

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

---

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI  
DAERAH KALAMISENG KABUPATEN BONE  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**SKRIPSI**



**NAMA : ANGGIT KURNIA  
NIM : D611 16 013**

**MAKASSAR  
2020**



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

---

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI  
DAERAH KALAMISENG KABUPATEN BONE  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Akademik untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
pada Kurikulum Strata Satu (S1) pada Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

**NAMA : ANGGIT KURNIA  
NIM : D611 16 013**



**MAKASSAR  
2020**

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI  
DAERAH KALAMISENG KABUPATEN BONE  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**



**SKRIPSI**

**Nama Mahasiswa : Anggit Kurnia  
No. Mahasiswa : D611 16 013**

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



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

**Disetujui oleh,  
Pembimbing I**

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

**Pembimbing II**

**Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T  
NIP. 19591008 19873 1 001**



## PERNYATAAN KEASLIAN

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

Makassar, Oktober 2020

Penulis



Anggit Kurnia



## ABSTRAK

Secara administratif lokasi penelitian terletak di Daerah Kalamiseng Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini bertujuan (1) Mengetahui tipe alterasi dan mineral penyusunnya, (2) Mengetahui asosiasi mineral logam yang terbentuk, (3) Mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih. Metode penelitian yang digunakan adalah survei lapangan dan analisis petrografi serta analisis mineragrafi. Hasil dari penelitian menunjukkan terdapat 3 tipe alterasi yang terjadi yaitu Tipe Filik *overprint* Propilitik (*Strong Phyllic overprinting Propylitic Alteration Type*) dengan mineral alterasi klorit, albit sekunder, aktinolit, tremolit, dan ortoklas sekunder; Tipe Propilitik *overprint* Potasik (*Strong Propylitic overprint Potassic Type*) dengan mineral alterasi serisit, kuarsa sekunder, klorit, tremolit, ortoklas sekunder, dan biotit sekunder; dan Tipe Filik *overprint* Propilitik *overprint* Potasik (*Moderate Phyllic overprinting Propylitic overprinting Potassic Alteration Type*) dengan mineral alterasi serisit, kuarsa sekunder, klorit, aktinolit, epidote, ortoklas sekunder, dan biotit sekunder. Asosiasi mineral logam yang dijumpai yaitu kalkopirit, pirit, sphalerit, kovelit, bornit, malachit, dan mineral oksida; Paragenesa pembentuk mineral bijih berturut-turut dimulai dari terbentuknya mineral kalkopirit, pirit, sphalerit, kovelit, malachit, dan bornit.

**Kata kunci** : Alterasi, Mineral Bijih, Tekstur Mineral, Paragenesa.



## **ABSTRACT**

*Administratively the study area is located at Kalamiseng, Bone District, South Sulawesi. This study purpose to (1) Identify alteration types and their constituent minerals, (2) Identify metal minerals asosiasi, (3) To find out paragenesi of ore minerals. The research method used is a field survey and petrographic analysis and mineralgrafi analysis. The results of this research are alteration zone consists of 3 types, Strong Phyllic overprinting Prophylic Alteration Type with alteration minerals chlorite, secondary albite, actinolite, tremolite, secondary orthoclase; Medium Prophylic overprinting Pottasic Type with alteration minerals sericite, secondary quartz, chlorite, tremolite, secondary orthoclase, and secondary biotite; and Medium-Strong Phylic overprinting Prophylic overprinting Pottasic Alteration Type with alteration minerals sericite, secondary quartz, chlorite, actinolite, epidote, secondary orthoclase, and secondary biotite. Ore mineral found in the form of chalcophyrite, pyrite, sphalerit, covelit, malachit, and bornit.*

**Keywords :** *Alteration, Ore Minerals, Mineral Texture, Paragenesis*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga proposal skripsi yang berjudul **“Studi Alterasi Dan Mineralisasi Daerah Kalamiseng Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan”** ini dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan dan membantu penulis baik berupa bantuan moril maupun materil dalam penyusunan laporan pemetaan geologi ini, antara lain :

1. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi, dukungan, bantuan kepada penulis, baik bantuan moril maupun materil, serta doa restu yang senantiasa terucapkan tiada henti yang kemudian menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
2. Bapak Dr. Ir. Musri Mawaleda, M.T sebagai dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, dan arahnya mulai dari penentuan judul hingga selama proses pembuatan tugas akhir.
4. Bapak dosen penguji atas segala bimbingan, saran, dan arahnya

Bapak Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis., Phd

Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T

Bapak Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil.



5. Dr.Eng.Asri Jaya, HS,S.T.,M.T sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Dr.Eng. Meutia Farida S.T., M.T sebagai Penasihat Akademik atas segala bimbingannya selama ini.
7. Kepada Direktur PT. Wijaya Eka Sakti yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di lokasi perusahaan
8. Kepada Muh.Sayyidus Cakrawala, Muh. Ihram Reyhan Rosan, Vara Soraya Malawat, Dimas Bagus Sukron, Rifki Halik Dg.Taha, Nur Ikhwana atas kebersamaan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Kepada OS14S Najwatul Husnah, Herani Ananda Putri, Ririn Astika Sari, Aprilia Hizkia, Grace Kintan, Alvira Yunita, Muh. Syahrul, Muh.Attas, Achmad Yusril, A. Moch. Mufti, Adi Palembang, Abd.Rahman Halim, A. Tiara, Alfani Amirullah, Sri Rahayu, Muh.Aqsa, A. Ibnu, Safirah Hamzah, dan Hildayanti yang telah memberikan bantuan moril dalam penyusunan skripsi ini.
10. Rekan-rekan mahasiswa geologi terkhusus Jurrasic yang telah banyak membantu selama penyusunan skripsi ini.
11. Berbagai pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu, atas segala bantuan maupun dorongan yang diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, sehingga segala saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diperlukan

nyempurnaannya.



Akhir kata penulis mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan kata dalam skripsi ini dan semoga dapat berguna bagi semua pihak yang menggunakannya. Aamiin.

Makassar, Oktober 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

|  |              |
|--|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                 | <b>i</b>     |
| <b>HALAMAN TUJUAN .....</b>                | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>            | <b>iii</b>   |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>           | <b>iv</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                       | <b>v</b>     |
| <b>ABSTRACT .....</b>                      | <b>vi</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                | <b>vii</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                    | <b>x</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                 | <b>xii</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                  | <b>xiiiv</b> |
| <b>DAFTAR ISTILAH .....</b>                | <b>xvi</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>             | <b>1</b>     |
| 1.1 Latar Belakang .....                   | 1            |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                  | 2            |
| 1.3 Batasan Masalah .....                  | 2            |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                | 2            |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....               | 2            |
| 1.6 Lokasi Penelitian .....                | 3            |
| 1.7 Penelitian Terdahulu .....             | 4            |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>       | <b>5</b>     |
| 2.1 Geologi Regional .....                 | 5            |
| 2.1.1 Geomorfologi Regional .....          | 5            |
| 2.1.2 Stratigrafi Regional .....           | 5            |
| 2.1.3 Struktur Geologi Regional .....      | 6            |
| 2.2 Geologi Daerah Penelitian .....        | 8            |
| 2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian ..... | 8            |
| Stratigrafi Daerah Penelitian .....        | 10           |
| Struktur Geologi Daerah Penelitian .....   | 14           |
| Landasan Teori .....                       | 15           |



|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 2.3.1  | Hidrotermal.....                                    | 15        |
| 2.3.2  | Alterasi Hidrotermal.....                           | 17        |
| 2.3.3  | Mineralisasi Hydrothermal.....                      | 20        |
| 2.3.4  | Tipe Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal.....     | 22        |
| 2.4  | Tekstur Mineral Bijih.....                          | 28        |
| 2.5  | Paragenesa Mineral.....                             | 34        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>             |   | <b>36</b> |
| 3.1  | Metode Penelitian.....                              | 36        |
| 3.2  | Tahapan Penelitian.....                             | 36        |
| 3.2.1  | Tahap Persiapan.....                                | 36        |
| 3.2.2  | Tahap Penelitian Lapangan.....                      | 37        |
| 3.2.3  | Tahap Analisis Laboratorium.....                    | 38        |
| 3.2.3.1  | Analisis Petrografi.....                            | 38        |
| 3.2.3.2  | Analisis Mineragrafi.....                           | 38        |
| 3.2.4  | Tahap Penyusunan Laporan.....                       | 39        |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b> |   | <b>41</b> |
| 4.1  | Alterasi Hidrotermal Daerah Penelitian.....         | 41        |
| 4.1.1  | Analisis Alterasi Daerah Penelitian.....            | 41        |
| 4.1.2  | Karakteristik Alterasi Daerah Penelitian.....       | 52        |
| 4.2  | Mineralisasi Hidrotermal Daerah Penelitian.....     | 56        |
| 4.2.1  | Analisis Mineralisasi Bijih.....                    | 56        |
| 4.2.2  | Tekstur Khusus Mineral Bijih Daerah Penelitian..... | 61        |
| 4.3  | Paragenesa Mineral Bijih Daerah Penelitian.....     | 65        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>                         |   | <b>68</b> |
| 11.1   | Kesimpulan.....                                     | 68        |
| 11.2   | Saran.....  | 69        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                        |   | <b>70</b> |

#### DAFTAR ISI

Deskripsi Petrografi  
 Deskripsi Mineragrafi



## DAFTAR GAMBAR

| <b>Gambar</b>  | <b>Halaman</b> |
|--|----------------|
| 1.1. Peta tunjuk lokasi daerah penelitian .....  | 3              |
| 2.1. Peta Geologi Sulawesi Selatan (Suyono dan Kusnama, 2010 dalam Sompotan 2012).....   | 7              |
| 2.2. Peta geomorfologi daerah penelitian (Modifikasi dari Kaharuddin dkk, 2020).....   | 8              |
| 2.3. Satuan geomorfologi perbukitan terjal (Kaharuddin dkk, 2020).....   | 9              |
| 2.4. Satuan geomorfologi pegunungan terjal (Kaharuddin dkk, 2020) .....  | 10             |
| 2.5. Singkapan basal pada stasiun 07-117-RO (Kaharuddin dkk, 2020).....  | 11             |
| 2.6. Singkapan basal pada stasiun stasiun 07-102-RO (Kaharuddin dkk, 2020).....  | 11             |
| 2.7. Photograph Batuan Basal: plagioklas (labradorite=Pl), hornblende (Hb), piroksen (Py), kuarsa (Qz) (Kaharuddin dkk, 2020).....   | 12             |
| 2.8. Singkapan granodiorit pada stasiun 07-114-RO (Kaharuddin dkk, 2020)   | 13             |
| 2.9. Foto sampel “ <i>handspecimen</i> ” granodiorit (Kaharuddin dkk, 2020).....   | 13             |
| 2.10. Photograph batuan granodiorit yang secara petrografi diberi nama Monzonit (07-134B-RO): K-feldspar (ortoklas=Kf), plagioklas (labradorite =Pl), hornblende (Hb), serta mineral sekunder hasil alterasi hidrotermal klorit (Ch) (Kaharuddin dkk,2020) ..... | 13             |
| 2.11. Peta struktur geologi daerah penelitian (Modifikasi dari Kaharuddin dkk,2020).....   | 14             |
| 2.12. Kenampakan skematik dari zona alterasi hidrotermal (a) dan mineralisasi (b) pada sistem endapan tembaga –molibdenit porfiri berdasarkan Lowel & Guilbert (1970). .....   | 25             |
| 2.13. Mineral alterasi yang umum pada sistem Hidrotermal, The Terry Leach pH dan Suhu (Corbett and Leach,1998) .....   | 27             |
| 2.14. (a) kenampakan <i>vuggy quartz</i> , (b) Tekstur <i>crustiform-colloform</i> , sebagai ciri tekstur pengisian (Sutarto, 2001).....   | 29             |



|      |  |    |
|------|--|----|
|      | <i>ing</i> , d). Gradasi ukuran Kristal, e).Tekstur <i>crustiform</i> , f). Tekstur <i>cockade</i> , g).Tekstur <i>triangular</i> , h). <i>Comb structure</i> , i).Pelapisan simetris (Guilbert dan Park, 1986) .....  | 30 |
| 2.16 | Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian Berturut-turut dari kiri: (a) <i>Pseudomorf</i> , bementit mengganti sebagian Kristal karbonat; (b) bornit mengganti pada bagian tepi rekahan kalkopirit; dan (c) Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang berbeda (Guilbert dan Park, 1986).....    | 32 |
| 2.17 | Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian Berturut-turut dari arah kiri: (a) Urat kalkopirit yang saling memotong, tidak memperlihatkan pergesaran; (b) Komposisi mineral yang tidak simetris pada dinding rekahan; (c) kenampakan tumbuh bersama yang tidak teratur pada bagian tepi mineral (Guilbert dan Park, 1986). ..... | 32 |
| 2.18 | (a) Memperlihatkan kenampakan foto mikroskopis tekstur penggantian mineral kovelit pada bagian tepi mineral kalkopirit.(b) memperlihatkan kenampakan foto mikroskopis tekstur exolution mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit (perbesaran 40x. Lok. Ciemas) (Sutarto, 2001) .....   | 33 |
| 2.19 | Beberapa kenampakan khas tekstur <i>exolution</i> pada mineral sulfide dan oksida a)Pemilahan mineral hematite dalam ilmenit; b) <i>Exolution</i> lembaran ilmenit dalam magnetit;c) <i>Exolution</i> butiran kalkopirit dalam sfalerit d) <i>Rim exolution</i> pendlandit dari pirhotit (Evans, 1993) .....   | 34 |
| 3.1  | Diagram alur penelitian .....  | 40 |
| 4.1  | Fotomikrograf batuan granodiorit pada stasiun 07 – 131 – RF : albit sekunder (Abt 2nd), ortoklas sekunder (Ort 2nd), aktinolit (Act), klorit (Ch), tremolit (Trm), hornblende (Hb), plagioklas (Pl), sanidine (Sdn), albit (Abt), dan titanit (Ttn). .....   | 42 |
| 4.2  | Fotomikrograf batuan granodiorit pada stasiun 07 – 131 – RF : albit sekunder (Abt 2nd), ortoklas sekunder (Ort 2nd), aktinolit (Act), klorit (Ch), tremolit (Trm), hornblende (Hb), plagioklas (Pl), sanidine (Sdn), albit (Abt) .....   | 44 |



|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.3  | Fotomikrograf batuan granodiorit pada stasiun 07-140-RO: albit (Abt), serisit (Ser), ortoklas (Ort), aktinolit (Act), tremolit (Trm), hornblende (Hb), sanidine (Sdn), biotit (Bt).....  | 44 |
| 4.4  | Fotomikrograf batuan granodiorit pada stasiun 07-141-RO: albit (Abt), serisit (Ser), ortoklas (Ort), aktinolit (Act), tremolit (Trm), hornblende (Hb), sanidine (Sdn), biotit (Bt).....  | 49 |
| 4.5  | Peta alterasi daerah penelitian .....  | 55 |
| 4.6  | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-131 RF yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py) dalam bentuk disseminasi .....   | 56 |
| 4.7  | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-134 RF yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py), sphalerit (Sph), bornit (Brn), kovelit (Cv) malachit (Mc) .....   | 51 |
| 4.8  | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-140-RO yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py), sphalerit (Sph), bornit (Brn), kovelit (Cv) malchit (Mc).....   | 60 |
| 4.9  | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-141 RO yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp), pirit (Py) dalam bentuk disseminasi .....   | 61 |
| 4.10 | Fotomikrograf sayatan poles (a). Sampel 07-131-RF memperlihatkan pirit (Py) mengganti kalkopirit (Ccp); Sampel 07-134-RO (b). Memerlihatkan kovelit (Cv), malachit (Mc), bornit (Brn) menggantikan kalkopirit (Ccp) (c). Memerlihatkan sphalerit (Sph) menggantikan kalkopirit (Ccp) dan kovelit (Cv) menggantikan pirit (Py); Sampel 07-140 RO (d). Memerlihatkan mineral pirit (py) menggantikan kalkopirit (ccp)(e). Memerlihatkan sphalerit (sph) menggantikan (rim) mineral pirit (py)..... | 63 |
| 4.11 | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-140-RO yang menunjukkan tekstur inklusi mineral kalkopirit (Ccp) pada tubuh mineral pirit (Py) .....  | 64 |
| 4.12 | Fotomikrograf sayatan poles stasiun 07-134-ROB yang menunjukkan mineral kalkopirit (Ccp) dan pirit (Py) terisi oleh mineral sphalerit (Sph)  | 65 |



## DAFTAR TABEL

| <b>Tabel</b>  | <b>Halaman</b> |
|---|----------------|
| 2.1 Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert & Park, 1986 dalam Maulana, 2017) .....   | 26             |
| 4.1 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi aktinolit-klorit-albit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998).....                 | 42             |
| 4.2 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi aktinolit- ortoklas- albit - klorit (Berdasarkan dari Lawless dkk., 1998) .. | 43             |
| 4.3 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit – kuarsa - klorit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998).....              | 45             |
| 4.4 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi aktinolit-klorit- kuarsa (Berdasarkan Lawless dkk., 1998) .....              | 45             |
| 4.5 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi biotit- ortoklas-kuarsa (Berdasarkan Lawless dkk., 1998).....                | 45             |
| 4.6 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit- kuarsa-klorit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998) .....                | 47             |
| 4.7 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi epidote- aktinolit- klorit- ortoklas (Berdasarkan Lawless dkk., 1998).....   | 48             |
| 4.8 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi serisit-kuarsa - klorit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998) .....               | 50             |
| 4.9 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi klorit-aktinolit (Berdasarkan Lawless dkk., 1998) .....                      | 50             |
| 4.10 Kesebandingan kisaran temperatur alterasi mineral pada zona alterasi biotit-aktinolit-ortoklas (Berdasarkan Lawless dkk., 1998) .....            | 50             |
| 4.11 Distribusi mineral alterasi pada daerah penelitian.....  | 51             |
| 4.12 Paragenesa mineralisasi pada daerah penelitian.....  | 67             |



## DAFTAR ISTILAH

- Amygdaloidal : Lubang-lubang bekas gas pada batuan beku (lava), yang telah diisi oleh mineral sekunder
- Anisotropik : Mineral dengan sistem kristal non-isometrik akan menunjukkan perubahan warna ketika diputar 360 derajat pada pengamatan nikol silang
- Aplit : Batuan beku intrusif di mana komposisi mineralnya adalah sama seperti granit, tetapi butirannya jauh lebih halus, di bawah 1 mm
- Epitermal : Endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan umumnya terletak pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan
- Fenokris : Kristal yang lebih besar dari matriks yang terbentuk lebih dahulu
- Flow texture* : Tekstur pada batuan beku yang menampakkan mineral tersusun seperti aliran
- Fracture* : Retakan pada batuan yang relatif tidak mengalami pergeseran pada bidang rekahnya
- Fraksional : Pemisahan kristal dari larutan atau kristal pada saat pendinginan magma
- Minerals* : Mineral non logam yang terdapat bersama-sama mineral logam didalam suatu batuan



- Isotropik : Mineral dengan sistem kristal non-isometrik tidak menunjukkan perubahan warna ketika diputar 360 derajat pada pengamatan nikol silang
- Magmatisme : Proses kegiatan magma, mulai dari peleburan, proses ketika pergerakan magma yang belum sampai ke permukaan bumi
- Opak : Sifat mineral yang tidak tembus cahaya
- Orogenesa : Sebuah gerakan yang terjadi pada permukaan bumi dan gerakan tersebut bisa berupa gerakan vertikal maupun gerakan horizontal yang membentuk pegunungan
- Overprint* : Kondisi terjadinya lebih dari 1 tipe alterasi pada batuan
- Pegmatisme : Proses pembentukan mineral dengan larutan sisa magma yang terdiri atas cairan dan gas mempunyai suhu sekitar 450°C – 600°C.
- Permeabilitas : Kemampuan suatu batuan untuk dapat meloloskan fluida
- Pillow Lava* : Merupakan struktur yang berbentuk bantal khas yang dikaitkan dengan ekstrusi lava di bawah air, atau ekstrusi subak
- Pseudomorf* : Kristal yang mengalami perubahan komposisi kimianya, tetapi bentuk kristalnya tetap
- Sill* : Intrusi melembat berbentuk tabular yang menerobos baik di antara dua lapisan yang lebih tua dari batuan sedimen,



- per lapisan lava gunung berapi atau tuf, atau bahkan sepanjang arah foliasi di batuan metamorf
- Stock* : Intrusi batuan beku yang mtersingkap di permukaan sebesar kurang dari 100 kilometer persegi
- Stockwork* : Tekstur berupa kolompok urat/vein pada batuan yang saling berpotongan
- Subduksi : Proses yang terjadi pada batas konvergen di mana satu lempeng tektonik bergerak di bawah lempeng tektonik lain
- Supergen Enrichment* : Pengayaan kembali endapan primer (pengayaan sulfida)
- Terban : Hasil dari patahan pada kulit bumi yang mengalami depresi dan terletak di antara dua bagian yang lebih tinggi (bagian lembah)
- Vulkanisme : Proses kegiatan magma, mulai dari peleburan, proses ketika pergerakan magma yang sampai ke permukaan bumi
- Wallrock* : Batuan yang merupakan dinding atau batuan samping suatu daerah yang mengalami aktivitas geologi
- Zoning* : Tekstur yang berkembang pada mineral solid-solution dengan ciri optikal berupa perubahan warna mineral atau sudut pepadaman mineral dari inti ke tepi



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sulawesi terletak di kepulauan Indonesia utara yang dikaitkan dengan kompleks interaksi lempeng Asia Tenggara, Pasifik, dan IndiaAustralia Banyaknya kejadian beberapa endapan porfiri berharga dan logam dasar di Sulawesi dikaitkan dengan pengaturan tektonik ini. Tepi timur Lempeng Asia Tenggara terlibat dalam setidaknya tiga peristiwa subduksi besar, yang telah berkontribusi pada evolusi Sulawesi (Kavalieris et al., 1992).

Menurut (Maskuri, 2010) endapan-endapan suatu mineral dipengaruhi oleh beberapa karakteristik yang dikenali melalui mineral-mineral alterasi yang terekam melalui batuan. Perubahan komposisi mineral terjadi pada zona alterasi. Setiap perubahan tersebut umumnya dipengaruhi oleh proses kimia dan magmatisme. Pada zona alterasi inilah terdapat potensi pembentukan mineral (Zuhannisa, 2019).

Alterasi batuan merupakan proses penambahan atau pertukaran unsur dari suatu mineral menjadi mineral yang baru dan akan menyebabkan perubahan terhadap massa, volume, serta konsentersasi unsur yang dipengaruhi oleh kondisi, komposisi dan konsentrasi kimiawi dari komponen fluida (Verdiansyah, 2016).

Pendekatan studi karakteristik alterasi dan mineralisasi menjadi penting untuk diketahui, hal inilah yang mendorong penulis untuk melakukan penelitian yang lebih detail mengenai “*Studi Alterasi dan Mineralisasi Daerah Kalamiseng*

*en Bone Provinsi Sulawesi Selatan*” agar diperoleh data-data yang cukup

menunjang informasi geologi untuk mengetahui potensi yang terdapat pada



daerah tersebut demi pengembangan daerah ke arah yang lebih maju di masa yang akan datang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik dan tipe alterasi mineral daerah penelitian?
2. Bagaimana asosiasi mineralisasi daerah penelitian?
3. Bagaimana paragenesa mineralisasi yang terjadi pada daerah penelitian?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah pada identifikasi jenis, tekstur dan paragenesa mineral bijih serta tipe alterasi pada daerah Kalamiseng, Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan pada sayatan poles dengan menggunakan analisis mineragrafi dan sayatan tipis dengan menggunakan analisis petrografi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan diatas, terdapat tiga tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui tipe alterasi dan mineral penyusunnya
2. Mengetahui asosiasi mineral logam yang terbentuk
3. Mengetahui paragenesa pembentukan mineral bijih

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat ilmiah dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai

stik alterasi mineral dan mineralisasi hidrotermal pada batuan granodiorit.

husus bagi penulis, penelitian ini bermanfaat dalam mengetahui dan

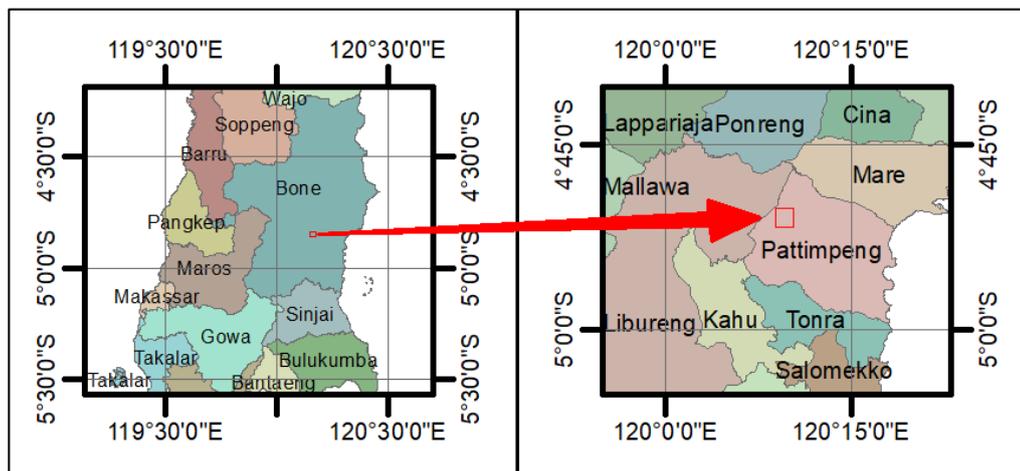


menginterpretasi atau mengurutkan genesa pembentukan mineral bijih yang ada pada daerah penelitian.

## 1.6 Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian termasuk ke dalam daerah Kalamiseng Kecamatan Pattimpeng, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis daerah ini terletak pada  $120^{\circ}8'51,886''$  -  $120^{\circ}10'21,577''$  Bujur Timur dan  $4^{\circ}50'11,906''$  -  $4^{\circ}51'39,623''$  Lintang Selatan.

Daerah penelitian dapat ditempuh dengan menggunakan jalur darat menggunakan kendaraan roda dua ataupun empat. Perjalanan dari kota Makassar ke daerah penelitian dapat ditempuh dari 2 jalur, yaitu melalui jalur Camba dengan jarak  $\pm 132$  km dengan waktu tempuh sekitar 4 jam perjalanan, dan melalui jalur Bulu Dua dengan jarak  $\pm 150$  km dengan waktu tempuh sekitar 5 jam perjalanan.



**Gambar 1.1** Peta tunjuk lokasi daerah penelitian



## 1.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa ahli geologi yang pernah mengadakan penelitian di lokasi ini yang sifatnya regional diantaranya sebagai berikut:

1. Van Bemmelen (1949), melakukan penelitian mengenai geologi regional Indonesia. Termasuk Sulawesi yang disebut sebagai *Celebes*, khususnya meneliti mengenai proses orogenesis dari bagian utara, tengah, dan selatan pulau Sulawesi.
2. Rab Sukamto (1982), melakukan pemetaan geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat dengan skala 1 :250.000, menghasilkan Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat Sulawesi skala 1 : 250.000.
3. Marlina A, Elburg dan Jhon Foden (1998), melakukan penelitian tentang pengaruh tektonik terhadap perubahan variasi geokimia batuan di Sulawesi Selatan.
4. Van Leeuwen (2010), melakukan penelitian tentang evolusi tektonostratigrafi cekungan marginal kenozoikum dan sukesi margin kontinen di Pegunungan Bone, Sulawesi Selatan.
5. Kaharuddin, Musri Mawaleda, Adi Tonggiroh, dan Jamal Rauf (2020), melakukan penelitian mengenai cebakan bijih Cu di wilayah perusahaan PT. Wijaya Eka Sakti kabupaten Bone, Sulawesi Selatan.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional**

Daerah Kalamiseng Kabupaten Bone provinsi Sulawesi Selatan secara regional termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat Sulawesi Selatan (Sukamto,1982).

##### **2.1.1 Geomorfologi Regional**

Pada pegunungan bagian barat menempati hampir setengah luas daerah, yang melebar di bagian Selatan (50 km) dan menyempit di bagian Utara (22 km) dengan puncak tertingginya 1694 m dan ketinggian rata-ratanya 1500 m dari permukaan laut. Pembentuknya sebagian besar batuan gunungapi.

Pegunungan yang di Timur relatif lebih sempit dan lebih rendah, dengan puncaknya rata-rata setinggi 700 m dari permukaan air laut, sedangkan yang tertinggi adalah 787 m dimana sebagian besar pegunungan ini tersusun dari batuan gunungapi. Di bagian selatannya selebar 20 km dan lebih tinggi, tetapi ke Utara menyempit dan merendah dan akhirnya menunjam ke bawah batas antara lembah Walanae dan dataran Bone.

##### **2.1.2 Stratigrafi Regional**

Stratigrafi regional daerah penelitian disusun oleh berbagai jenis litologi dari berbagai formasi yang tergolongkan dalam satuan batuan tertentu, berikut disajikan mengenai stratigrafi regional daerah penelitian berdasarkan batuan yang termuda.



## Batuan Terobosan

### 1. Granodiorit

Terobosan Granodiorit berwarna kelabu muda, dengan mikroskop batuanannya terlihat, mengandung feldspar kuarsa, biotit, sedikit piroksin dan hornblende, dengan mineral ikutan zirkon dan apatit, dan magnetit, mengandung xenolit bersusunan Diorit.

### 2. Diorit – Granodiorit

Terobosan Diorit dan Granodiorit, terutama stok dan sebagian retas, kebanyakan bertekstur porfiri, berwarna kelabu muda sampai kelabu.

### 3. Trakit

Terobosan Trakit berupa *stock*, *sill*, dan retas, bertekstur porfiri kasar dengan fenokris sanidin sampai tiga centimeter panjangnya, berwarna putih kelabuan sampai kelabu muda.

### 4. Basal

Terobosan Basal berupa *sill*, *stock* dan retas, kebanyakan bertekstur porfiri, dengan fenokris piroksin kasar sampai ukurannya lebih dari satu centimeter.

## 2.1.3 Struktur Geologi Regional

Lengan selatan pulau Sulawesi secara struktural dibagi atas dua bagian yaitu lengan selatan bagian utara dan lengan selatan bagian selatan yang sangat berbeda struktur geologinya (Van Bemellen, 1949).

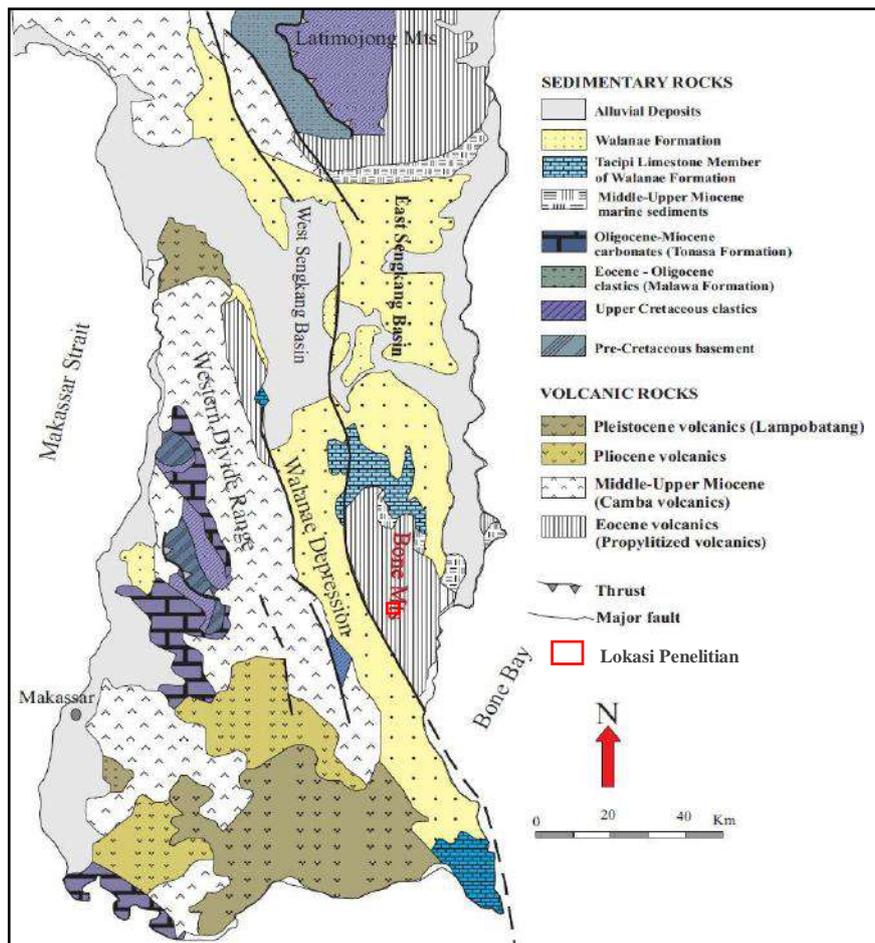
Pada daerah bagian timur terjadi vulkanisme yang dimulai sejak Miosen. Hal ini ditunjukkan pada daerah Kalamiseng dan Soppeng. Akhir vulkanisme ini diikuti oleh tektonik yang menyebabkan terjadinya



permulaan terban Walanae yang kemudian menjadi cekungan tempat pembentukan formasi Walanae. Peristiwa ini kemungkinan besar berlangsung sejak awal Miosen Tengah dan mengalami penurunan perlahan-lahan selama terjadi proses sedimentasi sampai kala Pliosen, proses penurunan terban Walanae dibatasi oleh dua sistem sesar normal, yaitu sesar Walanae yang seluruhnya nampak hingga sekarang di timur dan sesar Soppeng yang hanya tersingkap tidak menerus di sebelah Barat.

Sejak Miosen Tengah terjadi sesar utama yang berarah Utara – Baratlaut dan tumbuh setelah Pliosen. Perlipatan besar yang berarah hampir sejajar dengan sesar utama diperkirakan terbentuk sehubungan adanya tekanan mendatar yang kira-kira berarah Timur-Barat sebelum akhir Pliosen. Tekanan ini mengakibatkan pula adanya sesar lokal yang menggesarkan batuan Pra Kapur Akhir di lembah Walanae dan di bagian Barat pegunungan Barat, yang berarah Baratlaut- Tenggara, kemungkinan besar terjadi oleh gerakan mendatar ke kanan sepanjang sesar utama.





**Gambar 2.1** Peta Geologi Sulawesi Selatan (Suyono dan Kusnama, 2010 dalam Sompotan 2012)

## 2.2 Geologi Daerah Penelitian

### 2.2.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Pendekatan *morfografi* (bentuk) mengelompokkan bentang alam berdasarkan pada bentuk bumi yang dijumpai di lapangan yaitu topografi pedataran, bergelombang, miring, landai, perbukitan dan pegunungan. Aspek ini memperhatikan parameter dari setiap topografi seperti bentuk puncak, bentuk

dan bentuk lereng (Thornbury, 1969).

berdasarkan aspek tersebut maka satuan bentangalam daerah penelitian yaitu

tantangalam perbukitan terjal (Gambar 2.3). Satuan bentangalam perbukitan

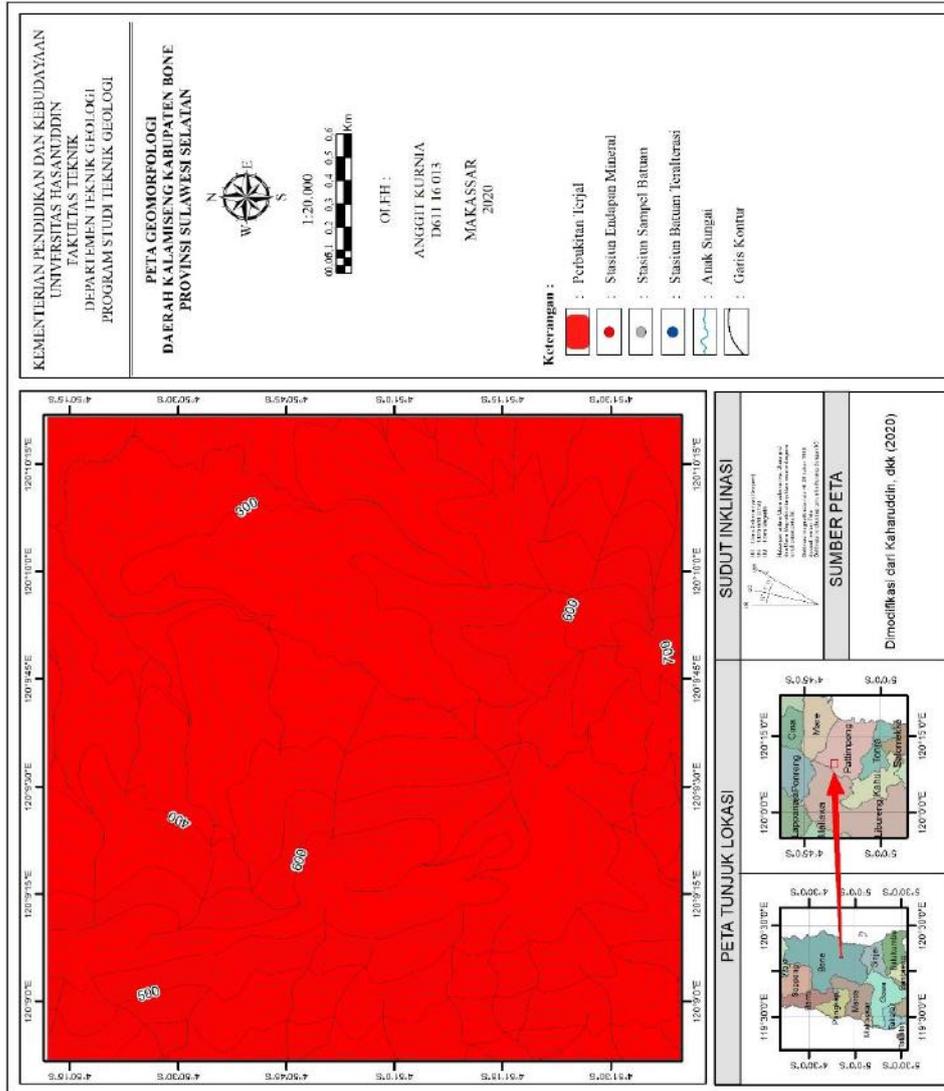


terjal menempati 100% dari keseluruhan luas lokasi penelitian. Dengan luas sekitar 20,94 km<sup>2</sup>. Berdasarkan pendekatan morfografi kenampakan topografi dari satuan ini memberikan gambaran pola kontur yang relatif renggang dengan ketinggian minimal 250 mdpl dan ketinggian maksimal 725 mdpl. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, daerah ini relatif bergelombang dan berbukit dengan puncak yang tumpul (Gambar 2.2) hingga disimpulkan bahwa daerah ini merupakan perbukitan terjal.



**Gambar 2.2** Satuan geomorfologi perbukitan terjal (Kaharuddin dkk,2020)





**Gambar 2.3** Peta geomorfologi daerah penelitian (Dimodifikasi dari Kaharuddin dkk.,2020)

### 2.1.1 Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan litostatigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 satuan yaitu satuan granodiorit dan satuan basal (Gambar 2.11). Uraian mengenai satuan batuan dari batuan tua ke batuan yang muda sebagai berikut :

#### 1. Satuan Basal

Satuan basal menyebar sangat luas di seluruh blok prospek. Basal hadir dalam dua karakter yakni sebagai intrusi dan lava. Struktur masif serta setempat dijumpai struktur lava bantal (*pillow lava*). Hubungannya dengan batuan yang lebih tua seperti batuan sedimen (batulempung dan batugamping) menunjukkan kontak intrusi. Sedangkan dengan gabro tidak diketahui dengan jelas, akan tetapi diinterpretasikan bahwa basal sebagai lelehan dari gabro. Tekstur porfiritik dan diabasic *texture/ophitic texture* untuk intrusi, serta *flow texture* dan *amygdaloidal* untuk lava basal. Di lapangan basal umumnya dijumpai berkembang menjadi basal-andesitik. Secara visual dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.

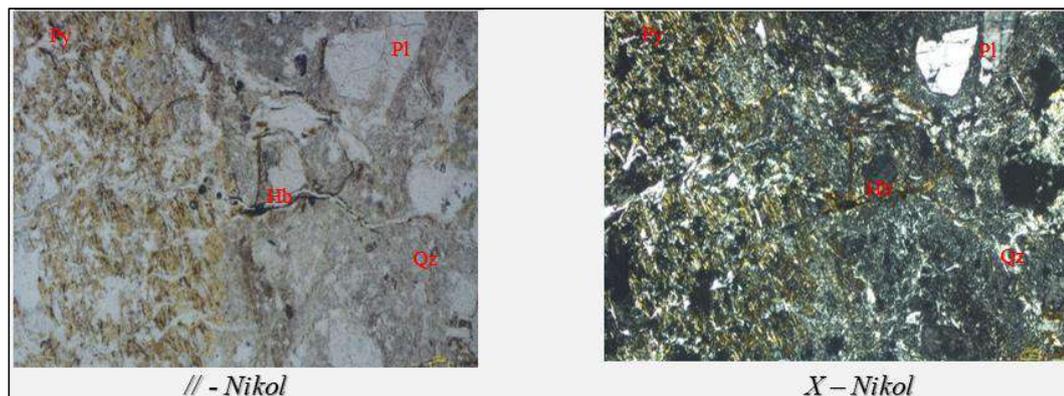


Gambar 2.5 Singkapan basal pada stasiun 07-117-RO (Kaharuddin dkk, 2020)





**Gambar 2.6** Singkapan basal pada stasiun 07-102-RO (Kaharuddin dkk, 2020)



**Gambar 2.7** Photograph batuan basal: plagioklas (labradorite=Pl), hornblende (Hb), piroksen (Py), kuarsa (Qz) (Kaharuddin dkk,2020)

## 2. Satuan Granodiorit

Satuan Granodiorit merupakan batuan intrusif yang menerobos semua batuan yang lebih tua. Di lapangan setempat dikenali sebagai granodiorit, berwarna terang kehijauan. Warna kehijauan nampaknya akibat pengaruh alterasi yang didominasi mineral alterasi hidrotermal seperti klorit dan epidot. Tersingkap secara luas di

penelitian. Hasil analisis petrografi keseluruhan sampel yang dikenali granodiorit di lapangan, dengan komposisi kuarsa yakni kurang dari 10%.



Kehadiran kuarsa yang lebih dari 10% pada umumnya adalah kuarsa sekunder baik sebagai urat kuarsa maupun alterasi atau hasil alterasi dari K-feldspar. Secara petrografi batuan ini lebih tepat diberi nama monzodiorit hingga monzonit. Penamaan tersebut didasarkan atas sedikitnya kuarsa serta dominasi K-feldspar dalam hal ini ortoklas dan sanidin terhadap plagioklas (labradorit). Secara visual dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8, Gambar 2.9, dan Gambar 2.10.



**Gambar 2.8** Singkapan granodiorit pada stasiun 07-114-RO (Kaharuddin dkk, 2020)



**Gambar 2.9** Foto Sampel “*Handspecimen*” batuan granodiorit (Kaharuddin dkk, 2020)



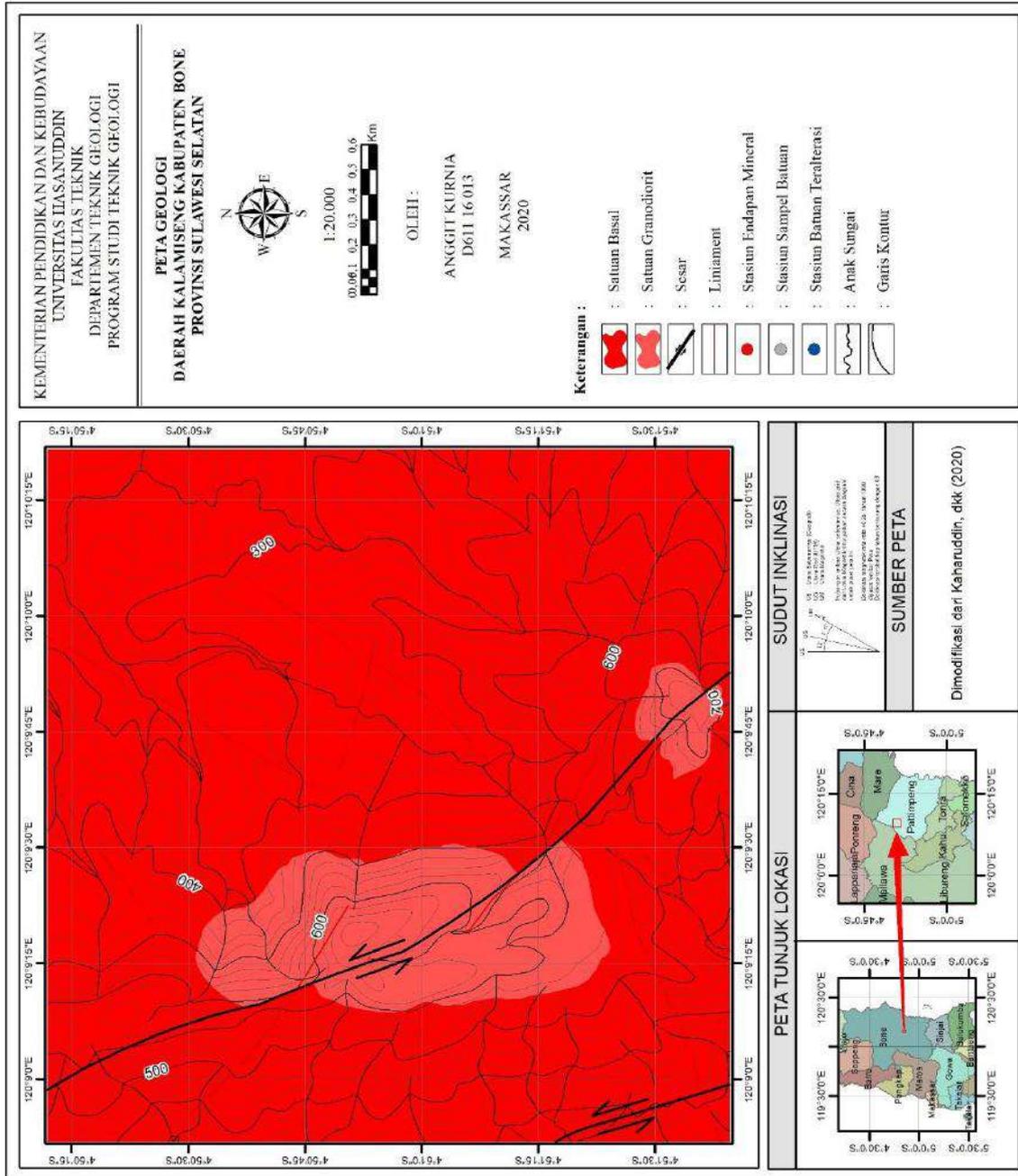


**Gambar 2.10** Photograph batuan granodiorit yang secara petrografi diberi nama monzonit (07-134B-RO): k-feldspar (ortoklas=Kf), plagioklas (labradorite=Pl), hornblende (Hb), serta mineral sekunder hasil alterasi hidrotermal klorit (Ch) (Kaharuddin dkk,2020)

### 2.1.2 Struktur Daerah Penelitian

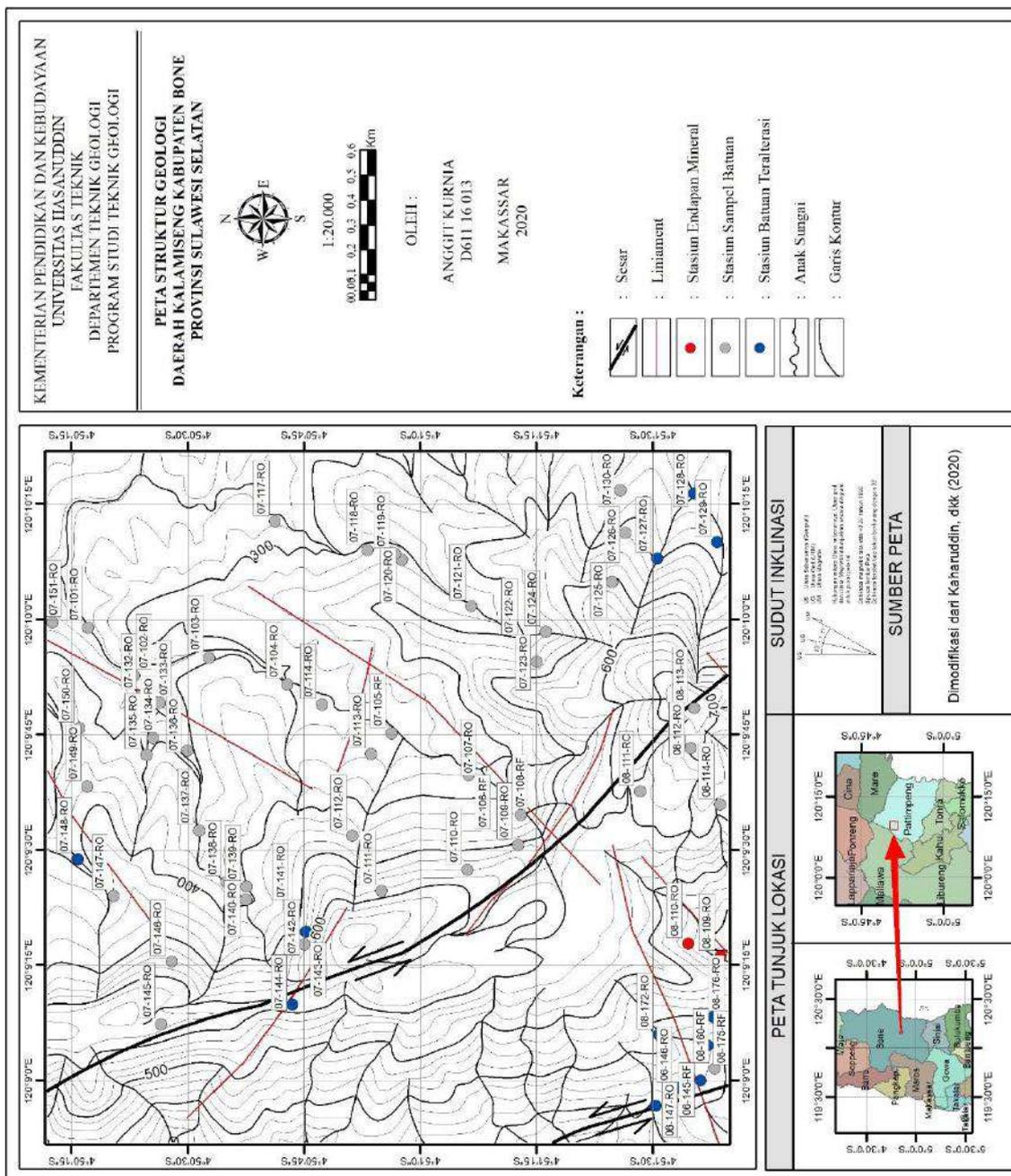
Struktur geologi yang dapat diamati di daerah penelitian yakni kekar dan sesar. Terdapat dua sesar besar yang relative berarah Utara-Selatan, memiliki pola dan arah dengan sesar utama Walanae. Sesar Walanae ditengarai sebagai “*Strike slip*” setengah aktif yang diduga terjadi sejak Pliosen-Plistosen. Umur sesar yang berkembang di daerah penelitian belum diketahui dengan pasti, akan tetapi melihat pengaruhnya yang memotong semua satuan batuan di daerah ini.





**Gambar 2.11** Peta geologi daerah penelitian (Dimodifikasi dari Kahaaruddin dkk, 2020)





Gambar 2.12 Peta struktur geologi daerah penelitian (Dimodifikasi dari Kaharuddin dkk, 2020)



## 2.3 Landasan Teori

### 2.3.1 Hidrotermal

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

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

Larutan sisa magma ini mampu mengubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum, cairan sisa kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali, dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil. Larutan hidrotermal terbentuk pada bagian akhir dari siklus pembekuan magma dan umumnya terakumulasi pada litologi dengan permeabilitas tinggi atau pada zona lemah (Maulana, 2017).

Endapan hidrotermal adalah jenis endapan bijih yang sangat penting karena endapan ini merupakan salah satu sumber utama dari bijih emas dan tembaga serta logam ekonomis lainnya. Ada beberapa hal penting yang berperan dalam

akan endapan bijih hidrotermal, yaitu: sumber air (*water source*), asal-usul



komponen bijih, proses transportasi dari bijih, permeabilitas, penyebab, dan pengendapan bijih (Maulana, 2017).

Sumber dari logam pada larutan hidrotermal yaitu;

- Batuan dan material sedimen yang dilalui oleh larutan hidrotermal,
- Berasal dari magma itu sendiri,
- Kombinasi di antara keduanya seperti pada *geothermal system*.

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

1. Air magmatik
2. Air meteorik
3. Air metamorfik
4. Air konat

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

Endapan hidrotermal dapat dikelompokkan menjadi 3 golongan atas

di mineraloginya yaitu :

hidrotermal dengan temperatur 450° – 300° C



- Mesothermal dengan temperatur  $300^{\circ} - 200^{\circ} \text{C}$
- Epitermal dengan temperatur  $200^{\circ} - 50^{\circ} \text{C}$

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

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

### 2.3.2 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan yang disebabkan oleh interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan tersebut. Proses ini akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder kemudian disebut dengan mineral yang teralterasi (*alteration minerals*).



Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena terjadi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh akibat adanya interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling (*wall rock*) yang dilaluinya pada kondisi fisika-kimia tertentu (Pirajno, 1992).

### 2.3.2.1 Faktor Yang Memengaruhi Proses Alterasi

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

#### 1. Suhu

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

#### 2. Permeabilitas

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

#### 3. Komposisi awal dari batuan

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

#### 4. Komposisi fluida

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



### 2.3.2.2 Pola Ubahan

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

#### a. *Pervasive*

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

#### b. *Selectively pervasive*

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

#### c. *Non – pervasive*

Hanya bagian tertentu dari keseluruhan batuan yang mengalami ubahan hidrotermal.

### 2.3.2.4 Intensitas Ubahan

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

- a. Tidak berubah (*unaltered*) : tidak ada mineral sekunder
- b. Lemah (*weak*) : mineral sekunder < 25 % volume batuan
- c. Sedang (*moderate*) : mineral sekunder 25 – 75 %
- d. Kuat (*strong*) : mineral sekunder > 75 %



- e. Intens (*intense*) : seluruh mineral primer berubah (kecuali kuarsa, zirkon dan apatit), tetapi tekstur primernya masih terlihat
- f. Total (total) : seluruh mineral primer berubah (kecuali kuarsa, zirkon dan apatit), serta tekstur primernya sudah tidak tampak lagi.

### 2.3.3 Mineralisasi Hidrotermal

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

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

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

1. Larutan hidrotermal yang berfungsi sebagai larutan pembawa mineral.
2. Zona lemah yang berfungsi sebagai saluran untuk lewat larutan hidrotermal.
3. Tersedianya ruang untuk pengendapan larutan hidrotermal.



4. Terjadinya reaksi kimia dari batuan induk/*host rock* dengan larutan hidrotermal yang memungkinkan terjadinya pengendapan mineral bijih (*ore*).
5. Adanya konsentrasi larutan yang cukup tinggi untuk mengendapkan mineral bijih (*ore*).

Menurut Lindren (1993) didalam Pirajno, 1992), faktor yang mengontrol terkonsentrasinya mineral-mineral logam pada suatu proses mineralisasi dipengaruhi oleh adanya:

1. Proses diferensiasi, pada proses ini terjadi kristalisasi secara fraksional (*fractional crystalization*), yaitu pemisahan mineral-mineral berat pertama kali dan mengakibatkan terjadinya pengendapan kristal-kristal magnetit, kromit dan ilmenit. Pengendapan kromit sering berasosiasi dengan pengendapan intan dan platinum. Larutan sulfida akan terpisah dari magma panas dengan membawa mineral Ni, Cu, Au, Ag, Pt, dan Pd.
2. Aliran gas yang membawa mineral-mineral logam hasil pangkayaan dari magma, pada proses ini, unsur silika mempunyai peranan untuk membawa air dan unsur-unsur volatil dari magma. Air yang bersifat asam akan naik membawa CO<sub>2</sub>, N, senyawa S, fluorida, klorida, fosfat, arsenik senyawa antimon, selenida dan telurida. Pada saat yang bersamaan mineral logam seperti Au, Ag, Fe, Cu, Pb, Zn, Bi, Sn, Tungsten, Hg, Mn, Ni, Co, Rd dan U akan naik terbawa larutan. Komponen-komponen yang

rbawa dalam aliran gas tersebut berupa sublimat pada erupsi vulkanik dekat permukaan dan membentuk urat hidrotermal



atau terendapkan sebagai hasil penggantian (*replacement deposits*) di atas atau di dekat intrusi batuan beku.

#### 2.3.4 Tipe Alterasi dan Mineralisasi Hidrotermal

Alterasi dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi pada suatu batuan dan mineral penyusunnya, baik terjadi perubahan sifat kimia maupun sifat fisiknya dimana yang disebabkan oleh larutan hidrotermal (Pirajno, 1992).

Secara alami alterasi hidrotermal batuan juga agak bervariasi dengan temperatur formasi dari bijih maupun dengan batuanannya. Kehadiran demikian dari sebuah lingkaran alterasi dari batuan teralterasi mengindikasikan aksi hidrotermal, yang secara umum berarti keberadaan endapan mineral hidrotermal yang boleh jadi tersembunyi atau belum tersingkap ke permukaan. Jadi, sebuah lingkaran alterasi hidrotermal dapat digunakan sebagai sebuah petunjuk praktis di dalam menemukan mineral bijih (Bateman, 1950 dalam Pirajno, 1992).

Batuan samping secara umum membatasi endapan bijih dari hidrotermal yang teralterasi oleh larutan panas yang melewatinya serta bersama dengan asosiasi bijihnya. Alterasi dianggap benar untuk sebagian besar proses mineralisasi terhadap endapan bijih itu sendiri. Secara alamiah produk alterasi tergantung atas beberapa faktor yaitu : (1) karakter batuan asal (batuan induk), (2) karakter aliran fluida, dan (3) karakter temperatur dan tekanan pada tempat berlangsungnya reaksi, (4) permeabilitas, (5) reaksi kinetik gas/cairan/padat, (6) waktu aktivitas atau derajat keseimbangan (Park dan MacDiarmid, 1964, dalam Maulana, 2017; Corbett dan H, 1993, dalam Maulana, 2017).



Secara umum tipe batuan asal mempengaruhi jenis alterasi yang terjadi akibat pengaruh larutan hidrotermal, walaupun ada beberapa pengecualian. Umumnya batuan yang bersifat asam akan terjadi proses *sericitization*, *argilization*, *silicification* dan *pyritization*. Batuan intermedit dan basa secara umum menunjukkan *chloritization*, *carbonatization*, *sericitization*, *pyritization* dan *propylitization*. Pada batuan karbonat alterasi temperatur tinggi berupa *skarnification*, sedangkan batulempung, slate dan sekis mempunyai karakteristik *tourmalinization*, dan secara khusus menghasilkan endapan tin dan tungsten (Boyle, 1970 dalam Evans, 1987).

Satu mineral dengan mineral tertentu sering kali dijumpai bersama (asosiasi mineral), walaupun mempunyai tingkat stabilitas pembentukan yang berbeda, sebagai contoh adalah klorit sering berasosiasi dengan piroksin atau biotit. Area yang memperlihatkan penyebaran kesamaan himpunan mineral yang hadir dapat disatukan sebagai suatu zona ubahan. Berdasarkan asumsi tersebut, Lowell dan Guilbert (1970 didalam Corbett dan Leach, 1993), membuat model alterasi – mineralisasi pada endapan bijih porfiri, menggunakan istilah zona filik, untuk himpunan mineral kuarsa + serisit + pirit + klorit + rutil + kalkopirit; disamping juga menggunakan istilah tipe potasik, tipe argilik, dan tipe propilitik.

Lowell dan Guilbert (1970) (dalam Corbett dan Leach, 1993), membuat model alterasi – mineralisasi juga pada endapan bijih porfiri, menambahkan istilah zona filik, untuk himpunan mineral kuarsa + serisit + pirit + klorit + rutil +

t. Meyer dan Hemley (1967), Rose and Burt (1979) dalam Evans (1987) zona alterasi menjadi 10 bagian yaitu *advanced argilic*, *sericitization*,



*intermedit argillic, propylitic, chloritization, carbonatization, potassium silicate, silicification, feldspathization dan tourmalinization*, sedangkan dalam Guilbert and Park (1986), Meyer dan Hemley (1967) membagi zona alterasi menjadi 6 bagian yaitu *propylitic, argillic, phyllic (sericitic), advanced argillic, greissen* dan skarn.

### 1. Tipe Propilitik

Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan beberapa mineral epidot, illit/serisit, kalsit, albit dan anhidrit. Terbentuk pada temperatur 200 – 300<sup>0</sup> C pada pH near-neutral, dengan salinitas yang beragam, umumnya pada daerah yang mempunyai permeabilitas yang rendah.

### 2. Tipe 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 200<sup>0</sup> – 300<sup>0</sup> C (Pirajno,1992), fluida asam hingga netral dan salinitas yang rendah.

### 3. Tipe Filik

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 sampai tinggi (sekitar 230<sup>0</sup> – 400<sup>0</sup> C), fluida asam hingga netral dengan salinitas yang beragam, pada zona yang permeable dan pada batas dengan urat.

### 4. Tipe Potassik

Ini dicirikan oleh melimpahnya himpunan muskovit-biotit-alkali magnetit. Anhidrit sering hadir sebagai asesori, serta sejumlah kecil albit



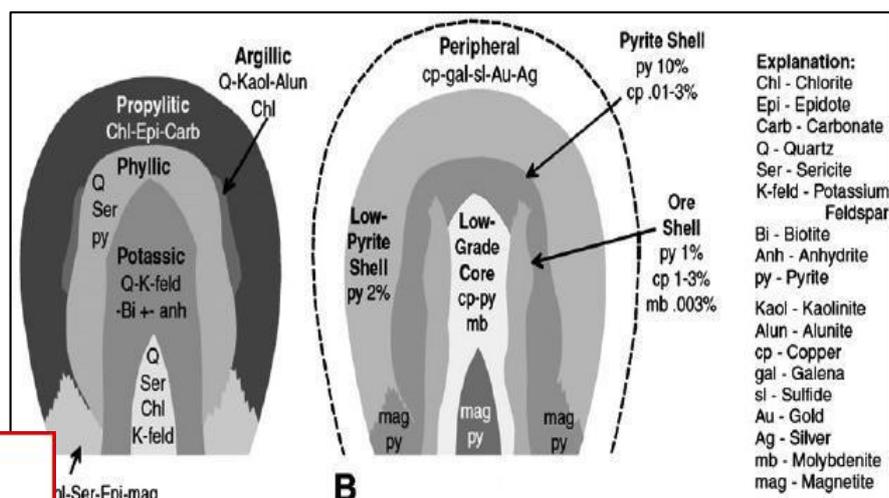
dan titanit (sphene) atau rutil kadang terbentuk. Ubahan potasik terbentuk pada daerah yang dekat batuan beku intrusif yang terkait, fluida panas ( $>300^{\circ}\text{C}$ ), salinitas tinggi, dan dengan karakter magmatik yang kuat.

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

Menurut Hedenquist dan Lindquist (1985) dalam Pirajno, 1992 zona ubahan pada sistem epitermal sulfidasi rendah (fluida kaya akan klorida, pH mendekati netral) umumnya juga menunjukkan zona ubahan seperti pada sistem porfir, 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.

### 6. Argilik Lanjut (*Advanced argillic*)

Untuk sistem epitermal sulfidasi tinggi (fluida kaya asam-sulfat), ditambahkan istilah advanced argillic yang dicirikan oleh kehadiran himpunan mineral pirofilit+ diaspor + kuarsa + tourmaline + enargit + luzonit (untuk temperatur tinggi,  $250\text{-}350^{\circ}\text{C}$ ), atau himpunan mineral kaolinit + alunite + kalsedon + kuarsa + pirit (untuk temperatur rendah  $<180^{\circ}\text{C}$ ).

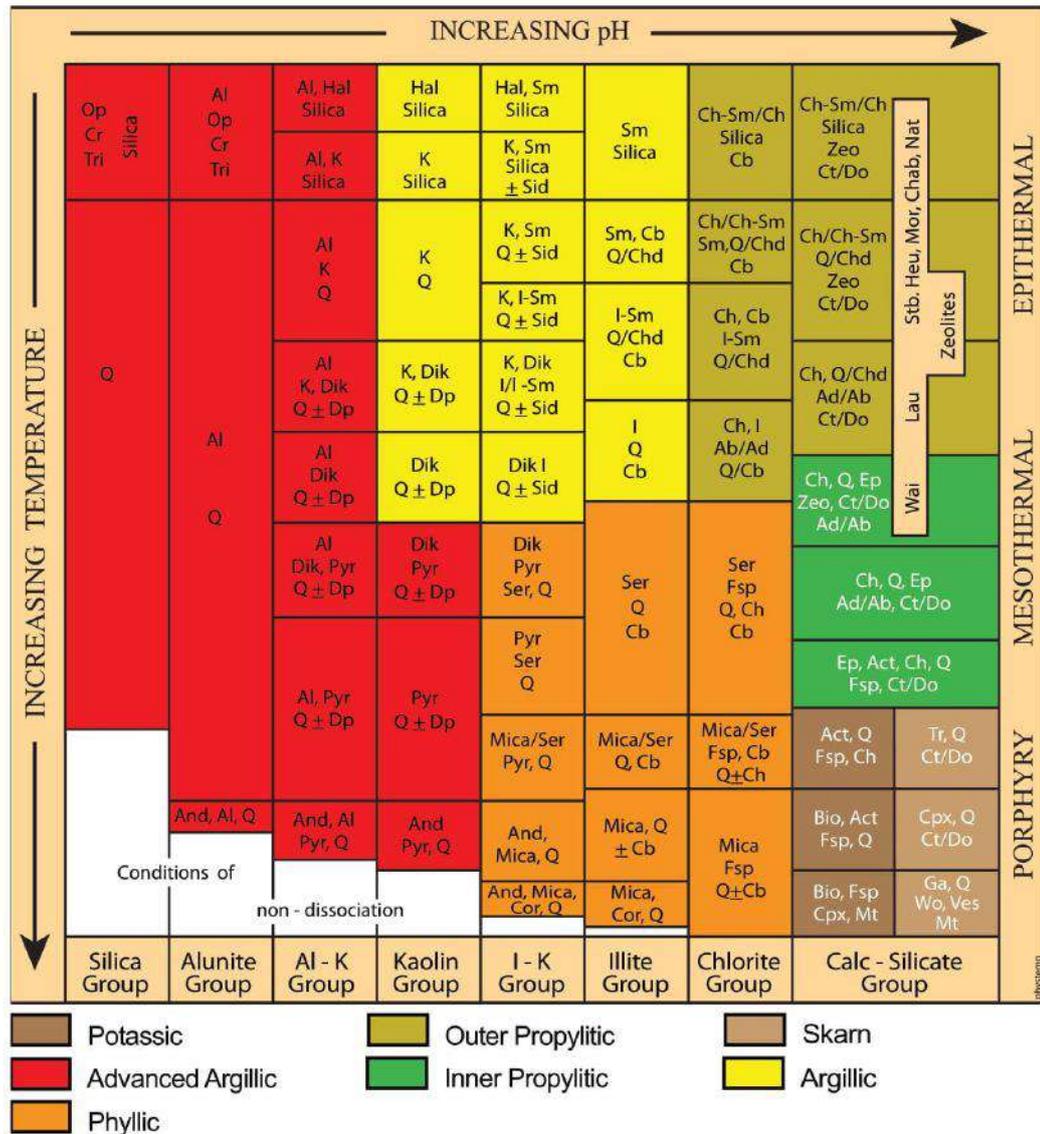


2.12 Kenampakan skematik dari zona alterasi hidrotermal (a) dan mineralisasi (b) pada sistem endapan tembaga –molibdenit porfiri berdasarkan Lowel & Guilbert, 1970 (Dalam Maulana, 2017).

**Tabel 2.1** Tipe-tipe alterasi berdasarkan himpunan mineral (Guilbert & Park, 1986 dalam Maulana, 2017)

| Tipe                         | Mineral Kunci                                   | Mineral Asesori                                    | Keterangan  |
|------------------------------|---|--|---|
| Argilik                      | Smektit, monmorilonit, illite-smektit, kaolinit | Pirit, klorit, kalsit, kuarsa                      | Suhu 100–300°C, asam-netral Ph 4-5  |
| Propilitik                   | Klorit, epidot, karbonat                        | Albit, kuarsa, kalsit, pirit, lempung, oksida besi | Suhu 200–300°C, salinitas bervariasi, pH >6   |
| Potasik                      | Adularia, biotit, kuarsa                        | Klorit, epidot, pirit, illit-serisit               | Suhu >300°C, salinitas tinggi, dekat dengan intrusi, pH >7                                |
| Filik                        | Kuarsa, serisi, pirit                           | Anhidrit, pirit, kalsit, rutil                     | Suhu 230–400°, salinitas beragam, pH asam-netral (4,5-7), zona tembus air pada batas urat |
| Serisitik                    | Serisit (illit), kuarsa, muskovit               | Pirit, illit-serisit                               |   |
| Silisifikasi                 | Kuarsa  | Pirit, illit-serisit, adularia                     |   |
| Argilik lanjut (suhu rendah) | Kaolinit, alunit                                | Kalsedon, kristobalit, kuarsa, pirit               | Suhu 180°C, pH 4,5-6  |
| Argilik lanjut (suhu tinggi) | Pirofilit, diaspor, andalusit                   | Kuarsa, turmalin, energit, luzonit                 | Suhu 250–350°C, pH 5-6  |





**Gambar 2.13** Mineral alterasi yang umum pada sistem Hidrotermal, The Terry Leach pH dan Suhu (Corbett and Leach,1998)



## 2.4 Tekstur Mineral Bijih

Tekstur bijih dapat bercerita banyak tentang genesa atau sejarah pembentukan bijih. Interpretasi genesa mineral dari tekstur sangat sulit dan haruslah hati-hati. Berdasarkan Sutarto (2011) terdapat tiga tekstur yang dikenal, yaitu tekstur *open space filling (infilling)*, tekstur *replacement*, serta *exolution* .

### 1. Tekstur *infilling* (pengisian)

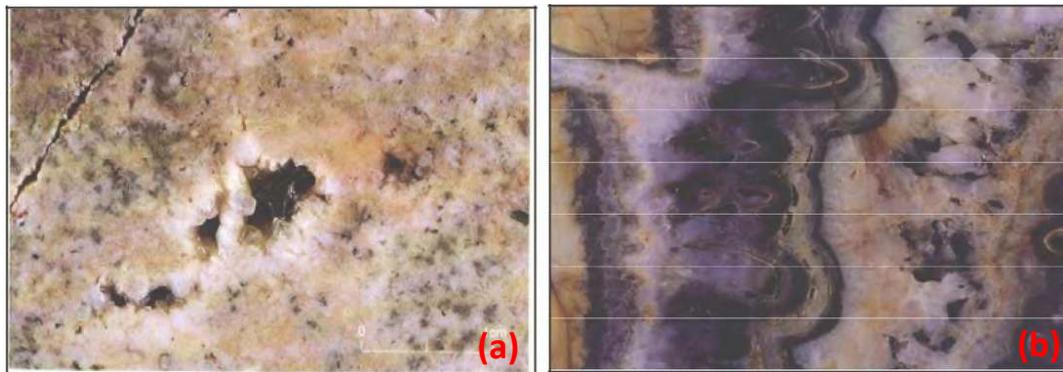
Proses pengisian umumnya terbentuk pada batuan yang getas, pada daerah dimana tekanan pada umumnya relatif rendah, sehingga rekahan atau kekar cenderung bertahan. Tekstur pengisian dapat mencerminkan bentuk asli dari pori serta daerah tempat pergerakan fluida, serta dapat memberikan informasi struktur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

Pengisian dapat terbentuk dari presipitasi leburan silikat (magma) juga dapat terbentuk dari presipitasi fluida hidrotermal. Kriteria tekstur pengisian dapat dikenali dari kenampakan (Sutarto, 2011) :

- Adanya *vuggy* atau *cavities*, sebagai rongga sisa karena pengisian yang tidak selesai
- Kristal-kristal yang terbentuk pada pori terbuka pada umumnya cenderung euhedral seperti kuarsa, fluorit, feldspar, galena, sfalerit, pirit, arsenopirit, dan karbonat. Demikian pula mineral pirit, arsenopirit, dan karbonat juga dapat

berbentuk euhedral, walaupun pada tekstur penggantian.

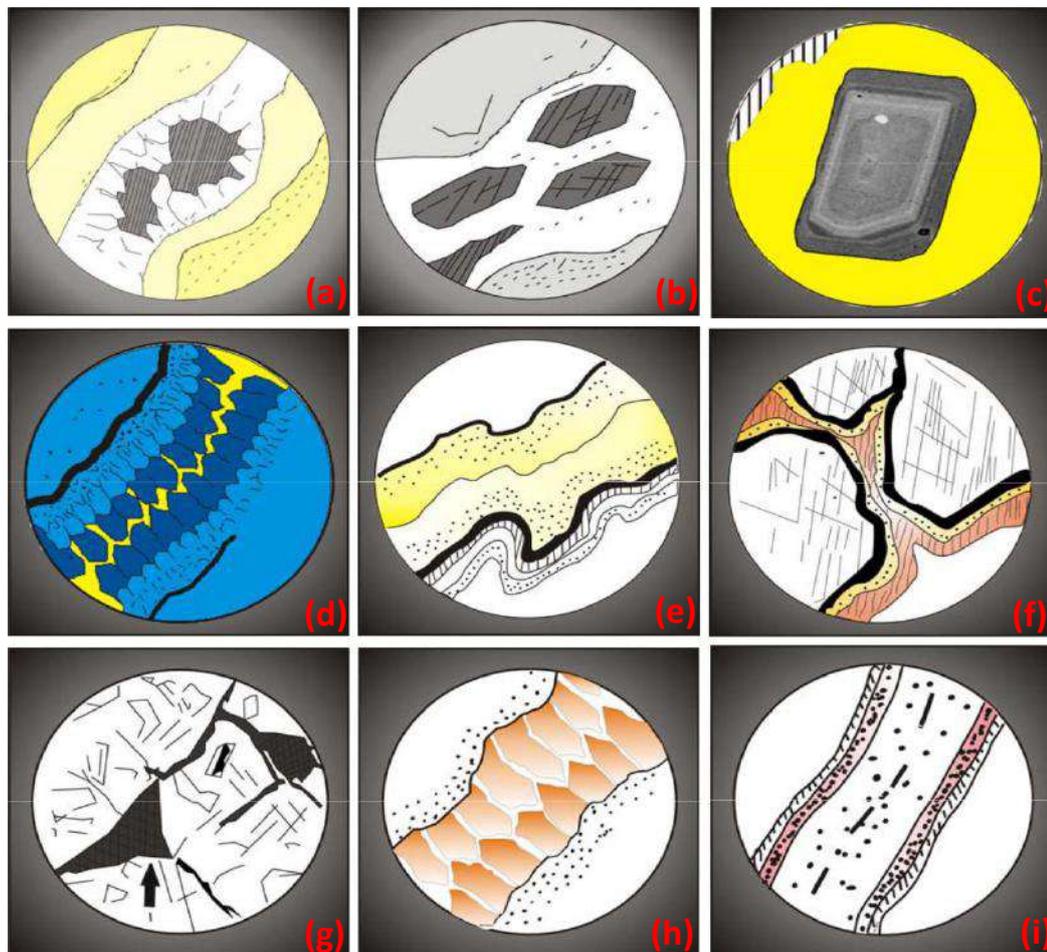




**Gambar 2.14** (a) kenampakan *vuggy quartz*, (b) Tekstur *crustiform-colloform*, sebagai penciri tekstur pengisian (Sutarto, 2001)

- Adanya struktur *zoning* pada mineral, sebagai indikasi adanya proses pengisian, seperti mineral andradit-grosularit. Struktur ini pada mineral sulit dikenali dengan pengamatan megaskopis.
- Tekstur berlapis. Fluida akan sering akan membentuk kristal-kristal halus, mulai dari dinding rongga, secara berulang-ulang, yang dikenal sebagai *crustiform* atau *colloform*. Lapisan *crustiform* yang menyelimuti fragmen dikenal sebagai tekstur *cockade*. Apabila terjadi pengintian kristal yang besar maka akan terbentuk *comb structure*. Pada umumnya perlapisan yang dibentuk oleh pengisian akan membentuk perlapisan yang simetri.
- 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.





**Gambar 2.15** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur pengisian. a) *Vuggy* atau rongga sisa pengisian, b). Kristal euhedral, c). Kristal *zoning*, d). Gradasi ukuran Kristal, e). Tekstur *crutiform*, f). Tekstur *cockade*, g). Tekstur *triangular*, h). *Comb structure*, i). Pelapisan simetris (Guilbert dan Park, 1986).

- 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. Masalahnya 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*).

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 terubah. 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. Tekstur *replacement* (penggantian)

Proses ubahan dibentuk oleh penggantian sebagian atau seluruhnya tubuh mineral menjadi mineral baru. Karena pergerakan larutan selalu melewati pori, rekahan atau rongga, maka tekstur penggantian selalu perpasangan dengan tekstur pengisian. Oleh karena itu mineralogi pada tekstur penggantian relatif sama dengan mineralogi pada tekstur pengisian, akan tetapi mineralogi pengisian cenderung berukuran lebih besar. Berikut beberapa contoh kenampakan tekstur ubahan (Sutarto, 2011) :

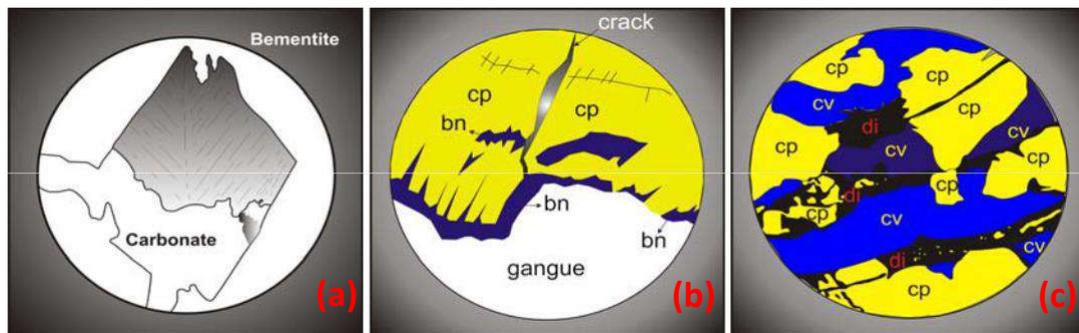
- *Pseudomorf*, walaupun secara komposisi sudah tergantikan menjadi mineral baru, seringkali bentuk mineral asal masih belum berubah

dan mineral pada bagian tepi mineral yang digantikan

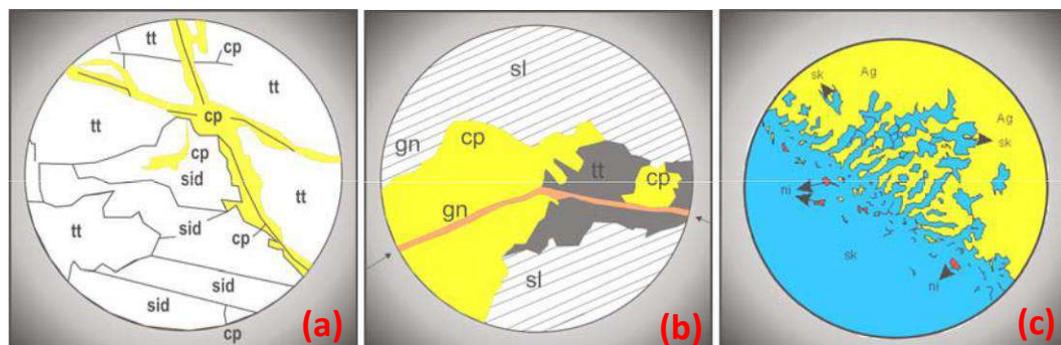
lebihnya urat dengan batas yang tidak tegas



- Tidak adanya pergeseran urat yang saling berpotongan
- Mineral pada kedua dinding rekahan tidak sama
- Adanya mineral yang tumbuh secara tidak teratur pada batas mineral lain



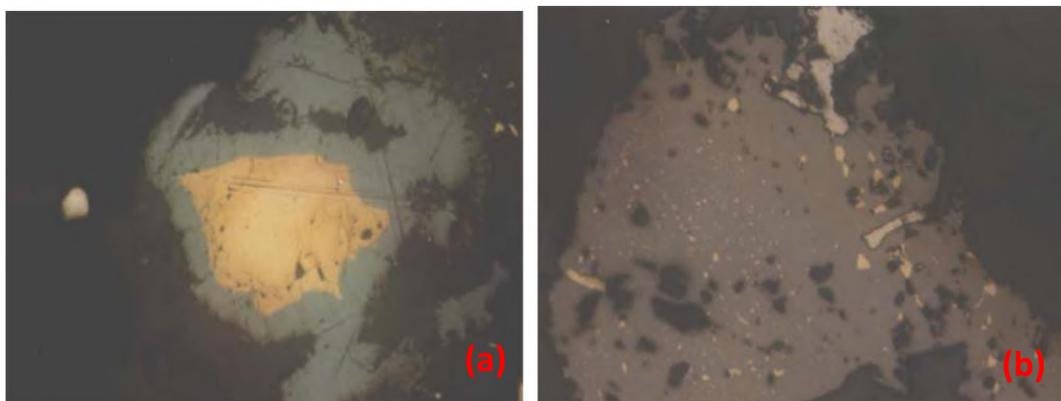
**Gambar 2.16** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian Berturut-turut dari kiri: (a) *Pseudomorf*, bementit mengganti sebagian Kristal karbonat; (b) Bornit mengganti pada bagian tepi rekahan kalkopirit; (c) Digenit yang mengganti kovelit dan kalkopirit, memperlihatkan lebar yang berbeda (Guilbert dan Park, 1986).



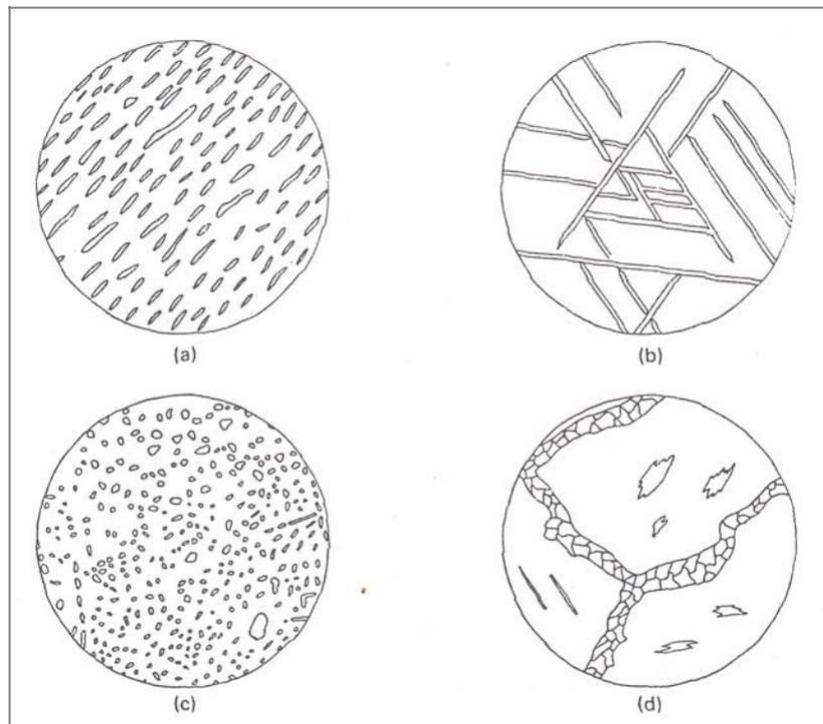
**Gambar 2.17** Gambar yang menunjukkan beberapa kenampakan tekstur penggantian Berturut-turut dari arah kiri: (a) Urat kalkopirit yang saling memotong, tidak memperlihatkan pergeseran; (b) Komposisi mineral yang tidak simetris pada dinding rekahan; dan (c) Kenampakan tumbuh bersama yang tidak teratur pada bagian tepi mineral (Guilbert dan Park, 1986).

### 3. Tekstur *exolution* (eksolusi)

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



**Gambar 2.18** (a) Kenampakan foto mikroskopis tekstur penggantian mineral kovelit pada bagian tepi mineral kalkopirit. (b) Memperlihatkan kenampakan foto mikroskopis tekstur *exolution* mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit (perbesaran 40x. Lok. Ciemas) (Sutarto, 2001).



**Gambar 2.19** Beberapa kenampakan khas tekstur exolution pada mineral sulfide dan oksida a) Pemilahan mineral hematite dalam ilmenit; b) *Exolution* lembaran ilmenit dalam magnetit; c) *Exolution* butiran kalkopirit dalam sfalerit; d) *Rim exolution* pendlandit dari pirhotit (Evans, 1993 dalam Sutarto,2001).

## 2.5 Paragenesa Mineral

Definisi dan batasan paragenesa mineral, antara ahli yang satu dengan lainnya sering sekali berbeda. Guilbert dan Park (1986) mengartikan paragenesa sebagai himpunan mineral bijih yang terbentuk pada kesetimbangan tertentu, yang melibatkan komponen tertentu. Sedangkan beberapa ahli lain mengartikan sebagai urutan waktu relatif pengendapan mineral; berapa kali suatu pengendapan mineral telah terbentuk. Kronologi pengendapan mineral tersebut oleh Guilbert dan Park

sebut sebagai sikuen paragenesa. Sutarto (2001) mengartikan paragenesa sebagai kronologi pembentukan mineral, yang dibagi menjadi beberapa mbentukan. Batasan stadia sendiri juga sering menghasilkan banyak



tafsiran. Secara umum dapat diartikan sebagai kumpulan mineral yang terbentuk atau diendapkan selama aliran fluida terus berjalan (Taylor, 1996).

Jika suatu aliran fluida berhenti dan kemudian terjadi aliran lain, maka dapat diartikan terdapat dua stadia. Secara ilmiah tidak mungkin mengetahui atau membuktikan secara pasti adanya ketidak menerusan aliran fluida Hidrotermal yang melewati suatu tempat. Dalam prakteknya pembagian stadia dihitung dari berapa kali suatu batuan mengalami proses tektonik. Dengan anggapan setiap rekahan hasil tektonik yang mengandung mineralisasi merupakan satu sekuen relatif.

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

