

**SKRIPSI**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI TIPE EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH BLOK “X DAN Y” WILAYAH EKSPLORASI  
PT. GORONTALO SEJAHTERA MINING DAERAH HULAWA  
KABUPATEN POHUWATO PROVINSI GORONTALO**

**DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH**

**SYAMSURIZAL**

**D611 15 001**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA  
2021**

**SKRIPSI**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI TIPE EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH BLOK “X DAN Y” WILAYAH EKSPLORASI  
PT. GORONTALO SEJAHTERA MINING DAERAH HULAWA  
KABUPATEN POHUWATO PROVINSI GORONTALO**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Strata satu (S1) Pada Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**OLEH**  
**SYAMSURIZAL**  
**D611 15 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA  
2021**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : **SYAMSURIZAL**  
NIM : **D61115001**  
Program Studi : **TEKNIK GEOLOGI**  
Jenjang : **S1**

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul :

**“STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI TIPE EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH BLOK X DAN Y WILAYAH EKSPLORASI PT.  
GORONTALO SEJAHTERA MINING DAERAH HULAWA KABUPATEN  
POHUWATO PROVINSI GORONTALO”**

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

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

Makassar, 11 Juni 2021

Yang Menyatakan



Syamsurizal

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI TIPE EPITERMAL  
SULFIDASI RENDAH BLOK “X DAN Y” WILAYAH EKSPLORASI  
PT. GORONTALO SEJAHTERA MINING DAERAH HULAWA  
KABUPATEN POHUWATO PROVINSI GORONTALO**

**DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH**

**SYAMSURIZAL  
D611 15 001**

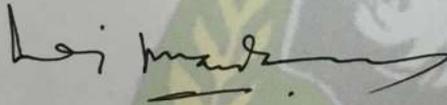
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam  
rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik  
Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal...

**07 JUNI 2021**

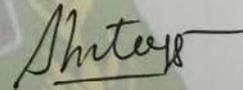
**Menyetujui**

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr.-Eng. Ir. Adi Maulana,**  
**S.T.,M.Phil**  
NIP. 19800428 200501 1 001



**Dr. Adi Tonggiroh, ST., M.T**  
NIP. 19650928 200003 1 002

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



**Dr.-Eng. Asri Jaya HS., ST., M.T**  
NIP. 19690924 1999802 1 001

## SARI

Daerah penelitian merupakan daerah eksplorasi PT. Gorontalo Sejahtera Mining, yang berada di daerah Hulawa, Kecamatan Butulia, Kabupaten Pohuwato, Gorontalo. Stratigrafi daerah ini tersusun atas empat satuan batuan tidak resmi yang berumur Miosen Akhir hingga Pliosen Akhir, secara urutan dari tua ke muda, yaitu satuan granodiorit porfiri, satuan dasit porfiri, satuan breksi diatrem dan satuan breksi hidrotermal. Struktur geologi berupa sesar geser Dulamayao berarah Baratlaut – Tenggara, memotong semua satuan batuan kecuali satuan granodiorit yang berumur Miosen Akhir. Alterasi Hidrotermal yang berkembang berupa zona silisifikasi, zona potasik, zona filik, zona argilik dan zona propilirik. Mineral sulfida dan logam dasar yang hadir berupa pirit, kalkopirit, arsenopirit, sphalerite, kovelit, pirhotit, molibdenit, marcasite, galena, goetit dan mineral oksida. Terdapat urat-urat dengan tebal 0,5-1 cm berupa kalsedon dan kuarsa dengan tekstur kristalin dan stockwork.

Berdasarkan data-data di atas, maka tipe mineralisasi di daerah penelitian tergolong endapan epitermal sulfida rendah. Mineralisasi ini dinilai berpotensi untuk dieksplorasi lebih lanjut dengan analisis lanjutan berupa data geofisika daerah penelitian dan analisis kadar dari vein, terutama zona alterasi silisifikasi.

**Kata kunci:** Hulawa, Pohuwato, Geologi, Alterasi Hidrotermal, Mineralisasi Epitermal, Sulfida Rendah.

### ***ABSTRACT***

Study area is an exploration area of PT. Gorontalo Sejahtera Mining, which is located in the Region of Hulawa, Buntulia District, Pohuwato Regency, Gorontalo. Stratigraphy of this area is composed of four lithologies unofficial from Late Miocene to Late Pliocene, in order from old to young, granodiorite porphyry unit, dacite porphyry unit, diatrem breccia unit and hydrothermal breccia unit. Geological structure of shear faults are northwest - southeast, its cut all the rocks except granodiorite porphyry unit from Late Miocene. Hydrothermal alteration zones that developed are silification zone, potassic zone, filic zone, argilic zone and propilitic zone. Sulfide minerals and base metal that presents are pyrite, calcopyrite, arsenopyrite, sphalerite, covelit, priohotit, molibdenit, marcasite, galena, goetit and oxide mineral. There are veins that have a 0.5 to 1 cm thick, like chalcedony and quartz, with crystalline and stockwork texture.

Based on the data, mineralization type in the study area classified as low sulphidation epithermal deposits. The mineralization is considered potentially to be further explored with further analysis of geophysical data of research area and content analysis of the vein, especially silification alteration zone.

**Keywords:** Pani Block, Pohuwato, Geology, Hydrothermal Alteration, Epithermal Mineralization, Low Sulphidation.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya lah sehingga penyusunan Skripsi dengan judul *“Studi Alterasi dan Mineralisasi Tipe Epitermal Sulfidasi Rendah Blok “X dan Y” Wilayah Eksplorasi PT. Gorontalo Sejahtera Mining Daerah Hulawa Kabupaten Puhowato Provinsi Gorontalo”* ini dapat terselesaikan tepat pada waktu yang direncanakan.

Untuk itu dengan perasaan penuh terima kasih penyusun memohonkan doa kehadiran-Nya, semoga seluruh pihak yang telah membantu, mendapatkan rahmat dan hidayah-Nya. Serta ucapan terimakasih penyusun kepada :

1. Bapak **Prof. Dr.-Eng. Ir. Adi Maulana, S.T., M.Phil.**, selaku Pembimbing I dalam penelitian Skripsi atas bimbingan dan arahnya kepada penulis selama mengadakan penelitian ini.
2. Bapak **Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T.**, selaku Pembimbing II dalam penelitian Skripsi atas bimbingan dan arahnya kepada penulis selama mengadakan penelitian ini.
3. Bapak **Dr.-Eng. Asri jaya HS, ST., M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu **Dr. Ratna Husain S.T., M.T.**, sebagai Penasehat Akademik Penulis pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuan dan mengajarkan ilmu geologi kepada penulis.

6. Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bantuan dalam pengurusan administrasi selama berkuliah kepada penulis.
7. Kedua Orang tua Penulis atas dukungannya baik moril maupun materil serta doa restu yang senantiasa terucapkan tiada henti yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis dalam menyelesaikan segala tantangan.
8. Teman-teman geologi angkatan 2015 "AGATE" yang selalu memberikan saran dan semangat dalam penulisan skripsi.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan dorongan yang diberikan selama ini.

Penyusun menyadari bahwa apa yang di buat ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan dan kekurangan pengetahuan, ilmu dan pengalaman penyusun . Tak ada gading yang tak retak, saya mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak, sehingga laporan ini menjadi suatu hal yang dapat berguna bagi orang banyak.

Akhir kata penyusun mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam laporan ini dan semoga laporan ini dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Amin.

Gowa, Juni 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Letak, Waktu dan Kesampaian Daerah.....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Geologi Regional.....	5
2.1.1 Fisografi Regional.....	5
2.1.2 Sruktur Geologi Regional .....	5
2.1.3 Stratigrafi Regional .....	11
2.2 Geologi Daerah Peneltian.....	19
2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	19
2.2.1.1 Satuan Bentangalam .....	19
2.2.1.2 Satuan Bentangalam Perbukitan Terjal.....	20
2.2.1.3 Satuan Bentangalam Perbukitan Miring.....	21

2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian.....	23
2.2.2.1 Satuan Granodiorit Porfiri .....	23
2.2.2.2 Satuan Dasit Porfiri.....	27
2.2.2.3 Satuan Breksi Diatreme .....	30
2.2.2.4 Satuan Breksi Hidrotermal.....	34
2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	41
2.2.3.1 Polas Struktur Daerah Penelitian .....	41
2.2.3.2 Struktur Kekar.....	42
2.2.3.3 Struktur Sesar.....	44
2.2.3.4 Mekanisme Pembentukan Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	46
2.3 Alterasi Hidrotermal .....	48
2.3.1 Tipe Alterasi.....	50
2.3.2 Geotermometer Mineral Alterasi .....	55
2.4 Tekstur Khusus Mineral Bijih .....	58
2.4.1 Tekstur <i>Infilling / Open Space Filling</i> .....	58
2.4.2 Tekstur <i>Replacement</i> .....	61
2.4.3 Tekstur <i>Exolution</i> .....	62
 BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN.....	 63
3.1 Variabel Penelitian.....	63
3.2 Metode Pengumpulan Data .....	63
3.3. Metode Analisis Data.....	64
3.3.1 Analisis Data Lapangan .....	64
3.3.2 Analisis Data Laboratorium .....	65
3.3.2.1 Analisis Petrografis .....	65
3.3.2.2 Analisis Mineragrafi .....	72
3.3.3 Tahap Penyusunan Skripsi .....	77
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 79
4.1 Alterasi Hidrotermal Daerah Hulawa .....	79

4.1.1 Karakteristik Alterasi Hidrotermal.....	79
4.1.2 Zona Alterasi.....	84
4.1.2.1 Zona Alterasi Silisifikasi ( <i>Strong Silisification</i> ).....	84
4.1.2.2 Zona Alterasi Potasik ( <i>Very Strong Potasic Overprinting Phyllic and Argilic</i> ).....	87
4.1.2.3 Zona Alterasi Filik ( <i>Medium Phyllic Overprinting Argilic</i> ) .....	93
4.1.2.4 Zona Alterasi Argilik ( <i>Strong Argilic</i> ) .....	97
4.1.2.5 Zona Alterasi Propilitik ( <i>Strong Prophyllitic</i> ).....	99
4.1.3 Zona Alterasi Hidrotermal Yang Berasosiasi Dengan Emas .....	102
4.2 Karakteristik Mineralisasi Bijih Daerah Hulawa .....	103
4.2.1 Jenis Mineral Bijih.....	104
4.2.2 Teksur Khusus Mineral Bijih Daerah Hulawa.....	106
4.2.2.1 Tekstur <i>Replacement</i> .....	107
4.2.2.2 Tekstur <i>Intergrowth</i> .....	111
4.2.2.3 Tekstur Inklusi.....	112
4.2.2.4 Tekstur Granular.....	113
4.2.2.5 Tekstur <i>Infilling / Open Space Filling</i> .....	115
4.2.3 Paragenesa Mineral Bijih Daerah Hulawa.....	116
4.2.2.4 Paragenesa Mineral Bijih Tahap I.....	117
4.2.2.4 Paragenesa Mineral Bijih Tahap II.....	118
4.2.2.4 Paragenesa Mineral Bijih Tahap III .....	120
4.2.2.4 Paragenesa Mineral Bijih Tahap IV .....	122
4.2.4 Karakteristik Urat.....	124
 BAB V PENUTUP .....	 128
5.1 Kesimpulan .....	129
5.2 Saran.....	129

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

- DESKRIPSI PETROGRAFI
- DESKRIPSI MINERAGRAFI
- DATA ASD (*Analytical Spectral Device*)
- PETA STASIUN
- PETA GEOMORFOLOGI
- PETA ZONA ALTERASI
- PETA GEOLOGI

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Hal
1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian .....	2
2.1 Pembagian Fisiografi Gorontalo yang mengacu pada Brahmany (2010). Kotak biru adalah daerah penelitian. Peta dimodifikasi dari Peta tingkat elevasi Provinsi Gorontalo.....	5
2.2 Elemen Struktur Geologi Sulawesi (Darman dan Sidi, 2000., dalam Nozanda, 2009). .....	9
2.3 Kolom stratigrafi daerah Tilamuta (Bachri dkk 1993). Satuan batuan yang ada di daerah penelitian ditunjukkan oleh kotak merah .....	18
2.4 Kenampakan bentangalam perbukitan terjal, difoto dari blok “Y” ke blok “X” daerah penelitian, arah foto, N 196°E .....	21
2.5 Kenampakan bentangalam perbukitan miring, difoto dari blok “Y” daerah penelitian, arah foto, N 92°E.....	22
2.6 Singkapan granodiorit porfiri stasiun RZ39B yang berada di Blok “Y” daerah penelitian yang telah teralterasi propilitik, sehingga menampilkan warna hijau kebiruan .....	25
2.7 Fotomikrograf sayatan Granodiorit Porfiri dengan nomor ST20 yang memperlihatkan piroksin (Px), Kuarsa (Qz) sebagai mineral primer dan orthoklas sekunder (Ort), kuarsa sekunder (Qz), klorit (Kl), Epidot (Ep), kalsit (Cal), Illite (Ill), aktinolit (Akt) dan mineral opa (Op) sebagai mineral alterasi.....	26
2.8 Singkapan Dasit Porfiri pada stasiun RZ32A di Sungai Dulamayo blok “X” daerah penelitian yang telah teralterasi filik-argilik. ....	29
2.9 Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiri dengan nomor ST13 yang memperlihatkan mineral primer kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) dan serisit (Ser), muscovit (Ms), smektit (Sm), kuarsa sekunder (Qz), feldspar sekunder (Fsp) dan mineral opa (Op) sebagai mineral alterasi... ..	30

2.10	Singkapan breksi diatrem kontak dengan dasit porfiri pada stasiun RZ34 yang telah teralterasi potasik. ....	32
2.11	Fotomikrograf sayatan Breksi Diatrem dengan nomor ST77 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer, <i>rock fragmen</i> (rf), gelas vulkanik (gv) dan serisit (ser), siderit (sid), kalsit (cal) dan mineral opaq (opq) sebagai mineral alterasi....	33
2.12	Singkapan breksi hidrothermal yang berada di Bok “Y” daerah penelitian pada satuan 25F. ....	35
2.13	Fotomikrograf sayatan breksi hidrotermal dengan nomor ST25F yang memperlihatkan kuarsa (Qz), orthoklas (ort) sebagai mineral primer, gelas vulkanik (gv) dan siderit (sid), serisit (ser), kalsit (cal) dan mineral opaq (opq) sebagai mineral alterasi.....	36
2.14	Hasil pengukuran kedudukan kekar stasiun RZ77 di Sungai Dulamayo .....	43
2.15	Kekar dan breksiasi pada stasiun RZ77 pada litologi breksi diatreme yang berada di Sungai Dulamayo.....	45
2.16	Kenampakan air terjun pada stasiun RZ60 pada litologi dasit porfiri..	45
2.17	Hubungan antara jenis sesar dan stress yang bekerja (Anderson,1951 dalam Sapiie dan Harsolumakso, 2008) .....	47
2.18	Model zona alterasi mineralisasi endapan tembaga –porfiri di San Manuel – Kalamazoo. a) Zona alterasi (Lowel dan Guilbert, 1970 dalam Guilbert dan Park, 1986),b) Zona alterasi modifikasi dari Lowel dan Guilbert, 1970.....	55
2.19	Geothermometer mineral (Reyes, 1990). ....	56
2.20	Asosiasi endapan mineral dengan temperatur dan tekanan (Neiva, 1982).....	57
2.21	Foto kiri memperlihatkan kenampakan vuggy quartz, sedangkan foto kanan memperlihatkan tekstur crustiform-colloform, sebagai penciri tekstur pengisian.....	59
2.22	Beberapa kenampakan tekstur pengisian. <i>Vuggy</i> atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal <i>zoning</i> , d). Gradasi ukuran	

	Kristal, e).Tekstur <i>crutiform</i> , f). Tekstur <i>cockade</i> , g).Tekstur triangular, h). <i>Comb structure</i> , i).Pelapisan simetris.....	60
2.23	Beberapa kenampakan tekstur penggantian (Guilbert dan Park, 1986).....	61
2.24	Beberapa kenampakan khas tekstur <i>exolution</i> pada mineral sulfida dan oksida (Evans, 1993). ....	62
3.1	Pemotongan sampel batuan yang telah ditandai.....	67
3.2	Sampel batuan yang sudah dipotong, yang sebelumnya telah diberi tanda .....	67
3.3	Penghalusan sampel batuan yang telah dipotong menggunakan gerinda berputar.....	68
3.4	Pengeringan sampel batuan dengan menggunakan <i>Hot Plate</i> .....	69
3.5	Menipiskan sayatan dengan menggunakan gerinda <i>slide</i> .....	70
3.6	Penghalusan sampel batuan menggunakan sebuk <i>carborundum</i> .....	71
3.7	Sayatan tipis siap untuk diamati dibawah mikroskop polarisasi. ....	72
3.8	Pencetakan sayatan poles dengan cara menambahkan resin pada cetakan.....	73
3.9	Alat <i>Spesimen Mount Press</i> untuk mencairkan bubuk resin dalam cetakan.....	74
3.10	Penghalusan sampel batuan menggunakn serbuk <i>Carborundum</i> .....	75
3.11	Pengecekan sayatn poles dibawah mikroskop .....	75
3.12	Pemolesan dengan menggunakan <i>Polishing Alumina</i> .....	76
3.13	Sayatan Poles Siap Untuk Diamati.....	77
3.14	Bagan Alir Tahapan Penelitian .....	78
4.1	Sampel Breksi Hidrotermal stasiun RZ25F yang teralterasi silisifikasi .....	85

4.2	Fotomikrograf sayatan Breksi Hidrotermal dengan nomor ST25 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), biotit (Bio) sebagai mineral primer dan serisit (Ser), siderit (Sid) dan oksida besi (Fe-Ox) sebagai mineral alterasi .....	86
4.3	Sampel dasit faneroporfiritik stasiun RZ41 yang teralterasi potasik ...	87
4.4	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST741 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer dan, kalsit (Cal), adluaria (ad), illite (ill) dan biotit sekunder (bio) sebagai mineral alterasi. ....	88
4.5	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST48B yang memperlihatkan kuarsa (Qz), biotit (bio) sebagai mineral primer dan muscovit (ms), serisit (ser), mika (mk), mineral opa (opq) dan kuarsa sekunder (qz) sebagai mineral sekunder.....	90
4.6	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST34 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer dan serisit (ser), biotit sekunder (bio), muscovit (ms), smektit (sm), feldspar sekunder (fsp), kalsit (cal), mika (mk) dan mineral opa (opq) sebagai mineral alterasi.....	92
4.7	Sampel batuan dasit faneroporfiritik stasiun RZ45 yang teralterasi filik .....	86
4.8	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST45 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer dan serisit (Ser), feldspar sekunder (fsp), biotit sekunder (bio) dan mineral opa (opq) sebagai mineral alterasi.....	94
4.9	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST32 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer dan serisit (ser), muscovit (ms), illite (ill), mika (mk), kalsit (cal) dan mineral opa (opq) sebagai mineral alterasi. ....	96
4.10	Sampel batuan dasit faneroporfiritik stasiun RZ78B yang teralterasi argilik .....	97
4.11	Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiroafanitik dengan nomor ST06 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral	

- primer dan serisit (ser), illite (ill), illite-smektit (ill-sm), siderit (sid), smektit (sm) dan mineral opaq (opq) sebagai mineral alterasi..... 98
- 4.12 Sampel batuan granodiorit stasiun RZ54 yang teralterasi propilitik.... 99
- 4.13 Fotomikrograf sayatan granodiorit porfiri dengan nomor ST20 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), piroksin (px) sebagai mineral primer dan mineral alterasi orthoklas sekunder (ort), kuarsa sekunder (qz), klorit (kl), epidot (ep), kalsit (cal), illite (ill), aktinolit (akt) dan mineral opaq (opq) ..... 101
- 4.14 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 25G yang menunjukkan kandungan mineral sfalerit dan kovelit *me-replacement* mineral pirohotit (B) Fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan kandungan mineral kovelit *me-replacement* mineral kalkopirit (C) Fotomikrograf sayatan poles ST 32 yang menunjukkan kandungan mineral arsenopirit *me-replacement* mineral kalkopirit (D) Fotomikrograf sayatan poles ST 25 yang menunjukkan kandungan mineral marcasit dan kovelit *me-replacement* mineral sfalerit (E) Fotomikrograf sayatan poles ST 48 yang menunjukkan kandungan mineral kovelit *me-replacement* mineral kalkopirit (F) Fotomikrograf sayatan poles ST 25D yang menunjukkan kandungan mineral arsenopirit dan pirit *me-replacement* mineral sfalerit..... 109
- 4.15 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan kandungan mineral arsenopirit *me-replacement* mineral sfalerit kemudian *direplacement* lagi oleh mineral pirit dan mineral kalkopirit hadir sebagai inklusi dalam mineral sfalerit (B) Fotomikrograf sayatan poles ST 30 yang menunjukkan kandungan mineral kovelit *me-replacement* mineral kalkopirit (C) Fotomikrograf sayatan poles ST 45 yang menunjukkan kandungan mineral pirit *me-replacement* mineral kalkopirit (D) Fotomikrograf sayatan poles ST 25G yang menunjukkan kandungan mineral pirohotit dan kovelit *me-replacement* mineral sfalerit (E) Fotomikrograf sayatan poles ST 30 yang menunjukkan kandungan mineral arsenopirit, kovelit dan kalkopirit *me-replacement* mineral pirit (F) Fotomikrograf sayatan poles ST 32 yang menunjukkan kandungan mineral kovelit *me-replacement* mineral pirit. .... 110

- 4.16 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 48 yang menunjukkan kandungan mineral pirit dan kalkopirit tumbuh bersama (B) fotomikrograf ST 30 yang menunjukkan kandungan mineral kalkopirit, arsenopirit dan pirit yang tumbuh bersama kemudian hadir mineral galena yang mengisi rekahan (*open space filling*). .....  
111
- 4.17 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan kandungan mineral kalkopirit dan sfalerit yang tumbuh bersama (B) fotomikrograf sayatan poles ST 45 yang menunjukkan kandungan mineral pirit dan kalkopirit yang tumbuh bersama (C) fotomikrograf ST 32 yang menunjukkan mineral kalkopirit tumbuh bersama mineral arsenopirit (D) fotomikrograf sayatan poles ST 48 yang menunjukkan kandungan mineral kalkopirit yang tumbuh bersama mineral arsenopirit.....  
112
- 4.18 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 39 yang menunjukkan inklusi mineral galena dalam mineral sfalerit (B) fotomikrograf sayatan poles ST 48 yang menunjukkan inklusi mineral galena dalam mineral sfalerit (C) fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan inklusi mineral kalkopirit dalam mineral sfalerit yang menunjukkan mineral sfalerit terbentuk terlebih dahulu (D) fotomikrograf sayatan poles ST 39 yang menunjukkan inklusi mineral kovelit dalam mineral kalkopirit yang menandakan mineral kalkopirit terbentuk dahulu dari mineral kovelit.....  
113
- 4.19 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 20 yang menunjukkan kandungan mineral pirit dan arsenopirit yang memiliki tekstur granular (B) fotomikrograf sayatan poles ST 45 yang menunjukkan kandungan mineral kalkopirit dan arsenopirit yang memiliki tekstur granular (C) fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan kandungan mineral pirit dan arsenopirit yang memiliki tekstur granular (D) fotomikrograf sayatan poles ST 30 yang menunjukkan mineral kalkopirit dan arsenopirit yang memiliki tekstur granular.....  
114
- 4.20 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 20 yang menunjukkan mineral arsenopirit hadir mengisi rekahan dan memiliki tekstur euhedral (B) fotomikrograf sayatan poles ST 20 yang menunjukkan mineral pirit

- hadir mengisi rekahan dan memiliki tekstur euhedral.....  
115
- 4.21 (A) Fotomikrograf sayatan poles ST 39 yang menunjukkan adanya vein yang terisi oleh mineral pirit dan arsenopirit (B) fotomikrograf sayatan poles ST 39 yang menunjukkan adanya vein yang terisi oleh mineral arsenopirit, pirit dan kalkopirit (C) fotomikrograf sayatan poles ST 62 yang menunjukkan mineral arsenopirit mengisi rekahan pada mineral kalkopirit (D) fotomikrograf sayatan poles ST 32 yang menunjukkan mineral pirit mengisi rekahan batuan yang berwarna coklat kehitaman yang mengelilingi mineral kalkopirit.....  
116
- 4.22 Tahap I (A) fotomikrograf ST 48 menunjukkan mineral pirit dan kalkopirit yang memiliki tekstur granular dan tumbuh bersama (*intergrowth*) (B) fotomikrograf ST 45 menunjukkan mineral arsenopirit dan kalkopirit yang memiliki tekstur granular dan tumbuh bersama (*intergrowth*) (C) fotomikrograf ST 62 menunjukkan mineral sfalerit dan kalkopirit yang memiliki tekstur tumbuh bersama (*intergrowth*) (D) fotomikrograf ST 62 menunjukkan mineral pirit dan arsenopirit yang memiliki tekstur granular dan tumbuh bersama (*intergrowth*).. .....  
118
- 4.23 Tahap II (A) fotomikrograf ST 25D menunjukkan mineral pirit dan arsenopirit yang *me-replacement* mineral sfalerit dan mineral pirohotit yang *me-replacement* mineral sfalerit (B) fotomikrograf ST 39 menunjukkan mineral arsenopirit dan kovelit yang *me-replacement* mineral kalkopirit (C) fotomikrograf ST25 menunjukkan mineral marcasit dan kovelit *me-replacement* mineral sfalerit (D) fotomikrograf ST 62 menunjukkan mineral arsenopirit dan kovelit *me-replacement* mineral sfalerit dan mineral arsenopirit mengisi rekahan mineral kalkopirit .....  
119
- 4.24 Tahap II (A) fotomikrograf ST39 menunjukkan adanya vein yang terisi oleh mineral pirit dan arsenopirit (*open space filling*) (B) fotomikrograf ST39 menunjukkan mineral adanya vein yang terisi oleh mineral arsenopirit, pirit dan kalkopirit (*open space filling*).....  
120

- 4.25 Tahap III (A) fotomikrograf ST39 menunjukkan mineral galena hadir sebagai inklusi dari mineral sfalerit yang menandakan mineral sfalerit hadir terlebih dahulu (B) fotomikrograf ST25G menunjukkan mineral kovelit dan pirohotit *me-replacement* hampir seluruh mineral sfalerit.....  
121
- 4.26 Tahap III (A) fotomikrograf ST62 menunjukkan mineral pirit *me-replacement* mineral sperilit dan mineral kalkopirit hadir sebagai inklusi dalam mineral Sfalerit (B) fotomikrograf ST62 menunjukkan mineral kovelit *me-replacement* hampir seluruh mineral kalkopirit (C) fotomikrograf ST25G menunjukkan mineral pirohotit *me-replacement* mineral sfalerit kemudian *direplacement* lagi oleh mineral kovelit (D) fotomikrograf ST45 menunjukkan mineral molibdenit *me-replacement* mineral kalkopirit dan mineral pirit *me-replacement* mineral kalkopirit.. .....  
122
- 4.27 Tahap IV (A) fotomikrograf ST25F menunjukkan mineral arsenopirit telah berubah menjadi mineral oksida (B) fotomikrograf ST25 menunjukkan mineral goetit dan pirohotit yang hadir sebagai hasil dari proses pengkayaan mineral dan mengisi rekahan (*open space filling*).....  
123
- 4.28 Singakapan batuan breksi hidrotermal stasiun RZ25F yang menampilkan urat kuarsa dan kalsedon, dengan keebalan 0,5 – 1 cm dengan tekstur kristalin. ....  
126
- 4.29 Sampel batuan breksi hidrotermal ST25F yang menampilkan urat kuarsa dan kalsedon dengan tekstur *stockwork*.....  
126
- 4.30 Sampel breksi hidrotermal stasiun RZ25F yang memperlihatkan adanya tekstur *vuggy quartz*, *lattice* dan *sugary* dengan tipe alterasi silisifikasi, zona alterasi terbaik terbentuknya emas. ....  
127
- 4.31 Sampel Breksi Hidrotermal yang memperlihatkan adanya tekstur *veinlet* dan *stockwork*. ....  
128

## DAFTAR TABEL

Tabel		Hal
2.1	Mineralogi Alterasi di Dalam Sistem Hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996).....	50
4.1	Tabel himpunan mineral alterasi semua sampel penelitian.....	80
4.2	Tabel temperatur alterasi silisifikasi (modifikasi Reyes, 1990).....	86
4.3	Tabel temperatur alterasi potasik (modifikasi Reyes, 1990).....	89
4.4	Tabel temperatur alterasi potasik – filik (modifikasi Reyes, 1990).....	90
4.5	Tabel temperatur alterasi potasik – argilik (modifikasi Reyes, 1990) .	92
4.6	Tabel temperatur aterasi filik (modifikasi Reyes, 1990).....	95
4.7	Tabel temperatur alterasi filik – argilik (modifikasi Reyes, 1990).....	96
4.8	Tabel temperatur alterasi argilik (modifikasi Reyes, 1990).....	99
4.9	Tabel temperatur alterasi propilitik (modifikasi Reyes, 1990) ..... 102	
4.10	Keterdapatn mineral bijih pada pengamatan mineragrafi dan tekstur yang terbentuk pada setiap sayatan poles..... 107	
4.11	Paragenesis mineralisasi di daerah Hulawa Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo ..... 124	

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Provinsi Gorontalo merupakan salah satu daerah yang memiliki karakteristik geologi yang sangat menarik, baik untuk kepentingan studi geologi maupun untuk tujuan eksplorasi prospek sumber daya mineral. Selain kondisi tektoniknya yang kompleks karena dipengaruhi oleh aktivitas subduksi di sepanjang bagian utara dan timur lengan Utara Sulawesi, kehadiran batuan terobosan atau intrusi yang berasosiasi dengan mineral ekonomis mengindikasikan adanya sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal inilah yang mengakibatkan terbentuknya alterasi dan mineralisasi pada sekitar daerah Gorontalo (Caira and Pearson, 1999 )

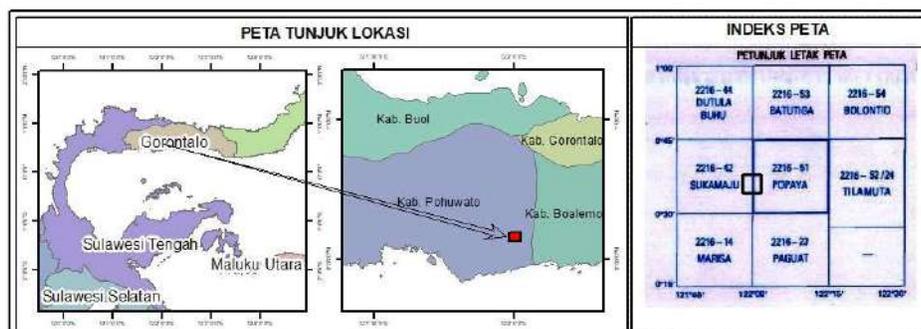
Provinsi Gorontalo merupakan daerah yang sangat potensi akan kekayaan sumberdaya mineral. *Van Bemmelen* seorang geologist asal Belanda pada tahun 1949 telah mencatat bahwa di daerah Gorontalo pada tahun 1896 sampai 1929 telah di lakukan penambangan emas, perak dan timah secara sporadis.

Salah satu daerah yang mengandung potensi emas adalah daerah Hulawa, Kabupaten Pohuwato, Provinsi Gorontalo. Di daerah ini keterdapatan mineralisasi emas masuk dalam wilayah konsesi PT. Gorontalo Sejahtera Mining. Pada umumnya tipe endapan emas yang dijumpai daerah Gorontalo merupakan tipe porfiri, epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah (Van Leuwen dan Pieter, 2011)

Studi alterasi dan mineralisasi di daerah Kabupaten Pohuwato sudah banyak dilakukan penelitian, namun untuk daerah Hulawa terutama blok X dan Y PT. Gorontalo Sejahtera Mining belum pernah dilakukan penelitian secara detail. Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan penelitian alterasi dan mineralisasi pada daerah Hulawa Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo.

## 1.2 Letak, Waktu dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian termasuk dalam daerah Kabupaten Pohuwato, Provinsi Gorontalo. Secara astronomis daerah penelitian terletak pada koordinat  $121^{\circ}59'40''$  BT -  $121^{\circ}1'30''$  BT dan  $0^{\circ}33'45''$  LS -  $0^{\circ}33'45''$  LS  $0^{\circ}35'15''$  LS yang terletak dalam wilayah KP Blok "X dan Y" PT. Gorontalo Sejahtera Mining. Daerah penelitian termasuk dalam lembar Sukamaju dan lembar Popaya skala 1:50.000 yang diterbitkan oleh BAKOSURTANAL tahun 1990. Daerah penelitian mencakup luas wilayah  $\pm 260$  Ha<sup>2</sup>. Daerah penelitian berada disebalah barat kota Gorontalo yang berjarak sekitar 132 Km dan dapat ditempuh sekitar 4 jam dengan menggunakan kendaraan bermotor roda dua atau roda empat menuju Desa Hulawa, Kecamatan Buntulia, kemudian dilanjutkan berjalan kaki selama 2 jam ke daerah penelitian.



Gambar 1.1 Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian

### **1.3 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dipecahkan dalam penelitian ini yaitu, pertama, bagaimana kondisi geologi daerah penelitian serta hubungannya dengan proses alterasi dan mineralisasi daerah penelitian.

Selain itu pola penyebaran dari alterasi hidrotermal dan mineralisasi daerah penelitian juga akan didiskusikan.

### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini penulis membatasi masalah pada daerah penelitian berdasarkan pengamatan pada kondisi geologi yang meliputi geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi daerah penelitian. Pembahasan juga meliputi tentang tipe alterasi dan mineralisasi yang terjadi, serta paragenesis mineral bijih.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui tipe alterasi dan mineralisasi hidrotermal di daerah penelitian.
2. Mengetahui pengaruh kondisi geologi hubungannya dengan alterasi dan mineralisasi hidrotermal daerah penelitian.
3. Mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih pada daerah penelitian.

### **1.6 Manfaat Penelitian.**

Manfaat penelitian ini yaitu dengan tersedianya data geologi, alterasi dan mineralisasi daerah penelitian akan memberikan peluang pengembangan untuk pertambangan. Data tersebut menjadi penambah *database* keberadaan sumberdaya

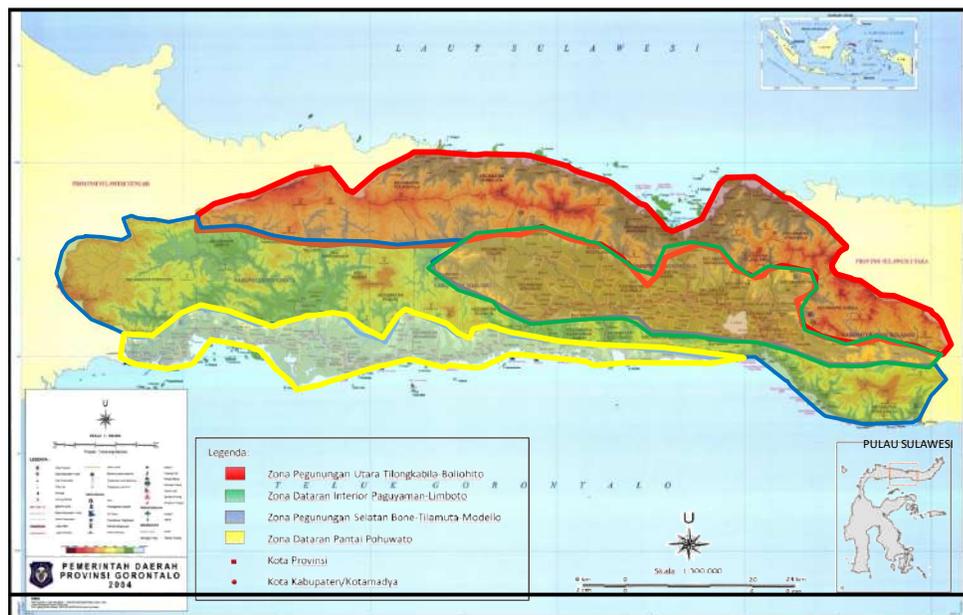
mineral di Provinsi Gorontalo serta menjadi acuan apakah lokasi tersebut layak atau tidak untuk dilanjutkan ke tahap pemboran hingga eksploitasi. Disisi lain secara tidak langsung dapat menjadi data pendukung untuk memahami aktifitas proses hidrotermal di sekitar gunung Pani.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

#### 2.1.1 Fisiografi Regional

Secara regional, geologi daerah penelitian termasuk dalam Lembar Talamuta (Bachri dkk, 1993), yang merupakan bagian dari Lengan Utara Sulawesi. Secara fisiografis, yaitu pembagian zona bentang alam yang merupakan representasi batuan dan struktur geologinya, lembar ini mencakup empat zona fisiografis utama Gorontalo, yaitu Zona Pegunungan Utara Telongkabila-Boliohuto, Zona Dataran Interior Paguyaman-Limboto, Zona Pegunungan Selatan Bone-Tilamuta-Modello, dan Zona Dataran Pantai Pohuwato (Brahmantyo, 2010) (Gambar 2.1).



**Gambar 2.1** Pembagian Fisiografi Gorontalo yang mengacu pada Brahmantyo (2010). Kotak biru adalah daerah penelitian. Peta dimodifikasi dari Peta tingkat elevasi Provinsi Gorontalo.

### **1. Zona Pegunungan Utara Tilongkabila Boliohito**

Zona ini umumnya terdiri dari formasi-formasi batuan gunung api berumur Miosen – Pliosen (kira-kira 23 juta hingga 2 juta tahun yang lalu). Umumnya terdiri dari batuan beku intermedier hingga asam, yaitu batuan-batuan intrusif berupa diorite granodiorit, dan beberapa granit. Batuan lainnya merupakan batuan sedimenter bersumber dari gunung api terdiri dari lava, tuf, breksi, atau konglomerat.

Asosiasi batuan-batuan tersebut membawa pada kandungan mineral logam yang berharga, khususnya emas. Tambang-tambang emas rakyat tersebar di zona ini, seperti di Dutula Nantu, sungai yang berasal dari Pegunungan Boliohuto (+ 2065 m). Namun, hampir seluruh zona ini merupakan bagian dari Taman Nasional Bogani Nani Wartabone atau Suaka Marga Satwa Nantu, sehingga eksplorasi yang lebih besar terhadap kandungan emas sulit untuk dilaksanakan. Namun justru dengan demikian, hal itu merupakan cadangan dan pusaka Gorontalo yang dapat diwariskan kelak di masa yang akan datang jika terjadi masa-masa yang paling sulit.

### **2. Zona Dataran Interior Paguyaman-Limboto**

Zona kedua merupakan cekungan di tengah-tengah Provinsi Gorontalo, yaitu Dataran Interior Paguyaman-Limboto. Dataran yang cukup luas yang terbentang dari Lombongo sebelah timur Kota Gorontalo, menerus ke Gorontalo, Danau Limboto, hingga Paguyaman, dan Botulantio di sebelah barat, merupakan pembagi yang jelas antara pegunungan utara dan selatan. Dataran ini merupakan cekungan yang diduga dikontrol oleh struktur patahan normal seperti dapat

diamati di sebelah utara Pohuwato di Pegunungan Dapi-Utilemba, atau di utara Taludaa di Gunung Ali, Bone.

Di Dataran Paguyaman hingga Danau Limboto, menurut Peta Geologi Lembar Tilamuta (Bachri, dkk. 1993, op.cit. Brahmantyo, 2010), pada Kala Pleistosen (sejak juta tahun yang lalu), pernah merupakan danau yang sangat luas. Bahkan, pada waktu yang sedikit lebih tua, yaitu pada Plio-Pleistosen, perbukitan sekeliling Danau Limboto adalah laut dangkal dengan terumbu karang, seperti Taman Wisata Laut Olele, tetapi pada waktu 2 juta tahun yang lalu.

Sejak itu, proses-proses tektonik telah mengangkat laut ini menjadi lebih dangkal yang akhirnya surut. Setelah menjadi dataran, cekungan ini menjadi danau yang luas. Tetapi kembali terjadi proses pendangkalan hingga sekarang dan hanya menyisakan Danau Limboto kira-kira seluas 56 km<sup>2</sup> dengan kedalaman 2,5 m yang merupakan kedalaman terdangkal dari seluruh danau di Indonesia (Lehmusluoto dan Machbub, 1997., op.cit. Brahmantyo, 2010). Proses-proses tektonik pengangkatan daratan yang memang aktif di Indonesia Timur menyebabkan drainase menjadi lebih baik. Air danapun berproses menyusut dan sekarang ditambah dengan proses sedimentasi dari perbukitan di sekelilingnya yang mempercepat proses pendangkalan Danau Limboto.

### **3. Zona Pegunungan Selatan Bone-Tilamuta-Modello**

Zona ini umumnya terdiri dari formasi-formasi batuan sedimenter gunung api berumur sangat tua di Gorontalo, yaitu Eosen – Oligosen (kira-kira 50 juta hingga 30 juta tahun yang lalu) dan intrusi-intrusi diorit, granodiorit, dan granit berumur Pliosen. Batuan gunung api tua umumnya terdiri dari lava basalt,

lava andesit, breksi, batu pasir dan batu lanau, beberapa mengandung batu gamping yang termetamorfosis. Seperti halnya di utara, asosiasi batuan-batuan tersebut juga membawa pada kandungan mineral logam emas yang ditambang secara manual oleh rakyat, seperti di Bone Pantai, Tilmuta, dan Gunung Pani, Marisa.

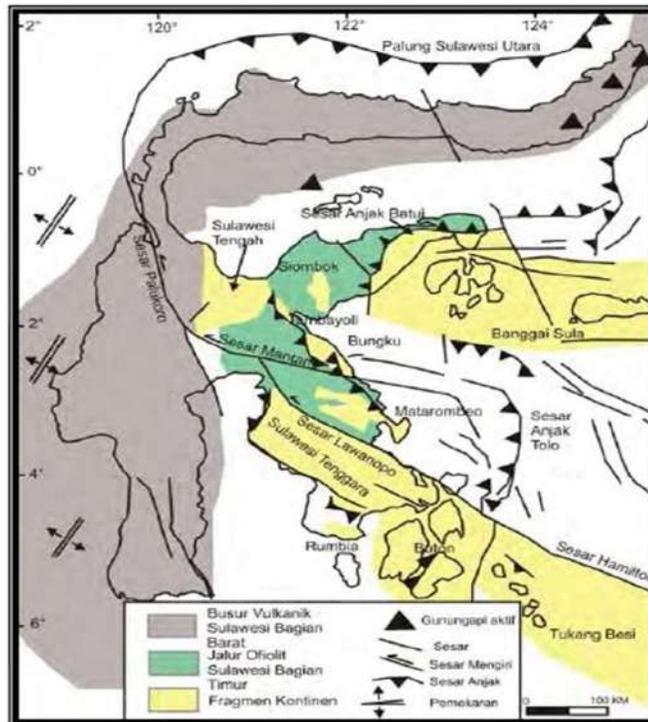
#### **4. Zona Dataran Pantai Pohuwato.**

Zona terakhir adalah zona yang relatif terbatas di Dataran Pantai Pohuwato. Dataran yang terbentang dari Marisa di timur hingga Torosiaje dan perbatasan dengan Provinsi Sulawesi Tengah di barat, merupakan aluvial pantai yang sebegini besar tadinya merupakan daerah rawa dan zona pasang-surut. Hingga sekarang, dibagian selatan, masih didapati rawa-rawa bakau (mangrove) yang luas, yang sebenarnya merupakan rumah bagi burung endemis Wallacea, burung maleo.

#### **2.1.2 Struktur Geologi Regional**

Perkembangan tektonik Sulawesi dipengaruhi oleh zona konvergen kompleks antara Lempeng Eurasia, Pasifik dan lempeng Australia. Peristiwa utama dari hubungan ketiga lempeng ini adalah kolisi fragmen kontinen Banggai-Sula dengan busur Sulawesi, yang menghasilkan rotasi dari lengan utara sebesar 90° dan sekarang terlihat orientasi Timur – Barat (Carlile dkk, 1989).

Struktur utama Sulawesi berupa Palung Minahasa, Sistem Sesar Palu-Koro, Sesar Matano, Sesar Lawonopo, Sesar Kaloka dan Sesar Kabaena, Sesar anjak Batui, Sesar anjak Poso dan Sesar Walane (Gambar 2.2).



**Gambar 2.2** Elemen Struktur Geologi Sulawesi (Darman dan Sidi, 2000., dalam Nozanda, 2009).

Caira dan Pearson (1999) menyimpulkan sejarah tektonik daerah Sulawesi sebagai berikut:

#### 1. Eosen

Pada kala Eosen terjadi perkembangan busur Sulawesi berarah Barat-Timur yang diakibatkan subduksi lempeng Hindia-Australia ke arah utara yang menujam ke bawah batas tenggara lempeng Eurasia. Pada periode ini terjadi perkembangan

struktur sesar arc-paralel dan arc-normal.

#### 2. Miosen Awal-Tengah

Pada kala ini terjadi kolisi antara batas utara benua Australia dan batas selatan Sulawesi dengan subduksi aktif yang menyebabkan perkembangan sistem

sesar datar mengiri Sorong. Subduksi berlanjut di bawah Sulawesi Utara dari Tenggara ke Baratlaut sepanjang palung berarah Timurlaut di batas Laut Maluku. Hall (1996), op.cit. Caira dan Pearson (1999), berdasarkan model paleomagnetik, menyebutkan bahwa peristiwa di atas disebabkan rotasi lempeng Laut Filipina yang bergerak searah jarum jam. Di Sulawesi Utara, aktivitas gunungapi yang membentuk busur Sulawesi berlanjut dengan adanya intrusi diorit-granodiorit pada struktur arc-paralel.

### 3. Miosen Akhir

Pada kala ini terjadi kolisi antara fragmen kontinen Sula dengan Sulawesi Tengah. Kolisi ini menyebabkan pergerakan sesar datar mengiri sepanjang Sesar Matano dan Sesar Palu (Silver dkk., 1983., op.cit. Caira dan Pearson, 1999). Bagian barat fragmen kontinen ini menujam ke bawah kerak samudera pada cekungan Gorontalo dengan arah baratlaut (Silver dkk, 1983., op.cit. Caira dan Pearson, 1999). Peristiwa ini menyebabkan rezim sesar mengangan berarah Baratlaut di Sulawesi Utara yang kemudian menyebabkan reaktivasi mengangan pada pasangan sesar arc-paralel dan arc-normal serta dextral- riftin pada struktur arc-paralel yang menimbulkan struktur graben dan pull- apart basin. Pada kala ini Palung Sulawesi Utara berkembang sejalan dengan rotasi busur Sulawesi sepanjang Sesar Palu (Silver dkk, 1983., op.cit. Caira dan Pearson, 1999)

### 4. Pliosen-Resen

Pada kala ini kolisi platform sunda berhenti, begitu juga subduksi berarah Baratlaut di bawah Lengan Utara bagian tengah. Subduksi dengan arah

Barat- Timur berlanjut hingga batas barat Laut Maluku, dari ujung timur Sesar Anjak Batui hingga ke timur Sesar Sangihe. Subduksi ini menyebabkan perkembangan busur vulkanik Sangihe-Minahasa. Berhentinya subduksi pada lengan utara Sulawesi menyebabkan adanya rezim gaya sinistral pada daerah ini. Reaktifasi sesar-sesar yang ada menyebabkan adanya zona dilatasi baru yang didominasi oleh arah Timur-Tenggara. Struktur-struktur ini disertai oleh intrusi felsik berumur Pliosen dan proses mineralisasi. Pada saat ini vulkanisme berumur Pliosen berkembang sepanjang busur Sulawesi.

Struktur regional Sulawesi Utara didominasi oleh struktur arc-paralel berarah Barat-Timur hingga Timur-Tenggara yang diperkirakan berhubungan dengan subduksi Miosen berarah Timurlaut yang berasal dari arah Tenggara dalam kondisi rezim tektonik sesar datar manganan. Struktur-struktur berarah Timurlaut diperkirakan merupakan struktur dilasi hasil reaktivasi gerak mengiri struktur arc-normal Miosen berarah Baratlaut (membentuk pasangan sesar mendatar) selama aktivitas tektonik Pliosen – Resen (Caira dan Pearson, 1999). Rezim tektonik sesar mengiri ini kemungkinan berhubungan dengan subduksi arc-normal berumur Pliosen yang bergerak ke arah barat dari Palung Sangihe.

### **2.1.3 Stratigrafi Regional**

Bachri dkk (1994), membagi daerah Tilamuta ke dalam beberapa satuan yang dapat dikelompokkan ke dalam tiga bagian, yaitu endapan permukaan dan batuan sedimen, batuan gunungapi, dan batuan terobosan (Gambar 2.3). Adapun satuan batuan tersebut dari tua ke muda, yaitu:

### **1. Formasi Tinombo (Teot)**

Satuan ini merupakan satuan batuan tertua yang tersingkapa di Lembar Tilamuta, dengan penyusun utama berupa batuan gunungapi berselingan dengan batuan sedimen dan sedikit batuan malihan lemah. Batuan gunung api terdiri dari lava basalt, lava spilitan, lava andesit, dan breksi gunungapi. Batuan sedimen terdiri dari batupasir wake, batulanau, batupasir hijau, batugamping merah, dan batugamping abu-abu. Sebagian dari batuan sedimen ini mengalami pemalihan derajat rendah. Formasi ini terbentuk pada lingkungan laut dalam dan diperkirakan berumur Eosen hingga Oligosen. Secara tak selaras formasi ini ditindih oleh Formasi Dolokapa (Tmd), Formasi Randangan (Tmro, dan Batuan Gunungapi Bilungala (Ymbv).

### **2. Satuan Gabro (Teog)**

Satuan ini tersusun atas gabro, mikrogabro, dan diabas. Gabro dan mikrogabro berwarna abu-abu tua, holokristalin terepidotkan dan terkloritkan, mengandung hornblende yang sangat dominan. Sedangkan diabas berwarna abu-abu, berbutir sedang, berstruktur diabasik yang telah mengalami pencenangaan. Jumlah mineral bioti cukup banyak dan umumnya terkloritkan. Diduga gabro ini terbentuk bersamaan dengan batuan gunungapi yang terdapat dalam Formasi Tinombo, sehingga umurnya diperkirakan berkisar antara Eosen hingga Oligosen.

### **3. Diorit Bone (Tmb)**

Satuan ini terdiri dari diorite masif berukuran sedang sampai kasar dengan tekstur tidak seragam, hipidiomorfik sampai faneromorfiritik, dengan fenokris

piroksen dan feldspar yang mencapai ukuran 0,5 cm. Disamping itu dijumpai variasi susunan dari diorit kuarsa, granodiorit sampai adamelit, dimana variasi ini tersusun oleh andesine, kuarsa dan hornblenda. Diorite Bone yang berbutir halus memiliki susunan mineral yang mirip batuan andesitan dari Batuan Gunungapi Bilungala. Berdasarkan hal tersebut, Diorit Bone diduga sebagai magma induk dari Batuan Gunungapi Bilungala yang berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir (Trail, 1974, op.cit. Bachri dkk, 1994). Oleh karena itu, Diorit Bone diperkirakan berumur Miosen Awal hingga Miosen Tengah.

#### **4. Formasi Dolokapa (Tmd)**

Satuan ini terutama tersusun oleh batuan sedimen dengan selingan batuan gunungapi, batuan sedimennya terdiri dari batupasir wake, batulanau, batulumpur, dan konglomerat. Batuan gunungapinya terdiri dari tuf, tuf lapili, aglomerat, breksi, dan lava, dengan komposisi andesitan dan basalan. Berdasarkan hasil analisis paleontology dan kedudukan stratigrafinya yang menindih takselaras Formasi Tinombo yang berumur Eosen, maka umur Formasi Dolokapa diperkirakan Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir. Lingkungan pengendapannya adalah “innersublitoral”. Tebal formasi secara keseluruhan diperkirakan mencapai sekitar 2000 m.

#### **5. Formasi Randangan (Tmr)**

Formasi ini tersusun atas perselingan konglomerat, batupasir wake, batulanau, dan batu lumpur. Konglomerat berwarna abu-abu, dengan komponen utamanya berupa andesit dan basalt, terpilah buruk, kemas tertutup

dan umumnya kompak. Batupasir dijumpai berselingan dengan batulanau dan batulumpur, berwarna abu-abu, berlapis baik, dan kompak. Di antara perlapisan batupasir dan batulanau, setempat terdapat sisipan batugamping. Kandungan fosil yang terdapat di dalam lapisan batugamping menunjukkan umur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Ketebalan formasi mencapai beberapa ratus meter.

#### **6. Diorit Boliohuto (Tmbo)**

Satuan ini terdiri dari batuan diorite sampai granodiorit yang mengandung kuarsa sampai 20%, dengan kandungan feldspar dan biotit yang cukup menonjol. Di beberapa tempat dijumpai senolit bersusunan basa, menunjukkan kemungkinan batuan dioritan tersebut berasosiasi (menerobos) batuan basa jauh di bawah permukaan. Batuan ini menerobos Formasi Dolokapa. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan diduga sebagai sumber dari endapan emas letakan yang terdapat di daerah Wonggahu.

#### **7. Batuan Gunungapi Pani (Tppv)**

Penyusun utama dari satuan batuan gunungapi ini adalah lava Dasit, yang memiliki struktur masif, berwarna abu-abu muda, bertekstur porfiritik, dengan fenokris berupa feldspar dan kuarsa. Terdapat juga lava andesit yang berwarna abu-abu dengan tekstur porfiroafanitik, dan masif. Litologi lainnya adalah tuf, aglomerat, dan breksi gunungapi. Batuan gunungapi ini menindih tak selaras Formasi Randangan. Jadi umur Batuan Gunungapi Pani diperkirakan Pliosen awal. Ketebalan formasi ini diperkirakan mencapai ratusan meter.

## **8. Breksi Wobudu (Tpww)**

Satuan ini terdiri dari breksi gunung api yang berwarna abu-abu, tersusun oleh kepingan batuan andesit dan basalt yang berukuran kerikil hingga bongkah, serta mempunyai susunan batuan dan kenampakan fisik yang sama dengan breksi gunungapi. Terdapat juga tuf dan tuf lapili berwarna kuning dan kuning kecoklatan, terkekarkan, umumnya lunak dan berlapis. Ditemukan juga lava yang bertekstur porfiro-afanitik dan bersusunan andesit hingga basalt. Berdasarkan posisi stratigrafinya yang menindih takselaras Formasi Dolokapa berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir, maka umur Breksi Wobudu diperkirakan Pliosen Awal.

## **9. Granodiorit Bumbulan (Tpb)**

Satuan ini terdiri atas granodiorit, granit, dasit, dan monzonit kuarsa. Granodiorit berwarna abu-abu, berbutir sedang, mengandung biotit dan piroksen(?). Pengkloritan dan pengepidotan sring dijumpai dalam batuan ini. Granit berwarna abu-abu, berbutir sedang dan sedikit mengandung mineral mafik jenis biotit. Sedangkan dasit berwarna abu-abu muda, berbutir halus, dengan kuarsa dan feldspar sebagai fenikris. Monzonit kuarsa berwarna abu-abu, masif, berbutir menengah, dengan penyusun utama berupa kuarsa, plagioklas, dan feldspar alkali. Trail (1974) op.cit. Bachri dkk, 1994, menyamakan satuan ini dengan granodiorit yang terdapat di daerah dekat Palu, yang menurut Sukanto 1973, op.cit. Bachri dkk 1994, berumur Pliosen.

## **10. Formasi Lokodidi (TQls)**

Satuan ini merupakan perselingan antara konglomerat, batupasir, batupasir konglomeratan, batupasir tufan, tuf pasiran, batulempung dan serpih hitam. Konglomerat berwarna coklat, tersusun atas batugamping, andesit, dan kuarsa susu yang berukuran kerikil hingga kerakal. Batupasir berwarna abu hingga coklat kemerahan, dengan setempat batuan ini bersifat konglomeratan. Batupasir tufan dan tuf berwarna putih hingga abu-abu muda. Batulempung berwarna abu-abu kehijauan dan umumnya terkekarkan. Sedang serpih berwarna hitam, umumnya kurang kompak, dan bersifat gampingan. Umur satuan ini diduga Pliosen Akhir hingga Pleistosen Awal.

#### **11. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv)**

Satuan ini tersusun atas perselingan aglomerat, tuf, dan lava. Aglomerat berwarna abu-abu, tersusun oleh kepingan andesit, membulat tanggung sampai menyudut tanggung, bermasadasar tuf, terpilah buruk dan agak kompak. Tuf berwarna coklat muda hingga putih kecoklatan, berbutir sedang sampai kasar dengan susunan andesit sampai dasit dan termampatkan lemah. Lava berwarna abu-abu tua, bersusunan andesit sampai basalt, dan masif. Satuan batuan ini diduga menindih Breksi Wobudu, sehingga umurnya diperkirakan Pliosen Akhir, mungkin sampai Pleistosen Awal. Ketebalannya diperkirakan mencapai 250 meter.

#### **12. Batugamping Klastik (TQI)**

Batugamping ini terdiri atas kalkarenit, kalsirudit, dan batugamping koral. Kalkarenit dan kalsirudit berwarna putih, kompak, dan di beberapa tempat menunjukkan perlapisan agak baik, mengandung pecahan fosil ganggang dan

moluska. Batugamping tersebut biasanya berasosiasi dengan batugamping koral yang berwarna putih dan pejal. Batugamping ini dapat disamakan dengan batugamping yang terdapat di sebelah barat Lembar, yang berumur Pliosen Akhir hingga Plesitosen Awal (Trail, 1974, op.cit. Bachri dkk, 1994). Tebal satuan ini beragam, dari 100 m hingga 200 m.

### **13. Endapan Sungai Tua (Qpr)**

Satuan ini merupakan perselingan batupasir, batupasir konglomeratan dan konglomerat. Batupasir dan batupasir konglomeratan berwarna abu-abu hingga kelabu kecoklatan, mengandung butiran batuan andesit, basalt, dasit, diorite, dan granodiorit, berukuran kasar dan sangat kasar hingga konglomeratan. Konglomerat pada satuan ini berwarna abu-abu kecoklatan, komponen terdiri dari andesit, basalt, dasit, diorite, granodiorit, dan milonit; terpilah buruk dengan masadasar batupasir, umumnya memperlihatkan kemas terbuka dan tertutup. Satuan endapan sungai ini masih kurang mampat dan membentuk undak-undak pantai. Umurnya diperkirakan Pleistosen awal hingga holosen, dengan ketebalan mencapai beberapa puluh meter.

### **14. Endapan Danau (Qpl)**

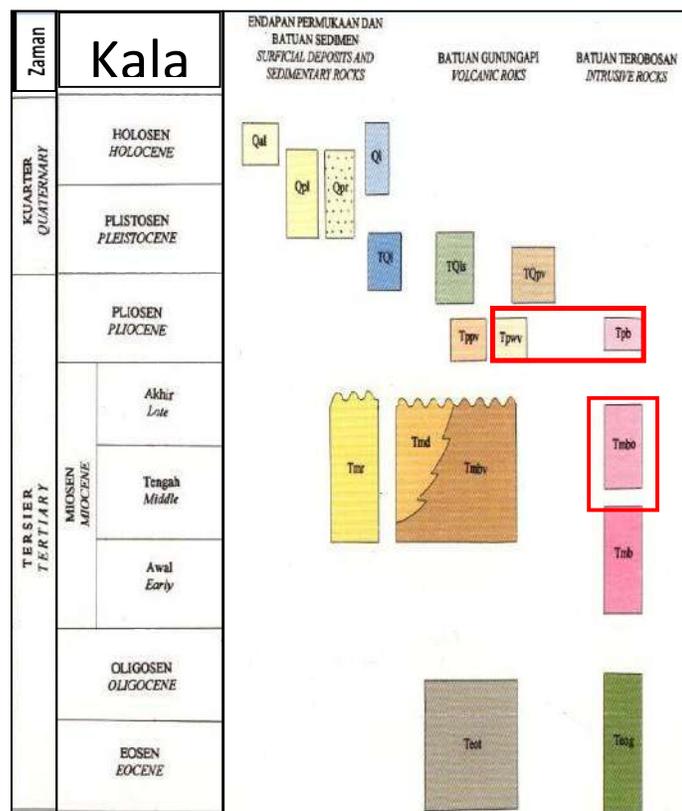
Endapan ini umumnya dikuasai batulempung yang berwarna abu-abu kecoklatan; setempat mengandungn sisa tumbuhan dan lignit. Di beberapa tempat terdapat batupasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batupasirnya setempat terlihat struktur silang siur berskala kecil. Umumnya satuan ini belum mampat. Umurnya diperkirakan Pleistosen hingga Holosen(?). ketebalannya mencapai 94 m.

### 15. Batugamping Terumbu (Ql)

Satuan ini terdiri atas batugamping koral yang berwarna putih dan umumnya pejal. Satuan ini sebagian telah terangkat membentuk perbukitan sedang dan sebagian lainnya masih berkembang terus di bawah permukaan laut hingga sekarang. Umurnya diperkirakan Pleistosen Akhir hingga Holosen.

### 16. Aluvium (Qal)

Endapan alluvium tersusun atas material pasir, lempung, lanau, kerikil dan kerakal, berupa endapan pantai, rawa, dan sungai. Pelamparannya terutama di daerah pesisir selatan bagian barat, yaitu di muara S. Randangan dan sekitarnya. Ketebalannya mencapai beberapa puluh meter.



**Gambar 2.3** Kolom stratigrafi daerah Talamuta (Bachri dkk 1993). Satuan batuan yang ada di daerah penelitian ditunjukkan oleh kotak merah

## **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.

### **2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian**

Daerah penelitian merupakan bagian dari lengan utara Sulawesi, yang secara umum dibagi oleh (Carlile dkk, 1989) berdasarkan geologi daerahnya menjadi tiga bagian, yaitu Daerah Minahasa, Daerah Gorontalo, dan Daerah Marisa. Daerah Hulawa termasuk dalam Daerah Marisa. Kegiatan vulkanisme pada daerah ini sudah mati.

Morfologi daerah penelitian umumnya disusun oleh kontur yang relatif rapat dengan ketinggian 40 – 700 mdpl (meter di atas permukaan laut). Bentuk morfologi yang ada berupa perbukitan vulkanik dengan lereng yang landai sampai sangat terjal, serta sebagian besar tertutup oleh vegetasi hutan tropis. Sungai-sungai kecil yang ada di daerah penelitian, bermuara di Sungai Dulamayo yang mengalir di bagian tengah daerah penelitian. Sungai Dulamayo ini nantinya bermuara di Sungai Batudulanga.

#### **2.2.1.1 Satuan Bentangalam**

Geomorfologi juga didefinisikan sebagai ilmu tentang bentuk lahan (Thornburry, 1969). Pembagian morfologi daerah penelitian menggunakan tiga pendekatan yaitu pendekatan gambaran bentuk (morfografi) dan pendekatan

penilaian kuantitatif bentuk (morfometri) dengan menggunakan klasifikasi relief (Van Zuidam, 1985) dan pendekatan genetik (morfogenesis) menggunakan klasifikasi ITC (*International Terrain Classification*) dalam (Thornbury, 1969).

Analisis morfografi yaitu analisis yang didasarkan pada aspek bentuk permukaan bumi yang dijumpai di lapangan yakni berupa topografi pedataran, perbukitan, pegunungan dan pedataran tinggi (Van Zuidam, 1985).

Analisis morfometri yaitu analisis yang didasarkan pada aspek kuantitas suatu daerah atau beberapa parameter geomorfologi yang bisa diukur. Unsur tersebut meliputi kemiringan lereng, ketinggian, luas, relief, kerapatan kontur, sungai, tingkat erosi dan lain sebagainya (Van Zuidam, 1985).

Berdasarkan pendekatan tersebut, maka satuan bentangalam daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 satuan bentangalam, yaitu :

- Satuan Bentangalam Perbukitan Terjal
- Satuan Bentangalam Perbukitan Miring

#### **2.2.1.2 Satuan Bentangalam Perbukitan Terjal**

Satuan ini menempati sekitar 2,00063 km<sup>2</sup> atau 55,3% dari luas daerah penelitian, dengan penyebaran berada di bagian barat daerah penelitian. Berada pada ketinggian 250 - 500 mdpl, dengan kemiringan lereng tergolong curam sekitar 19,3<sup>0</sup>-40<sup>0</sup>. Sebagian besar satuan ini berupa morfologi perbukitan yang ditutupi oleh hutan tropis yang sangat lebat (Gambar 2.4). Pola kontur relatif rapat dan banyak lekukan. Lembah sungai yang menempati satuan ini umumnya

berbentuk V, dengan banyak bongkah-bongkah besar hasil dari tambang masyarakat sepanjang sungai.



**Gambar 2.4.** Kenampakan bentangalam perbukitan terjal, difoto dari blok “Y” ke blok “X” daerah penelitian, arah foto N 196°E.

Bentuk morfologi menunjukkan bahwa tingkat erosi dan pelapukan yang bekerja di daerah ini tidak terlalu intensif. Berdasarkan bentuk lembah sungai, maka erosi yang dominan pada satuan ini merupakan erosi vertikal. Pola aliran sungai yang berkembang di satuan ini adalah pola subdendritik. Tahapan geomorfik tergolong muda dengan litologinya tersusun atas batuan dasit porfiri, breksi diatrem, granodiorit porfiri dan dasit porfiri. Batuan piroklastik menutupi perbukitan vulkanik yang umumnya tersusun atas Dasit Porfiri.

### **2.2.1.3 Satuan Bentangalam Bergelombang / Miring**

Satuan ini menempati sekitar 1,62488 km<sup>2</sup> atau 44,7% dari luas daerah penelitian, dengan penyebaran berada di bagian timur daerah penelitian. Berada pada ketinggian 500 - 750 mdpl, dengan kemiringan lereng tergolong miring sekitar 8,3<sup>0</sup>-13<sup>0</sup>. Sebagian besar satuan ini berupa morfologi perbukitan yang ditutupi oleh hutan tropis yang sangat lebat (Gambar 2.5). Pola kontur landai. Lembah sungai yang menempati satuan ini umumnya berbentuk V, dengan banyak bongkah-bongkah besar hasil dari tambang masyarakat sepanjang sungai.



**Gambar 2.5.** Kenampakan bentangalam perbukitan miring, difoto dari blok “Y” daerah penelitian, arah foto, N 92°E.

Bentuk morfologi menunjukkan bahwa tingkat erosi dan pelapukan yang bekerja di daerah ini tidak terlalu intensif. Berdasarkan bentuk lembah sungai, maka erosi yang dominan pada satuan ini merupakan erosi vertikal. Pola aliran sungai yang berkembang di satuan ini adalah pola subdendritik. Tahapan

geomorfik tergolong muda dengan litologinya tersusun atas batuan dasit Porfiri, breksi hidrotermal, breksi diatrem dan granodiorit porfir sebagai *basement*.

### 2.2.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah penelitian merupakan bagian dari stratigrafi produk Gunung Api Pani, Batuan Granodiorit Bumbulan, dan Satuan Diorit Boliohito, seperti yang terdapat pada peta geologi Lembar Talamuta oleh (Bachri, dkk 1994).

Dalam pembahasan stratigrafi daerah penelitian, penulis mengacu pada penamaan satuan stratigrafi dengan sistem penamaan litostratigrafi tidak resmi yaitu penamaan satuan batuan atau unit litologi yang didasarkan pada ciri-ciri fisik litologi yang dapat diamati di lapangan dengan melihat jenis litologi dan keseragaman mengacu pada (Fenton, 1940), serta posisi stratigrafi terhadap satuan-satuan yang ada di bawah dan di atasnya. Selain pembagian satuan stratigrafi berdasarkan pengamatan ciri litologi di lapangan, dilakukan juga pengamatan petrografi mengacu pada (Travis, 1950), (Fisher, 1982) dan klasifikasi genetic breksi mengacu pada (Sillitoe, 1985). Berdasarkan hal-hal tersebut. maka daerah penelitian dibagi menjadi 4 satuan stratigrafi tidak resmi, dari yang paling tua hingga paling muda :

1. Satuan Granodiorit Porfiri
2. Satuan Dasit Porfiri
3. Satuan Breksi Diatreme
4. Satuan Breksi Hidrothermal

### **2.2.2.1 Satuan Granodiorit Porfiri**

#### **1. Dasar Penamaan**

Dasar penamaan satuan batuan ini yaitu berdasarkan atas ciri litologi dan batuan yang penyebarannya mendominasi pada satuan batuan ini secara lateral. Litologi yang menyusun satuan ini terdiri atas Granodiorit dan Granodiorit porfiri, dengan karakteristik segar umumnya berwarna putih keabuan, lapuk berwarna coklat, tekstur ; granularitas : faneritik, kristalinitas : holokristalin, bentuk mineral : euhedral, relasi : equigranular, struktur massif.

Penamaan batuan dari penyusun satuan batuan ini terdiri atas dua cara yaitu pengamatan batuan secara megaskopis dan secara mikroskopis. Pengamatan secara megaskopis ditentukan secara langsung di lapangan terhadap sifat fisik dan komposisi mineral yang bisa diamati oleh mata, dengan menggunakan klasifikasi (Fenton, 1940) Secara mikroskopis dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk pengamatan sifat optik mineral serta pemerian komposisi mineral secara spesifik yang kemudian penamaannya menggunakan klasifikasi batuan Beku menurut (Travis, 1955).

Berdasarkan data lapangan, satuan ini didominasi oleh litologi Granodiorit porfir sehingga penamaan satuan batuan ini adalah satuan Granodiorit porfiri.

#### **2. Penyebaran Batuan dan Ciri Litologi**

Satuan ini merupakan satuan batuan tertua di daerah penelitian. Satuan ini menempati sebagian kecil Timurlaut dan Baratlaut daerah penelitian, dengan luas total sekitar 0,3510 km<sup>2</sup> atau 9,7% luas daerah penelitian. Singkapan bisa

ditemukan di sebagian Baratlaut blok “Y” daerah penelitian kemudian pada Sungai Wadi.

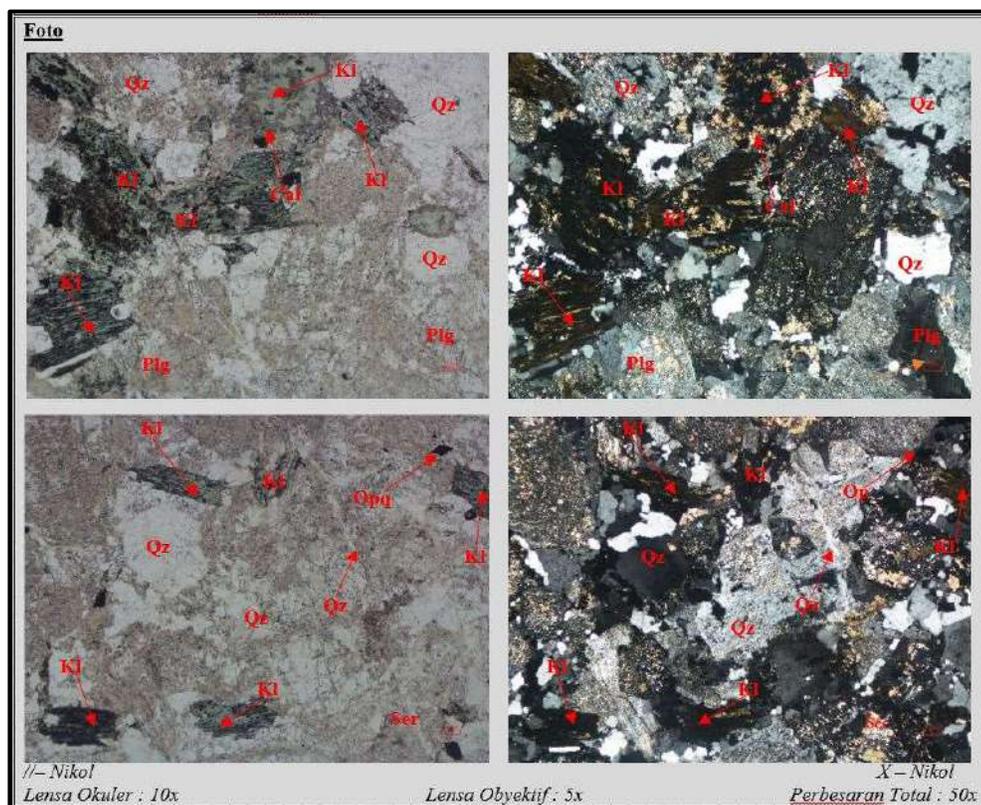
Kenampakan megaskopis dari Granodiorit Porfiri ini dalam keadaan segar abu-abu kehijauan, warna lapuk coklat, tekstur ; kristalinitas hipokristalin, granularitas porfiroafanitik, bentuk subhedral - anhedral, relasi inequigranular, komposisi mineral plagioklas, piroksin, mineral opaq dan massa dasar gelas. Berdasarkan klasifikasi Fenton sehingga batuan ini dinamakan **Granodiorit Porfiri** (Fenton, 1940) (Gambar 2.6).



**Gambar 2.6.** Singkapan granodiorit porfiri stasiun RZ39B yang berada di Blok “Y” daerah penelitian yang telah teralterasi propilitik, sehingga menampilkan warna hijau kebiruan.

Berdasarkan hasil analisis petrografis Granodiorit Porfiri pada sayatan tipis dengan nomor sayatan RZ20 Warna absorpsi kuning kecoklatan, warna

interferensi abu-abu kehitaman, tekstur porfiritik,, bentuk mineral euhedral-subhedral, komposisi mineral primer terdiri dari kuarsa dan plagioklas. Mineral sekunder terdiri dari kuarsa sekunder, kalsit, klorit, dan mineral opa. Ukuran mineral <0,01 – 0,6 mm. Batuan mengalami alterasi tinggi dengan tingkat alterasi sebesar 70%. Berdasarkan klasifikasi Travis sehingga batuan ini dinamakan **Granodiorit Porfiri** (Travis, 1955) (Gambar 2.7).



**Gambar 2.7** Fotomikrograf sayatan Granodiorit Porfiri dengan nomor ST20 yang memperlihatkan piroksin (Px), Kuarsa (Qz) sebagai mineral primer dan), kuarsa sekunder (Qz), klorit (Kl), kalsit (Cal), Serisit (Ser) dan mineral opa (Opa) sebagai mineral alterasi.

### 3. Kesebandingan dan Mekanisme Pembentukan

Berdasarkan pengukuran umur secara mutlak, didapatkan satuan ini memiliki umur 5,4 juta tahun lalu atau Miosen Akhir (PT. GSM, 2011).

Jika dilihat dari keterdapatannya yang luas dan teksturnya, batuan ini termasuk ke dalam intrusi dalam dengan bentuk *batolith* (Caira dan Pearson, 1999). Pembentukan batuan beku di lingkungan dalam memungkinkan pembentukan mineral dengan waktu yang relatif lama untuk tumbuh dengan sempurna.

#### 2.2.2.2 Satuan Dasit Porfiri

##### 1. Dasar Penamaan

Dasar penamaan satuan batuan ini yaitu berdasarkan atas ciri litologi dan batuan yang penyebarannya mendominasi pada satuan batuan ini secara lateral. Litologi yang menyusun satuan ini terdiri atas Dasit Porfiri, dengan karakteristik segar umumnya berwarna putih keabuan, lapuk berwarna coklat, tekstur ; granularias : porfiritik, kristalinitas : hipokristalin, bentuk mineral : anhedral-subhedral, relasi : equigranular, struktur massif.

Penamaan batuan dari penyusun satuan batuan ini terdiri atas dua cara yaitu pengamatan batuan secara megaskopis dan secara mikroskopis. Pengamatan secara megaskopis ditentukan secara langsung di lapangan terhadap sifat fisik dan komposisi mineral yang bisa diamati oleh mata, dengan menggunakan klasifikasi (Fenton, 1940) Secara mikroskopis dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk pengamatan sifat optik mineral serta pemerian komposisi mineral secara spesifik yang kemudian penamaannya menggunakan klasifikasi batuan Beku menurut (Travis, 1955).

Berdasarkan data lapangan dan data petrografi, satuan ini didominasi oleh litologi Dasit Faneroporfiritik sehingga penamaan satuan batuan ini adalah satuan Dasit Faneroporfiritik

## 2. Penyebaran Batuan dan Ciri Litologi

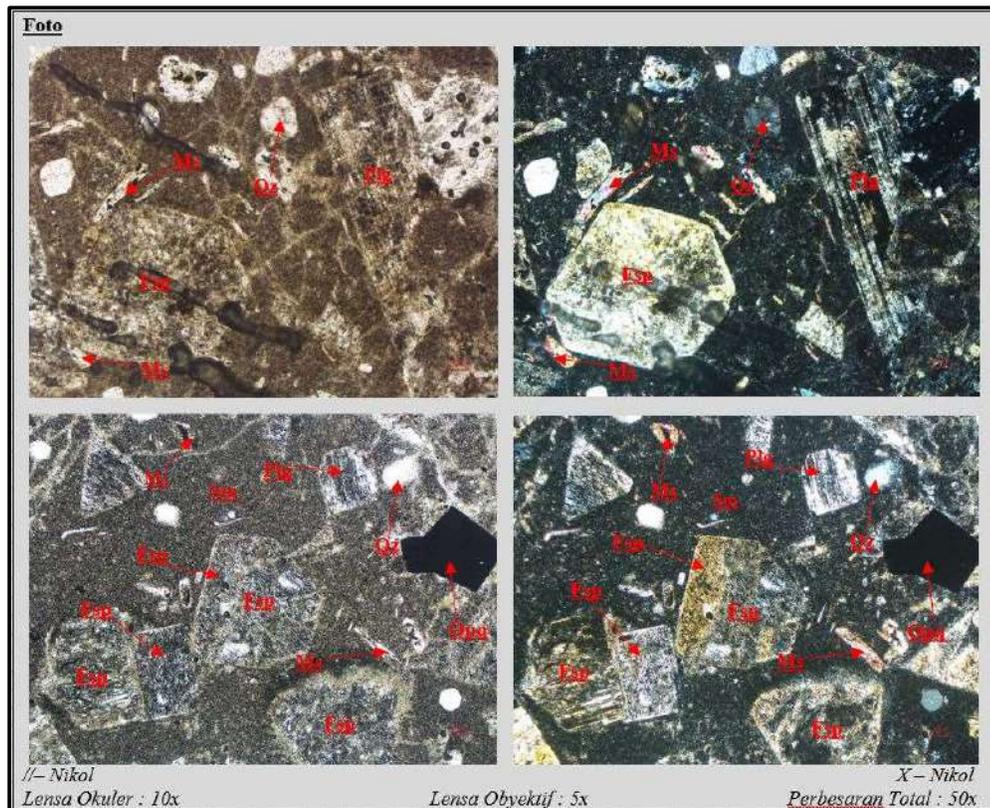
Satuan ini merupakan satuan batuan yang mendominasi di daerah penelitian. Satuan ini mendominasi daerah penelitian yang tersebar dibagian dengan luas total sekitar 1,96682 km<sup>2</sup> atau 54,4% daerah penelitian. Satuan ini menempati daerah Utara hingga Barat, sedikit pada bagian Timur dan juga pada bagian Selatan daerah penelitian. Singkapan bisa ditemukan di sebagian Sungai Jahiya blok "Y" pada bagian tengah dan hilir, kemudian pada Sungai Wadi dan sungai Dulamayo di blok "X". Di bagian Selatan, singkapan berada pada blok "Y"

Kenampakan megaskopis dari Dasit Porfiri ini dalam keadaan segar abu-abu kehijauan, warna lapuk coklat, tekstur ; kristalinitas hipokristalin, granularitas porfiroafanitik, bentuk subhedral - anhedral, relasi inequigranular, komposisi mineral kuarsa dan plagioklas, mineral opa dan massa dasar gelas. Berdasarkan klasifikasi (Fenton, 1940) sehingga batuan ini dinamakan **Dasit Porfiri** (Fenton, 1940) (Gambar 2.8).



**Gambar 2.8.** Singkapan Dasit Porfiri pada stasiun RZ32A di Sungai Dulamayo blok “X” daerah penelitian yang telah teralterasi filik-argilik.

Berdasarkan hasil analisis petrografis Dasit Porfiri pada sayatan tipis dengan nomor sayatan RZ32A Warna absorpsi kuning kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman, struktur berlapis, bentuk *subhedral– anhedral*. komposisi mineral primer terdiri dari kuarsa dan plagioklas. Mineral sekunder terdiri dari feldspar sekunder, kuarsa sekunder, smektit, muscovit dan mineral opa. Ukuran mineral <0,01 – 1,2 mm. Batuan mengalami alterasi sangat tinggi dengan tingkat alterasi sebesar 80%. Berdasarkan klasifikasi Travis sehingga batuan ini dinamakan **Dasit Porfiri** (Travis, 1955) (Gambar 2.9).



**Gambar 2.9** Fotomikrograf sayatan Dasit Porfiri dengan nomor ST13 yang memperlihatkan mineral primer kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) dan serisit (Ser), muscovit (Ms), smektit (Sm), kuarsa sekunder (Qz), feldspar sekunder (Fsp) dan mineral opaq (Opq) sebagai mineral alterasi.

### 3. Kesebandingan dan Mekanisme Pembentukan

Satuan ini mengalir secara tidak selaras di atas atuan granodiorite porfir dan disetarakan dengan Satuan Gunungapi Pani yang berumur Pliosen Awal (Bachri dkk, 1994). Berdasarkan kenampakan dan bentuk singkapan di lapangan, satuan ini terbentuk akibat proses erupsi Gunungapi Pani yang bersifat efusif.

#### 2.2.2.3 Satuan Breksi Diatrema

##### 1. Dasar Penamaan

Dasar penamaan satuan batuan ini yaitu berdasarkan atas ciri litologi dan

batuan yang penyebarannya mendominasi pada satuan batuan ini secara lateral. Litologi yang menyusun satuan ini terdiri atas Breksi Diatrem dengan karakteristik segar umumnya berwarna putih keabuan, lapuk berwarna coklat, tekstur piroklastik, dan tidak berlapis.

Penamaan batuan dari penyusun satuan batuan ini terdiri atas dua cara yaitu pengamatan batuan secara megaskopis dan secara mikroskopis. Pengamatan secara megaskopis ditentukan secara langsung di lapangan terhadap sifat fisik dan komposisi mineral yang bisa diamati oleh mata, dengan menggunakan klasifikasi (Fisher, 1982). Secara mikroskopis dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk pengamatan sifat optik mineral serta pemerian komposisi mineral secara spesifik yang kemudian penamaannya menggunakan klasifikasi batuan Piroklastik menurut (Fisher, 1982). Secara tipe genetik breksi menggunakan klasifikasi (Sillitoe, 1985) berdasarkan dari jenis magma, pergerakan magma dan interaksi antar magma dengan air permukaan. Berdasarkan data lapangan, satuan ini didominasi disusun oleh litologi Breksi Diatrem sehingga penamaan satuan batuan ini adalah satuan Breksi Diatrem.

## **2. Penyebaran Batuan dan Ciri Litologi**

Satuan ini menempati sebagian kecil Baratdaya daerah penelitian, dengan luas total sekitar 0,1319 km<sup>2</sup> atau 3,6% daerah penelitian. Singkapan bisa ditemukan di sebagian Sebagian sungai Wadi bagian Barat, sungai Dulamayo pada blok “X” dan sungai Jahiya pada bagian Selatan blok “Y”.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, Breksi Diatrem pada stasiun RZ34 dalam kondisi segar memperlihatkan ciri fisik berwarna segar putih keabuan,

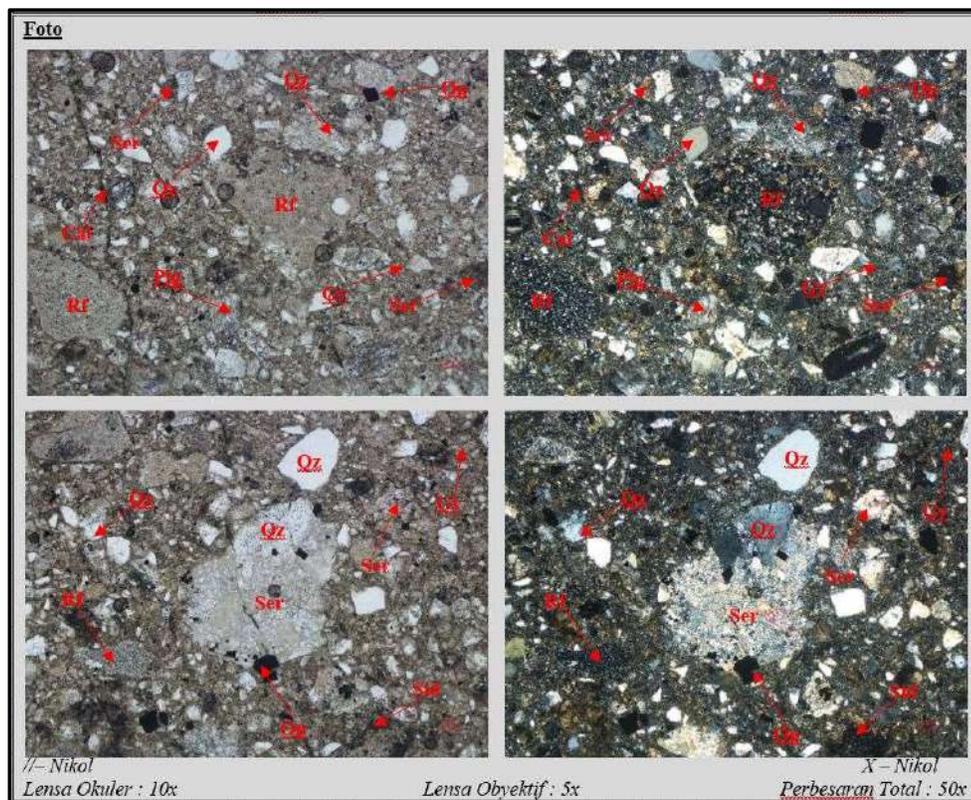
warna lapuk kuning kecoklatan, tekstur piroklastik, ukuran butir breksi ( $\geq 2$  mm) bentuk butir *sub rounded – sub angular*, klast monomik litik yang berasal dari dasit pordiri, komposisi kimia silikaan. Berdasarkan ciri fisiknya dan genetiknya, maka nama batuan ini adalah **Breksi Diatrem** (Fisher, 1982 dan Sillitoe, 1985). (Gambar 2.10).



**Gambar 2.10** Singkapan breksi diatrem kontak dengan dasit porfiri pada stasiun RZ34 yang telah teralterasi potasik

Kenampakan mikroskopis dari sayatan tipis Breksi Diatrem dengan nomor sayatan RZ77 memperlihatkan Warna absorpsi kuning kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman, struktur tidak berlapis, bentuk *subhedral – anhedral*. Komposisi material terdiri dari clast *rock fragment* berupa monomik litik yang berasal dari batuan dasit porfiri, matriks kristal, semen dari gelas

vulkanik. Mineral alterasi terdiri dari serisit, kalsit, mineral opaq dan siderit. Ukuran mineral  $<0,2 \mu\text{m} - 40 \mu\text{m}$ . Batuan mengalami alterasi tinggi dengan tingkat alterasi sebesar 70%. Berdasarkan sifat optik dan komposisi mineralnya maka nama batuan pada stasiun RZ77 adalah **Breksi Diatrem** (Fisher, 1982 dan Sillitoe, 1985) (Gambar 2.11).



**Gambar 2.11** Fotomikrograf sayatan Breksi Diatrem dengan nomor ST77 yang memperlihatkan kuarsa (Qz), plagioklas (Plg) sebagai mineral primer, *rock fragmen* (rf), gelas vulkanik (gv) dan serisit (ser), siderit (sid), kalsit (cal) dan mineral opaq (opq) sebagai mineral alterasi.

### 3. Kesebandingan dan Mekanisme Pengendapan

Satuan ini hadir menerobos satuan batuan yang lebih tua dan diinterpretasikan sebagai terobosan yang terbentuk pada zona rekahan (Caira dan

Pearson, 1999). Satuan ini dibandingkan dengan Satuan Dasit Porfiri yang berumur Pliosen Akhir (Bachri dkk,2005)

#### **2.2.2.4 Satuan Breksi Hidrotermal**

##### **1. Dasar Penamaan**

Dasar penamaan satuan batuan ini yaitu berdasarkan atas ciri litologi dan batuan yang penyebarannya mendominasi pada satuan batuan ini secara lateral. Litologi yang menyusun satuan ini terdiri atas Breksi Hidrotermal dengan karakteristik segar umumnya berwarna putih keabuan, lapuk berwarna coklat, tekstur piroklastik, dan struktur berlapis.

Penamaan batuan dari penyusun satuan batuan ini terdiri atas dua cara yaitu pengamatan batuan secara megaskopis dan secara mikroskopis. Pengamatan secara megaskopis ditentukan secara langsung di lapangan terhadap sifat fisik dan komposisi mineral yang bisa diamati oleh mata, dengan menggunakan klasifikasi (Fisher, 1982). Secara mikroskopis dengan menggunakan mikroskop polarisasi untuk pengamatan sifat optik mineral serta pemerian komposisi mineral secara spesifik yang kemudian penamaannya menggunakan klasifikasi batuan Piroklastik menurut (Fisher, 1982). Secara tipe genetik breksi menggunakan klasifikasi (Sillitoe, 1985) berdasarkan dari jenis magma, pergerakan magma dan interaksi antar magma dengan air permukaan. Berdasarkan data lapangan, satuan ini didominasi disusun oleh litologi nreksi hidrotermal sehingga penamaan satuan batuan ini adalah satuan breksihidrotermal. Berdasarkan data lapangan, satuan

ini didominasi disusun oleh breksi hidrotermal sehingga penamaan satuan batuan ini adalah satuan Breksi Hidrotermal.

## 2. Penyebaran Batuan dan Ciri Litologi

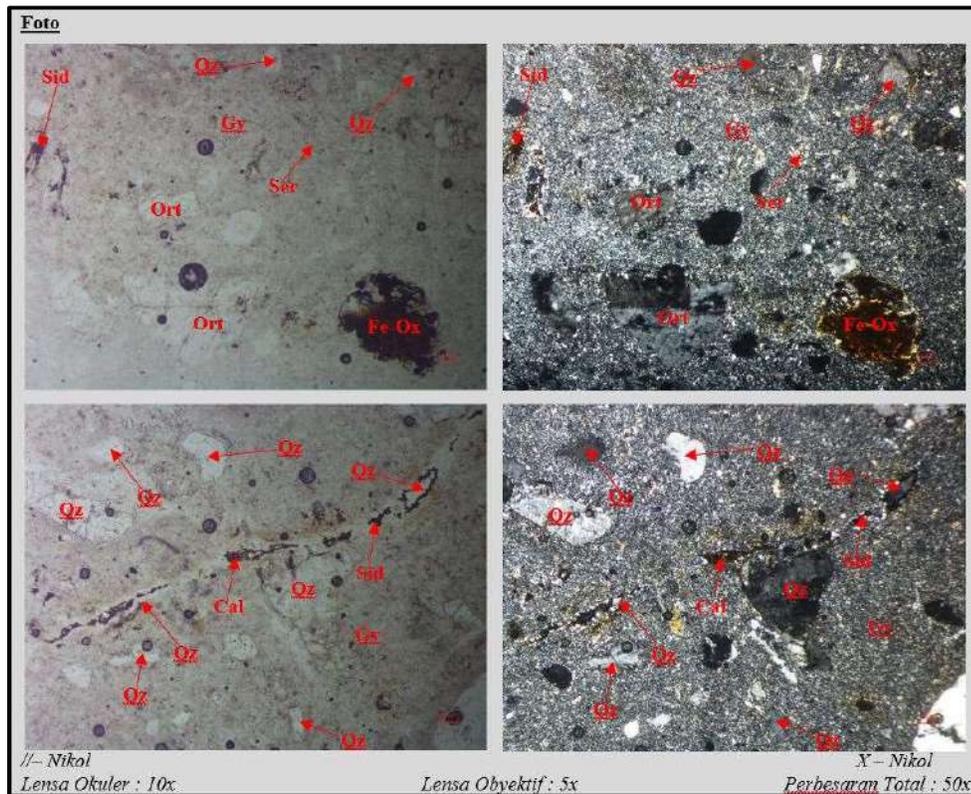
Satuan ini menempati daerah Tenggara lokasi penelitian dengan kedudukannya yang menerobos satuan dasit porfiri. Singkapan bisa ditemukan di blok “Y” daerah penelitian, dengan luas total sekitar 0,3094 km<sup>2</sup> atau 8,6% daerah penelitian.

Litologi yang menyusun satuan ini beranggotakan breksi hidrotermal. Berdasarkan pengamatan di lapangan, Breksi Hidrotermal pada stasiun RZ25 dalam kondisi segar memperlihatkan ciri fisik berwarna segar putih keabuan, warna lapuk kuning kecoklatan, tekstur piroklastik, ukuran butir breksi ( $\geq 2$  mm) bentuk butir *sub rounded – sub angular*, klast *juvenile* yang memperlihatkan adanya penambahan silika, matriks kristal halus, semen gelas vulkanik, komposisi kimia silikaan. Berdasarkan ciri fisiknya dan genetiknya, maka nama batuan ini adalah ***Breksi Hidrothermal*** (Fisher, 1982 dan Sillitoe, 1985) (Gambar 2.12



**Gambar 2.12** Singkapan breksi hidrotermal yang berada di Bok “Y” daerah penelitian pada satuan 25F.

Kenampakan mikroskopis dari sayatan tipis Breksi Hidrotermal dengan nomor sayatan RZ25F memperlihatkan warna absorpsi kuning kecoklatan, warna interferensi abu-abu kehitaman, struktur tidak berlapis, bentuk *subhedral* – *anhedral*. Komposisi material terdiri dari clast juvenile yang menunjukkan adanya penambahan silika, matriks kristal halus, semen dari gelas vulkanik. Mineral sekunder terdiri dari siderit, oksida besi, serisit dan kalsit. Ukuran mineral  $<0,2 \mu\text{m}$  –  $40 \mu\text{m}$ . Batuan mengalami alterasi sedang dengan tingkat alterasi sebesar 60. Berdasarkan sifat optik dan komposisi mineralnya maka nama batuan pada stasiun RZ25F adalah ***Breksi Hidrothermal*** (Fisher, 1982 dan Sillitoe, 1985) (Gambar 2.13).



**Gambar 2.13** Fotomikrograf sayatan breksi hidrotermal dengan nomor ST25F yang memperlihatkan kuarsa (Qz), orthoklas (Ort) sebagai mineral primer, gelas vulkanik (Gv) dan siderit (sid), serisit (Ser), kalsit (Cal) dan mineral opaq (Opq) sebagai mineral alterasi.

### 3. Kesebandingan dan Mekanisme Pengendapan

Satuan ini hadir menerobos satuan batuan yang lebih tua dan diinterpretasikan sebagai terobosan yang terbentuk pada zona rekahan (Caira dan Pearson, 1999). Satuan ini dibandingkan dengan Satuan Dasit Porfiri Bumbulan yang berumur Pliosen Akhir (Bachri dkk,2005).

## **2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian**

### **2.2.3.1 Pola Struktur 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.

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.

### **2.2.3.2 Struktur Kekar**

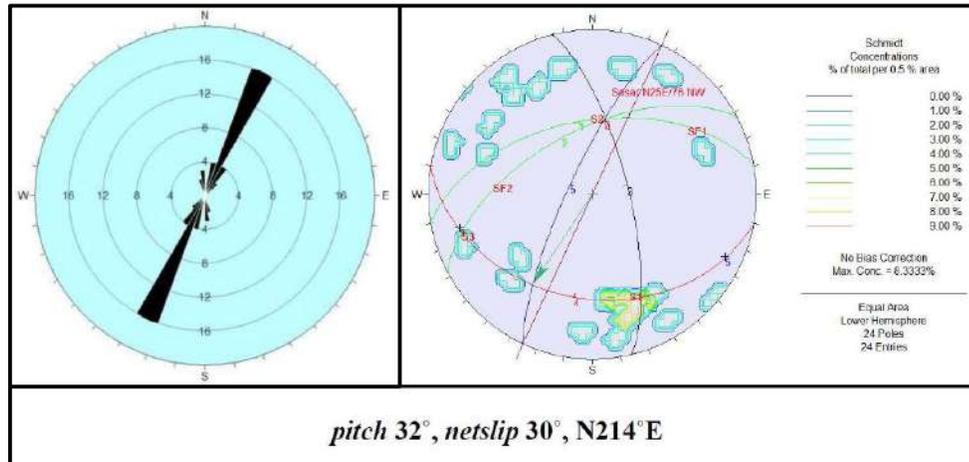
Struktur kekar yang dijumpai di daerah penelitian berupa kekar gerus. Kekar gerus yang ditemukan di daerah penelitian ada yang terisi oleh vein, 90% vein di daerah penelitian telah terisi oleh kuarsa sedangkan 10% kekar yang lain terisi oleh kalsedon dan kalsit. Umumnya kekar intensif ditemukan pada semua Satuan batuan, yaitu dasit porfiri, breksi hidrotermal, breksi diatrem, dan granodiorit porfiri. Vein-vein ini memiliki ketebalan yang berkisar antara 0,5-3 cm dengan pengisian vein oleh kuarsa, kalsit, dan kalsedon.

**Tabel 2.1** Hasil pengukuran arah breksiasi stasiun RZ77di Sungai Dulamayo

Breksiasi			
No	Arah (N...°E)	No	Arah (N...°E)
1	21	17	340
2	23	18	354
3	27	19	345
4	31	20	27
5	25	21	20
6	28	22	21
7	24	23	10
8	32	24	16
9	26	25	22
10	25	26	40
11	25	27	40
12	33	28	13
13	30	29	25
14	12	30	28
15	355	31	20
16	350	32	19

**Tabel 2.2** Hasil pengukuran kedudukan kekar gerus stasiun RZ77di Sungai Dulamayo

Rekahan Gerus			
Strike (N...°E)	Dip (...°)	Strike (N...°E)	Dip (...°)
239	61	19	80
122	75	319	49
260	77	20	59
63	63	104	68
252	67	263	55
339	72	76	68
159	62	51	65
35	64	255	66
53	77	240	78
314	62	275	72
257	54	220	86
250	58	245	62



**Gambar 2.14.** Hasil pengukuran kedudukan kekar stasiun RZ77 di Sungai Dulamayo

Dengan menggunakan analisis kinematika terhadap data rekahan gerus (Tabel 2.1) dan data arah breksisasi (Tabel 2.2) yang ada dilapangan menggunakan aplikasi *Dips* V.5.1, didapatkan arah  $\sigma_1$  N 25°E / 76° NE dengan *net-slip* 30°, N 214° E dan *pitch* sebesar 32° (Gambar 2.14). Berdasarkan pengolahan data vein yang hadir di Daerah Hulawa, vein-vein tersebut dapat dikelompokkan ke dalam 1 (Satu) kelompok, yaitu Vein I berarah Baratlaut – Tenggara, vein ini memiliki kemiringan lebih dari 30°.

### 2.2.3.3 Struktur Sesar

Secara umum sesar yang ditemukan dilapangan adalah Sesar Geser Dulamayo. Struktur sesar yang ada di daerah penelitian memotong satuan batuan breksi diatreme, satuan breksi hidrotermal dan satuan dasit porfiri.

#### 1. Sesar Geser Dulamayo

Penamaan sesar ini berdasarkan arah dari jurusnya yang sejajar mengikuti pola sungai Dulamayo, yaitu relatif Baratlaut – Tenggara. Sesar ini memotong 3 satuan batuan yaitu, satuan dasit porfiri, berksi diatreme dan breksi hidrotermal.

Struktur yang ditemukan berupa rekahan gerus, zona hancuran, terdapat morfologi air terjun (Gambar 2.16) yang mengindikasikan adanya sesar, breksiasi, dan dapat diamati pola kelurusan sungai Dulamayo pada daerah penelitian (Gambar 2.15).



**Gambar 2.15** Kekar dan breksiasi pada stasiun RZ77 pada litologi breksi diatreme yang berada di Sungai Dulamayo.



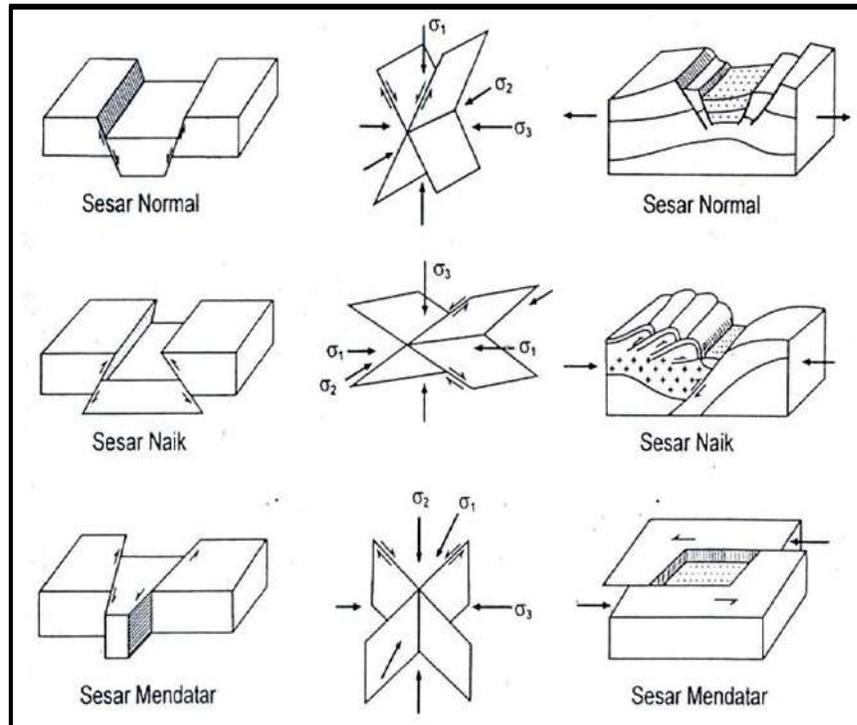
**Gambar 2.16** Kenampakan air terjun pada stasiun RZ60 pada litologi dasit porfiri

Dalam penentuan umur sesar berdasarkan gejala-gejala struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian dan berdasarkan umur batuan yang lebih muda yang dilalui yaitu breksi hidrotermal yang berumur Pliosen awal, sehingga dapat disimpulkan bahwa umur pembentukan Sesar Geser Dulamayo adalah *Post* Pliosen.

#### 2.2.3.4 Mekanisme Pembentukan Struktur Geologi Daerah Penelitian

Menurut Teori Sesar Anderson, yaitu hubungan antara jenis sesar dan stress yang bekerja (Gambar 2.16), jika material yang terpengaruh oleh sumbu-sumbu tersebut bisa bertahan dan reaksinya melewati batas plastis material tersebut, maka gaya utama yang bekerja pada bidang horizontal ( $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$ ) akan membentuk sesar mendatar. Sedangkan jika gaya utama bekerja pada bidang

vertikal ( $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$ ) maka yang akan terbentuk adalah sesar normal atau sesar naik (Anderson, 1951) (Gambar 2.17).



**Gambar 2.17** Hubungan antara jenis sesar dan stress yang bekerja (Anderson, 1951 dalam Sapiie dan Harsolumakso, 2008).

Berdasarkan analisis rekahan gerus, rekahan tarik, breksiasi, dan kelurusan pada peta SRTM, didapatkan pergerakan sesar menganan yang berarah baratlaut-tenggara. Jika dihubungkan dengan model yang telah disebutkan di atas, maka dapat diketahui bahwa gaya kompresi pada daerah penelitian relatif berarah Timurlaut – Baratdaya.

Sesar-sesar mendatar yang terbentuk di daerah penelitian memotong satuan batuan yang berumur Pliosen, sehingga diinterpretasikan struktur ini berkembang pada masa Pliosen. Menurut Bachri dkk (1994), struktur dengan arah tegasan relatif utara-selatan berasal dari adanya Jalur Penunjaman Sulawesi Utara yang

diduga masih aktif, sehingga menghasilkan sejumlah sesar jurus mendatar. Berdasarkan model Riedel *Shear*, sesar sintetik atau P-Shear adalah sesar yang pertama kali terbentuk. Sesar Dulamayo adalah sesar sintetik atau sesar yang terbentuk terlalebih dahulu.

Selain sesar mendatar, terdapat juga *vein* yang terbentuk pada daerah penelitian. *Vein* yang memiliki arah relatif Baratdaya – Tenggara sejajar dengan arah pergeseran sesar pada daerah penelitam, yang mengindikasikan pembentukan vein pada daerah penelitian bersamaan dengan proses pembentukan struktur geologi pada daerah penelitian yang dipengaruhi oleh aktifitas gunungapi Pani.

### **2.3. Alterasi Hidrotermal**

Alterasi hidrotermal adalah suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, dan tekstur yang disebabkan oleh interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya, di bawah kondisi evolusi fisio-kimia. Proses alterasi merupakan suatu bentuk metasomatisme, yaitu pertukaran komponen kimiawi antara cairan-cairan dengan batuan dinding (Pirajno, 1992).

Interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (batuan dinding), akan menyebabkan terubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan (mineral alterasi), maupun fluida itu sendiri (Pirajno, 1992, dalam Sutarto, 2002). Alterasi hidrotermal akan bergantung pada :

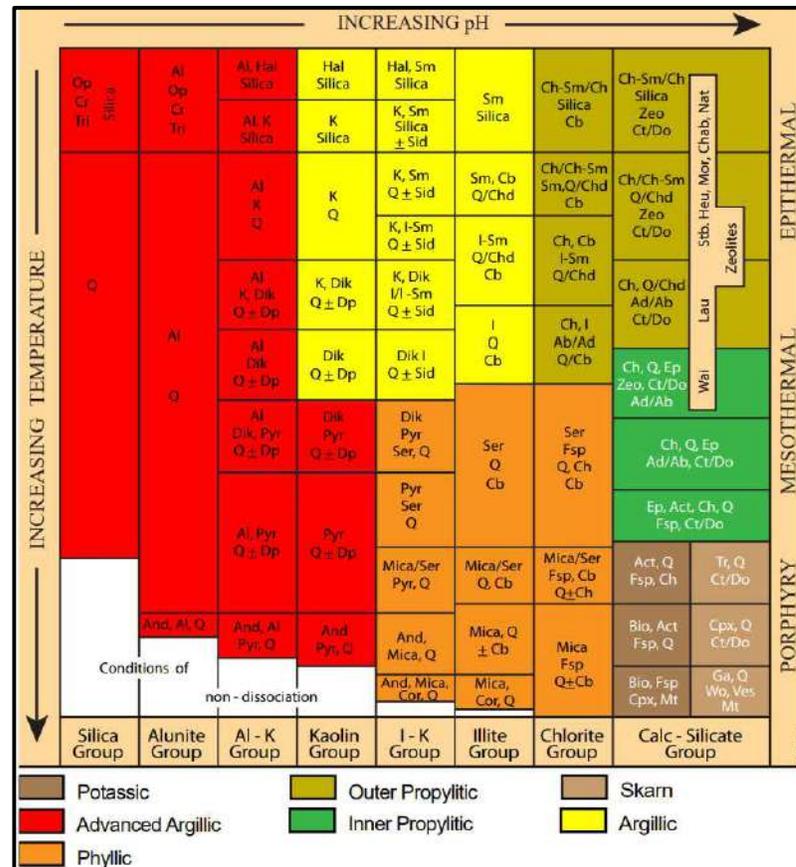
1. Karakter batuan dinding.
2. Karakter fluida ( Eh, pH ).

3. Kondisi tekanan dan temperatur pada saat reaksi berlangsung ( Guilbert dan Park, 1986, dalam Sutarto, 2002 ).
4. Konsentrasi.
5. Lama aktivitas hidrotermal ( Browne, 1991, dalam Sutarto, 2002 ).

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, dalam Sutarto, 2002 ) (Tabel 2.3). (Henley dan Ellis, 1983 dalam Sutarto, 2002), mempercayai bahwa alterasi hidrotermal pada sistem epitermal tidak banyak bergantung pada komposisi batuan dinding, akan tetapi lebih dikontrol oleh kelulusan batuan, tempertatur, dan komposisi fluida.

Batuan dinding (*wall rock/country rock*) adalah batuan di sekitar intrusi yang melingkupi urat, umumnya mengalami alterasi hidrotermal. Derajat dan lamanya proses alterasi akan menyebabkan perbedaan intensitas alterasi dan derajat alterasi (terkait dengan stabilitas pembentukan). Stabilitas mineral primer yang mengalami alterasi sering membentuk pola alterasi (*style of alteration*) pada batuan ( Pirajno, 1992, dalam Sutarto, 2002 ).

**Tabel 2.3.** Mineralogi Alterasi di Dalam Sistem Hidrotermal (Corbett dan Leach, 1996).



Keterangan : Ab - albite; Act - actinolite; 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; Cpx - clinopyroxene; Cr - cristobalite; Ct - calcite; Do - dolomite; Dik - dickite; Dp - diaspore; Ep - epidote; Fsp - feldspar; Ga - garnet; Hal - halloysite; Heu - heulandite; I - illite; I-Sm - illite-smectite; K - kaolinite; Lau - laumontite; Mt - magnetite; Mor - mordenite; Nat - natrolite; Op - opaline silica; Pyr - pyrophyllite; Q - quartz; Ser - sericite; Sid - siderite; Sm - smectite; Stb - stibnite; Tr - tremolite; Ves - vesuvianite; Wai - wairakite; Wo - wollastonite; Zeo - zeolite.

### 2.3.1 Tipe Alterasi

Creasey (1966, dalam Sutarto, 2002) membuat klasifikasi alterasi hidrotermal pada endapan tembaga porfir menjadi empat tipe yaitu propilitik, argilik, potasik, dan himpunan kuarsa-serisit-pirit (Lowell dan Guilbert 1970, dalam Sutarto, 2002) (Gambar 2.18) membuat model alterasi-mineralisasi juga

pada endapan bijih porfiri, menambahkan istilah zona filik untuk himpunan mineral kuarsa, serisit, pirit, klorit, rutil, kalkopirit. Adapun delapan 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, 2002), terdapat empat kecenderungan himpunan mineral yang hadir pada tipe propilitik, yaitu : a). klorit – kalsit – kaolinit, b). klorit – kalsit – talk, c). klorit – epidot – kalsit, d). 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 (Pirajno, 1992, dalam Sutarto, 2002), fluida asam-netral, dan salinitas rendah.

### **3. Potasik**

Zona potasik merupakan zona alterasi yang berada pada bagian dalam suatu sistem hidrotermal dengan kedalaman bervariasi yang umumnya lebih dari beberapa ratus meter. Zona alterasi ini dicirikan oleh mineral ubahan berupa biotit sekunder, K Feldspar, kuarsa, serisit dan magnetite. Pembentukan biotit sekunder ini dapat terbentuk akibat reaksi antara mineral mafik terutama

hornblende dengan larutan hidrotermal yang kemudian menghasilkan biotit, feldspar maupun pyroksen.

Dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali felspar-magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai asesori, 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.

#### **4. *Filik***

Zona alterasi ini biasanya terletak pada bagian luar dari zona potasik. Batas zona alterasi ini berbentuk circular yang mengelilingi zona potasik yang berkembang pada intrusi. Zona ini dicirikan oleh kumpulan mineral serisit dan kuarsa sebagai mineral utama dengan mineral pyrite 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  $\text{H}^+$ , menjadi mineral phylsilikat atau kuarsa. Zona 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 ( $230^{\circ}\text{-}400^{\circ}\text{C}$ ), fluida asam-netral, salinitas beragam, pada zona permeabel, dan pada batas dengan urat.

#### **5. *Propilitik dalam ( inner propilitik )***

Menurut Hedenquist dan Linndqvist zona alterasi 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 bertemperatur tinggi ( $>300^{\circ}\text{C}$ ), yang dicirikan oleh kehadiran epidot, aktinolit, klorit, dan illit (Sutarto, 2002).

#### **6. Argilik lanjut ( *advanced argilic* )**

Sedangkan untuk sistem epitermasl sulfidasi tinggi (fluida kaya asam sulfat), ditambahkan istilah *advanced argilic* yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit + diaspor  $\pm$  andalusit  $\pm$  kurasa  $\pm$  turmalin  $\pm$  enargit-luzonit (untuk temperatur tinggi,  $250^{\circ}\text{-}350^{\circ}\text{C}$ ), atau himpunan mineral kaolinit + aluni  $\pm$  kalsedon  $\pm$  kuarsa  $\pm$  pirit (untuk temperatur rendah,  $< 180^{\circ}\text{C}$ ) (Sutarto, 2002).

#### **7. Skarn**

Alterasi ini terbentuk akibat kontak antara batuan sumber dengan batuan karbonat, zona ini sangat dipengaruhi oleh komposisi batuan yang kaya akan kandungan mineral karbonat. Pada kondisi yang kurang akan air, zona ini dicirikan oleh pembentukan mineral garnet, klinopiroksin dan wollastonit serta mineral magnetit dalam jumlah yang cukup besar, sedangkan pada kondisi yang kaya akan air, zona ini dicirikan oleh mineral klorit, tremolit – aktinolit dan kalsit dan larutan hidrotermal. Garnet-piroksen-karbonat adalah kumpulan yang paling umum dijumpai pada batuan induk karbonat yang orisinil (Taylor, 1996, dalam Sutarto, 2002). 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).

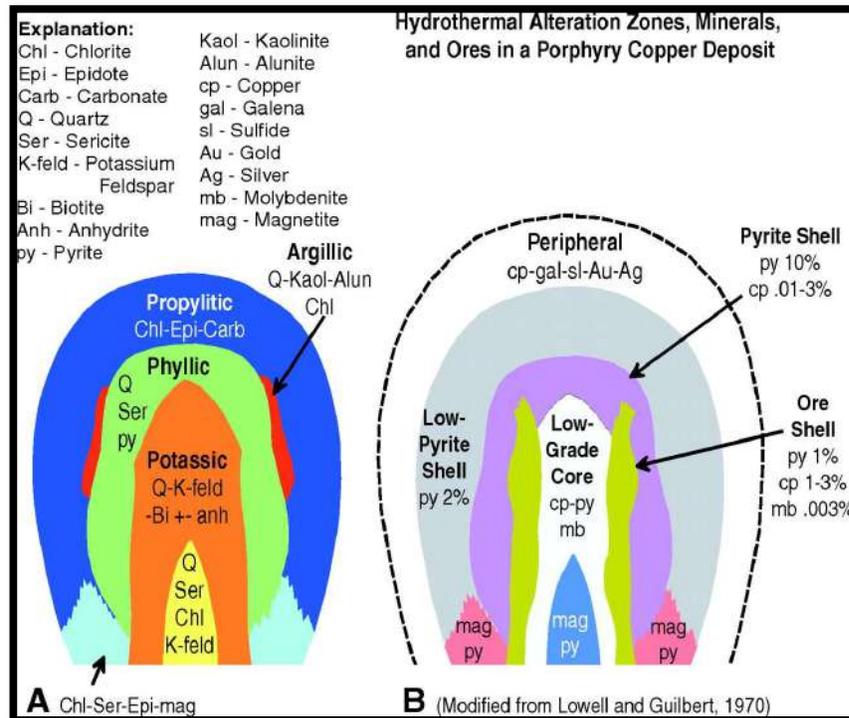
#### **8. Greisen**

Himpunan mineral pada greisen adalah kuarsa-muskovit (atau lipidolit) dengan sejumlah mineral asesori seperti topas, turmalin, dan florit yang dibentuk oleh alterasi metasomatik post-magmatik granit (Best, 1982, Stempork, 1987, dalam Sutarto, 2002).

## 9. Silisifikasi

Merupakan salah satu tipe alterasi hidrotermal yang paling umum dijumpai dan merupakan tipe terbaik. Bentuk yang paling umum dari silika adalah (*α-quartz*, atau *β-quartz*, rendah *quartz*, temperatur tinggi, atau tinggi kandungan kuarsanya ( $>573^{\circ}\text{C}$ ), tridimit, kristobalit, opal, kalsedon. Bentuk yang paling umum adalah *quartz*rendah, kristobalit, dan tridimit kebanyakan ditemukan di batuan vulkanik. Tridimit terutama umum sebagai produk devitrifikasi gelas vulkanik, terbentuk bersama alkali felspar.

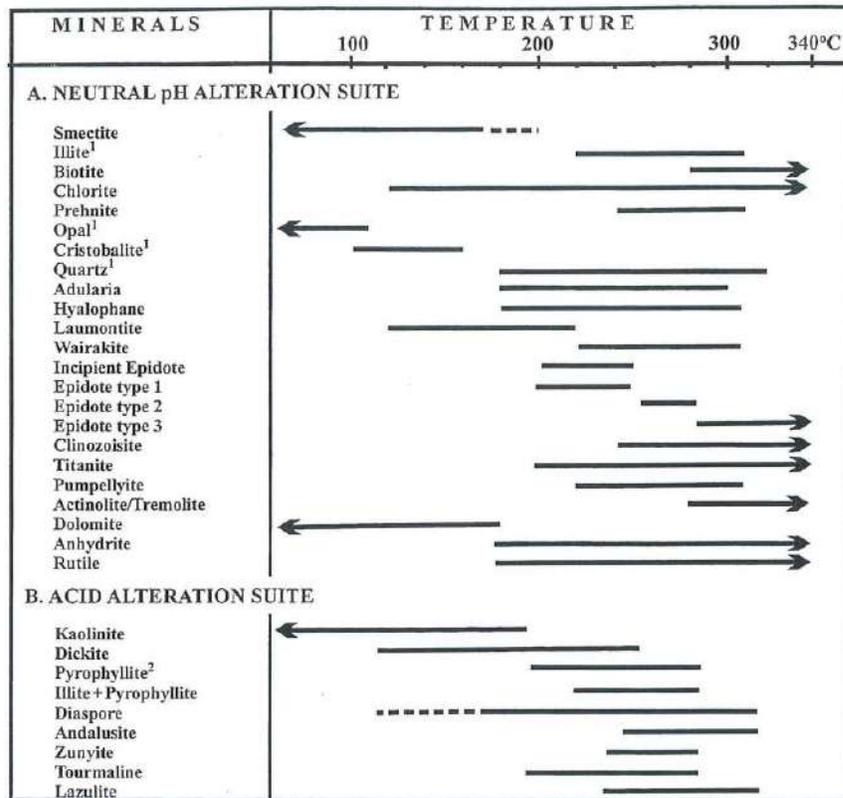
Selama proses hidrotermal, silika mungkin didatangkan dari cairan yang bersirkulasi, atau mungkin ditinggalkan di belakang dalam bentuk silika residual setelah melepaskan (*leaching*) dari dasar. Solubilitas silika mengalami peningkatan sesuai dengan temperatur dan tekanan, dan jika larutan mengalami ekspansi adiabatik, silika mengalami presipitasi, sehingga di daerah bertekanan rendah siap mengalami pengendapan (Pirajno, 1992)



**Gambar 2.18** Model zona alterasi mineralisasi endapan tembaga –porfiri di San Manuel – Kalamazoo. a) Zona alterasi (Lowell dan Guilbert, 1970 dalam Guilbert dan Park, 1986), .b) Zona alterasi modifikasi dari Lowell dan Guilbert, 1970.

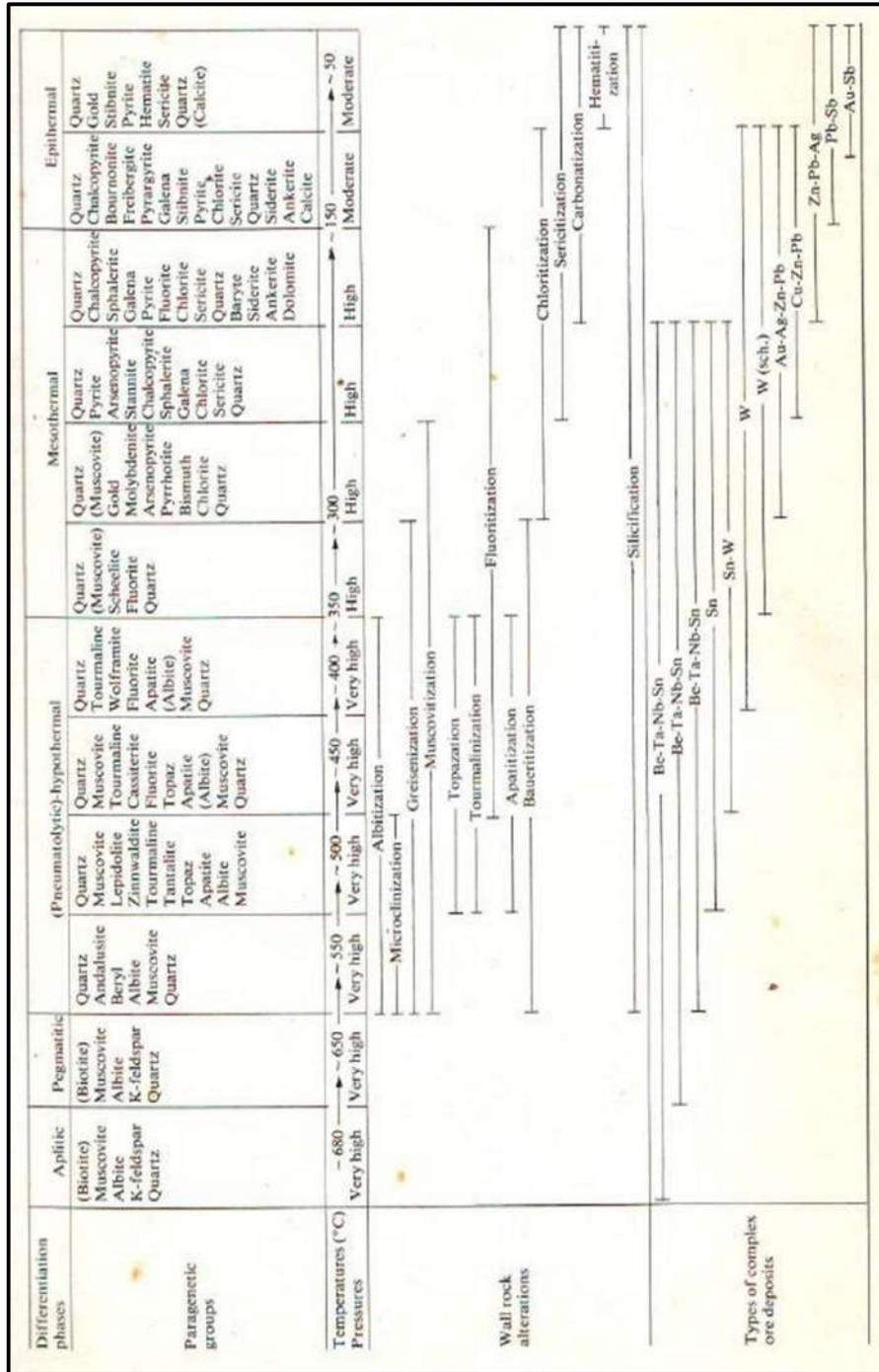
### 2.3.2 Geotermometer Mineral Alterasi

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 (Browne dalam Vina Oktavianty, 2017). Mineral hidrotermal sering digunakan sebagai geotermometer, berikut tabel mineral hidrotermal beserta suhu pembentukannya (Reyes, 1990) (Gambar 2.19).



**Gambar 2.19** Geothermometer mineral (Reyes, 1990)

Morisson dkk., (1998) mengemukakan adanya mineral-mineral hidrotermal petunjuk temperatur, di mana mineral tersebut merupakan mineral dasar yang terbentuk dari hasil alterasi batuan pada kondisi asam – pH netral. Neiva (1982) juga mengemukakan bahwa sistem hidrotermal dapat terbentuk mulai dari temperatur 500 C (Gambar 2.20). Setiap temperatur yang juga dipengaruhi tekanan, terdapat asosiasi endapan mineral bersama jenis-jenis mineral alterasi dan bijih yang terbentuk.



Gambar 2.20 Asosiasi endapan mineral dengan temperatur dan tekanan (Neiva, 1982).

## 2.4 Tekstur Khusus Mineral Bijih

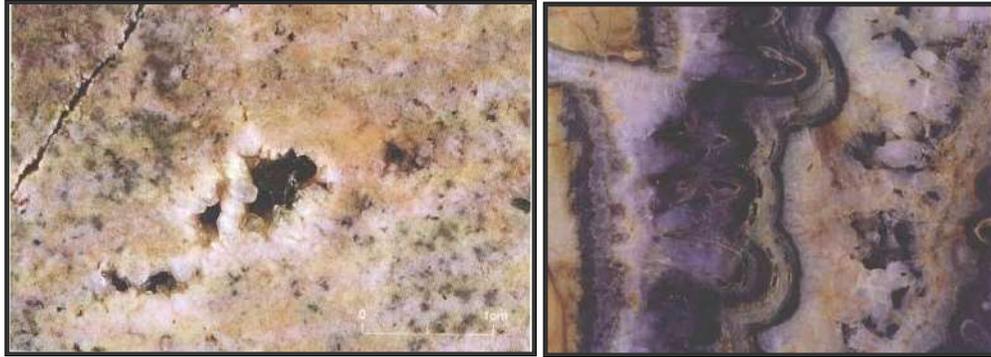
Tekstur bijih dapat bercerita banyak tentang genesa atau sejarah pembentukan bijih. Interpretasi genesa mineral dari tekstur sangat sulit dan haruslah hati-hati. Ada tiga tekstur yang dikenal, yaitu tekstur *open space filling* (*infilling*), tekstur *replacement*, serta *exolution*. (Sutarto, 2002).

### 2.4.1 Tekstur *Infilling* / *Open Space Filling* (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 (Morrison dkk, 1990 dalam Adi Maulana, 2017)

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 2.21)

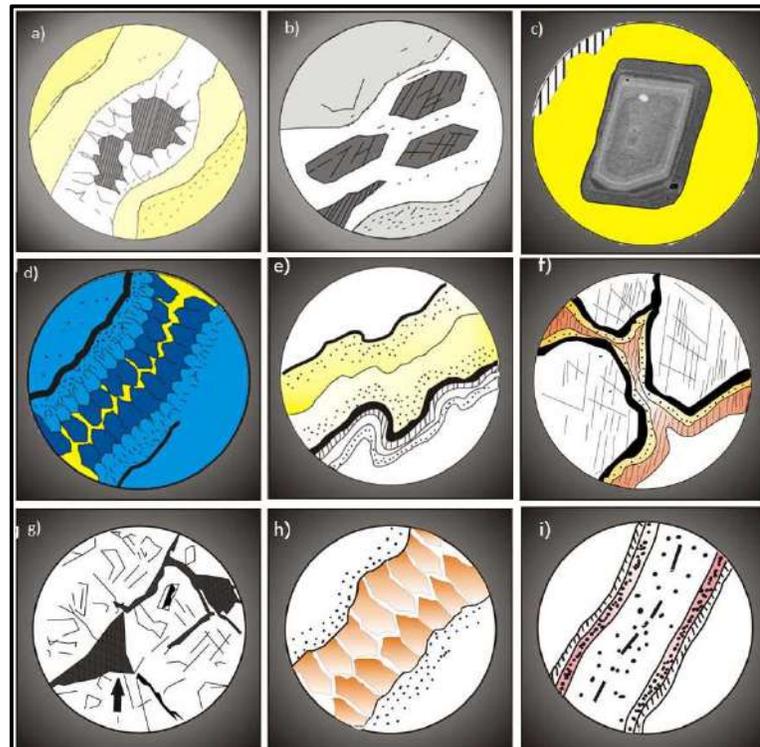


**Gambar 2.21** Foto kiri memperlihatkan kenampakan vuggy quartz, sedangkan foto kanan memperlihatkan tekstur crustiform-colloform, sebagai penciri tekstur pengisian (Morrison, 1990).

- 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
- 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. Fuida 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. Problemanya 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) (Morrison dkk, 1990 dalam Adi Maulana, 2017) (Gambar 2.22).

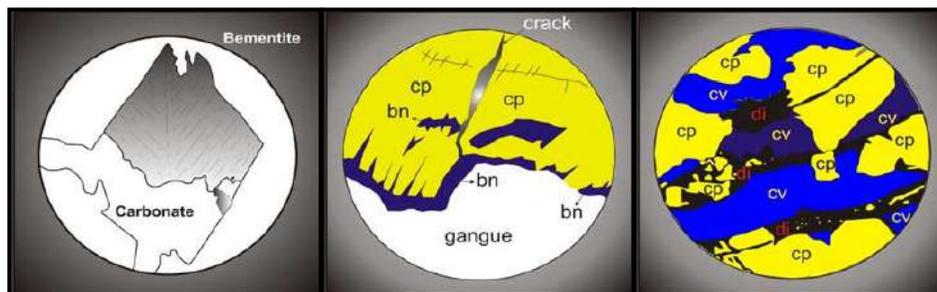


**Gambar 2.22** Beberapa kenampakan tekstur pengisian. Vuggy atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal zoning, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur crutiform, f). Tekstur cockade, g). Tekstur triangular, h). Comb structure, i). Pelapisan simetris (Morrison, 1990).

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.

#### 2.4.2 Tekstur *Replacement* (penggantian)

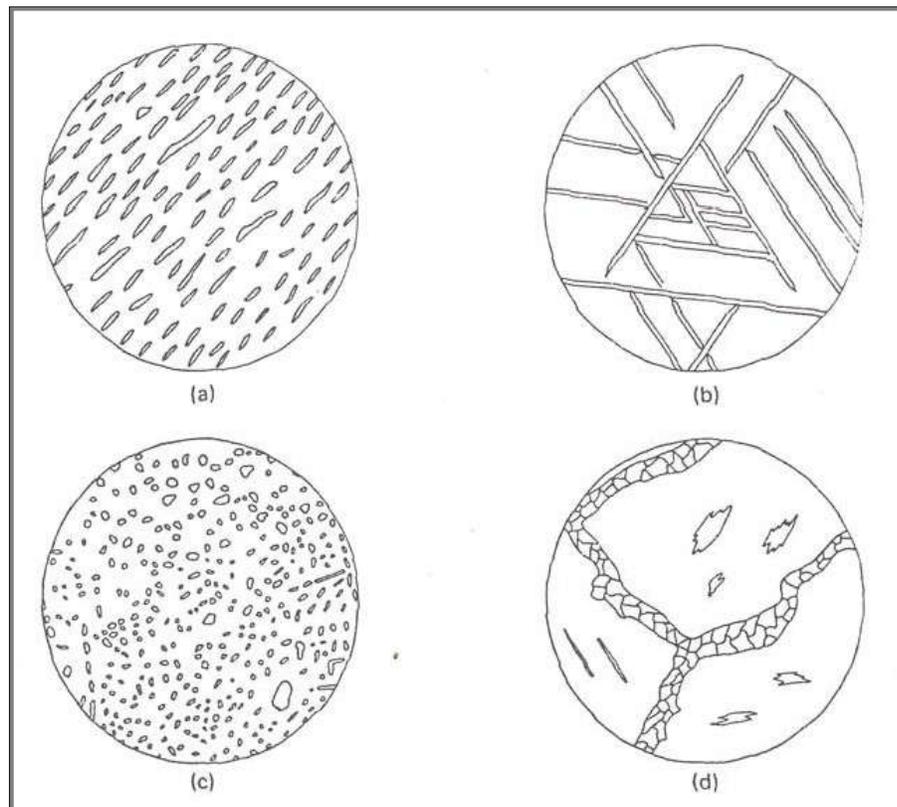
Proses ubahan dibentuk oleh penggantian sebagian atau seluruhnya tubuh mineral menjadi mineral baru. Karena pergerakan larutan selalu melewati pori, rekahan atau rongga, maka tekstur penggantian selalu perpasangan dengan tekstur pengisian. Oleh karena itu mineralogy pada tekstur penggantian relative sama dengan mineralogi pada tekstur pengisian, akan tetapi mineralogy pengisian cenderung berukuran lebih besar. Berikut beberapa contoh kenampakan tekstur ubahan (Morrison dkk, 1990 dalam Adi Maulana, 2017) (Gambar 2.23).



**Gambar 2.23** Beberapa kenampakan tekstur penggantian (Morrison, 1990).

### 2.4.3 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*. Kenampakan komponen (mineral) terlarut akan membentuk inklusi-inklusi halus pada mineral pelarutnya. Inklusi-inklusi ini kadang teratur dan sejajar, kadang berlembar, kadang tidak teratur (Morrison dkk, 1990 dalam Adi Maulana, 2017) (Gambar 2.24).



**Gambar 2.24** Beberapa kenampakan khas tekstur *exolution* pada mineral sulfide dan oksida (Evans, 1993).