibat kontak antara batuan sumber dengan batuan karbonat, Tipe ini sangat dipengaruhi oleh komposisi batuan yang kaya akan kandungan mineral karbonat. Pada kondisi yang kurang akan air, Tipe ini dicirikan oleh pembentukan mineral garnet, klinopiroksin dan wollastonit serta mineral magnetit dalam jumlah yang cukup besar, sedangkan pada kondisi yang kaya akan air, Tipe ini dicirikan oleh mineral klorit, tremolit – aktinolit dan kalsit dan larutan hidrotermal. Garnet-piroksen- karbonat adalah kumpulan yang paling umum

dijumpai pada batuan induk karbonat yang orsinil (Taylor, 1996, dalam Sutarto, 2004). 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°-700°C). Proses pembentukan skarn akibat urutan kejadian Isokimia – metasomatisme – retrogradasi.

Dijelaskan sebagai berikut :

- Isokimia merupakan transfer panas antara larutan magma dengan batuan samping, prosesnya H₂O dilepas dari intrusi dan CO₂ dari batuan samping yang karbonat. Proses ini sangat dipengaruhi oleh temperatur, komposisi dan tekstur *host rock*-nya (sifat konduktif).
- Metasomatisme, pada tahap ini terjadi eksolusi larutan magma kebatuan samping yang karbonat sehingga terbentuk kristalisasi pada bukaan – bukaan yang dilewati larutan magma.
- Retrogradasi merupakan tahap dimana larutan magma sisa telah menyebar pada batuan samping dan mencapai tipe kontak dengan *water table* sehingga air tanah turun dan bercampur dengan larutan.

Ilustrasi tipe alterasi dan mineralisasi yang dibuat oleh Lowell dan Guilbert dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut



Gambar 2.11 Tipe Alterasi Mineral (Lowell dan Guilbert, 1970)

2.3.4 Tekstur Khusus Mineral Bijih

Tekstur bijih dapat bercerita banyak tentang genesa atau sejarah pembentukan bijih. Interpretasi genesa mineral dari tekstur sangat sulit dan haruslah hati-hati. Ada tiga tekstur yang dikenal, yaitu tekstur *infilling*, tekstur *replacement*, serta *exolution*. (Sutarto, 2004)

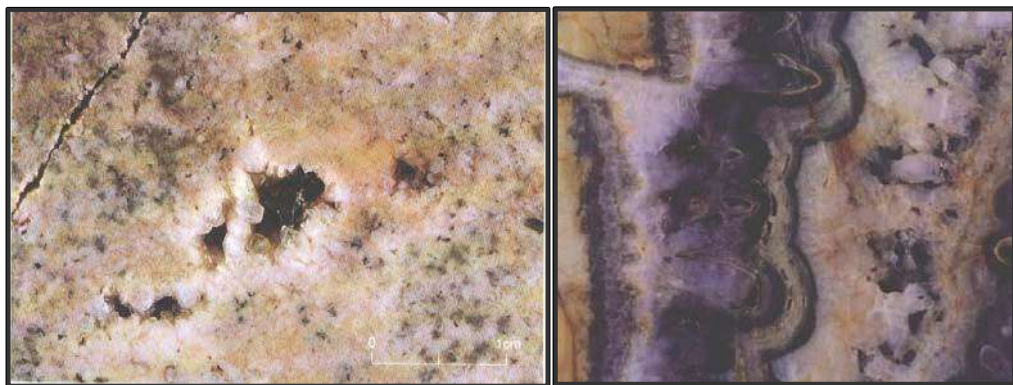
2.3.4.1 Tekstur *infilling* (pengisian)

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.

Pengisian dapat terbentuk dari presipitasi leburan silikat (magma) juga dapat terbentuk dari presipitasi fluida hidrotermal. Kriteria tekstur pengisian dapat dikenali dari kenampakan:

- a. Adanya *vug* atau *cavities*, sebagai rongga sisa karena pengisian yang tidak selesai (Gambar 2.12)
- b. Kristal-kristal yang terbentuk pada pori terbuka pada umumnya cenderung euhedral seperti kuarsa, fluorit, feldspar, galena, sfalerit, pirit, arsenopirit, dan karbonat. Walaupun demikian, mineral pirit, arsenopirit, dan karbonat juga dapat terbentuk euhedral, walaupun pada tekstur penggantian



Gambar 2.12 Foto kiri memperlihatkan kenampakan *vuggy quartz*, sedangkan foto kanan memperlihatkan tekstur *crustiform-colloform*, sebagai penciri tekstur pengisian.

- c. Adanya struktur *zoning* pada mineral, sebagai indikasi adanya proses pengisian, seperti mineral andradit-grosularit. Struktur zoning pada mineral sulit dikenali dengan pengamatan megaskopis.
- d. Tekstur berlapis, fluida akan sering akan membentuk kristal-kristal halus, mulai dari dinding rongga, secara berulang-ulang, yang dikenal sebagai *crustiform* atau *colloform*. Lapisan *crustiform* yang menyelimuti fragmen

dikenal sebagai tekstur *cockade*. Apabila terjadi pengintian kristal yang besar maka akan terbentuk *comb structure*. Pada umumnya perlapisan yang dibentuk oleh pengisian akan membentuk perlapisan yang simetri.

- e. Kenampakan tekstur berlapis juga dapat terbentuk karena proses penggantian (oolitik, konkresi, pisolitik pada karbonat) atau proses evaporasi (*banded ironstone*), tetapi sebagian besar tekstur berlapis terbentuk karena proses pengisian.
- f. Tekstur triangular terbentuk apabila fluida mengendap pada pori diantara fragmen batuan yang terbreksikan. Kalau pengisian tidak penuh, akan mudah untuk mengenalinya. Pada banyak kasus, fluida hidrotermal juga mengubah fragmen batuan secara menyeluruh. Problemnnya apabila mineral hasil pengisian antar fragmen sama dengan mineral hasil ubahan pada fragmen (contoh paling banyak adalah silika pengisian dibarengi silika penggantian). Walau demikian, pada tekstur pengisian umumnya memperlihatkan kenampakan berlapis (*tekstur cockade*).

Ilustrasi tekstur *infilling* dapat kita lihat pada gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian. A) *Vuggy* atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal zoning, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur *crutiform*, f). Tekstur *cockade*, g). Tekstur triangular, h). *Comb structure*, i). Pelapisan simetris

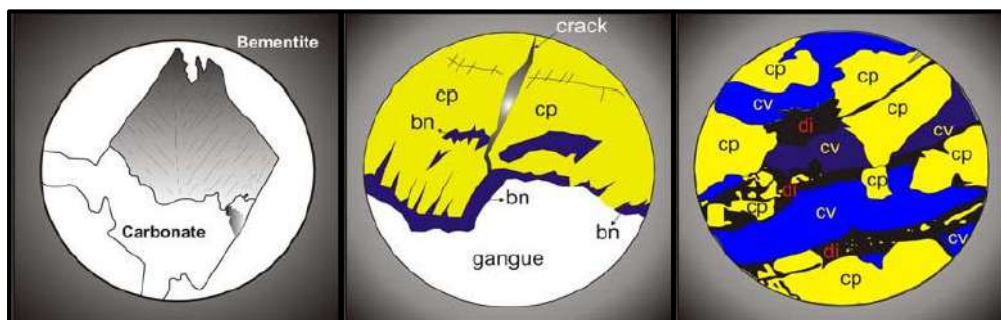
Untuk mengenali tekstur pengendapan, dibutuhkan pemahaman geologi terkait dengan ditempat mana fokus kita diarahkan. Hal yang utama adalah memperkirakan akses fluida dalam suatu batuan dinding yang berubah. Fluida akan bergerak melalui daerah yang mempunyai permeabilitas yang besar yang biasanya sebagai ruang terbuka. Dalam konteks ini dapat diartikan bahwa perhatian pada tekstur pengisian sebaiknya difokuskan pada daerah yang mempunyai ubahan

maksimum. Daerah yang membentuk tekstur pengisian, pada umumnya cenderung membentuk struktur urat (*vein*), urat halus (*veinlets*), *stockwork*, dan breksiasi.

2.3.4.2 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. Berikut beberapa contoh kenampakan tekstur ubahan (Gambar 2.14).

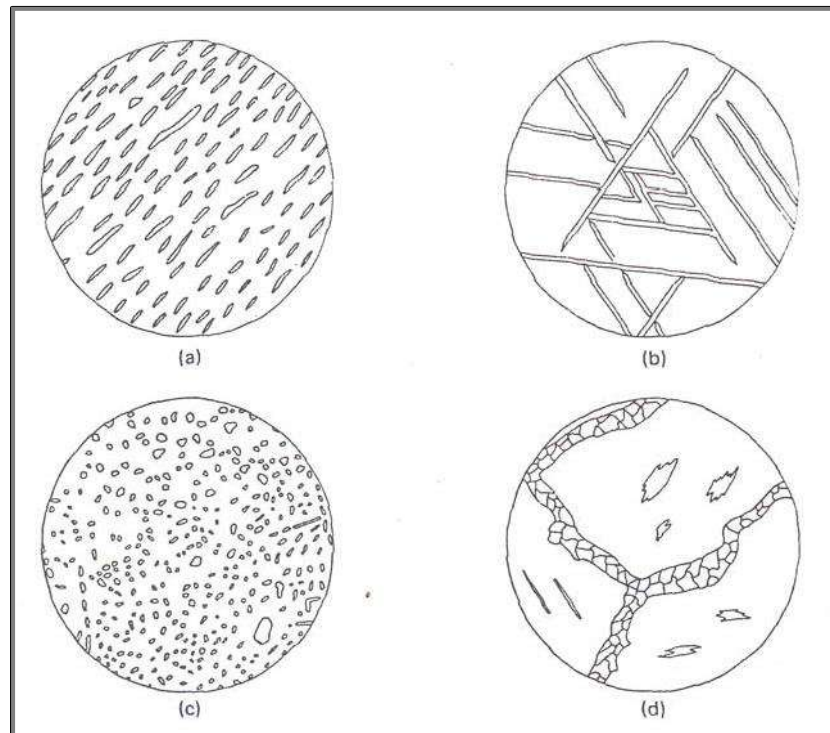
- Pseudomorf, walaupun secara komposisi sudah tergantikan menjadi mineral baru, seringkali bentuk mineral asal masih belum berubah
- Rim* mineral pada bagian tepi mineral yang digantikan
- Melebarnya urat dengan batas yang tidak tegas
- Tidak adanya pergeseran urat yang saling berpotongan
- Mineral pada kedua dinding rekahan tidak sama
- Adanya mineral yang tumbuh secara tidak teratur pada batas mineral lain



Gambar 2.14 Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986).

2.3.4.2 Tekstur *Exolution*

Mineral-mineral yang terbentuk sebagai *homogenous solid-solution*, pada saat temperatur mengalami penurunan, komponen terlarut akan memisahkan diri dari komponen pelarut, membentuk tekstur *exolution* (Gambar 2.15). Kenampakan komponen (mineral) terlarut akan membentuk inklusi-inklusi halus pada mineral pelarutnya. Inklusi-inklusi ini kadang teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur.



Gambar 2.15 Beberapa kenampakan khas tekstur *exolution* pada mineral sulfida dan oksida

2.3.5 Geothermometer Mineral Alterasi

Interaksi antara fluida panas (hidrotermal) dan batuan sampling pada sistem panasbumi dapat menghasilkan mineral-mineral sekunder yang dijadikan salah satu

indikator prospek atau tidaknya sistem tersebut. Pembentukan mineral ubahan akibat fluida hidrotermal tergantung pada temperatur, komposisi dan konsentrasi fluida, komposisi batuan asal, permeabilitas, tekanan, dan durasi aktivitas hidrotermal (Vina Oktavianty, 2017). Mineral hidrotermal sering digunakan sebagai geothermometer, berikut tabel mineral hydrothermal beserta suhu pembentukannya

Tabel 2.2 Geothermometer mineral (Reyes, 1990)

MINERALS	TEMPERATURE			
	100	200	300	340°C
A. NEUTRAL pH ALTERATION SUITE				
Smectite	←-----			
Illite ¹	-----→			
Biotite	-----→			
Chlorite	-----→			
Prehnite	-----→			
Opal ¹	←-----			
Cristobalite ¹	-----→			
Quartz ¹	-----→			
Adularia	-----→			
Hyalophane	-----→			
Laumontite	-----→			
Wairakite	-----→			
Incipient Epidote	-----→			
Epidote type 1	-----→			
Epidote type 2	-----→			
Epidote type 3	-----→			
Clinozoisite	-----→			
Titanite	-----→			
Pumpellyite	-----→			
Actinolite/Tremolite	-----→			
Dolomite	←-----			
Anhydrite	-----→			
Rutile	-----→			
B. ACID ALTERATION SUITE				
Kaolinite	←-----			
Dickite	-----→			
Pyrophyllite ²	-----→			
Illite + Pyrophyllite	-----→			
Diaspore	-----→			
Andalusite	-----→			
Zunyite	-----→			
Tourmaline	-----→			
Lazulite	-----→			