

# STUDI GEOLOGI, ALTERASI, DAN MINERALISASI ENDAPAN EPITERMAL SULFIDASI TINGGI, DAERAH PROSPEK RASIK, AYAM HITAM, DAN SEKITARNYA, DESA LANUT, KECAMATAN MODAYAG, KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW TIMUR, PROVINSI SULAWESI UTARA

Erlangga Dwi Putranto<sup>\*)</sup>, Suprpto<sup>\*)</sup>, Agus Harjanto<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia  
Fax/Phone : 0274-487816;0274-486403

**SARI** - Lokasi penelitian merupakan wilayah kontrak dari PT. J Resources Bolaang Mongondow yang berada di Prospek Rasik, Ayam Hitam, dan sekitarnya. Secara administratif terletak di Desa Lanut, Kecamatan Modayag, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis lokasi penelitian berada pada koordinat UTM 51N 661000 mE – 662000 mE dan 74000 mN – 75700 mN. Penelitian ini bertujuan untuk merekonstruksi kondisi geologi di daerah telitian, mengetahui pola persebaran alterasi dan mineralisasi di daerah telitian, mengetahui hubungan tipe alterasi dan mineralisasi di daerah telitian, mengetahui karakteristik tipe endapan hidrotermal di daerah telitian, dan untuk mengetahui sejarah dan proses geologi di daerah telitian.

Penelitian dilakukan dengan pemetaan dan deskripsi pada batuan inti hasil pemboran. Analisis yang dilakukan adalah analisis geomorfologi, analisis petrografi, analisis ASD (Analytical Spectral Devices), dan analisis geokimia *assay*.

Berdasarkan himpunan mineral yang dijumpai di lapangan dan batuan inti hasil pemboran, terdapat empat zonasi alterasi yaitu zona silika + alunit, zona alunit + silika + dikit, zona kaolinit + illit + smektit, dan zona klorit + karbonat ± smektit.

Mineralisasi yang bersifat ekonomis pada daerah penelitian terdapat pada alterasi silika + alunit yang berasosiasi dengan mineral sulfida seperti enargit, tennantit-tetrahedrit, dan mineral oksida seperti hematit dan limonit. Mineralisasi yang bersifat ekonomis juga hadir pada zona alterasi alunit + silika + dikit yang memiliki tingkat oksidasi yang tinggi. Mineralisasi bijih tersebut terdeposisi pada *vuggy* silika yang merupakan hasil dari pelindihan, dan juga pada matriks breksi hidrotermal. Komoditi logam pada daerah telitian adalah Au dan Cu.

Pada daerah penelitian memiliki intrusi andesit. *Host rock* berupa breksi tuf, tuf gelas, tuf kristal, tuf litik, dan tuf lapilli, dengan alterasi silika + alunit, alunit + silika + dikit, kaolinit + illit + smektit, dan klorit + karbonat ± smektit. Tekstur utama pada daerah penelitian berupa disseminasi, *vuggy*, masif, dan breksi hidrotermal, Mineral bijih utama yang dijumpai berupa enargit, tennantit-tetrahedrit, pirit, dan kalkopirit, dengan komoditi logam Au dan Cu. Lingkungan pembentukan endapan ini berkaitan dengan sistem gunung api. Struktur kekar dan sesar serta batuan dengan permeabilitas yang baik mengontrol mineralisasi yang ada pada daerah penelitian. Berdasarkan parameter karakteristik tipe endapan tersebut, maka tipe endapan hidrotermal pada daerah telitian termasuk ke dalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi kontrol struktur dan litologi.

**Kata-kata Kunci:** Epitermal Sulfidasi Tinggi, Alterasi, Mineralisasi

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Mineral bijih merupakan barang tambang yang tidak dapat diperbaharui, sehingga diperlukan pengembangan eksplorasi untuk mendapatkan cadangan baru. Pemahaman mengenai faktor – faktor yang mengontrol alterasi dan mineralisasi hidrotermal sangatlah penting dalam pembelajaran eksplorasi untuk memenuhi kebutuhan mineral yang semakin meningkat.

Daerah penelitian memiliki gambaran kondisi geologi yang cukup lengkap, sehingga dapat menjadi sarana mahasiswa Teknik Geologi untuk melakukan penelitian dan menerapkan ilmu yang pernah di tempuh sebelumnya.

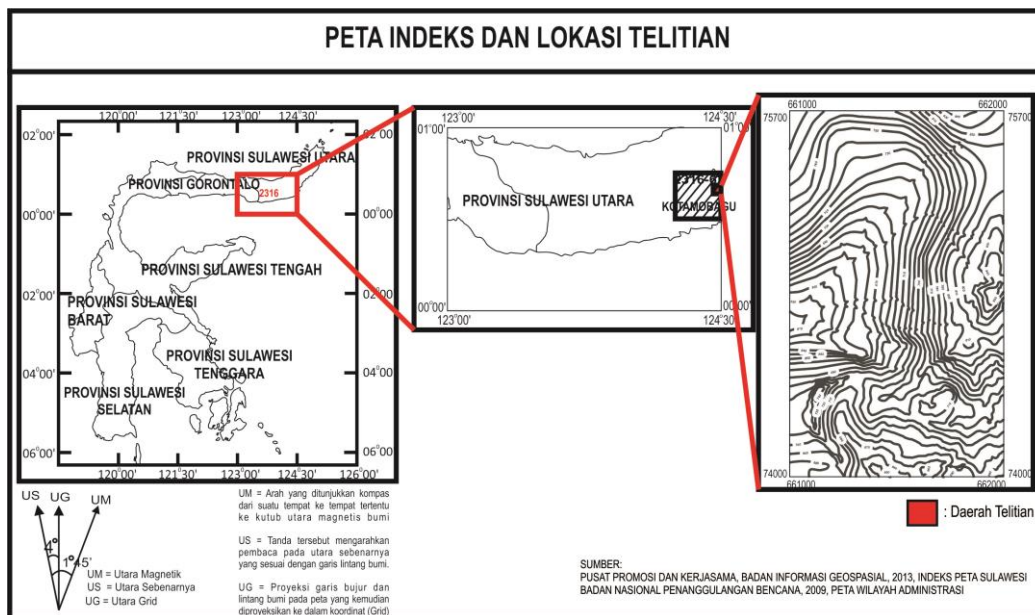
Dengan adanya pemetaan geologi, zonasi alterasi, dan mineralisasi tersebut diharapkan dapat memberikan pembaharuan informasi untuk daerah prospek yang telah usai berproduksi.

## Maksud dan Tujuan

Penelitian dilakukan untuk merekonstruksi kondisi geologi di daerah telitian, mengetahui karakteristik tipe endapan hidrotermal di daerah telitian, mengetahui pola persebaran alterasi dan mineralisasi di daerah telitian, mengetahui hubungan tipe alterasi dan mineralisasi di daerah telitian, serta mengetahui sejarah dan proses geologi di daerah telitian.

## Lokasi dan Pencapaian Daerah Telitian

Lokasi penelitian merupakan wilayah kontrak dari PT. J Resources Bolaang Mongondow, yang meliputi daerah prospek Rasik, Ayam Hitam, dan sekitarnya. Luas daerah penelitian 1,7 km<sup>2</sup>. Secara administratif terletak di Desa Lanut, Kecamatan Modayaag, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis daerah telitian terletak pada zona UTM 51N dengan koordinat X : 661000 mT – 662000 mT dan Y : 74000 mU – 75700 mU (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Indeks & Kesampaian Lokasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### GEOMORFOLOGI DAERAH TELITIAN

Berdasarkan pengamatan di lapangan (Lampiran 1) bentuk lahan pada daerah telitian berupa Tubuh Sungai (F1) yang merupakan bentukan asal fluvial, Perbukitan Vulkanik (V1) dan Lembah Vulkanik (V2) yang merupakan bentukan asal vulkanik, dan Tambang Terbuka (A1) yang merupakan bentukan asal antropogenik (Lampiran 2).

#### Satuan Tubuh Sungai (F1)

Satuan ini merupakan bentuk asal fluvial. Dicitrakan oleh bentukan lembah dengan material penyusun berupa batuan gunungapi seperti tuf kristal, tuf litik, tuf gelas, lava andesit, dan intrusi andesit. Proses eksogen yang mempengaruhi bentuklahan ini adalah proses-proses fluvial. Sebagian tubuh sungai dikontrol oleh struktur sesar naik kiri Ayam Hitam yang berarah barat daya-timur laut.

#### Satuan Perbukitan Vulkanik (V1)

Satuan ini merupakan bentuk asal vulkanik. Memiliki tingkat kelerengan yang miring hingga sangat curam. Pola pengaliran yang ada pada satuan bentuklahan ini adalah pola pengaliran subdendritik. Bentuklahan ini dikontrol oleh morfostruktur aktif berupa lapisan miring oleh proses pengangkatan, proses kekar, serta sesar berupa sesar naik kiri Ayam Hitam yang berarah barat daya-timur laut, sesar kiri naik ayam hitam yang berarah barat laut-tenggara, serta sesar turun kiri dan sesar turun kanan Rasik yang berarah barat daya-timur laut. morfostruktur pasif berupa litologi tuf litik, tuf kristal, tuf gelas, tuf lapilli, breksi tuf, lava andesit, dan intrusi andesit. Proses-proses eksogen yang berlangsung berupa pelapukan dan erosi.

#### Satuan Lembah Vulkanik (V2)

Satuan ini merupakan bentuk asal vulkanik, dicirikan dengan lembah yang memiliki kemiringan landai hingga miring. Bentuklahan ini dikontrol morfostruktur aktif berupa pengangkatan, sesar mendatar kiri naik Ayam Hitam yang berarah tenggara-barat laut, dan sesar naik kiri Ayam Hitam yang berarah barat daya-timur laut.

Morfostruktur pasif pada bentuklahan ini berupa litologi tuf litik, tuf kristal, dan tuf gelas. Proses-proses eksogen yang berlangsung berupa pelapukan dan erosi.

#### **Satuan Tambang Terbuka (A1)**

Satuan geomorfologi ini merupakan bentukan asal antropogenik yang terbentuk sebagai akibat dari aktivitas manusia. Satuan ini memiliki morfografi lereng dengan tingkat keterlerangan yang miring hingga sangat curam. Bentuklahan ini dikontrol oleh morfostruktur aktif berupa lapisan miring oleh proses pengangkatan, proses kekar, serta sesar turun kiri dan sesar turun kanan Rasik yang berarah barat daya-timur laut. Morfostruktur pasif berupa litologi breksi tuf, tuf lapilli, tuf kristal, tuf gelas, tuf litik. Proses-proses eksogen yang berlangsung berupa pelapukan, erosi, longsor, dan kegiatan tambang (Gambar 2).



**Gambar 2.** Bentuk lahan Satuan Perbukitan Vulkanik (V1) dan Satuan Tambang Terbuka (A1).  
Foto ke arah Selatan.

#### **STRATIGRAFI DAERAH TELITIAN**

Berdasarkan stratigrafi lokal, daerah penelitian termasuk kedalam stratigrafi Koridor Distrik Lanut yang didalamnya terdapat Sekuen Lanut yang terendapkan secara tidak selaras diatas batuan sedimen berumur Miosen, sedangkan bagian atas Sekuen Lanut diendapkan Sekuen Dasit Lanut (Gambar 3).

#### **Satuan batugamping Gunungapi Bilungala**

Satuan ini berumur Miosen Akhir dan merupakan satuan tertua di daerah telitian yang didapatkan dari data batuan inti hasil pemboran. Satuan ini terdiri dari *grainstone*, *bafflestone*, dan *rudstone*.

Satuan batugamping Gunungapi Bilungala mengalami alterasi kaolinit + illit + smektit dan klorit ± smektit. Beberapa tempat dijumpai disseminasi pirit. *Bafflestone* berada pada fasies *back reef*, *rudstone* berada pada fasies *sand apron*, dan *grainstone* berada pada fasies *sand apron* yang ketiganya merupakan fasies dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Hubungan stratigrafi yang terdapat pada satuan ini adalah selaras dengan Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala yang terendapkan diatasnya. Satuan ini dapat dibandingkan dengan Sekuen Sedimen Vulkanik Miosen yang memiliki umur Miosen Akhir.

#### **Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala**

Satuan ini memiliki luasan 5 % dari daerah telitian dan sebagian besar didapatkan dari data batuan inti hasil pemboran yang terdiri dari konglomerat polimik, dan batupasir lempungan.

Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala memiliki lingkungan pengendapan lakustrin, dan memiliki umur Miosen Akhir. Berdasarkan data hasil pemboran satuan ini memiliki ketebalan ± 30 m. Hubungan stratigrafi yang terdapat pada satuan ini adalah selaras dengan Satuan batugamping Gunungapi Bilungala di bawahnya dan tidak selaras dengan Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah di atasnya.

#### **Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah**

Satuan ini memiliki luasan 27 % dari keseluruhan luas peta daerah telitian, terdiri dari tuf lapilli, sisipan breksi tuf, tuf litik, dan tuf gelas. Tuf lapilli berwarna putih kemerahan dan abu-abu, dengan struktur masif, berukuran butir debu halus hingga lapillus, terpilah buruk, kemas *matrix supported*, dengan fragmen tuf dan litik andesit, serta terdapat matriks debu halus.

Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah memiliki lingkungan pengendapan sub-areal vulkanik, dan memiliki umur Pliosen Awal. Berdasarkan penampang geologi satuan ini memiliki ketebalan 65 m. Hubungan stratigrafi yang terdapat pada satuan ini adalah tidak selaras dengan Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala di bawahnya. Satuan ini teralterasi silika + alunit, alunit + silika + *dickite* dan kaolinit + illit + smektit.

### Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah

Satuan ini memiliki luasan 55 % dari keseluruhan luas peta daerah telitian, terdiri dari perselingan tuf kristal dan tuf litik dengan sisipan breksi tuf dan tuf gelas. Tuf kristal berwarna abu-abu, berstruktur masif, terpilah sedang dengan kemas *grain supported*, berukuran butir debu halus hingga kasar, memiliki komposisi mineral ferromagnesian berupa hornblende, piroksen, dan mineral sialis berupa plagioklas dan K-feldspar, terdapat gelas vulkanik, dengan matriks debu halus.

Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah memiliki lingkungan pengendapan sub-areal vulkanik, dan memiliki umur Pliosen Awal - Pliosen Akhir. Berdasarkan penampang geologi satuan ini memiliki ketebalan >257 m. Hubungan stratigrafi yang terdapat pada satuan ini adalah selaras dengan Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah di bawahnya. Satuan ini teralterasi alunit + silika + *dickite*, kaolinit + illit + smektit, dan klorit + karbonat ± smektit.

### Satuan intrusi andesit

Satuan ini memiliki luasan 5 % dari keseluruhan luas peta daerah telitian. Intrusi andesit memiliki tekstur holokristalin, dengan komposisi fenokris *hornblende*, piroksen, dan feldspar, dengan massa dasar kristal. Satuan ini teralterasi klorit + karbonat ± smektit. Beberapa tempat dijumpai urat kalsit dan disseminasi pirit. Satuan ini memiliki lingkungan pengendapan sub-areal vulkanik, dan memiliki umur Plio - Pleistosen. Intrusi andesit ini menerobos Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah, Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah, Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala, dan Satuan batugamping Gunungapi Bilungala.

### Satuan lava andesit Ambang

Satuan ini memiliki luasan 8 % dari keseluruhan luas peta daerah telitian. Lava andesit memiliki tekstur hipokristalin, dengan komposisi fenokris *hornblende* dan feldspar, dengan massa dasar gelas. Satuan ini teralterasi klorit + karbonat ± smektit. Beberapa tempat dijumpai urat kalsit dan disseminasi pirit. Satuan ini memiliki lingkungan pengendapan sub-areal vulkanik, dan memiliki umur Pleistosen. Satuan lava andesit Ambang ini menumpang di atas Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah.

UMUR GEOLOGI		SATUAN LITOSTRATIGRAFI	SATUAN LITODEM	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
ZAMAN	KALA			
KWARTER	PLEISTOSEN	Satuan lava andesit Ambang		
TERSIER	PLIOSEN	Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah	Satuan intrusi andesit	Subaerial Vulkanik
		Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah		
	MIOSEN	AKHIR		Satuan konglomerat Gunungapi Bitungala
	AKHIR	Satuan batugamping Gunungapi Bilungala		Laut dangkal

Gambar 3. Stratigrafi lokal daerah prospek Rasik, Ayam Hitam dan sekitarnya

### STRUKTUR GEOLOGI DAERAH TELITIAN

Struktur geologi yang berkembang di daerah telitian adalah sesar dan kekar.

#### Struktur kekar

Penulis menganalisis arah umum kekar gerus pada Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah dan Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah untuk mengetahui tegasan yang mengontrol deformasi pada daerah telitian. Berdasarkan hasil

analisis kinematika *shear fracture* pada kedua satuan tersebut didapatkan orientasi arah tegasan yakni barat laut – tenggara.

### Struktur Sesar

Struktur sesar yang dijumpai pada daerah telitian memiliki tegasan barat laut – tenggara. Struktur yang terbentuk merupakan struktur yang mengontrol alterasi dan mineralisasi sebagai saluran keluarnya fluida hidrotermal.

#### 1. Sesar Naik Kanan Rasik (Arah Timur Laut-Barat Daya)

Berdasarkan analisis sesar dari data gores-garis sesar pada lokasi pengamatan 15 didapatkan nama sesar *Right Reverse Slip Fault* (Rickard, 1972 dalam Ragan, 2009). Sesar ini memiliki arah tegasan barat daya – timur laut yang memotong Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah. Sesar ini yang menjadi saluran keluarnya fluida hidrotermal yang mengontrol mineralisasi.

#### 2. Sesar Naik Kanan Rasik (Arah Timur Laut-Barat Daya)

Berdasarkan analisis sesar dari data gores-garis sesar pada lokasi pengamatan 20 didapatkan nama sesar *Left Reverse Slip Fault* (Rickard, 1972 dalam Ragan, 2009). Sesar ini memiliki arah tegasan barat laut – tenggara yang memotong Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah dan Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah. Sesar ini merupakan struktur yang mengontrol mineralisasi.

#### 3. Sesar Mendatar Kiri Naik Ayam Hitam (Arah Timur Laut-Barat Daya)

Berdasarkan analisis sesar dari data gores-garis sesar pada lokasi pengamatan 66 didapatkan nama sesar *Reverse Left Slip Fault* (Rickard, 1972 dalam Ragan, 2009). Sesar ini memiliki arah tegasan barat laut – tenggara yang memotong Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah, Satuan lava andesit Ambang, dan Satuan intrusi andesit.

#### 4. Sesar Naik Kiri Ayam Hitam (Arah Timur Laut-Barat Daya)

Berdasarkan analisis sesar dari data breksiasi sesar pada lokasi pengamatan 93 didapatkan nama sesar *Left Reverse Slip Fault* (Rickard, 1972 dalam Ragan, 2009). Sesar ini memiliki arah tegasan barat laut – tenggara yang memotong Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah, Satuan lava andesit Ambang, dan Satuan intrusi andesit.

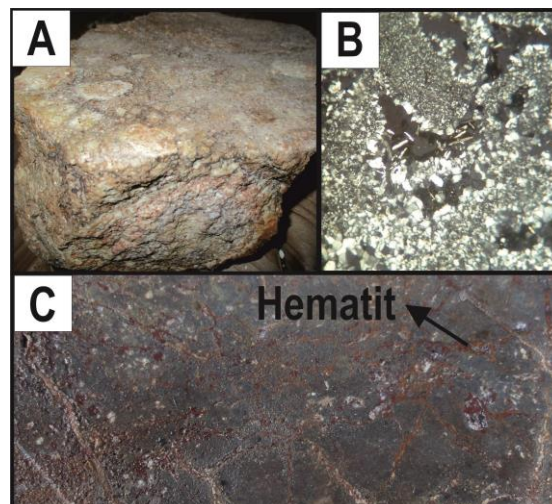
## ALTERASI HIDROTERMAL

Zonasi alterasi yang berkembang di daerah telitian terdiri dari zona argilik lanjut, zona argilik, dan zona kelompok klorit.

### Zona Argilik Lanjut

Sebaran zona silika + alunit di permukaan hanya dijumpai dengan luasan 5% dari keseluruhan luasan peta. Alterasi ini hadir disekitar struktur sesar naik kanan dan naik kiri pada daerah Prospek Rasik yang kemudian menyebar akibat adanya permeabilitas yang baik dari litologi breksi tuf, tuf lapilli, dan tuf gelas. Berdasarkan tabel temperatur kestabilan mineral zona ini terbentuk mulai dari kisaran suhu 100<sup>0</sup>C hingga lebih dari 300<sup>0</sup>C.

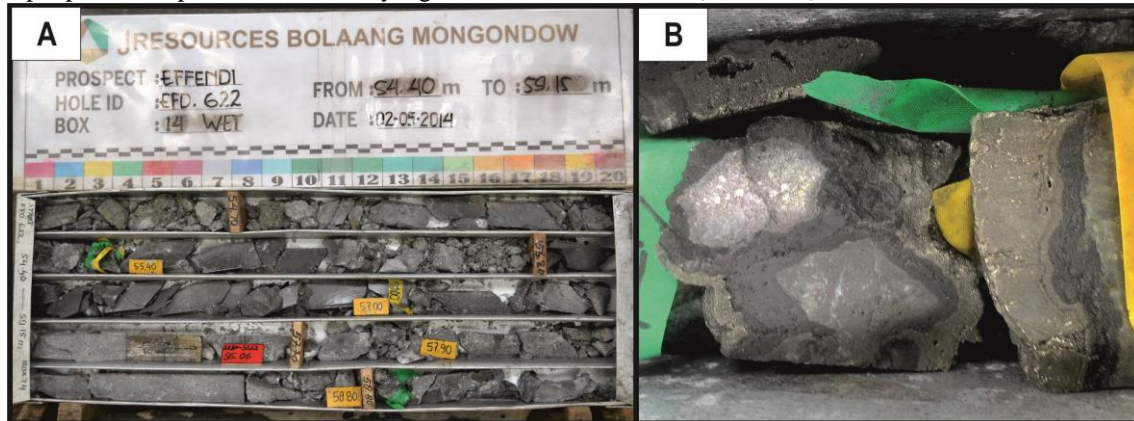
Berdasarkan mineralisasinya zona silika + alunit dibagi lagi menjadi zona silika oksida dan zona silika sulfida. Keberadaan zona silika oksida banyak dijumpai di permukaan dengan asosiasi mineral oksida berupa mineral hematit dan *goethite*. Zona ini merupakan zona mineralisasi dengan kadar Au rendah hingga tinggi (<0,3 – 6,1 ppm) dan kadar Cu yang rendah (Gambar 4).



**Gambar 4.** Zona silika oksida. a) Kenampakan breksi tuf yang teralterasi silika + alunite yang berasosiasi dengan mineral oksida limonit pada Prospek Rasik lokasi pengamatan 5. b) Terlihat mineral alunite terdapat pada

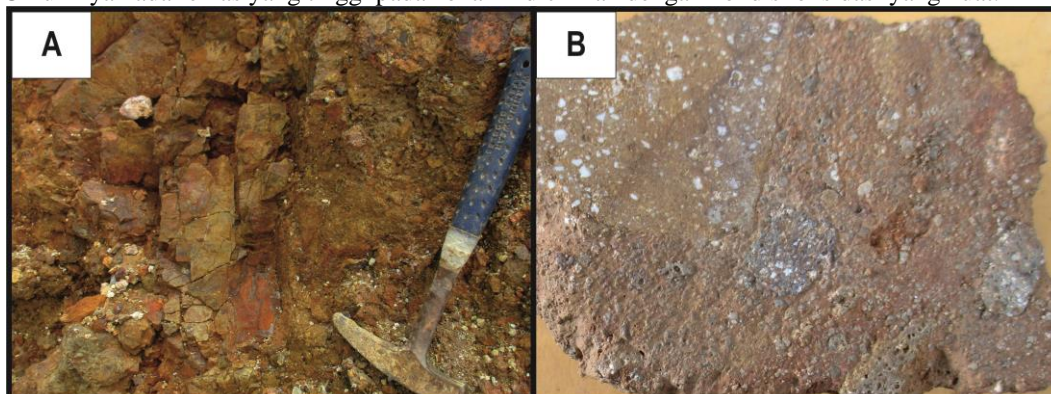
tekstur *vuggy*. c) Pada batuan inti EFD-153 kedalaman 43,33 - 43,65 m terlihat hematit mengisi rekahan dengan kadar Au hasil assay sebesar 2,57 ppm

Keberadaan zona silika sulfida hanya dijumpai pada batuan inti hasil pemboran dengan asosiasi mineral sulfida berupa pirit, kalkopirit, enargit, dan tenantit-tetrahedrit. Zona ini merupakan zona mineralisasi dengan kadar Au menengah hingga tinggi (0,3 – 6,2 ppm). Zona berkadar tinggi berada pada breksi hidrotermal dengan kadar Au 1 – 6 ppm dan kadar Cu yang juga tinggi hingga mencapai 29.600 ppm. Kadar Au menengah (0,3 – 1 ppm) terdapat pada tuf lapilli dan breksi tuf yang teralterasi silika sulfida (Gambar 5).



**Gambar 5.** Zona silika sulfida. a) Pada batuan inti EFD-622 kedalaman 55,4 - 59,15 m terlihat mineral pirit mengisi matrix batuan. b) Breksi hidrotermal dengan batuan induk tuf lapilli pada batuan inti EFD-622 kedalaman 65,2 - 65,4 m terlihat terdapat kehadiran mineral enargit, tenantit-tetrahedrit, pirit, dan kalkopirit.

Sebaran zona alunit + silika + dikit di permukaan hanya dijumpai dengan luasan 5% dari keseluruhan luasan peta. Alterasi ini hadir mengelilingi zona silika + alunit dan juga terdapat disekitar sesar mendatar kiri naik pada daerah Prospek Ayam Hitam. Zona alunit + silika + dikit hadir pada litologi breksi tuf, tuf lapilli, dan tuf yang memiliki permeabilitas baik. Tekstur pada zona ini umumnya berupa tekstur masif dan sedikit tekstur *vuggy*. Berdasarkan tabel temperatur kestabilan mineral zona ini terbentuk pada suhu 140<sup>0</sup> C sampai 250<sup>0</sup> C (Gambar 6) Zona alunit + silika + dikit merupakan zona mineralisasi dengan kadar Au *barren* hingga tinggi (<0,3 – 1,76 ppm). Umumnya kadar emas yang tinggi pada zona ini dicirikan dengan kondisi oksidasi yang kuat.

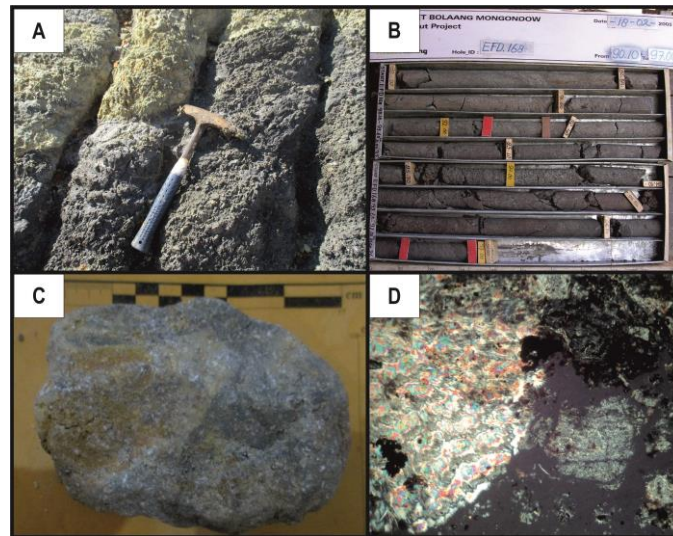


**Gambar 6.** Zona alunit + silika + dikit. a) Tuf lapilli pada lokasi pengamatan 43 yang mengalami alterasi alunit + silika + dikit. b) Kenampakan batuan inti pada EFD-153 kedalaman 29,23 - 29,3 m terlihat breksi tuf yang teralterasi alunit + silika + dikit dan teroksidasi kuat. Hasil analisa assay menunjukkan kadar Au sebesar 1,49 ppm.

### ALTERASI ARGILIK

Tipe alterasi argilik dicirikan dengan banyaknya kehadiran mineral lempung seperti kaolinit, illit, smektit, dan ± klorit. Zona kaolinit + illit + smektit di permukaan mendominasi dan terdapat pada daerah Prospek Rasik dan Ayam Hitam dengan luasan 60% dari keseluruhan luasan peta. Alterasi ini terdapat pada Satuan tuf lapilli Sekuen Lanut Bawah, Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah, Satuan intrusi andesit, Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala, dan sedikit pada Satuan batugamping Gunungapi Bilungala. Berdasarkan tabel temperatur kestabilan mineral zona ini terbentuk pada kisaran suhu 140<sup>0</sup>C sampai 210<sup>0</sup> C (Gambar 7). Tekstur pada zona ini berupa

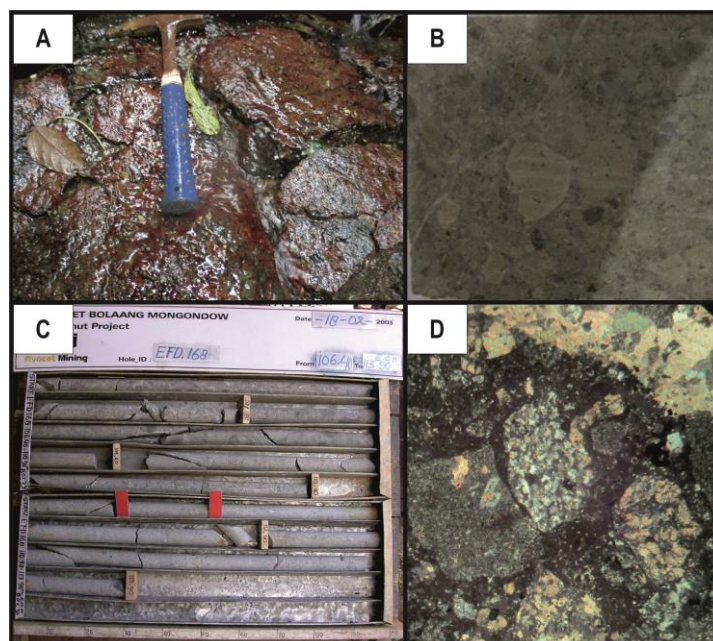
tekstur masif dan terdapat mineral bijih pirit dengan tekstur disseminasi. Kadar Au pada alterasi ini dari *barren* hingga kadar rendah (<0,3 ppm).



**Gambar 7.** Zona kaolinit + illit + smektit. a) Kenampakan alterasi argilik pada daerah Prospek Rasik lokasi pengamatan 2 yang berwarna abu-abu dan putih kekuningan. b) Pada batuan inti EFD-168 kedalaman 90,1 - 97 m terlihat konglomerat yang teralterasi argilik. c) Contoh batuan tuf yang teralterasi argilik pada lokasi pengamatan 32. d) Foto sayatan tipis pada nikol silang yang menunjukkan kehadiran mineral mika, illit, mineral lempung, dan juga kehadiran mineral opak (pirit).

**ALTERASI KELOMPOK KLORIT**

Tipe alterasi kelompok klorit dicirikan dengan banyaknya kehadiran mineral klorit dan karbonat dengan sedikit kehadiran mineral lempung seperti smektit. Zona klorit + karbonat ± smektit di permukaan menempati 30% luasan dari keseluruhan luasan peta. Zona ini terdapat pada daerah Prospek Rasik dan Ayam Hitam. Alterasi ini terdapat pada Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah, Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah, Satuan lava andesit Ambang, Satuan intrusi andesit, dan Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala (Gambar 8).



**Gambar 8.** Zona klorit + karbonat ± smektit. a) Kenampakan litologi tuf yang teralterasi klorit + karbonat pada lokasi pengamatan 107. b) Pada batuan inti EFD-630 kedalaman 79,35 – 79,4 m terlihat konglomerat yang teralterasi klorit + karbonat dan juga terlihat veinlet kalsit. c) Kenampakan batuan inti EFD-168 kedalaman 106,4 – 113,9 m yang menunjukkan konglomerat teralterasi klorit + karbonat. d) Foto sayatan tipis pada nikol

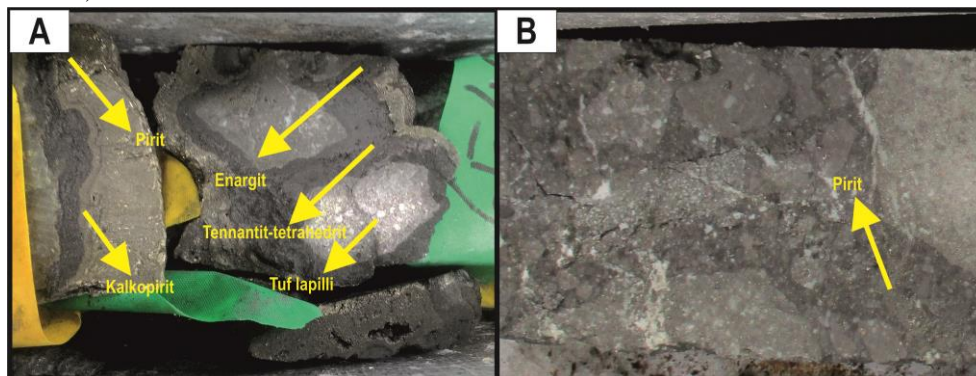
silang yang menunjukkan litik yang mengalami *overprint* oleh klorit dan kalsit, kalsit yang mengoverprint K-feldspar, dan juga terlihat vein kalsit.

Pada zona ini hanya terdapat mineral bijih pirit dengan tekstur disseminasi. Pada zona ini terdapat kalsit yang menggantikan mineral feldspar yang terlihat pada analisa petrografi, kalsit juga dapat hadir dalam bentuk veinlet kalsit. Kadar Au pada zona ini sangat rendah hingga *barren*.

### MINERALISASI

Mineralisasi yang hadir pada daerah telitian hadir sebagai kontrol struktur dan litologi dengan komoditi logam Au dan Cu, dimana mineral bijih yang bersifat ekonomis terdapat pada matriks breksi hidrotermal dan juga terdapat pada tekstur *vuggy* residual silika. Tekstur *vuggy* residual silika yang ada pada endapan epitermal sulfidasi tinggi merupakan hasil pelindihan yang menghancurkan seluruh mineral-mineral pembentuk batuan. Tekstur ini merupakan tempat terdosisnya mineral-mineral bijih. Berdasarkan data kadar emas batuan inti hasil pemboran, kadar emas pada breksi hidrothermal jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar emas yang ada pada tekstur *vuggy* residual silika

Endapan bijih yang dijumpai pada daerah telitian berupa emas, tembaga, dan mineral bijih pembawa logam dasar. Tembaga dijumpai dalam bentuk enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), dan tennantit – tetrahedrit ( $\text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe,Zn})_2] \text{As}_4\text{S}_{13} - \text{Cu}_6[\text{Cu}_4(\text{Fe,Zn})_2]\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ), sedangkan emas berukuran sangat kecil dan hanya dapat dideteksi dengan analisis geokimia Assay. Mineral bijih yang membawa logam dasar antara lain berupa pirit ( $\text{FeS}_2$ ) (Gambar 9).



**Gambar 9.** Mineralisasi bijih. a) Mineral bijih tennantit-tetrahedrit, enargit, pirit, dan kalkopirit pada breksi hidrotermal. b) Mineral pirit yang mengisi matriks.

### KARAKTERISTIK TIPE ENDAPAN

Karakteristik tipe endapan yang ada pada daerah penelitian di tentukan berdasarkan beberapa parameter yang mengacu pada Corbett dan Leach (1997), antara lain meliputi *host rock*, batuan yang mengintrusi, kontrol mineralisasi, tekstur utama, tipe alterasi, mineral bijih utama, komoditi logam, dan lingkungan pembentukannya (Tabel 1).

**Tabel 1.** Karakteristik Tipe Endapan Hidrotermal Daerah Telitian

Intrusi	Andesit
<i>Host rock</i>	Breksi tuf, tuf gelas, tuf kristal, tuf litik, dan tuf lapilli
Tipe alterasi	Silika + alunit, alunit + silika + dikit, kaolinit + illit +smektit, klorit + karbonat ± smektit
Tekstur utama	Disseminasi, <i>vuggy</i> , masif, dan breksi hidrotermal



Mineral bijih utama	Enargit, tennantit – tetrahedrit, pirit, dan kalkopirit
Komoditi logam	Au, Cu
Lingkungan pembentukan	Berkaitan dengan sistem gunung api
Kontrol Mineralisasi	Kontrol struktur (sesar dan kekar) dan litologi

Berdasarkan data dan parameter-parameter diatas maka penulis menentukan bahwa pada daerah penelitian termasuk ke dalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi kontrol struktur dan litologi.

## SEJARAH GEOLOGI DAN ALTERASI

### Miosen Akhir

Proses geologi yang terjadi diawali dari pengendapan Satuan batugamping Gunungapi Bilungala yang terendapkan pada lingkungan laut dangkal, yang kemudian terendapkan Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala secara selaras pada Miosen Akhir yang memiliki lingkungan pengendapan lakustrin. Kemudian akibat pengangkatan proses sedimentasi berhenti.

### Pliosen Awal - Pleistosen

Proses vulkanisme pada Pliosen Awal ditunjukkan dengan pengendapan Satuan tuf lapili Sekuen Lanut Bawah yang terendapkan secara tidak selaras diatas Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala. Kemudian disusul dengan pengendapan Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah secara selaras diatasnya pada Pliosen Awal – Pliosen Akhir. Akibat proses tektonisme yang masih berlanjut, maka pada Pliosen Akhir terjadi intrusi andesit. Kemudian pada kala Pleistosen diendapkan Satuan lava andesit Ambang yang menumpang di atas Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah.

### Pleistosen

Proses tektonisme yang terjadi sejak kala Pliosen Awal mengakibatkan terbentuknya struktur berupa sesar dan kekar yang terhenti pada Pliosen Akhir ditunjukkan dengan terhentinya proses pengendapan, pada kala Pleistosen terjadi tektonisme kembali yang mereaktivasi struktur yang telah terbentuk sebelumnya dan memotong Satuan lava andesit Ambang. Proses vulkanisme mulai berkurang dan dimulai proses hidrotermal.

## PROSES ALTERASI HIDROTERMAL

Struktur yang terbentuk pada kala Pleistosen mengontrol terjadinya alterasi dan mineralisasi.

Tahap awal proses hidrotermal pada daerah telitian diawali dari sirkulasi fluida hidrotermal yang bersifat asam ( $\text{pH} < 2$ ) dengan temperatur tinggi yang keluar melalui struktur melewati batuan dinding yang mengakibatkan pembentukan kesetimbangan yang baru. Pada fase tersebut terbentuk himpunan mineral Silika + Alunit (Corbett & Leach, 1998).

Semakin menuju luar suhu menurun dan pH meningkat membentuk himpunan mineral alunit + silika + diorit. Berdasarkan tabel kestabilan mineral, himpunan mineral ini terbentuk pada suhu  $140 - 250^{\circ}\text{C}$  dan pH asam. Air meteorik yang masuk ke dalam rekahan semakin menaikkan pH fluida dari asam hingga hampir netral dan membentuk himpunan mineral kaolinit + illit + smektit pada suhu  $140 - 210^{\circ}\text{C}$  dan pH 4 - 5. Semakin keluar pH semakin netral dan terbentuk himpunan mineral klorit + karbonat ± smektit pada suhu  $110 - 210^{\circ}\text{C}$  (Corbett & Leach, 1998; setelah Hedenquist dkk., 1996; dalam Pirajno, 2008, Gambar 10).

## PROSES MINERALISASI HIDROTERMAL

Rekahan yang dilalui oleh fluida asam yang *hypersaline* membentuk residual silika. Volatil magma yang terus mendesak tudung silika mengakibatkan tekanan uap dari volatil magma melebihi tekanan lithostatik. Sehingga terjadi perekahan hidrolis yang membentuk breksi hidrotermal. Perekahan hidrolis tersebut mengakibatkan penurunan tekanan secara drastis. Kemudian terjadi proses *boiling*, dan fluida yang kaya akan sulfida mengendap mengisi ruang antar fragmen dan mengisi rongga secara disseminasi. (Corbett & Leach, 1998). Mineralisasi logam terbentuk dan terbawa oleh uap bertemperatur tinggi dan mengisi rongga batuan. Setelah proses alterasi dan mineralisasi terbentuk, kemudian dilanjutkan proses supergen.

## PROSES SUPERGEN

Selanjutnya terjadi proses supergen. Selama berlangsung pengangkatan dan erosi, suatu endapan bijih terekspos di dekat permukaan, kemudian mengalami proses pelapukan, pelindihan, dan juga oksidasi pada mineral-mineral bijih (Hedenquist, 1994). Proses tersebut menyebabkan banyak unsur logam akan terlarut (umumnya sebagai senyawa sulfat) dalam air yang bergerak ke dalam air tanah atau bahkan sampai ke kedalaman dimana proses oksidasi tidak berlangsung. Proses oksidasi yang diakibatkan oleh air meteorik ini berupa pembentukan mineral-mineral oksida seperti jarosit, goetit, dan hematit. Pirit yang bereaksi dengan air tanah yang kaya oksigen akan membentuk hematit. Oksidasi dari bijih sulfida–tembaga menghasilkan mineral kalkantit (Chavez, 1990).

Mineral alterasi dan Mineral bijih	Hipogen				Supergen
	Zona Silika Silika + Alunit (100-300 C, pH <2)	Zona Alunit + Silika + Dikit (140-250 C, pH <4)	Zona Kaolin + Illit + Smektit (140-210 C, pH 4-5)	Zona Klorit + Kalsit ± Smektit (110-210 C, pH near netral -netral)	
Kuarsa					
Sulfur					
Alunit					
Dikit					
Kaolin					
Illite					
Montmorilonit					
Halloysit					
Klorit					
Carbonat					
Pirit					
Kalkopirit					
Enargit					
Tenantit - Tetrahedrit					
Kalkantit					
Epsomit					
Hematit					
Limonit					
Jarosit					
Goetit					
Gypsum					

**Gambar 10.** Paragenesa mineral Paragenesa berdasarkan abundansi mineral pada daerah penelitian (Corbett & Leach, 1998, setelah Hedenquist, dkk., 1996, dalam Pirajno, 2008).

## KESIMPULAN

Dari kegiatan pemetaan dan analisis data di daerah Prospek Rasik, Ayam Hitam, dan sekitarnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

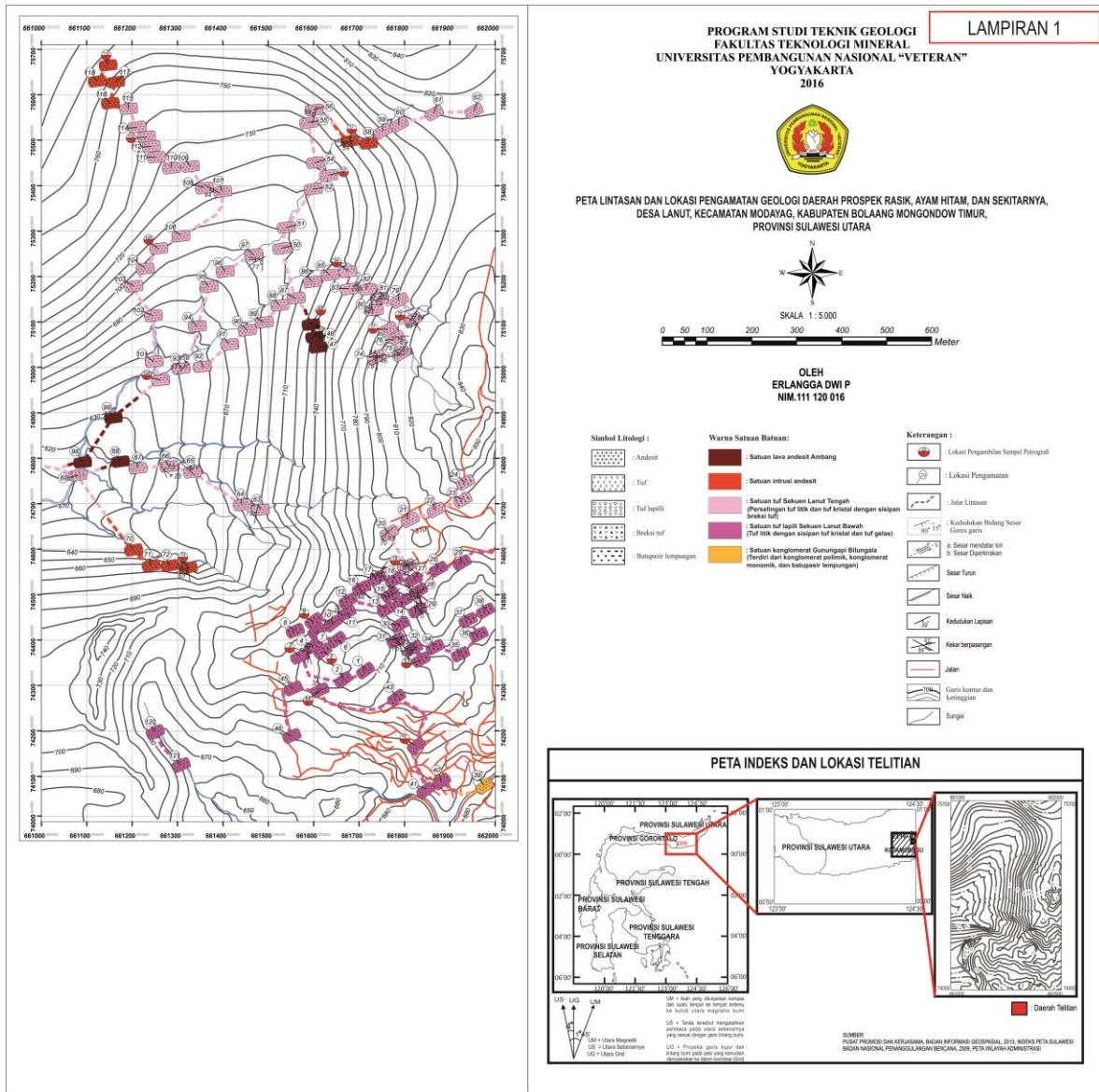
- Berdasarkan aspek-aspek geomorfologi pada daerah telitian didapatkan bentuk lahan berupa Lembah Struktural (S1) yang merupakan bentukan asal struktural, Tubuh Sungai (F1) yang merupakan bentukan asal fluvial, Perbukitan Vulkanik (V1) yang merupakan bentukan asal vulkanik, dan Tambang Terbuka (A1) yang merupakan bentukan asal antropogenik. Pola pengaliran pada daerah telitian berupa pola subdendritik yang mengalir pada batuan alas dengan bentuk lembah “V” yang menunjukkan stadia muda.
- Berdasarkan peta geologi daerah prospek Rasik, Ayam Hitam dan sekitarnya, serta dari data batuan inti hasil pemboran, didapatkan 7 satuan batuan yang hadir di daerah penelitian. Satuan batuan yang hadir di daerah penelitian dari tua ke muda adalah Satuan batugamping Gunungapi Bilungala (Miosen Akhir), Satuan konglomerat Gunungapi Bilungala (Miosen Akhir), Satuan tuf lapilli Sekuen Lanut Bawah (Pliosen Awal), Satuan tuf Sekuen Lanut Tengah (Pliosen Awal - Akhir), Satuan intrusi andesit (Pliosen Akhir), dan Satuan lava andesit Ambang (Pleistosen).
- Struktur primer yang terdapat pada daerah penelitian berupa perlapisan sejajar pada tuf. Selain itu juga terdapat struktur masif yang mendominasi Sekuen Koridor Lanut.
- Struktur sekunder yang terdapat pada daerah telitian berupa struktur kekar yang memiliki arah tegasan tenggara barat laut. Struktur sesar yang ada pada lokasi penelitian berupa Sesar Naik Kanan Rasik berarah timur laut - barat daya, Sesar Naik Kiri Rasik berarah timur laut – barat daya, Sesar Mendatar Kiri Naik Ayam Hitam berarah barat laut – tenggara, dan Sesar Naik Kiri Ayam Hitam berarah timur laut – barat daya.
- Berdasarkan himpunan mineral yang dijumpai maka zona alterasi di daerah telitian dibagi menjadi zona silika + alunit, zona alunit + silika + dikit, zona kaolin + illit + smektit, dan zona klorit + karbonat ± smektit yang terbentuk pada fase *volatile rich event*.

- Mineralisasi bijih yang bersifat ekonomis hadir pada matriks breksi hidrotermal dan juga terdapat pada tekstur *vuggy*. Komoditi logam pada daerah telitian adalah Au dan Cu.
- Berdasarkan karakteristik batuan induk, jenis intrusi, tipe alterasi, komoditi logam, tekstur utama, lingkungan pembentukan, dan mineralisasinya, dapat disimpulkan bahwa lokasi penelitian merupakan tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi.

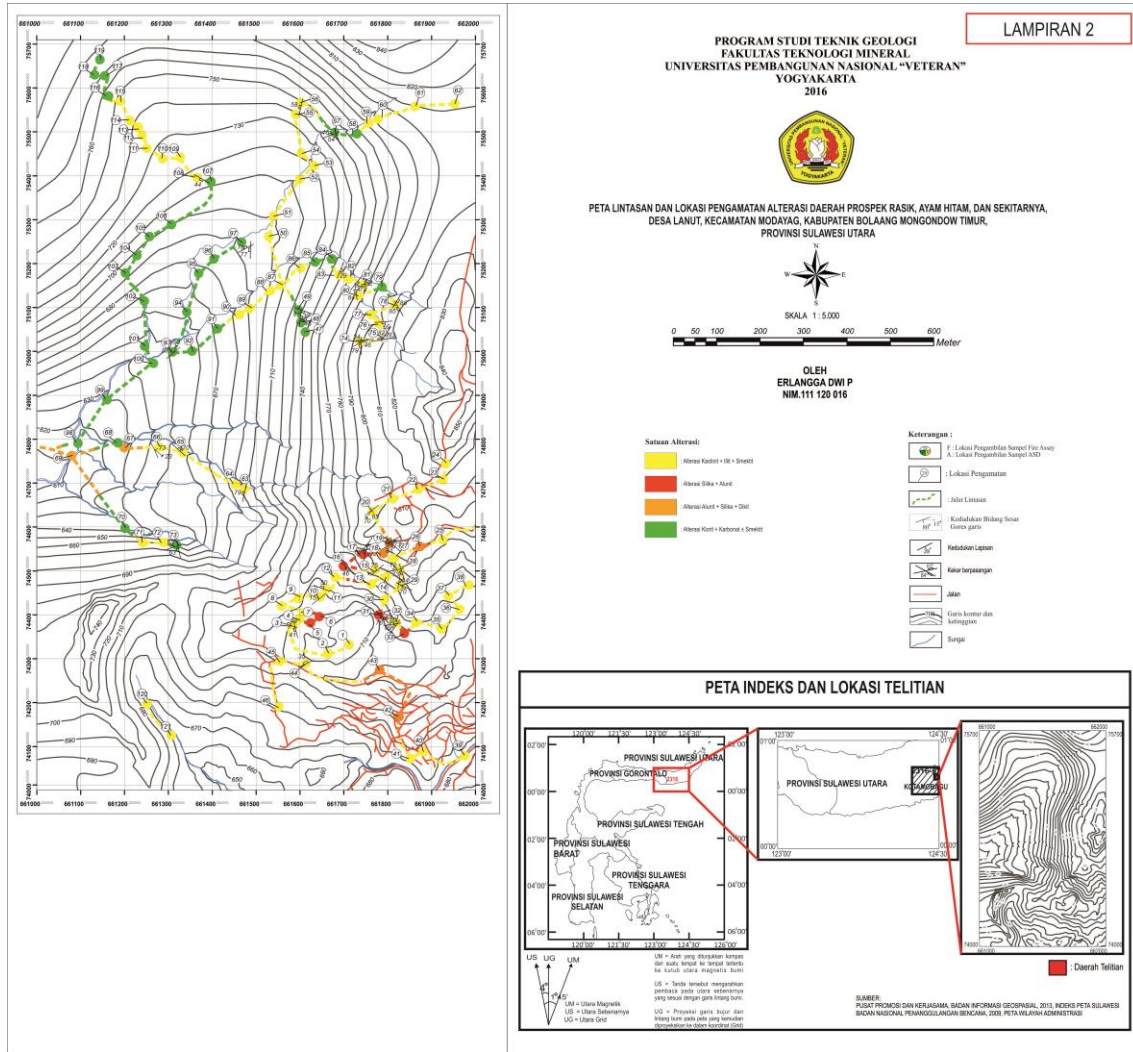
#### DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T. dan Bachri, S., 1997, *Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi, Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Arribas, A., Jr., 1995, *Characteristics of High-Sulfidation Epithermal Deposits, and Their Relation to Magmatic Fluid*, In: *Magmas, Fluids, and Ore Deposit* (Ed.: J.F.H. Thompson), Mineralogical Association of Canada Short Course, Vol. 23 : pp.419 – 454.
- Carlile, J.C., Digdowirogo, S., & Darius, K., 1990, *Geological Setting, Characteristics and Regional Exploration for Gold in Volcanic Arcs of North Sulawesi, Indonesia*, In: *Journal of Geochemical Exploration* 35 (1990) : pp.105 – 140.
- Chávez, W.X., Jr., 1990, *Supergene Oxidation of Copper Deposits: Zoning and Distribution of Copper Oxide Minerals*, Society of Economic Geologists, United States of America, pp. 3-7.
- Corbett, Greg J. and Leach, Terry M., 1998, *Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization*, Society of Economic Geologists, Inc., United States of America, pp. 69-76, pp. 100-125.
- Darman, H. and Sidi, Hasan F., 2000, *An outline The Geology Of Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta, pp. 101-117.
- Dunham, R.J., 1962, *Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture*, dalam: *Classification of Carbonate Rocks* (ed. W.E.Ham), Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. (1) Tulsa, United States of America, pp. 108-121.
- Embry, A. F. and Klovan, J. E., 1971, *A Late Devonian Reef Tract on North Eastern Banks Island Northwest Territories*, *Bulletin Canadian Petroleum Geologist*, V. 19, pp. 730-781.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A. Jr. and Gonzales-Urien, E., 2000, *Exploration for Epithermal Gold Deposits*, *Rev. Economic Geology* 13rd, p.270.
- Kavalieris, I., Van Leeuwen, T.M., & Wilson, M., 1992, *Geological Setting and Styles of Mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia*, In: *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 7, No. 2/3, pp. 113 – 129.
- Leeuwen, T.M. van & P.E. Pieters, 2011, *Mineral deposits of Sulawesi*, In: N.I. Basuki (ed.) *Proc. Conf. Sulawesi Minerals Resources 2011*, Manado, MGEI/IAGI, pp. 1-110.
- Mario, E.C.L., 2011, *Struktur dan Kelurusan Magnetik serta Implikasinya Terhadap Magmatisme dan Mineralisasi di Disstrik Lanut, Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara*, Tesis S-2 Teknik Geofisika FTTM ITB, Bandung, p. 64.
- Martodjojo, Soejono, Djuhaeni, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia Edisi 1996*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Morrison, G., Guoyi, D., dan Jaireth, S., 1990, *Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins*, Klondike Exploration Services. p.6.
- Nugroho dkk., 2005., *Notes On The Discovery, Geology, And Mining Of The 'Riska Gold Deposit', North Sulawesi – Indonesia, IAGI Conference Paper*.
- Pirajno, Franco, 2008, *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*, Springer, Perth, Australia, p.18, p.74, p.90, pp.120 – 121.
- Popa, T., Popa, S., Matsch, E., and Seba, I., 2002, *Hydrothermal alteration at Fancel Lapusna volcanic edifice (Eastern Carpathian Mountains, Romania) and its significance in exploration focus*, in *Carpathian-Balkan Geological Association Congress, 17th, Bratislava, September 1–4, 2002, Proceedings: Veda (Slavak Academic Press)*, pp. 5-6.
- Ragan, Donal M., 2009, *Structural Geology: An Introduction to Geometrical Techniques*, Cambridge University Press, New York, United States of America, pp.166-167.
- Schmid, R., 1981, *Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments: Recommendation of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. *Geology*, The Geological Society of America, Boulder, vol. 9, pp. 41-43.
- Verstappen, H., 1985, *Applied Geomorphology : Geomorphological Surveys for Environmental*, Amsterdam : Elsevier. xi + 473 pp.
- White, Noel C, 1991, *High Sulfidation Epithermal Gold Deposits: Characteristics and a Model for Their Origin*, BHP Minerals, Hawthorn, Australia, Geological Survey of Japan Resort, vol. 27, pp. 9-20.

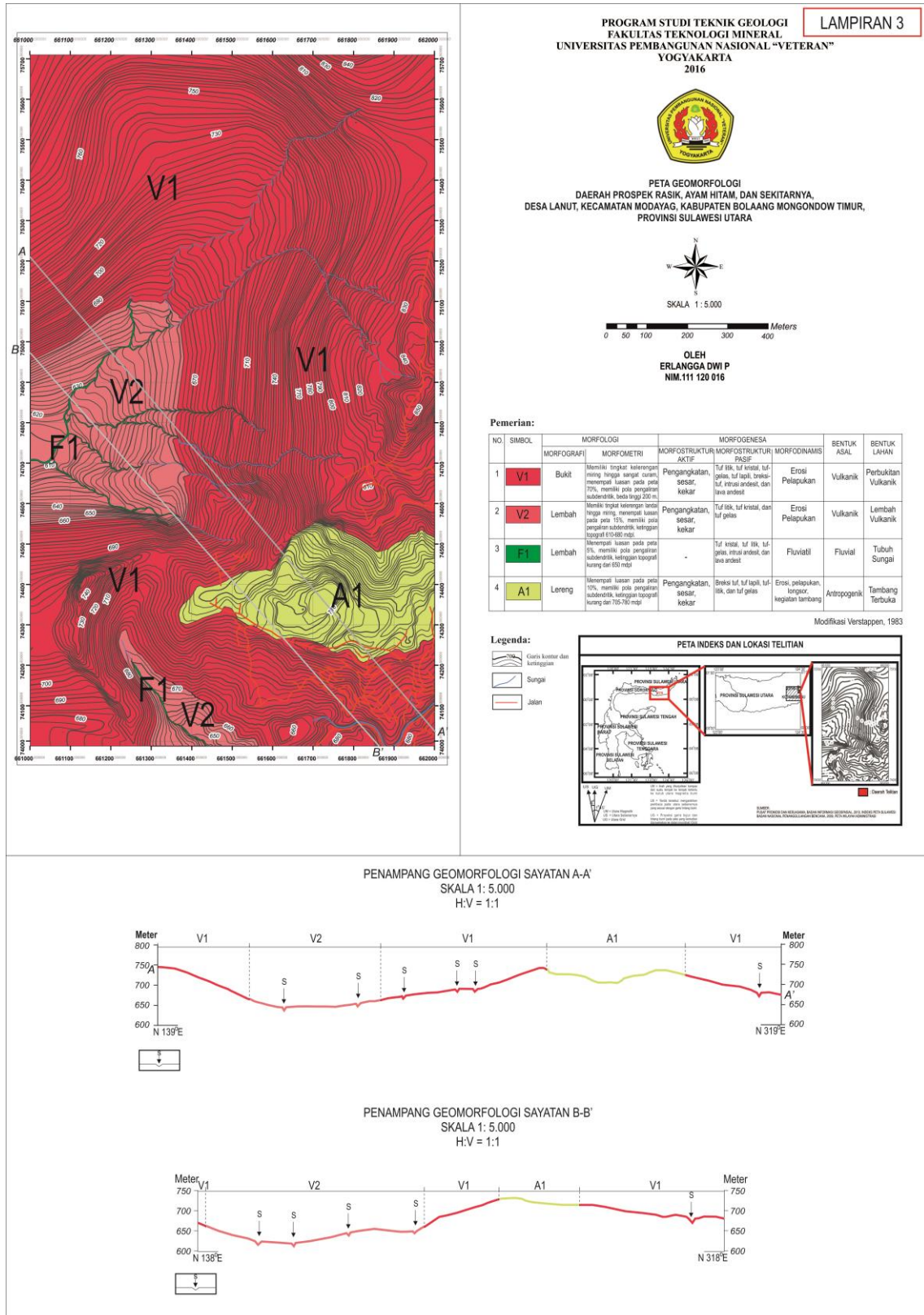
Williams, H., Turner, F. J. dan Gilbert, C. M., 1954, *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*, New York: W. H. Freeman and Company.  
 Williams, H., Turner, F. J. dan Gilbert, C. M., 1982, *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*, 2nd edition, New York: W. H. Freeman and Company.



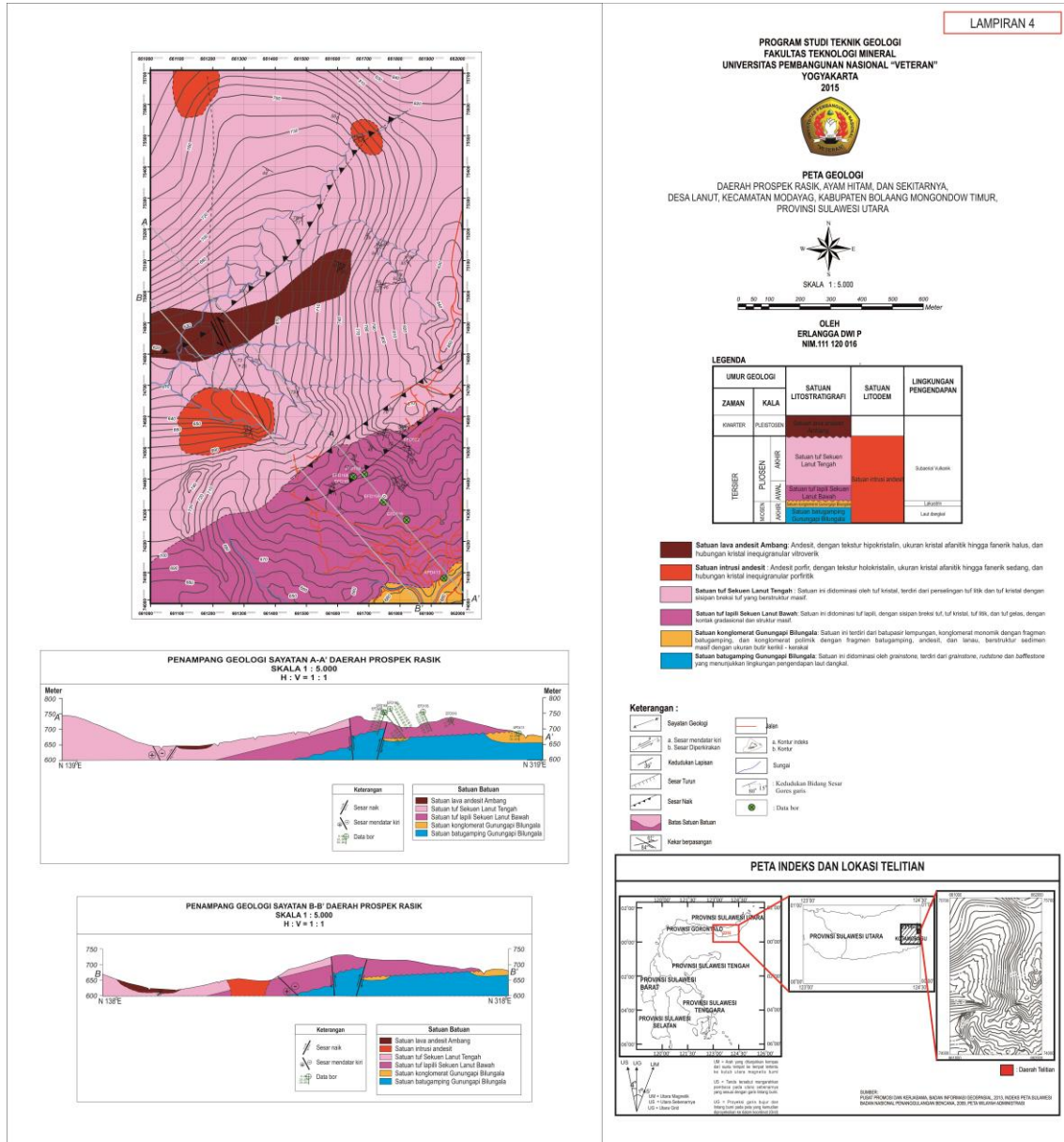
Lampiran 1. Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan Geologi Daerah Penelitian



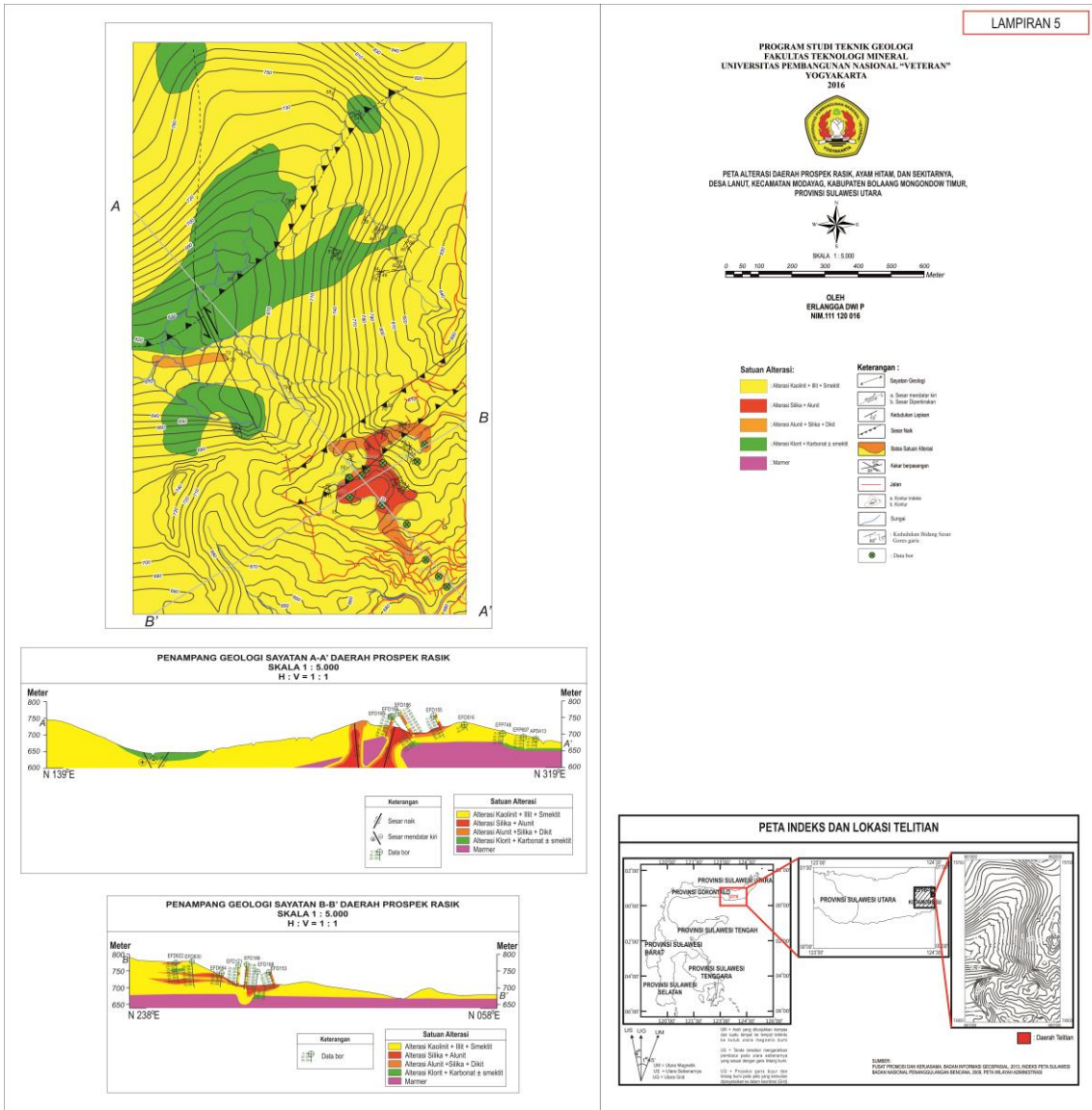
Lampiran 2. Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan Alterasi Daerah Penelitian



Lampiran 3. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian



Lampiran 4. Peta Geologi Daerah Penelitian



Lampiran 5. Peta Alterasi Daerah Penelitian