

## **GEOLOGI DAN KUALITAS AIR TANAH BERDASARKAN SIFAT FISIK DAN KIMIA DAERAH PUTAT DAN SEKITARNYA, KECAMATAN PATUK, KABUPATEN GUNUNG KIDUL DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Shobhi Rafif Rizqullah, Puji Pratiknyo, Carolus Prasetyadi  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; E-mail: shobhirafif77@gmail.com

**SARI** - Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi geologi dan kualitas airtanah di Daerah Putat yang terletak  $\pm 15$  km ke arah timur dari kota Yogyakarta, secara administrasi terletak di Desa Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, secara geografis terletak pada zona 49 X: LS  $7^{\circ}51'0''$  – LS  $7^{\circ}53'30''$ , Y: BT  $110^{\circ}30'0''$  – BT  $110^{\circ}32'30''$ , dan berada pada koordinat X: 444000 – 450000 dan Y: 9127000 – 9133000 pada zona UTM 49s. Metode penelitian adalah dengan pemetaan geologi permukaan, kemudian dilakukan analisis laboratorium dan studio untuk menghasilkan peta lintasan, peta geomorfologi, peta geologi serta peta hidrogeologi kaitannya dengan parameter fisik dan kimia untuk mengetahui kualitas air tanah daerah penelitian. Secara Geomorfologi daerah penelitian dibagi atas 3 bentuk asal yaitu bentuk asal struktural, vulkanik, fluvial yang dibagi menjadi 4 bentuk lahan berupa Perbukitan Homoklin (S1), Lereng Homoklin (S2), Perbukitan Breksi (V1), Tubuh Sungai (F1). Pola pengaliran yang berkembang pada daerah telitian yaitu subdendritik, merupakan pola aliran dasar yang didominasi oleh proses erosi dan pengangkutan material lepas. Cabang sungai yang berkelok menyerupai cabang pohon, dicerminkan dengan resistensi dan homogenitas batuan seragam dan dipengaruhi proses pelapukan. Stratigrafi daerah telitian dibagi menjadi 3 satuan, urutan satuan batuan dari yang paling tua adalah Satuan breksi Nglanggeran (Miosen awal), Satuan batupasir Sambipitu (Miosen awal – Miosen Tengah), dan Satuan batugamping Wonosari (Miosen Tengah). Analisa hidrogeologi berdasarkan parameter fisik dan kimia yang didapat dari BBTKLPP Yogyakarta, disimpulkan unsur kation (Na, K, Mg, Ca) dan anion (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>) didapatkan bahwa pada LP 9, LP 42, LP 45 memiliki nilai DHL dan TDS diatas nilai normal, namun masih dalam kondisi normal (air tawar). Untuk kebutuhan sehari – hari seperti mencuci, mandi, dan lainnya masih layak, namun kurang layak untuk digunakan sebagai air konsumsi Sedangkan, nilai kation dan anion berasal dari material sumber air tanah tersebut mengalir. Unsur kation – anion pada breksi berasal dari kandungan andesit. Pada batupasir karbonatan dan batugamping-berlapis berasal dari kandungan karbonat.

**Kata-kata kunci** : Hidrologi, *Stiff*, *Piper*, Gunungkidul

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Geologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai kebumihan, yang berkaitan dengan sifat fisik, komposisi, sejarah maupun proses pembentukannya. hal-hal yang berkaitan dengan geologi seperti air sangat dipengaruhi oleh lingkungan geologi seperti geomorfologi, struktur geologi, dan litologi. Hubungan antara geologi dan hidrologi atau air dapat disebut hidrogeologi yang merupakan ilmu yang mempelajari air dibawah permukaan bumi.

Hidrogeologi memiliki peran penting terhadap air dibawah permukaan seperti sifat fisik dan kimia yang terpengaruh akibat kondisi geologi disekitarnya.

Air tanah adalah segala bentuk aliran air hujan yang mengalir di bawah permukaan tanah sebagai akibat struktur perlapisan geologi, beda potensi kelembaban tanah, dan gaya gravitasi bumi. Air bawah permukaan tersebut biasa dikenal dengan air tanah (Asdak, 2002). Air hujan sebagian besar akan mengalir di permukaan sebagai air permukaan seperti sungai, danau, atau rawa. Sebagian kecil akan meresap ke dalam tanah, yang bila meresap terus hingga zona jenuh akan menjadi air tanah. Selain ruang dan waktu, banyaknya air yang meresap ke tanah juga dipengaruhi oleh kecuraman lereng, material permukaan, dan jenis maupun banyaknya vegetasi dan curah hujan.

Kondisi geologi yang akan diteliti dalam penelitian ini yaitu, geomorfologi, stratigrafi. Kondisi stratigrafi akan mempengaruhi kualitas maupun kuantitas air tanah yang terdapat didalam suatu batuan, dikarenakan jenis batuan yang bersifat impermeabel dan permeabel. Sedangkan geomorfologi akan berperan dalam geometri air tanah.

Banyaknya penggunaan lahan di daerah Putat, tentu harus didukung oleh ketersediaan air dengan kualitas yang baik. Secara kondisi geografis, tangkapan air di daerah ini cukup baik. Berkaitan dengan penggunaan air yang bersifat harian, maka diperlukan akan pengujian kualitas secara lebih terperinci.

Berdasarkan alasan diatas penulis melihat bahwa di Daerah Putat, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul, DIY, bisa digunakan sebagai lokasi penelitian dikarenakan memiliki kondisi geologi dan hidrogeologi yang memadai. Secara stratigrafi yang mengacu pada Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, yang di petakan oleh Surono, B. Toha dan I. Sudarno (1992), Daerah Hargomulyo tersusun oleh beberapa Formasi batuan sehingga dapat untuk mengetahui pengaruh litologi terhadap sifat akuifer air tanah yang terkandung didalamnya.

### **Rumusan Masalah**

- a. Dari latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat beberapa hal yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:
- b. Apa saja tipe akuifer air tanah? Apakah ada perbedaan tipe akuifer yang signifikan pada Daerah Putat?
- c. Bagaimana peran litologi terhadap kualitas air tanah?
- d. Bagaimana kondisi geologi daerah telitian, beserta aspek geomorfologi dan pola pengaliran?

### **Maksud dan Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi daerah penelitian yang terdiri dari morfologi, stratigrafi, struktur geologi dan untuk mengetahui kondisi hidrogeologi yang meliputi kualitas air tanah berdasarkan kandungan kimia dan fisika sistem hidrogeologi yang berkembang.

### **Lokasi Penelitian**

Ruang lingkup wilayah untuk penelitian ini masuk ke dalam Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Surono, B. Toha dan I. Sudarno (1992) dan Peta Geologi Lembar Yogyakarta – Warton Rahardjo, Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi (1995)., sedangkan secara administratif terletak di Desa Putat dan sekitarnya, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah penilitan berkisar sebesar 6 x 6 km dengan skala peta 1: 25.000 dan berada pada 49 X: LS 7°51'0" – LS 7°53'30", Y: BT 110°30'0" – BT 110°32'30", koordinat X: X: 444000 – 450000 dan Y: 9127000 – 9133000 pada zona UTM 49s.

### **Manfaat Penelitian**

1. Bagi Keilmuan  
Mengetahui kondisi hidrogeologi daerah telitian berdasarkan kondisi geologi, geomorfologi, dan juga stratigrafi di daerah penelitan. Mampu mengaplikasikan teori yang didapat pada saat kuliah untuk diimplementasikan secara langsung di lapangan. Menambah wawasan dan pemahaman tentang pemetaan geologi khususnya dibidang hidrogeologi.
2. Bagi Masyarakat  
Manfaat penelitian ini bagi masyarakat adalah memberikan informasi geologi, meliputi kondisi geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi dan juga informasi mengenai studi khusus mengenai air tanah, memberikan masukan kepada masyarakat dalam kegiatan mendapatkan dan mengelolah air tanah di daerah penelitian, baik dari segi positif maupun negatif.
3. Bagi Pemerintah  
Memberikan pandangan mengenai daerah penelitian sehingga dapat dilakukan perencanaan, kebijakan, serta pemanfaatan sumberdaya alam agar lebih maksimal di daerah penelitian. Memberika informasi mengenai kelayakan air tanah di daerah telitian, sehingga bila kualitas kurang memadai, dapat diberikan solusi.

### **METODE PENELITIAN**

Pada penelitan geologi permukaan akan dilakukan secara pemetaan geologi permukaan, dan membagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahap studi literatur, pemetaan daerah telitian, analisis data dan penyusunan laporan. Dari beberapa tahapan diatas akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur dilakukan berdasarkan peneliti terdahulu.
2. Tahap pemetaan daerah telitian dengan pengamatan singkapan, pengukuran kedudukan lapisan batuan dan pengambilan sampel.
3. Tahap pengolahan data yaitu membuat peta-peta dan laporan dengan data analisa laboratorium. Kemudian laporan tersebut disajikan untuk laporan akhir.

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **Fisiografi Regional**

Zona Pegunungan Selatan Jawa terbentang dari wilayah Jawa Tengah, di selatan Yogyakarta dengan lebar kurang lebih 55 km hingga Jawa timur, dengan lebar kurang lebih 25 km di selatan Blitar. Zona ini dibentuk

oleh dua kelompok besar batuan yaitu batuan vulkanik dan batugamping. Geomorfologi Zona Pegunungan Selatan merupakan satuan perbukitan terdapat di selatan Klaten, yaitu Perbukitan Jiwo. Perbukitan ini mempunyai kelerengan antara 40 – 150 dan beda tinggi 125 – 264 m. Beberapa puncak tertinggi di Perbukitan Jiwo adalah Bukit Jabalkat ( $\pm$  264 m) di Perbukitan Jiwo bagian barat dan Bukit Konang ( $\pm$  257 m) di Perbukitan Jiwo bagian timur. Kedua perbukitan tersebut dipisahkan oleh aliran Sungai Dengkeng. Perbukitan Jiwo tersusun oleh batuan Pra-Tersier hingga Tersier (Surono dkk, 1992).

### **Stratigrafi Regional**

Secara regional daerah telitian termasuk dalam stratigrafi daerah pegunungan selatan Jawa dan telah banyak diteliti oleh para ahli antara lain Bothe (1929), Bemmelen (1949), Surono et al (1992), Surono (2009). Perbedaan ini terutama antara wilayah bagian barat (Parangtritis-Wonosari) dan wilayah bagian timur (Wonosari-Pacitan). Urutan stratigrafi Pegunungan Selatan bagian barat diusulkan diantaranya oleh Bothe (1929) dan Surono (1989), dan di bagian timur diantaranya diajukan oleh Sartono (1964), Nahrowi (1979) dan Pringgoprawiro (1985), sedangkan Samodra (1989) mengusulkan tatanan stratigrafi di daerah peralihan antara bagian barat dan timur.

### **Tatanan Tektonik**

Fase tektonik awal terjadi pada Mesozoikum ketika pergerakan Lempeng Indo-Australia ke arah timurlaut menghasilkan subduksi dibawah Sunda Micro plate sepanjang suture Karangsambung-Meratus, dan diikuti oleh fase regangan (rifting phase) selama Paleogen dengan pembentukan serangkaian horst (tinggian) dan graben (rendahan). Aktivitas magmatik Kapur Akhir dapat diikuti menerus dari Timurlaut Sumatra - Jawa - Kalimantan Tenggara. Pembentukan cekungan depan busur (fore arc basin) berkembang di daerah selatan Jawa Barat dan Serayu Selatan di Jawa Tengah. Mendekati Kapur Akhir – Paleosen, fragmen benua yang terpisah dari Gondwana, mendekati zona subduksi Karangsambung-Meratus. Kehadiran allochthonous micro continents di wilayah Asia Tenggara telah dilaporkan oleh banyak penulis (Metcalf, 1996). Basement bersifat kontinental yang terletak di sebelah timur zona subduksi Karangsambung-Meratus dan yang mengalasi Selat Makassar teridentifikasi di Sumur Rubah-1 (Conoco, 1977) berupa granit pada kedalaman 5056 kaki, sementara didekatnya Sumur Taka Talu-1 menembus basement diorit. Docking atau merapatnya fragmen mikro-kontinen pada bagian tepi timur Sunda land menyebabkan matinya zona subduksi Karangsambung-Meratus dan terangkatnya zona subduksi tersebut menghasilkan Pegunungan Meratus.

### **Geologi Daerah Telitian**

#### **Pola Pengaliran Daerah Telitian**

Pola pengaliran subdendritik merupakan pola pengaliran ubahan dari pola pengaliran dendritik. Pola pengaliran ini mengalir pada daerah telitian yang memiliki topografi landai sampai sangat curam. Resistensi batuan sekitarnya beragam dari yang resistensi lemah sampai resistensi sedang. Karakter satuan batuan homogen. Pengaruh struktur pada pola pengaliran ini minim. Pola ini dicirikan dengan cabang sungai yang banyak. Pola subdendritik pada daerah telitian mengalir pada dasar sungai V – U dengan stadia sungai muda sampai dewasa. Satuan batuan yang dilewati pola pengaliran ini adalah breksi, batupasir vulkanik, batupasir karbonatan dan batugamping. Arah sungai utama dan cabang sungai utamanya mengalir ke arah barat utara – selatan.

#### **Geomorfologi Daerah Telitian**

##### **1. Perbukitan Homoklin (S1)**

Perbukitan Homoklin yaitu bentangalam yang terdiri dari bukit-bukit yang tersusun dari batuan sedimen yang memiliki arah kemiringan lapisan batuan yang relatif miring ke arah yang sama. Memiliki morfostruktur aktif berupa pengangkatan, morfostruktur pasif berupa batupasir karbonatan dan batugamping berlapis. Pola sebaran yang relatif barat-timur. Bentuklahan ini menempati 25% dari total luas daerah penelitian. Perbukitan ini memiliki kelerengan miring – agak curam (7 – 30%).

##### **2. Lereng Homoklin (S2)**

Bentangalam yang tersusun dari batuan sedimen dengan arah kemiringan perlapisan batuan relatif satu arah, memiliki kelerengan landai - curam (2 – 60%), memiliki morfostruktur aktif berupa pengangkatan, morfostruktur pasif berupa breksi, batupasir vulkanik, batupasir karbonatan, dan batugamping. Lembah berbentuk U-V, memiliki pola arah lereng relatif ke selatan. Bentuk lahan Lereng Homoklin ini menempati 45% dari total luas daerah penelitian.

##### **3. Perbukitan Breksi (V1)**

Merupakan bentangalam yang terbentuk dan tersusun dari batuan sedimen breksi, memiliki kontur yang agak rapat. Perbukitan Breksi ini memiliki agak curam – tegak (15 – 100%). Morfostruktur aktif berupa pengangkatan dan vulkanisme, morfostruktur pasif berupa breksi, memiliki lembah bentuk V, Pola sebaran pada luas daerah telitian 25%.

##### **4. Tubuh Sungai (F1)**

Pada tubuh sungai ini, morfografi berupa lembah dengan kemiringan yang beragam dari landai sampai curam, morfostruktur pasif terdiri dari material lepas. Morfodinamis berupa erosi, sedimentasi dan transportasi. Memiliki beberapa penyimpangan pola aliran seperti meandering. Luasan pada peta 3% dan memiliki bentuk lembah dari U-V.

### Stratigrafi Daerah Telitian

Dengan mengacu pada Sandi Stratigrafi Indonesia (1996), penamaan satuan batuan daerah penelitian menggunakan sistem satuan litostratigrafi resmi dan tidak resmi. Satuan litostratigrafi merupakan satu dari tujuh satuan stratigrafi yang diakui di Indonesia. Pendeskripsian dan penyusunan stratigrafi berdasarkan satuan litostratigrafi bersandikan ciri-ciri litologi tubuh batuan. Satuan litostratigrafi tidak resmi yang dipakai adalah satuan batuan, sedangkan satuan litostratigrafi resmi adalah formasi.

Pembagian satuan batuan pada daerah telitian, dilakukan berdasarkan kemiripan karakteristik litologi dan ciri-ciri fisik yang meliputi tekstur batuan, struktur sedimen, komposisi mineral, kandungan fosil, dominasi penyebaran litologi dan hubungan stratigrafi antar satuan batuan yang didasarkan pada posisi stratigrafi yang diperoleh dari referensi terdahulu maupun beberapa bukti yang didapatkan pada saat penelitian di lapangan.

Pengamatan dan penamaan contoh batuan dilakukan di lapangan maupun di laboratorium. Penamaan detail dilakukan melalui sayatan tipis di bawah mikroskop. Penentuan umur tiap-tiap formasi dilakukan dengan pengamatan fosil dan kompilasi data peneliti terdahulu diperoleh kisaran umur dari zonasi Blow (1949).

Pada daerah penelitian didapatkan empat satuan batuan dan endapan aluvial yang menyusun stratigrafi daerah penelitian. Susunan stratigrafi daerah penelitian dari yang tua ke muda, yaitu, Satuan Breksi Polimik Nglanggeran, Satuan Batupasir Sambipitu, Satuan Batugamping Wonosari. (**Tabel 1**),

**Tabel 1.** Kolom Stratigrafi Daerah Telitian (Rafif, 2018)

UMUR GEOLOGI		ZONASI BLOW (1969)	FORMASI	SATUAN	SIMBOL LITOLOGI	PEMERIAN	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
ZAMAN	KALA						
TERTIER	MIOSEN TERAKHIR	N9 - N10	WONOSARI	batugamping-berlapis		Satuan batugamping-berlapis Wonosari terdiri dari batugamping, dengan sisipan kalsilitit tersebar didaerah Playen, memanjang dari barat ke timur daerah telitian, dengan umur Miosen Tengah (N9-N10).	<i>Open Sea Shelf Carbonate Facies</i>
	MIOSEN AWAL	N6 - N8	SAMBIPITU	batupasir		Satuan batupasir Sambipitu terdiri dari batupasir vulkanik, batupasir-karbonatan, batupasir tufaan tuff, batulanau, batulanau-karbonatan tersebar luas didaerah Beji, memanjang dari barat ke timur daerah telitian, dengan umur Miosen Awal (N6-N7).	<i>Middle shoreface</i>
	MIOSEN AWAL	N5 - N7	NGLANGGERAN	breksi-andesit		Satuan breksi-andesit Nglanggeran memiliki fragmen andesit, yang terdiri dari batupasir vulkanik, batupasir breksian, batupasir tufaan yang tersebar luas di daerah Putat dengan tebal +475 meter pada daerah telitian, dengan umur Miosen Awal (N5-N7).	Fasies Medial-Distal Gunungapi

### Struktur Geologi Daerah Telitian

#### Sesar Putat

Pada daerah telitian, tepatnya di daerah Putat (Satuan batupasir Sambipitu terdapat sesar minor yang dari klasifikasi Rickard (1972) termasuk dalam *Left Normal Slip Fault*.

#### Kekar 142 (LP 142)

Kekar pada singkapan berada pada telitian yaitu pada LP 142 dengan kedudukan lapisan batuan sebesar N 090°E/15°. Berdasarkan analisa struktur geologi memiliki kedudukan *shear joint* 1 sebesar N 130°E/83° dan *shear joint* 2 sebesar N 219°E/79°, sehingga didapatkan *extension joint* sebesar N 173°E/78° dan *release joint* sebesar N 262°E/86°.

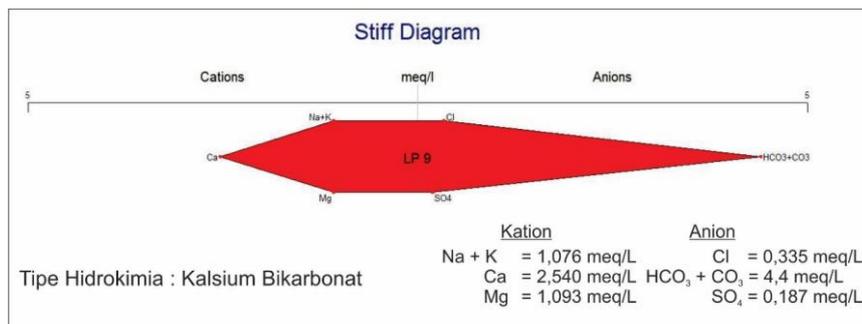
### Hidrologi Daerah Telitian

#### Diagram Stiff

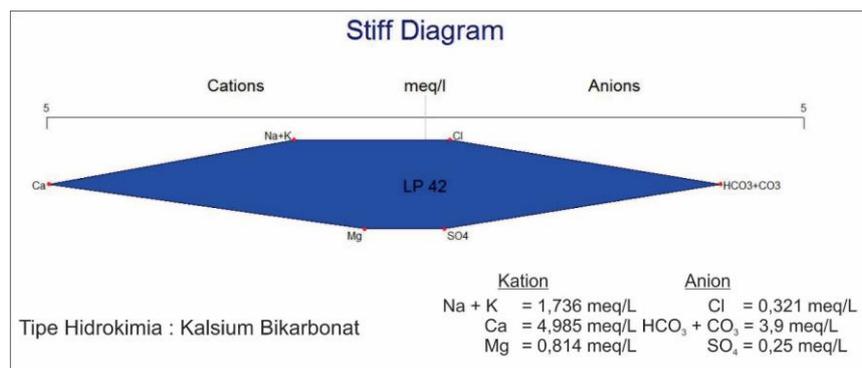
Diagram stiff dibagi berdasarkan 2 sifat kimiawi, yaitu unsur kation (Na+K, Ca, Mg) dan unsur anion (Cl, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>). Dari kedua unsur tersebut, dilihat mana unsur yang lebih mendominasi, dari data tersebut

nantinya dapat disimpulkan tipe hidrokimianya. Diagram stiff digunakan untuk mengetahui dominasi zat yang terlarut dalam air untuk mengetahui kualitas air tanah. Zat terlarut ini bisa menjadi penciri tipe batuan yang dilewati oleh air tanah tersebut.

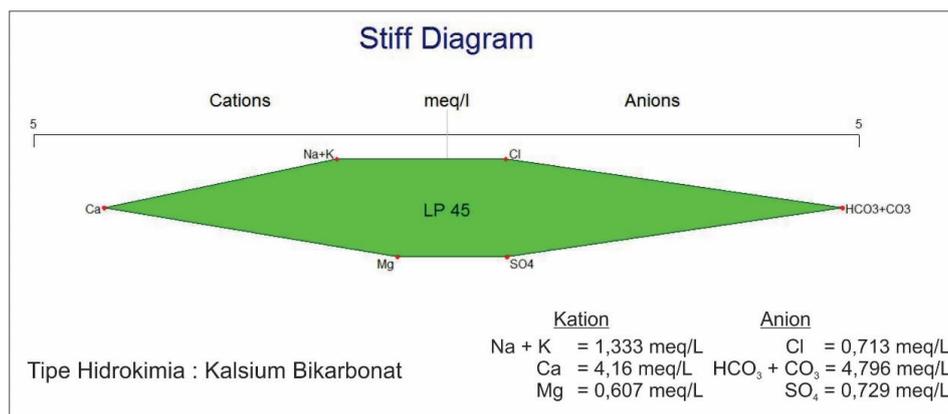
Berdasarkan hasil analisis diagram stiff, pada daerah telitian termasuk pada tipe Kalsium Karbonat ( $\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$ ) (Gambar 1 - Gambar 3). Kalsium berasal dari kandungan pada batuan sedimen atau beku yang terlapukkan dan batupasir tuffan karbonatan pada Satuan batupasir Sambipitu dan Satuan batugamping-berlapis Wonosari. Selain itu, air yang telah tersimpan lama dalam batuan sedimen bisa memiliki konsentrasi Ca yang tinggi. Unsur Ca tersebut terkandung dalam penguraian oksidasi pada mineral andesin ( $\text{Na-Ca-Al}$  Silikat) yang kemudian larut dalam senyawa air. Sedangkan, pada batuan breksi andesit Satuan breksi Nglanggeran, unsur kation – anion ini bisa berasal dari mineral plagioklas dan andesit. Unsur karbonat yang berasal dari senyawa  $\text{HCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  yang berada bebas di udara.



Gambar 1. Hasil analisis diagram stiff LP 9 daerah telitian.



Gambar 2. Hasil analisis diagram stiff pada LP 42 daerah telitian.



Gambar 3. Hasil analisis diagram stiff pada LP 45 daerah telitian.

**Diagram Trilinier Piper**

Dalam hasil uji sampel dibagi menjadi 2, yaitu parameter fisik dan kimia. Unsur dalam tanah dibagi menjadi, yaitu unsur mayor (dominasi unsur dalam kerak bumi) dan unsur minor. Unsur mayor tersebut ada unsur kation (Ca, Na+K, Mg, Ca) dan anion (Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$ ). Dari hasil yang didapat, ketiga sampel air dalam daerah penelitian masih menunjukkan angka normal, baik kandungan unsur kation maupun anionnya. Dalam artian, zat yang terlarut baik berasal dari breksi andesit, batupasir karbonatan, dan batugamping masih stabil

(tidak berlebihan). Dan masih layak untuk dijadikan konsumsi air minum masyarakat dan kebutuhan lainnya. (Tabel 2.)

**Tabel 2.** Hasil Uji Parameter Fisik dan Kimia (Diuji oleh Shobhi di BBTKLPP Yogyakarta).

NO	Parameter	Satuan	Hasil Uji			Nilai Normal
			LP 9	LP 42	LP 45	
1	Warna	TCU	3	36	30	50
2	Kekeruhan	NTU	2	10	11	25
3	Rasa	-	Tak berasa	Tak berasa	Tak berasa	Tak berasa
4	Bau	-	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
5	TDS	mg/L	213	250	282	500
6	DHL	µmhos/cm	425	503	563	400
7	pH	-	7,7	6,8	7,6	7
8	Natrium	mg/L	23	37	23	200
9	Kalium	mg/L	3	5	13	-
10	Kalsium	mg/L	50,80	99,70	83,20	130
11	Magnesium	mg/L	13,12	9,77	7,29	30
12	Klorida	mg/L	11,9	11,4	25,3	600
13	Sulfat	mg/L	9	12	35	400
14	Alkalinitas	mg/L	268,4	237,9	292,8	-

Sesuai data unsur kation (Na, K, Mg, Ca) dan anion (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>) didapatkan bahwa pada semua lokasi pengamatan memiliki nilai DHL dan TDS yang tinggi, namun masih dalam kondisi normal (air tawar). Untuk masyarakat kebutuhan sehari – hari masih bisa, namun untuk kebutuhan konsumsi perlu adanya pengolahan terlebih dahulu seperti penjernihan, agar mineral terkandung bisa tersaring dengan baik.

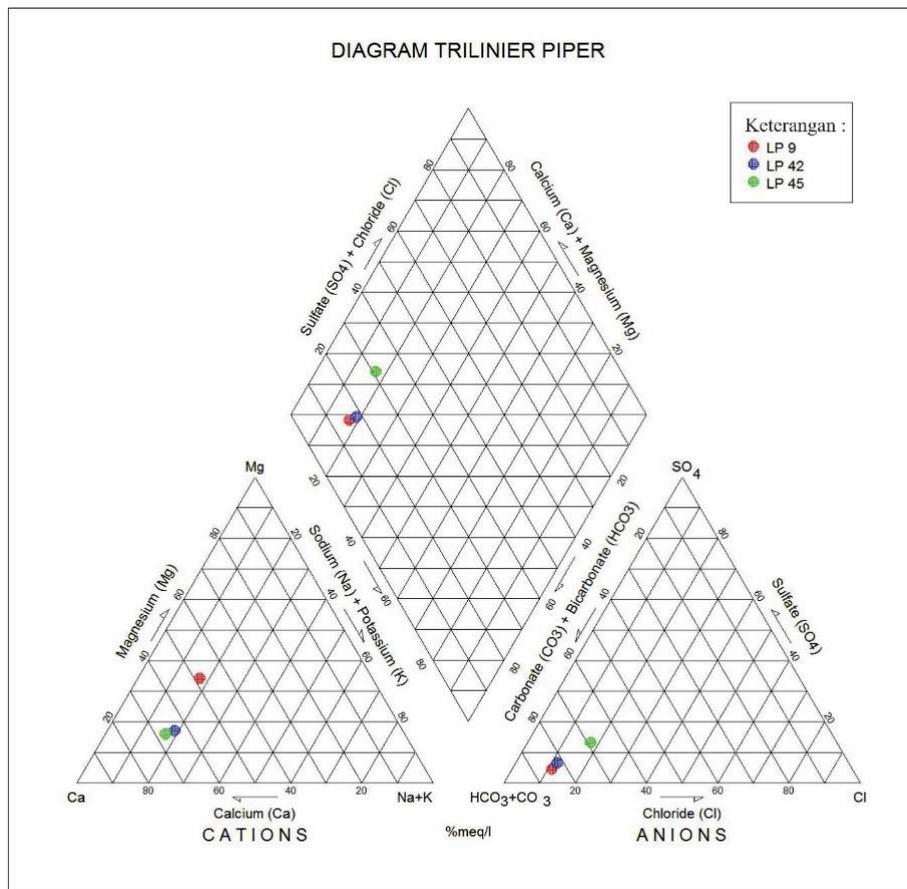
Air yang telah diuji tentu mengalami proses terlarutkan oleh zat – zat yang ada dalam batuan tertentu. Metode analisa kimia air tanah merupakan metode penting untuk studi genetika air tanah, dimana dapat memisahkan analisis data sumber unsur penyusunan terlarut dalam air tanah. Perubahan sifat air yang melewati suatu wilayah tertentu serta hubungannya dengan masalah geokimia (Suharyadi, 1984) dalam diagram Trilinier Piper, serta presentase kandungan anion kation dari berbagai sampel akan digambarkan dalam satu diagram (Gambar 4).

### **Akuifer Daerah Telitian**

Sistem akuifer pada daerah telitian dibagi berdasarkan posisi stratigrafi dan jenis litologi. Sistem akuifer yang dimaksud adalah akuifer bebas dengan porositas antar butir pada litologi breksi andesit dan batupasir tuffan karbonatan.

a) Akuifer bebas dengan porositas celah dan antarbutir pada litologi breksi andesit Akuifer yang melalui celah dan antarbutir dengan produktivitas rendah dengan penyebaran dan keterusan yang luas mencakup sebagian besar daerah telitian. Akuifer ini bisa menyebar melalui rekahan – rekahan atau celah, yang berasal dari air hujan kemudian meresap ke bawah permukaan. Dominasi litologinya merupakan breksi andesit Nglangeran yang produknya berasal dari gunungapi purba Menoreh dengan material – material bertekstur kasar dan ukuran butir beragam, sehingga air yang melewatinya memiliki celah untuk lolos.

b) Akuifer bebas dengan porositas antarbutir pada litologi batupasir tuffan karbonatan Akuifer yang melalui ruang antarbutir dengan produktivitas tinggi sampai sedang dengan penyebaran dan keterusan yang mencakup beberapa lokasi daerah telitian. Akuifer ini bisa menyebar melalui ruang antarbutir, yang berasal dari air hujan kemudian meresap ke bawah permukaan.



Gambar 4. Hasil uji analisa laboratorium yang telah dimasukkan pada diagram Trilinier Piper. (Klasifikasi Back dkk, 1988).

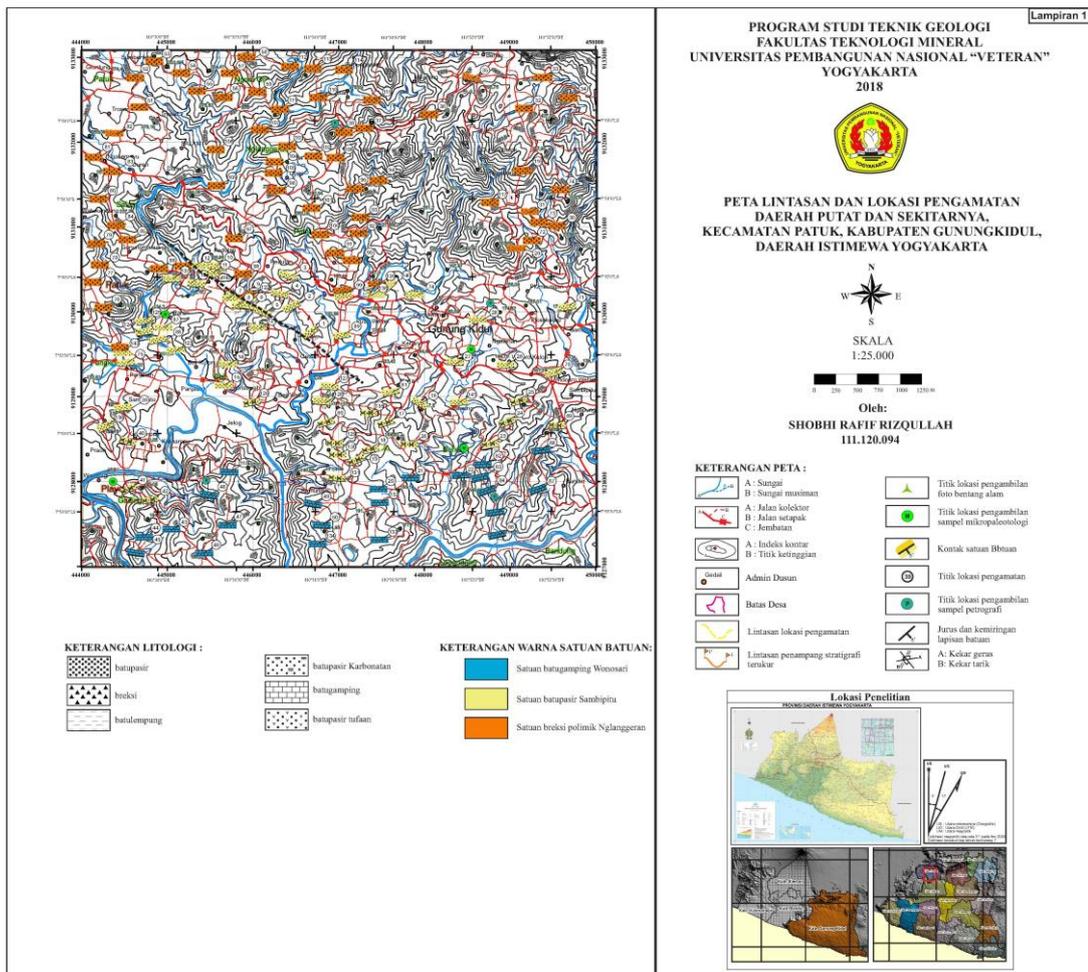
### KESIMPULAN

1. Pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi pola pengaliran Sub-Dendritik pada tiga jenis sungai antara lain sungai subsekuen, obsekuen dan konsekuen.
2. Bentuk asal daerah penelitian dibagi menjadi lima satuan bentuk lahan, antara lain Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin (S1), Lereng Homoklin (S2), Perbukitan Breksi (V1), Tubuh Sungai (F1).
3. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga satuan dari tua ke muda, antara lain Satuan breksi Nglangeran, Satuan batupasir Sambipitu, Satuan batugamping-berlapis Wonosari.
4. Struktur geologi daerah penelitian meliputi kekar, kedudukan homoklin lapisan batuan dan sesar. Sesar daerah penilitan beradaa pada daerah Putat 1 dengan arah baratdaya-timurlaut dan Sesar perkiraan pada daerah Gunungmanuk dengan arah baratlaut-tenggara.
5. Potensi geologi daerah penelitian meliputi potensi mata air, wisata gunung purba.
6. Urutan sejarah geologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 4 proses antara lain Periode Vulkanisme Tersier (Miosen Awal-Tengah), Periode Pasca Vulkanisme (Miosen Awal-Tengah), Periode Karbonat (Miosen Tengah-Akhir), Periode Orogenesa (Miosen Akhir-Recent).
7. Mata air pada daerah telitian yaitu mata air depresi, mata air kontak, dan mataair celah.
8. Jenis akuifer pada daerah penilitan berdasarkan stratigrafi menunjukkan akuifer bebas.
9. Sistem akuifer pada daerah telitian yaitu sisem akuifer antar butir dan sistem akuifer rekahan.
10. Kawasan imbuan daerah telitian berada pada Perbukitan breksi Nglangeran, dan daerah luahan berada pada dataran Sambipitu sampai bunder.
11. Nilai TDS dan DHL pada LP 9, LP 42 dan LP 45 memiliki nilai tinggi, sehingga apabila diperuntukkan untuk kebutuhan sehari - hari perlu diberikan pengamatan lebih lanjut. Nilai tersebut dihasilkan oleh kandungan mineral dalam satuan batuan breksi Nglangeran yang berasal dari unsur plagioklas, andesit, dan batuan karbonat dengan unsur Ca.
12. Dari segi nilai pH, LP 9 dan LP 45 memiliki pH >7 yang termasuk basa atau alkali, nilai ini tidak terlalu berpengaruh bahkan ada beberapa penilitian bahwa air yang bersifat alkali dan meenyembuhkan beberapa penyakit, selebihnya air pada daerah telitian masih layak untuk diksumsi.
13. Berdasarkan metode diagram trilinier piper ketiga uji air yang telah diteliti pada daerah telitian masuk pada area 5, Berarti kekerasan karbonat (Alkalinitas sekunder) > 50%. Sifat kimia airtanah didominasi oleh alkali

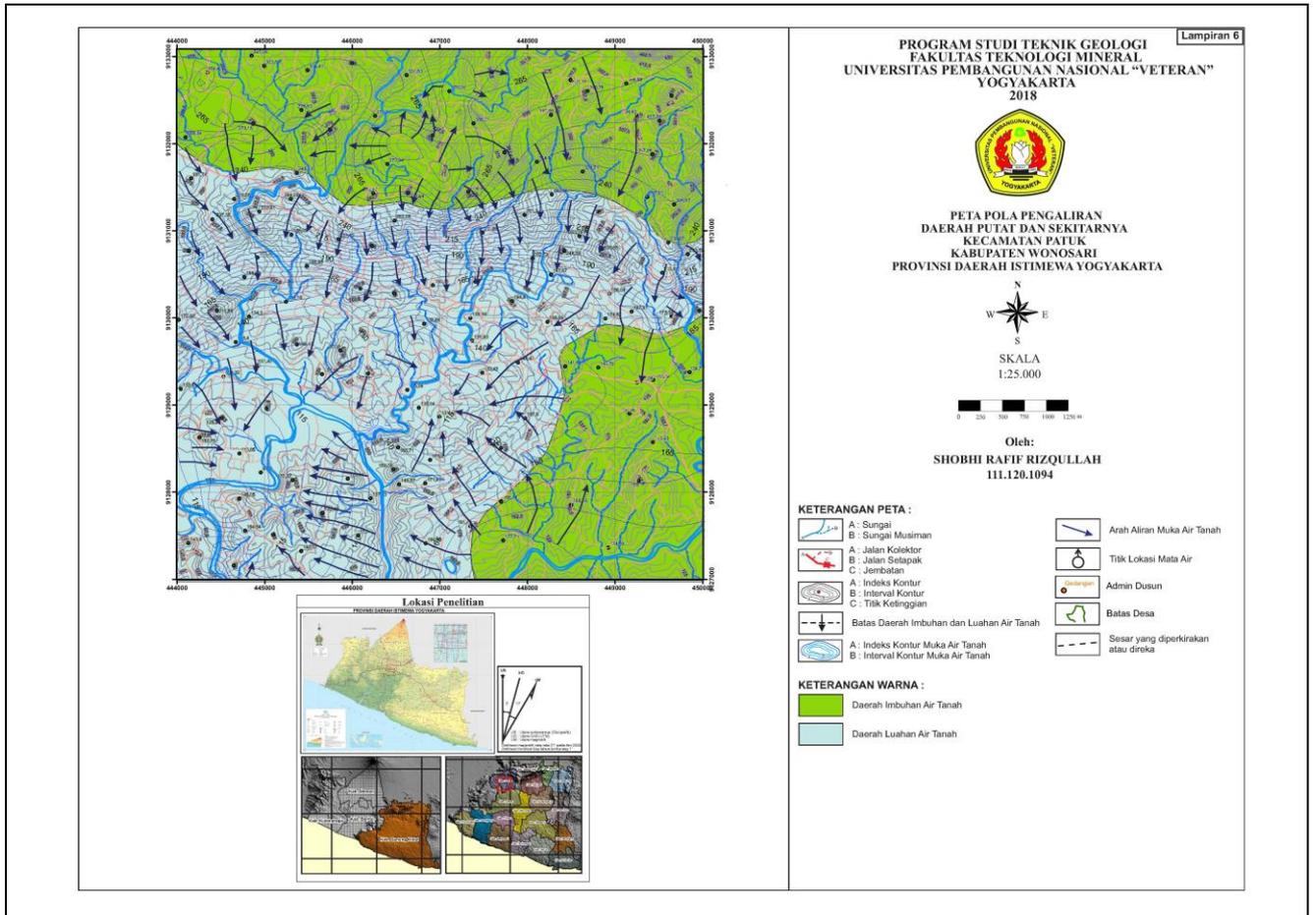
- tanah dan asam lemah. Air bersifat basa, kesadahan/kekerasan karbonat membuat bahan – bahan disekitarnya mengendap dan berkerak. Dapat merusak ginjal apabila senyawa tersebut berlebihan.
14. Berdasarkan metode diagram stiff, tipe zat terlarut airtanah adalah Kalsium Bikarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Sama seperti pembacaan diagram Trilinier Piper, zat yang terlarut dalam airtanah merupakan dominasi dari pelarutan kandungan batuan atau tanah yang menjadi media mengalirnya airtanah. Pada Satuan batuan breksi Nglanggeran, dominasi kandungan kation dan anion lebih dipengaruhi oleh matriks andesitnya. Unsur penyusun tersebut terlarut bersama dengan media air tanah. Sedangkan, kandungan unsur kation dan anion pada Satuan batupasir Sambipitu, unsur tersebut bisa berasal dari unsur penyusun batuan seperti plagioklas, semen karbonat, dan lain – lain.
  15. Berdasarkan hasil analisa sifat fisik maupun kimia, air yang diteliti pada LP 9, LP 42, LP 45, masih layak untuk dikonsumsi untuk MCK (Mandi, cuci, kakus), Irigasi, air minum namun di LP 45 dan LP 42, untuk air minum perlu diperhatikan lagi karena mengandung karbonat yang tinggi, sehingga perlu ada perlakuan khusus seperti merebus air sapai endapan mengendap, atau menggunakan saringan.

#### DAFTAR PUSTAKA

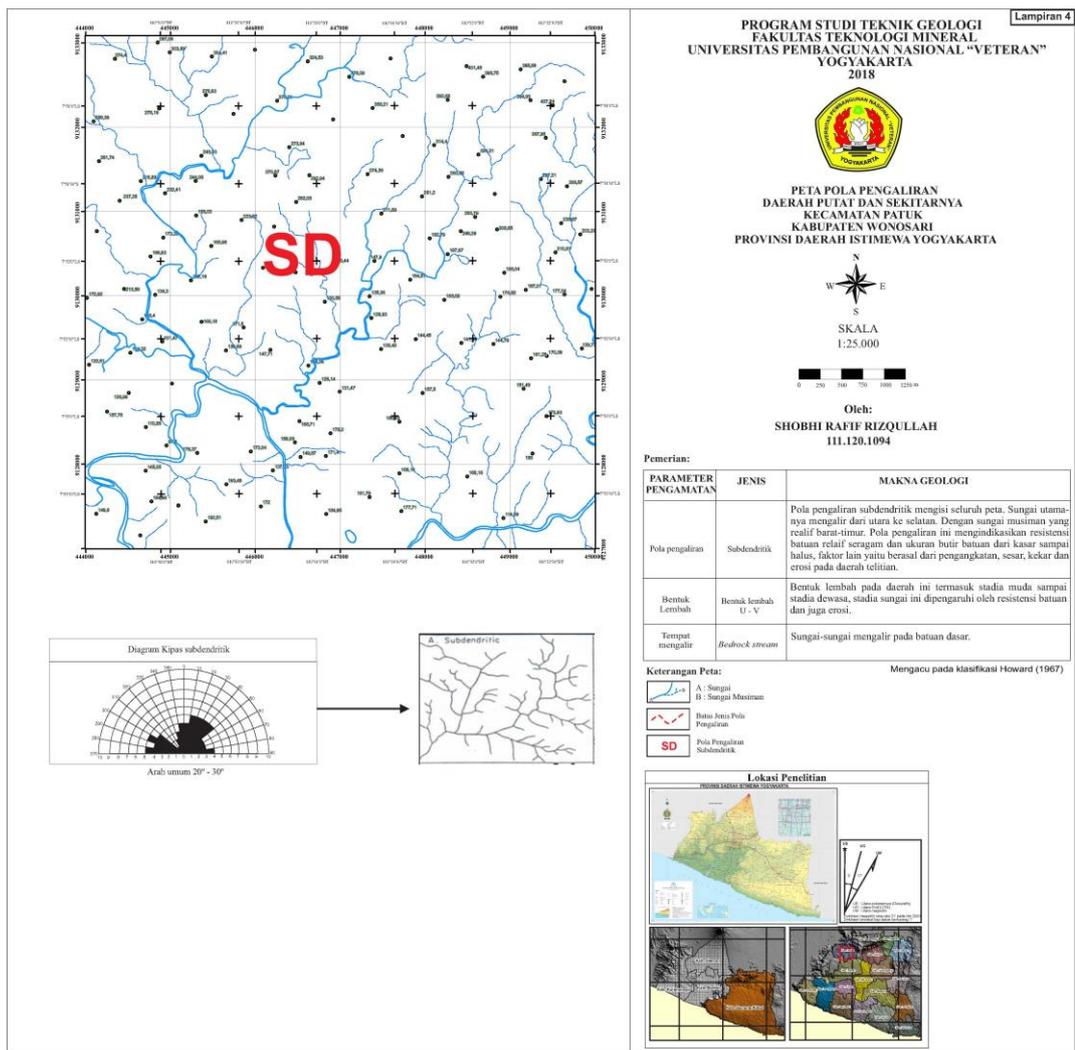
- Asikin, S., 1974, *Evolusi Geologi Jawa Tengah dan sekitarnya ditinjau dari segi Teori Tektonik dunia yang baru*, Disertasi Doktor, Bandung: Departemen Teknik Geologi, ITB.
- Adji, T. N., Suyono, 2004, *Bahan Ajar Hidrologi Dasar*, Yogyakarta : Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Asdak, C., 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.
- Asikin, S., 1987, : *Evolusi geologi Jawa Tengah dan sekitarnya ditinjau dari segi tektonik dunia yang baru (Geologi Struktur Indonesia)*. Laporan tidak dipublikasikan, disertasi, Dept. Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Gunungkidul, 2011, *Publikasi Data Spasial*, [bappeda.gunungkidul.go.id](http://bappeda.gunungkidul.go.id), Yogyakarta: Bappeda Gunungkidul.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gunungkidul, 2015, *Gunungkidul Dalam Angka 2015*, Yogyakarta: Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gunungkidul.
- Bemmelen, R. W. Van, 1949, *The Geology of Indonesia, Vol IA*. The Hague Martinus Nijhoff, hal. 65 – 72.
- Davis S.N. & De Wiest, 1966, : *Hydrogeology*, Jelin Wiley & Sons, USA.
- Dunham, R. J., 1962, "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". In Ham, W.E. *Classification of carbonate Rock*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1. pp. 108–121.
- Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Airtanah Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*.
- Fetter, C.W., 1994, *Applied Hydrogeology, 3rd ed.*: Macmillan College Publishing, Inc., New York, hal 180-185
- Foth, H.D., 1994, *Dasar – dasar Ilmu Tanah : Edisi keenam*, Terjemahan S. Adisoemarto, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Kodoatie, R. K., 1996, *Pengantar Hidrogeologi*, Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Piper, A. M., 1944, *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*, Am, Geophys, Union Trans.
- Prasetyadi, C., Ign. Sudarno, V.B. Indranadia dan Surono, 2009, Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan, Provinsi D.I. Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah, *Jurnal Sumber Daya Geologi Vol.19 No.3 Juni 2009*, 235-252.
- Pringgoprawiro, H dan Riyanto, B., 1987, *Formasi Andesit Tua Suatu Revisi*, Bandung Inst.Technology, Departement Geology, No.64, hal 5-21.



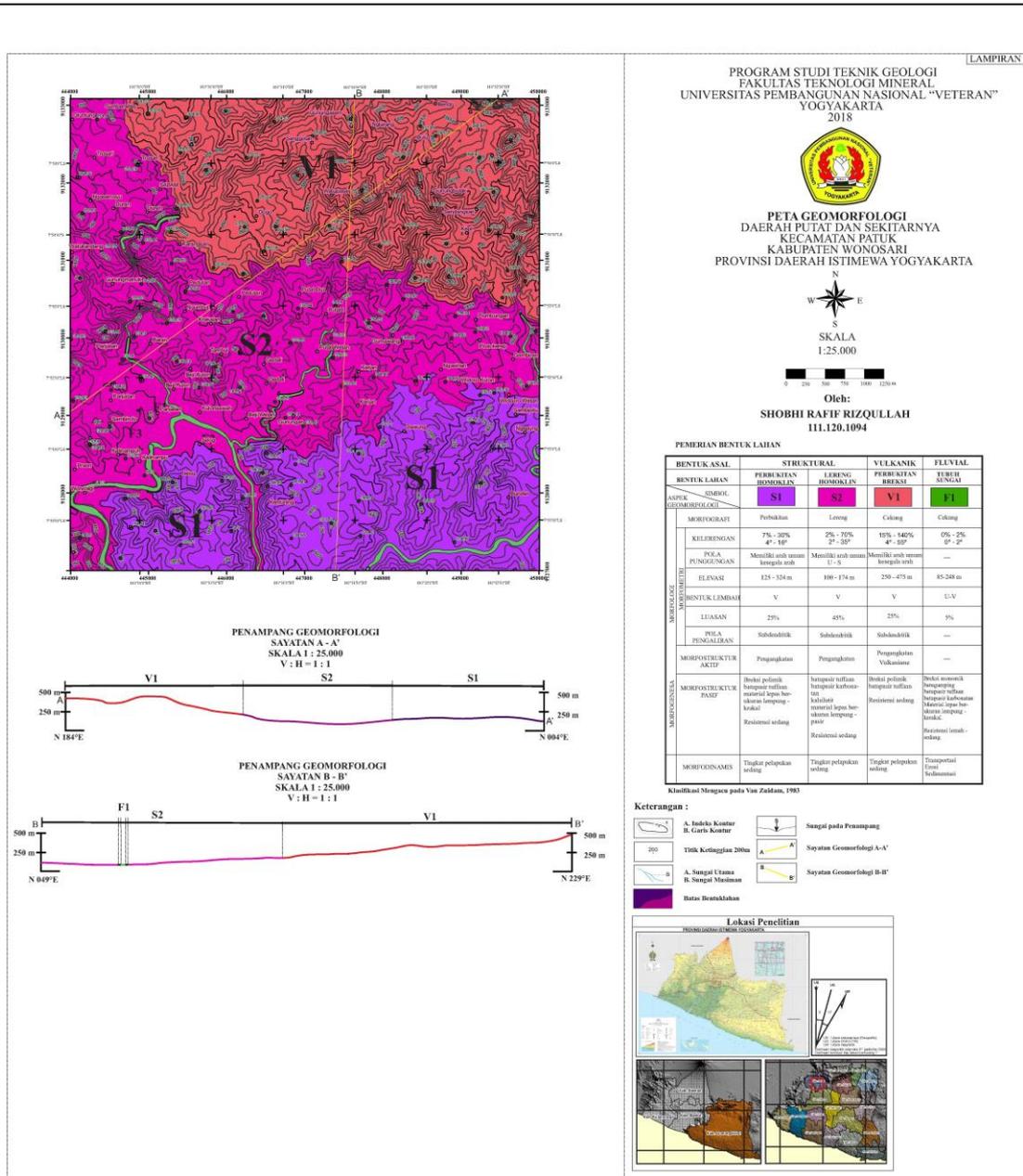
**Gambar 5.** Peta Lintasan dan Lokasi Pengamatan



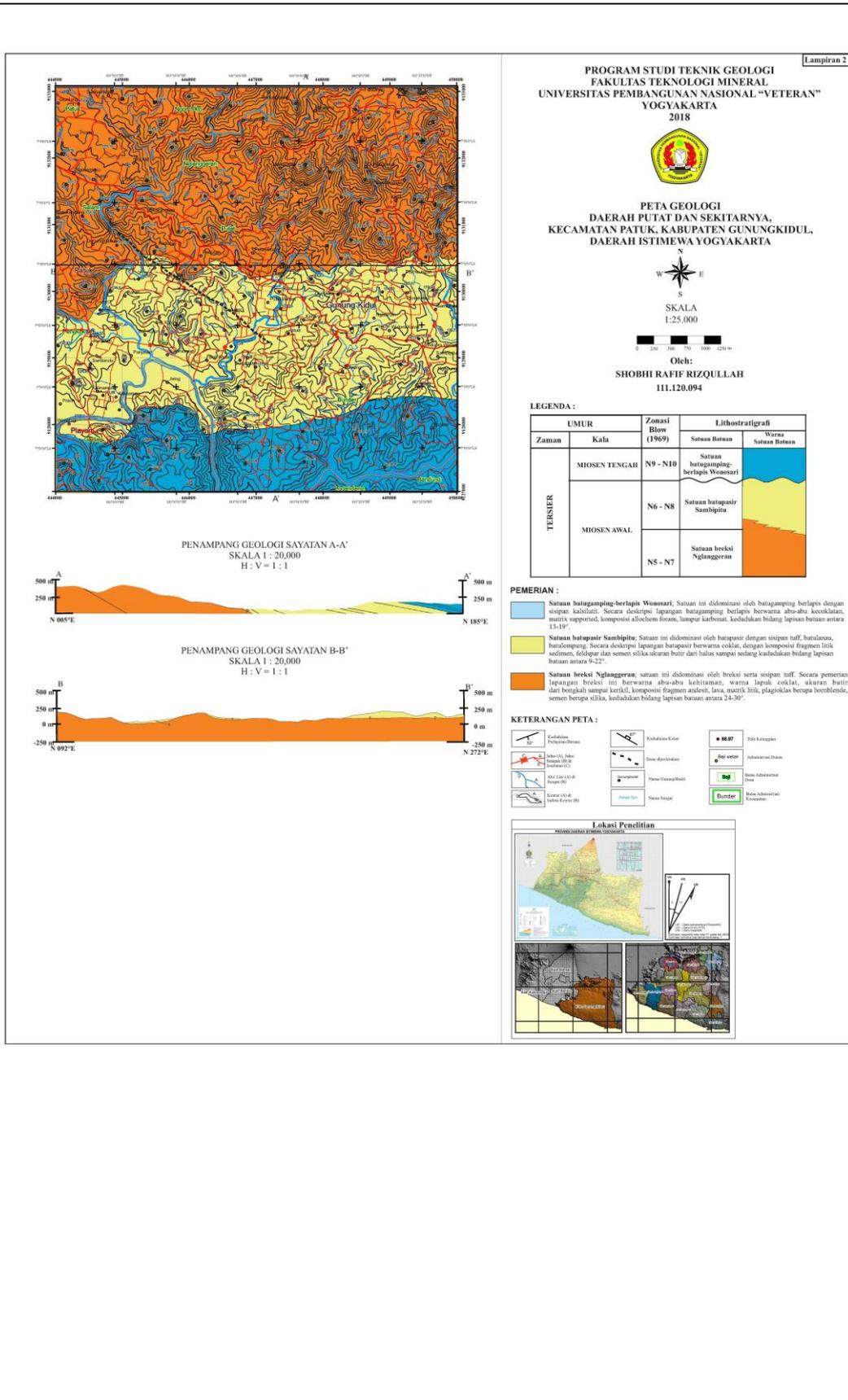
Gambar 6.a Peta Pola Pengaliran



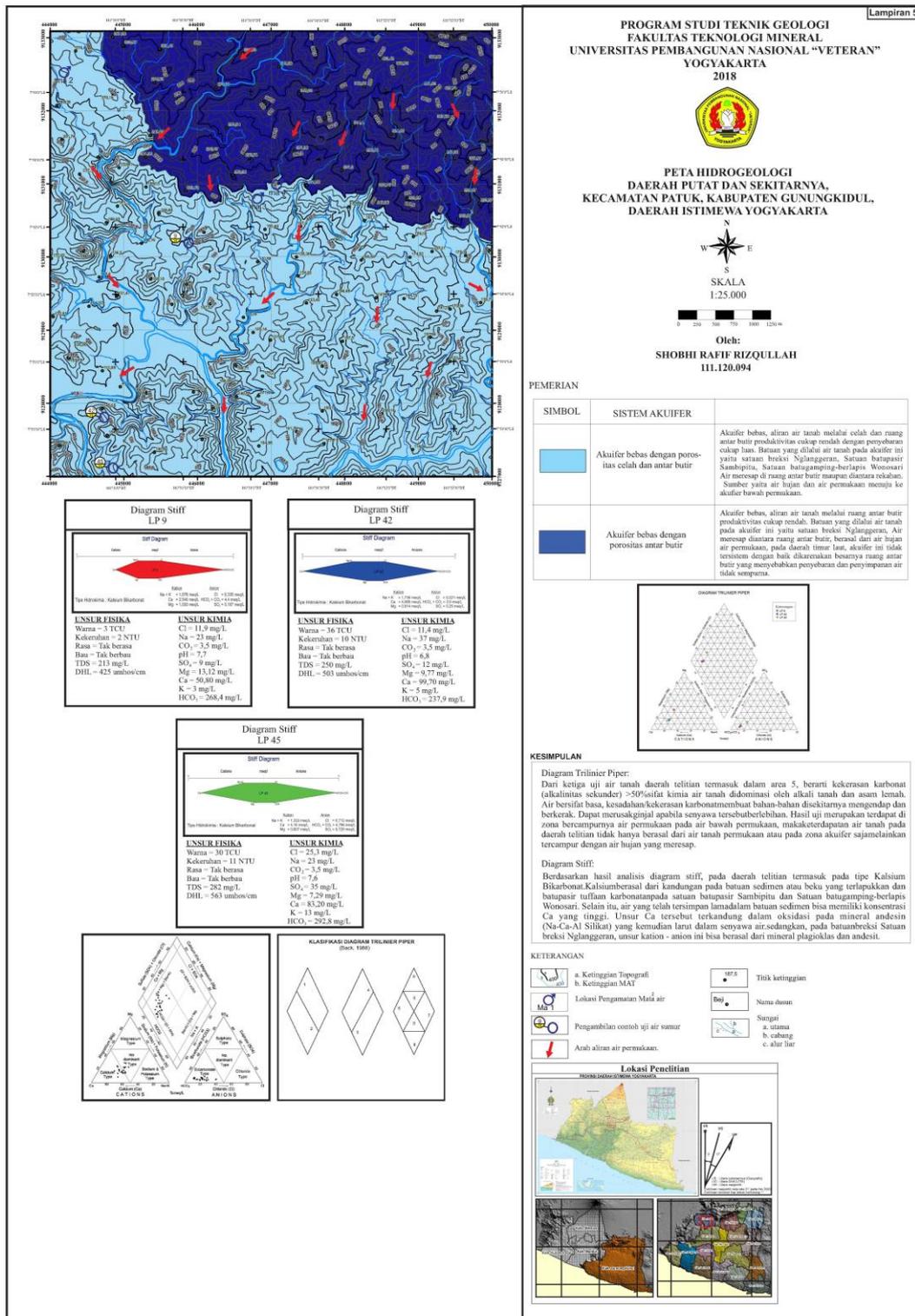
Gambar 6.b Peta Pola Pengaliran



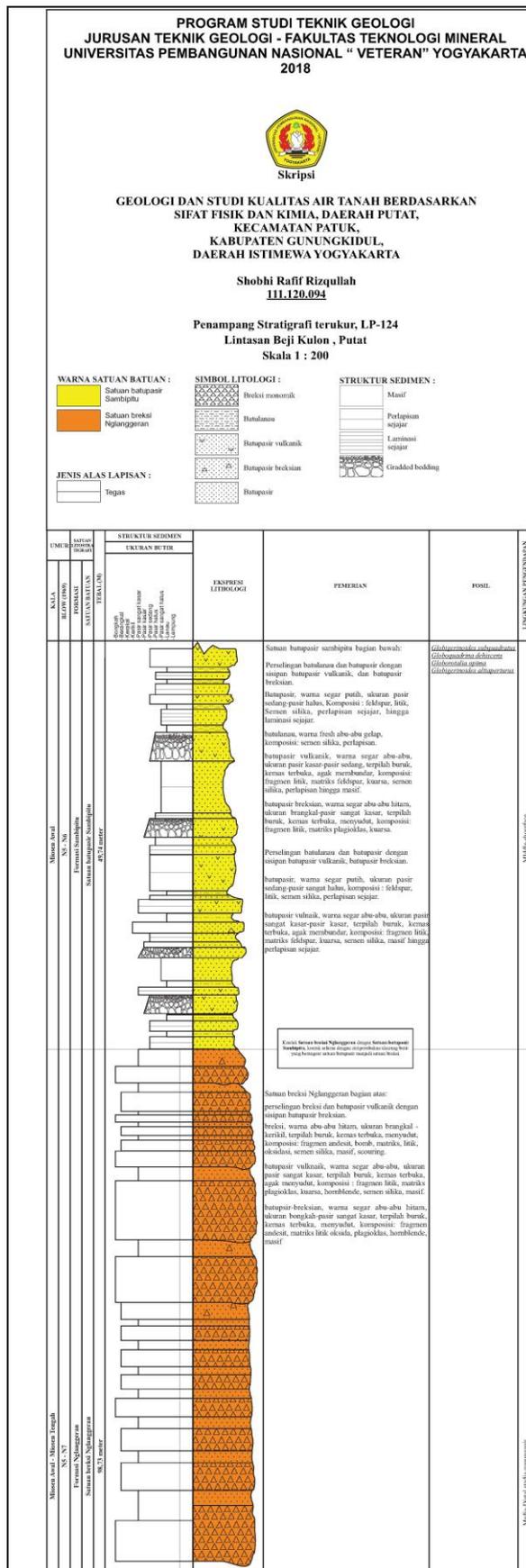
Gambar 7. Peta Geomorfologi



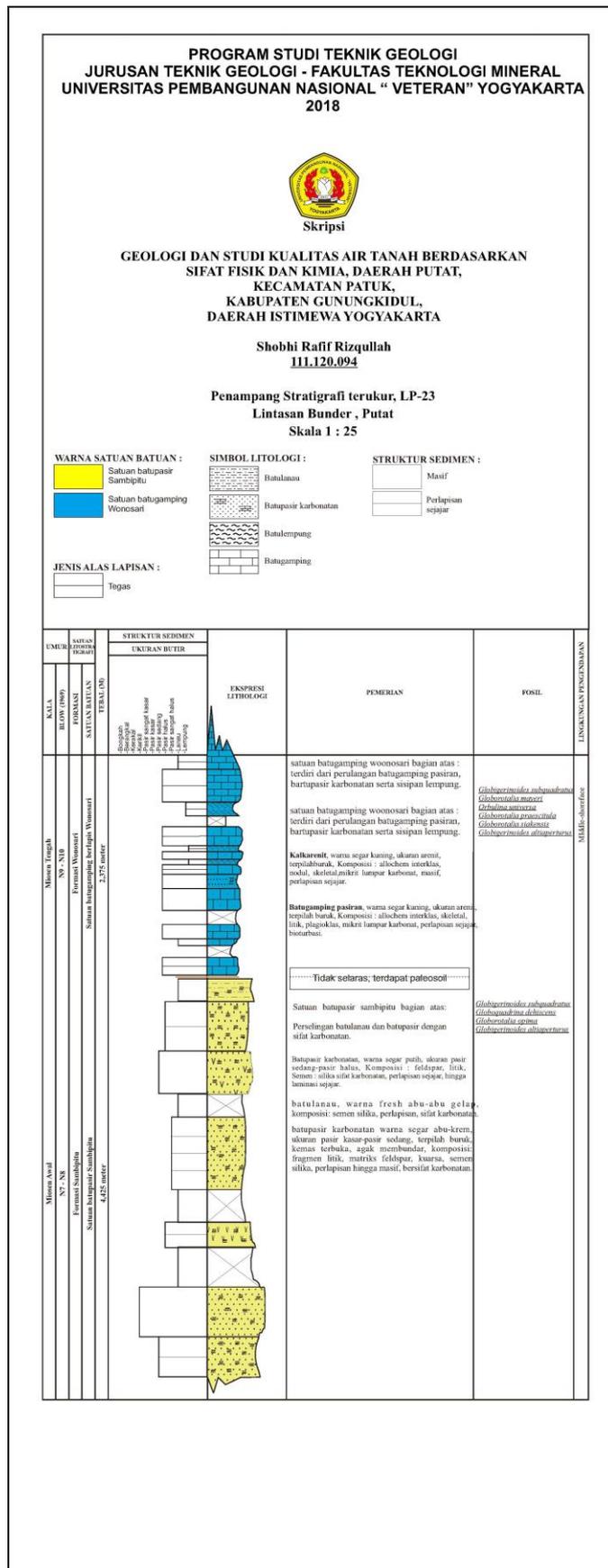
Gambar 8. Peta Geologi



Gambar 9. Peta Hidrogeologi



**Gambar 10.** Penampang Stratigrafi Terukur LP 124



Gambar 10. Penampang Stratigrafi Terukur LP 23

## GEOLOGI DAN STUDI KENDALI STRUKTUR TERHADAP ALTERASI HIDROTHERMAL DESA JERUK DAN SEKITARNYA, KECAMATAN BANDAR, KABUPATEN PACITAN, PROVINSI JAWA TIMUR

Leon Canavarro Odillo, Suprpto, Hendaryono  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: geoupn@indosat.net.id  
Corresponding author : [leoncanavarro@gmail.com](mailto:leoncanavarro@gmail.com)

**Sari** - Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM-WGS84-Zona 49S) 524225 mE – 529225 mE dan 916325 mN – 9121325 mN mU. Sedangkan secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam Kecamatan Bandar, dan Nawangan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur.

Berdasarkan analisis aspek-aspek geomorfologi, pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua yaitu pola pengaliran *Rectangular* dan pola pengaliran *Parallel* pada tiga Daerah Aliran Sungai yaitu DAS Jeruk (*Rectangular*), DAS Kali Ngambo (*Rectangular*), dan DAS Bandar (*Parallel*). Bentuk lahan terbagi menjadi tujuh satuan yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1).

Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tujuh satuan batuan dari tua ke muda, yaitu satuan breksi Jajar (Oligosen Akhir), satuan lava Jajar (Oligosen Akhir), satuan batupasir Sidodadi (Oligosen Akhir-Miosen Awal), Satuan batupasir Watupudi (Miosen Awal), litodem dasit, litodem andesit dan satuan endapan aluvial (*recent*).

Struktur geologi daerah penelitian meliputi kekar, sesar, dan kedudukan perlapisan batuan yang membentuk kubah. Sesar daerah penelitian dapat dibagi menjadi delapan kelompok yaitu Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan, Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi, Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu, Kelompok Sesar Nalangan-Buluh, Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan, Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi yang berumur Miosen Awal, serta Kelompok Sesar Jajar-Bangsari, Sesar Sempu dan Sesar Jajar yang berumur Miosen Tengah.

Daerah penelitian telah mengalami alterasi yang intens dan membentuk himpunan mineral tertentu, zonasi alterasi hidrotermal dapat dibagi menjadi lima, yaitu zona alterasi silisik (kuarsa ± silika ± pirit), filik (kuarsa + serisit/illit + pirit), argilik (illit + haloysit ± kuarsa), argilik lanjut (silika + haloysit + alunit), dan propilitik (klorit + kalsit + haloysit). Persebaran alterasi hidrotermal dipengaruhi oleh struktur geologi berupa sesar yang berumur Miosen Awal (*pre-syn*), sedangkan sesar yang berumur Miosen Tengah (*post*) tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal. Tipe endapan hidrotermal di daerah penelitian merupakan epitermal sulfidasi rendah.

**Kata - kata kunci** : alterasi hidrotermal, zona alterasi, silisik, filik argilik

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Endapan hidrotermal adalah endapan yang terbentuk pada sistem hidrotermal. Dalam sistem hidrotermal terdapat dua komponen utama, yaitu sumber panas dan fase fluida, sirkulasi fluida menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding (*wall rocks*) menjadi tidak stabil dan cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru, proses ini dikenal dengan alterasi hidrotermal. Alterasi Hidrotermal merupakan proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimia, dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang di lewatinya (Pirajno, 1992).

Daerah penelitian merupakan daerah yang dipengaruhi oleh adanya aktivitas tektonik berupa subduksi dan berada pada busur vulkanik pada kala Oligo-Miosen, aktivitas tektonik akan berpengaruh terhadap keberadaan struktur geologi yang ada. Melalui struktur geologi berupa sesar dan kekar, fluida hidrotermal dapat bergerak dan berinteraksi dengan batuan sekitarnya sehingga kehadiran dan pola penyebaran alterasi hidrotermal akan dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi yang berkembang. Desa Jeruk dan sekitarnya memiliki tipe endapan epitermal yang potensi mineralisasinya telah diketahui di sekitar Gunung Gembes dengan komoditi logam emas (Au), air raksa (Hg), dan platina (Pt) (Sampurno dan Samodra, 1997). Maka dari itu pemahaman struktur geologi menjadi sangat penting untuk melakukan pendekatan guna mengkaji lebih lanjut mengenai alterasi hidrotermal yang merupakan aspek penting dalam pencarian bahan galian logam.

#### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari tatanan geologi meliputi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, sejarah geologi dan pengaruh struktur geologi terhadap alterasi hidrotermal di daerah penelitian.

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terbagi menjadi 2 kecamatan yaitu Bandar, dan Nawangan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur yang meliputi desa Jeruk, Bandar, Bangunsari (Kec. Bandar), dan Sempu (Kec. Nawangan). Secara geografis daerah penelitian berada pada 524225 mE – 529225 mE dan 916325 mN – 9121325 mN (UTM zona 49S) dengan luas 25 km<sup>2</sup>.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengambilan data lapangan berupa pengambilan data dari pengamatan lintasan dan pengambilan conto batuan. Hasil pengambilan data dari pengamatan lintasan diintegrasikan dengan data hasil analisis laboratorium dan studio seperti data hasil analisis satuan geomorfik, analisis petrografi dan mineragrafi, analisis struktur, analisis XRD, dan analisis paleontologi untuk menghasilkan peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta pola pengaliran, peta geomorfologi, peta geologi, peta lintasan dan lokasi pengamatan alterasi, peta alterasi, peta struktur, dan laporan hasil penelitian.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Geomorfologi

Pola pengaliran daerah telitian terbagi menjadi dua jenis dalam 3 Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai berikut :

1. DAS Jeruk

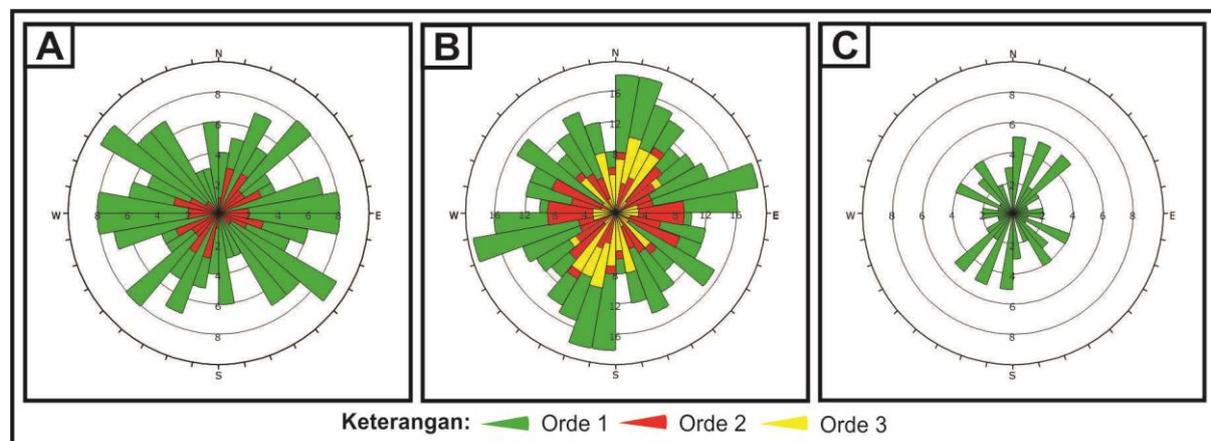
Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian barat daerah telitian dengan pola pengaliran adalah *Rectangular* yang dikontrol secara dominan oleh pola rekahan berupa kekar dan sesar, tempat mengalir pada *bedrock stream* dengan bentuk lembah V dan terbagi menjadi dua orde berdasarkan metode Strahler (1981).

2. DAS Kali Ngambo

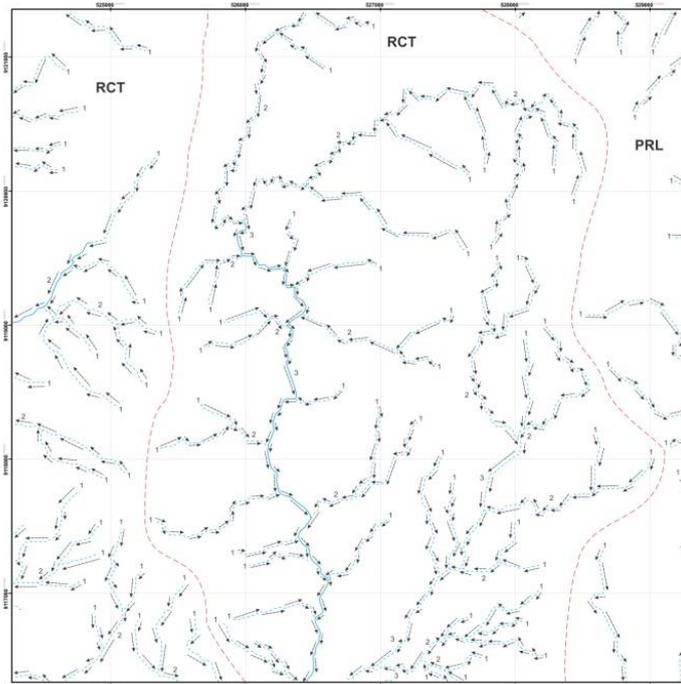
Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian tengah yang juga paling dominan di daerah telitian, memiliki pola pengaliran *Rectangular* yang dikontrol secara dominan oleh pola rekahan berupa kekar dan sesar. Pada bagian utara secara setempat terdapat pola aliran *Annular* diakibatkan adanya batuan terobosan sehingga membentuk struktur kubah. Tempat mengalir pada *bedrock stream*, bentuk lembah V dan terbagi menjadi tiga orde berdasarkan metode Strahler (1981).

3. DAS Bandar

Daerah Aliran Sungai ini terletak di bagian timur daerah telitian dengan penyebaran yang terbatas, pola pengaliran diperkirakan adalah *Parallel* yang dikontrol oleh kemiringan lereng serta umumnya sungai searah dengan kemiringan perlapisan (konsekuen). Tempat mengalir pada *bedrock stream* dengan bentuk lembah V, berdasarkan metode Strahler (1981) .

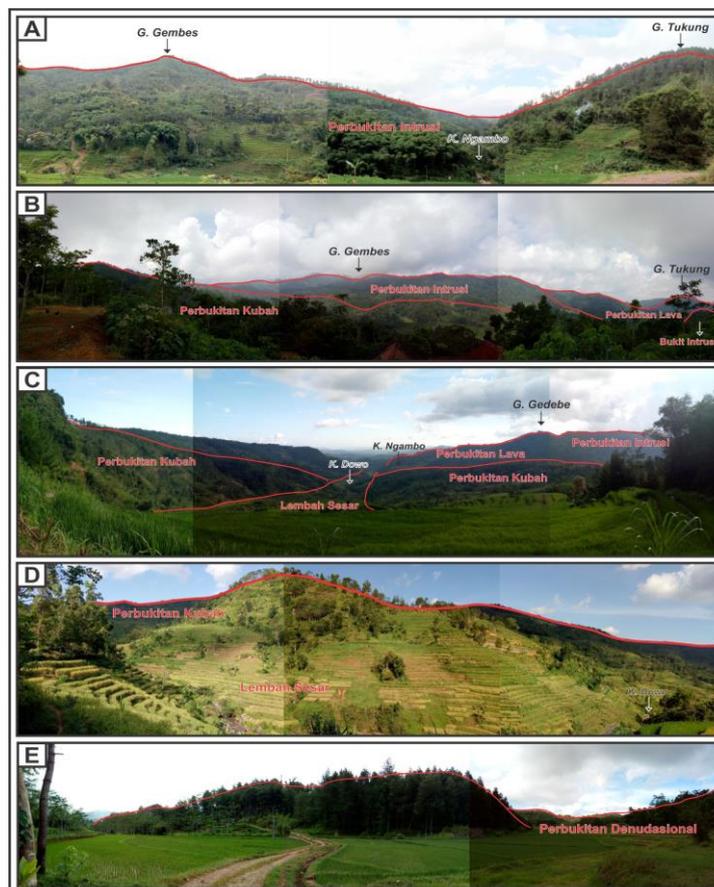


**Gambar 1.** Diagram rosetet pola pengaliran: (A) DAS Jeruk; (B) DAS Kali Ngambo; (C) DAS Bandar

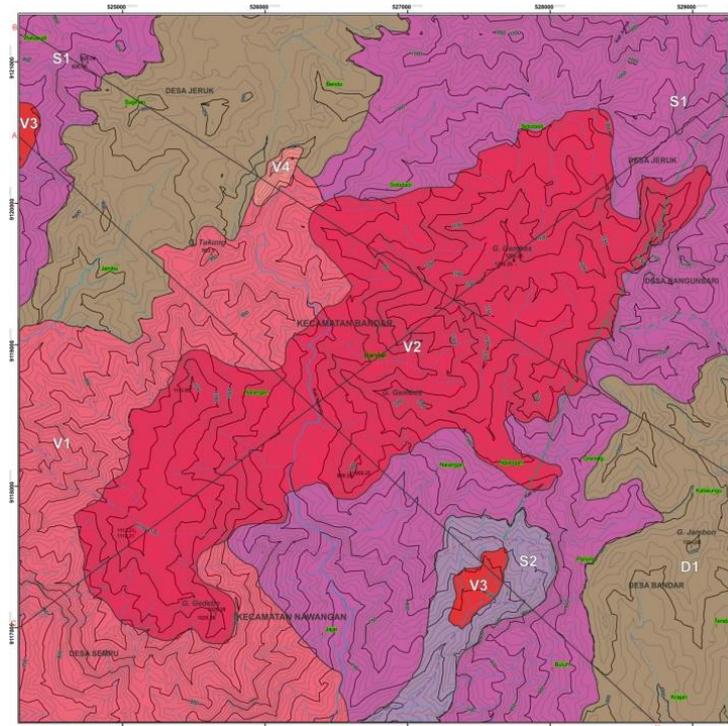


**Gambar 2.** Peta Pola Pengaliran

Satuan bentuk lahan daerah penelitian dapat dibagi menjadi 7, yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1) yang persebarannya dapat dilihat pada Peta Geomorfologi.



**Gambar 3.** Bentang alam pembagian bentuk lahan: (A) bentang alam diambil dari Dsn. Nalangan; (B) bentang alam diambil dari Dsn. Bendo; (C) bentang alam diambil dari Dsn. Panjang; (D) bentang alam diambil dari lembah K.Dowo; (E) bentang alam diambil dari Dsn. Jambu.



**Gambar 4.** Peta Geomorfologi

### Stratigrafi

Satuan litostratigrafi daerah penelitian mengikuti tatanama litostratigrafi menurut kaidah Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dengan tata penamaan satuan litostratigrafi tak resmi berdasarkan satuan batuan yang bersendi kepada ciri litologi diikuti nama letak geografis dari stratotipe (lokasitipe). Berdasarkan hasil pemetaan geologi dan analisis data, maka satuan litostratigrafi tak resmi di daerah penelitian dari tua ke muda meliputi:

#### 1. Satuan breksi Jajar

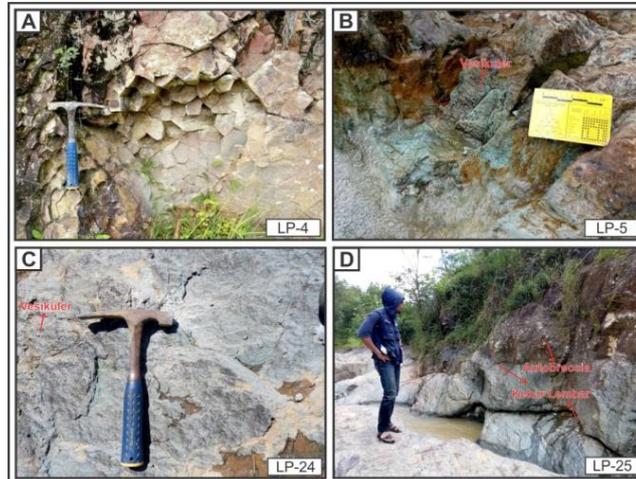
Satuan ini menempati 7% luasan peta, secara umum kedudukan pada satuan ini memiliki kemiringan relatif ke selatan dengan sudut  $9-24^\circ$ . Satuan ini didominasi oleh breksi vulkanik dengan struktur masif serta setempat didapatkan adanya lapili. Merupakan fasies medial dari gunungapi yang diendapkan pada lingkungan laut dengan umur Oligosen Akhir (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 5.** Foto lapangan pada satuan breksi Jajar: (A) breksi vulkanik yang hampir seluruh fragmen dan matriks telah mengalami alterasi hidrotermal; (B) breksi vulkanik yang menunjukkan kedudukan lapisan; (C) singkapan breksi vulkanik dengan struktur masif yang tersesarkan pada lokasitipe Dusun Jajar ; (D) *close-up* kenampakan fragmen andesit berukuran hampir mencapai 1m.

2. Satuan lava Jajar

Satuan ini menempati 18% luasan peta yang tersebar di sebelah barat daya daerah penelitian. Satuan ini didominasi oleh lava andesit dan setempat didapatkan breksi vulkanik dan batupasir vulkanik. Litologi lava andesit dicirikan dengan kenampakan lapangan warna abu-abu sampai kehijauan, putih, dan putih kemerahan dengan tekstur porfiroafanitik, mineral primer penyusun berupa plagioklas, hornblende, piroksen, dan gelas serta memiliki struktur berupa vesikuler, *flow-banded*, *autobreccia*, kekar kolom, dan kekar lembar. Merupakan fasies proksimal dari gunungapi yang diendapkan pada lingkungan laut dengan umur Oligosen Akhir (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 6.** Foto lapangan pada satuan lava Jajar: (A) lava dengan struktur kekar kolom (B) lava dengan struktur vesikuler dan *flow-banded* ; (C) lava andesit dengan struktur vesikuler pada lokasitipe Dusun Jajar ; (D) lava dengan struktur aliran berupa kekar lembar dan bagian atas membentuk *autobreccia*.

3. Satuan batupasir Sidodadi

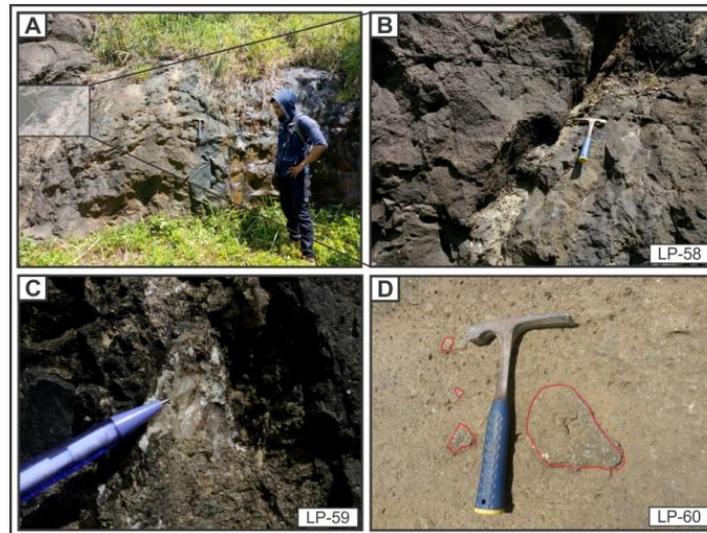
Satuan ini menempati 38% luasan peta, secara umum kedudukan pada satuan ini memiliki kemiringan relatif ke selatan dengan sudut 9-24°. Satuan batupasir Sidodadi bagian bawah didominasi oleh batupasir vulkanik yang berselingan dengan batulempung, batulempung hitam dan batulanau vulkanik, setempat ditemukan lava andesit, selain itu seringkali ditemukan hornfels akibat terobosan dasit dengan sifat yang kompak. Hasil analisis dari variasi litologi menunjukkan bahwa satuan ini diendapkan pada lingkungan laut dalam (*deep subaqueous*) berdasarkan klasifikasi McPhie (1993), serta berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 7.** Foto lapangan pada satuan batupasir Sidodadi: (A) perselingan batupasir dan batulempung hitam; (B) breksi polimik dengan struktur perlapisan bersusun ; (C) batupasir berlapis tebal sekitar 30-50 cm; (D) batupasir berukuran kasar dengan struktur masif.

## 4. Satuan batupasir Watupudi

Satuan ini menempati 5% luasan peta, Satuan batupasir Watupudi disusun oleh dominasi litologi batupasir vulkanik dan batupasir breksian. Batupasir vulkanik dicirikan dengan kenampakan warna abu-abu kehitaman, ukuran butir pasir kasar, menyudut, terpilah buruk, kemas terbuka fragmen plagioklas, piroksen, hornblende, matriks mineral berukuran lempung, litik, semen silika, struktur masif. Satuan ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal dengan umur Miosen Awal (Sampurno dan Samodra, 1997).



**Gambar 8.** Foto lapangan pada satuan batupasir Watupudi: (A) batupasir vulkanik dengan struktur masif; (B) *close-up* batupasir vulkanik dengan kenampakan kekar-kekar yang terisi kalsit; (C) kalsit yang mengisi kekar; (D) batupasir breksian dengan fragmen berukuran maks 10 cm.

## 5. Litodem dasit

Satuan ini menempati 24% luasan peta, Merupakan batuan terobosan berkomposisi dasit dengan kenampakan lapangan warna abu-abu, putih, hijau, hingga putih kemerahan dengan tekstur hipokristalin, fanerik halus-sedang, subhedral, porfirofanitik, mineral primer penyusun berupa plagioklas, biotit, hornblende, kuarsa, dan gelas serta memiliki struktur berupa kekar kolom, masif, *lobes*, dan kekar lembar. Satuan ini menerobos satuan-satuan sebelumnya yang diperkirakan terjadi pada kala Miosen Awal.



**Gambar 9.** Foto lapangan pada litodem dasit: (A) dasit dengan struktur kekar lembar yang mengalami silisifikasi; (B) dasit dengan struktur kekar kolom yang teralterasi sangat kuat; (C) *xenolith* batupasir dan batulempung pada tubuh intrusi dasit; (F) bagian terluar intrusi dasit yang menunjukkan struktur *lobes*, batupasir yang diterobos berubah menjadi *hornfels*.

## 6. Litodem Andesit

Satuan ini menempati 3% luasan peta, Merupakan batuan terobosan berkomposisi andesit dengan kenampakan lapangan warna abu-abu sampai dengan hijau dengan hipokristalin, afanitik-fanerik halus,

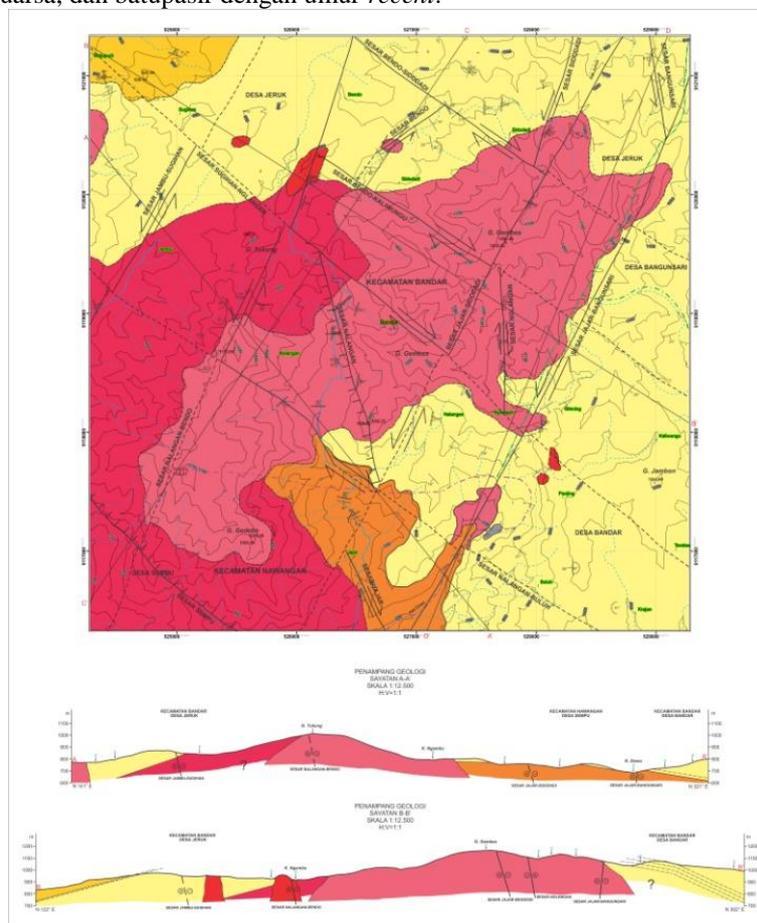
tekstur porfiroafanitik, euhedral mineral penyusun yaitu plagioklas, hornblende, piroksen, dan gelas serta memiliki struktur masif. Satuan ini menerobos satuan-satuan sebelumnya yang diperkirakan terjadi pada kala Miosen Awal.



**Gambar 10.** Foto lapangan pada litodem andesit: (A) andesit dengan struktur masif; (B) andesit dengan struktur masif dan terkekarkan.

7. Satuan Endapan Aluvial

Endapan ini menempati <1% luasan peta, Merupakan endapan dengan warna abu-abu; ukuran butir pasir kasar-bongkah berupa material lepas, komposisi fragmen berupa litologi sekitar seperti andesit, dasit, batulempung, kuarsa, dan batupasir dengan umur *recent*.



**Gambar 11.** Peta Geologi

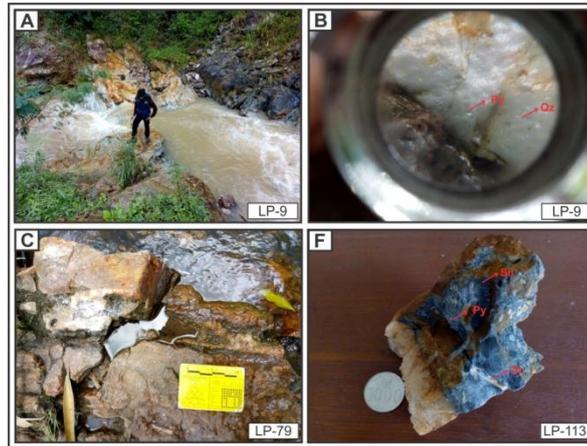
**Alterasi Hidrotermal**

Berdasarkan hasil pemetaan geologi diketahui daerah penelitian memiliki tubuh intrusi yang besar dengan komposisi dasit dan diikuti dengan terobosan andesit, intrusi-intrusi ini diindikasikan merupakan sumber panas yang mempengaruhi alterasi hidrotermal yang kemudian penyebarannya dikendalikan oleh struktur geologi berupa sesar dan kekar yang banyak berkembang di daerah penelitian. Alterasi hidrotermal terbentuk dengan intensitas beragam dan telah merubah hingga 94% luasan daerah penelitian. Proses alterasi hidrotermal tersebut

kemudian membentuk himpunan-himpunan mineral tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi zona alterasi berikut :

1. Silisik (Kuarsa ± Silika ± Pirit)

Zona alterasi ini menempati luasan 1% pada daerah telitian, tepatnya berada di sekitar Kali Ngambo dan Dsn. Sidodadi yang terbentuk pada struktur berupa sesar dan kekar terutama pada perpotongan dan sesar dilasional. Zona ini berasosiasi dengan urat kuarsa dan breksi hidrotermal yang terbentuk akibat proses silisifikasi, terdiri dari himpunan mineral kuarsa dan silika serta terdapat mineral sulfida berupa pirit. Secara umum dicirikan dengan kehadiran mineral silika yang menyeluruh dan batuan yang sangat kompak. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini berupa kuarsa, silika dan pirit maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 100-230° C (Hedenquist, 2017).



**Gambar 12.** Foto zona alterasi silisik: (A) singkapan alterasi silisik di Kali Ngambo; (B) *close-up* kenampakan mineral pirit dan kuarsa; (C) urat kuarsa yang menyebabkan batuan samping mengalami silisifikasi; (D) conto batuan silisifikasi dengan tekstur breksi hidrotermal.

2. Filik (Kuarsa + Serisit/Illit + Pirit)

Zona alterasi ini menempati luasan 2% pada daerah penelitian yang terbentuk di lembah-lembah sekitar Gunung Gembes pada jalur sesar. Zona ini dicirikan dengan himpunan mineral utama kuarsa, serisit/illit, serta pirit yang hadir secara menyebar (diseminasi) dan pada urat-urat halus (*veinlet*). Secara umum menunjukkan kenampakan warna abu-abu sampai putih dengan warna mineral yang mengkilap (serisit dan pirit). Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 210-230° C (Hedenquist, 2017), hal ini menunjukkan bahwa zona alterasi ini merupakan zona dengan suhu pembentukan paling tinggi di daerah penelitian.



**Gambar 13.** Foto zona alterasi filik: (A) sesar mendatar yang mempengaruhi persebaran zona alterasi filik secara setempat; (B) singkapan pada litodem dasit di sekitar Gunung Gembes; (C) kenampakan mineral kuarsa, illit, pirit dan serisit; (D) mineral pirit pada urat-urat halus (*veinlet*) serta kuarsa dan illit.

3. Argilik (Illit + Halloysit ± Kuarsa)

Zona alterasi ini menempati luasan 35% pada daerah penelitian yang tersebar di hampir seluruh bagian daerah penelitian dari lembah-lembah gunung gembes hingga ke bagian utara dan selatan. Zona ini terdiri

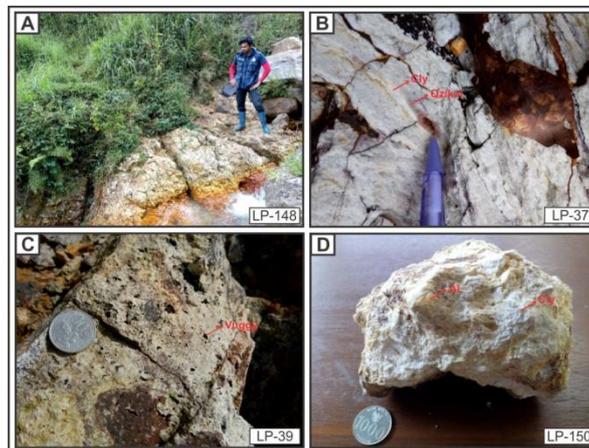
dari himpunan mineral utama berupa mineral lempung (haloysit dan illit) serta juga terdapat klorit dan kuarsa, zona ini berasosiasi dengan urat kuarsa yang mengandung mineral sulfida berupa pirit. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih, didominasi oleh mineral lempung dan umumnya mengalami longsor akibat lempung yang ekspansif. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 140-220° C (Hedenquist, 2017).



**Gambar 14.** Foto zona alterasi argilik: (A) kenampakan mineral lempung dan kuarsa; (B) mineral lempung dengan kesan berlapis; (C) zona alterasi argilik yang terbentuk di sekitar jalur sesar mendatar; (D) singkapan batuan terkekarkan dan berubah kuat seluruhnya menjadi mineral lempung.

4. Argilik Lanjut (Silika + Haloysit + Alunit)

Zona alterasi ini menempati luasan 24% pada daerah penelitian dan menyebar di bagian tengah daerah penelitian di sekitar Gunung Gembes dan Gunung Tukung, zona ini dijumpai pada bukit-bukit dan menutupi zona alterasi lainnya. Zona ini terdiri dari himpunan mineral utama silika, haloysit, alunit serta setempat didapatkan mineral kalsit, zeolit dan sedikit mineral sulfida berupa pirit pada tekstur *vuggy*. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih kemerahan, didominasi oleh mineral silika dan lempung dengan sifat batuan yang kompak dan kadang memperlihatkan tekstur *vuggy*. Berdasarkan himpunan mineral utama yang ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 50-90° C (Hedenquist, 2017).

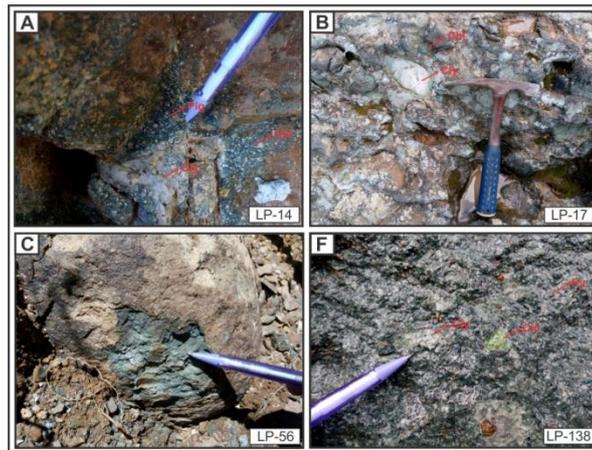


**Gambar 15.** Foto zona alterasi argilik lanjut: (A) singkapan alterasi di sekitar Kali Ngambo; (B) mineral kuarsa/kalsedon dengan tekstur *infilling* dan mineral lempung; (C) tekstur *vuggy*; (D) contoh batuan yang menunjukkan mineral lempung dan alunit.

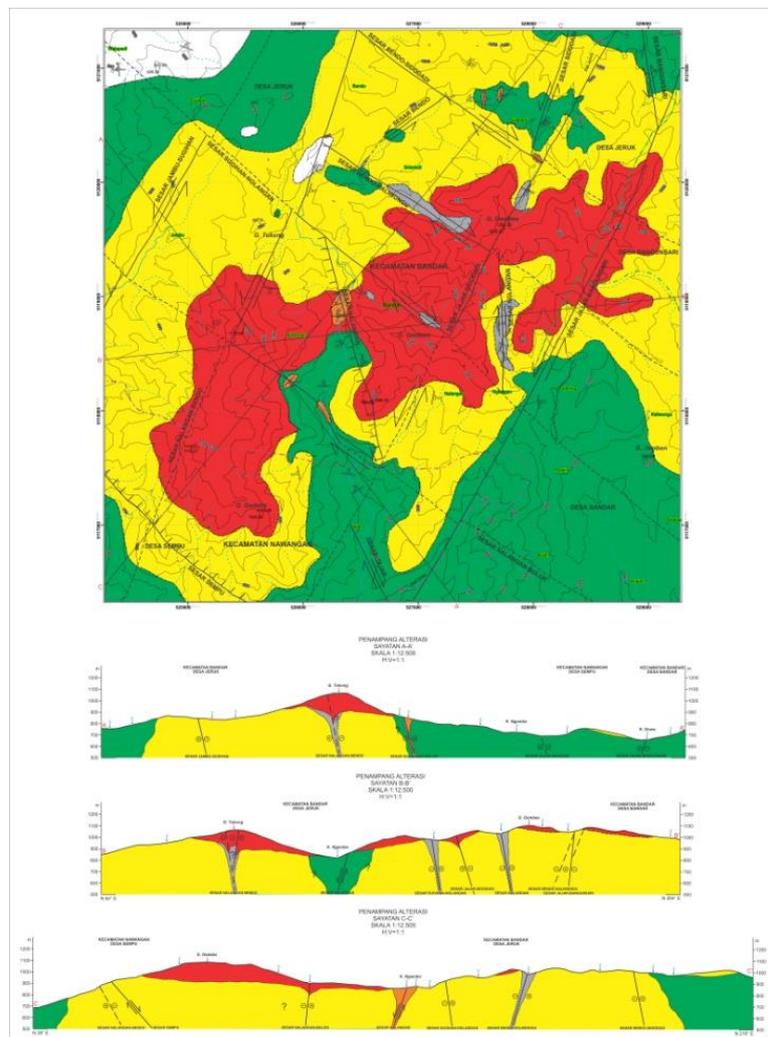
5. Propilitik (Klorit + Kalsit + Haloysit)

Zona alterasi ini menempati luasan 32% pada daerah penelitian dan umumnya terdapat pada lembah atau daerah dengan elevasi yang lebih rendah tepatnya di lembah Kali Ngambo dan Kali Dowo serta di sekitar Dsn. Sidodadi. Zona ini terdiri dari himpunan mineral utama berupa klorit, kalsit, dan haloysit serta juga terdapat illit, serisit, dan pirit (diseminasi) di sekitar zona rekahan. Secara umum dicirikan dengan kenampakan warna putih kehijauan pada batuan yang berubah. Berdasarkan himpunan mineral utama yang

ditemukan pada zona alterasi ini maka diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 120-200° C (Hedenquist, 2017) yang merupakan zona alterasi yang berada paling jauh dari sumber panas.



**Gambar 16.** Foto zona alterasi propilitik: (A) mineral lempung, klorit dan plagioklas pada batuan asal dasit; (B) mineral lempung dan klorit pada litologi breksi; (C) kenampakan mineral klorit pada batuan asal dasit; (D) mineral lempung, klorit, dan pirit pada batuan asal batupasir.



**Gambar 17.** Peta Alterasi

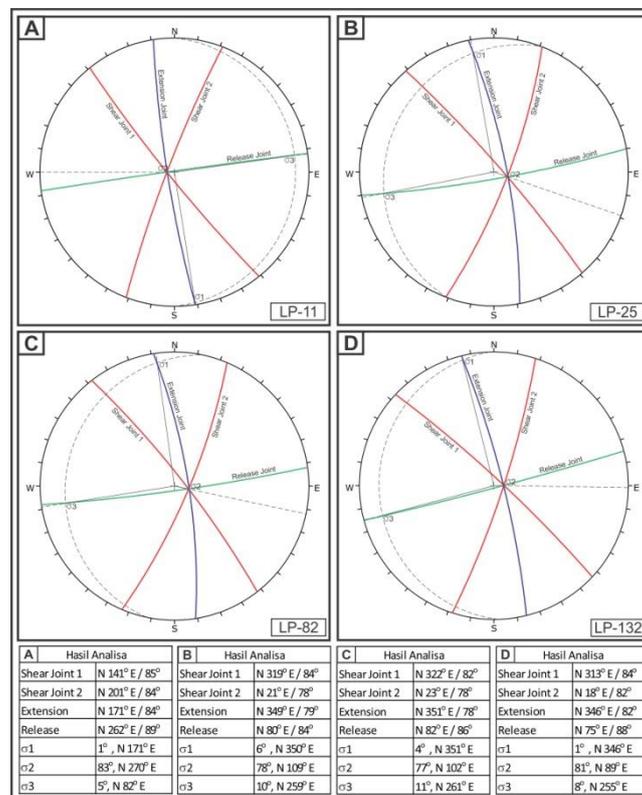
**Struktur Geologi**

**Kekar**

Struktur kekar di daerah penelitian berkembang secara sistematis dengan jenis kekar gerus dan tarik. Kekar gerus dicirikan dengan kenampakan bidang yang rapat, permukaan yang relatif halus, serta pola serat/*crystal fiber* yang sejajar dengan jurus bidang kekar jika terisi mineral sedangkan kekar tarik dicirikan dengan kenampakan bidang yang terbuka, permukaan yang relatif kasar, serta pola serat/*crystal fiber* yang tegak lurus dengan bidang kekar jika terisi mineral.

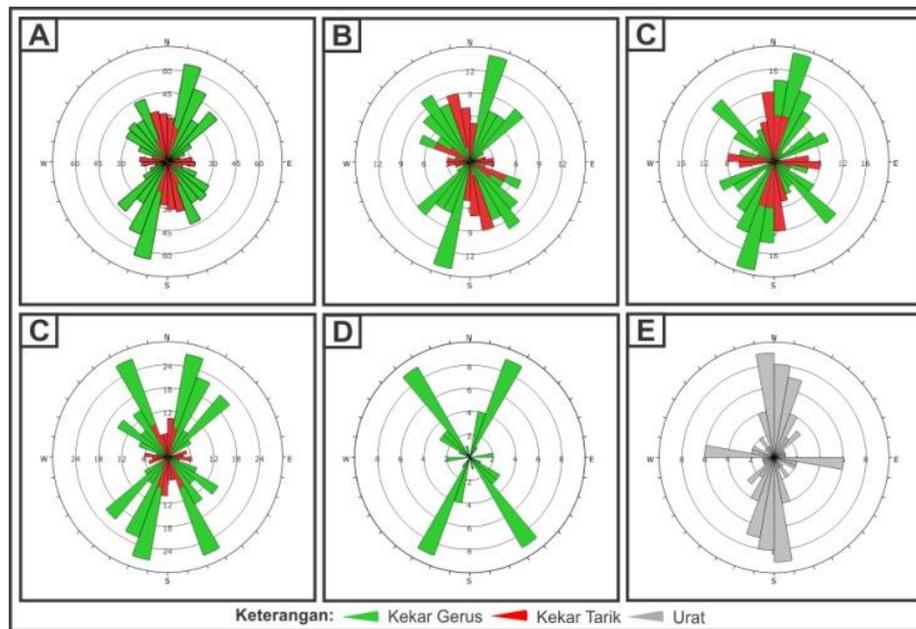
Berdasarkan analisa menggunakan metode stereografis yang dilakukan pada 4 lokasi pengamatan dapat disimpulkan bahwa pola kekar gerus (*shear joint*) di daerah penelitian secara umum relatif berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya, sedangkan kekar tarik relatif berarah utara-selatan (*extension joint*) dan barat-timur (*release joint*). Tegasan purba diketahui memiliki tegasan maksimum dengan arah relatif utara barat daya-selatan tenggara ( $1^{\circ}$ - $6^{\circ}$ , N  $346^{\circ}$  E - N $351^{\circ}$ E).

Analisa kekar gerus pada 4 lokasi pengamatan menunjukkan hasil yang cenderung sama meskipun dilakukan pada satuan batuan yang berbeda dengan lokasi tersebar, hal ini menunjukkan bahwa seluruh daerah penelitian dipengaruhi tegasan purba yang seragam yaitu akibat peristiwa subduksi pada kala Oligo-Miosen.



**Gambar 18.** Analisa kekar gerus (*shear joint*): (A) segmen tengah (Litodem dasit); (B) segmen selatan (Satuan lava jajar); (C) segmen tengah (Litodem andesit); (D) segmen utara (Satuan batupasir Sidodadi).

Analisa pola kekar menunjukkan arah umum yang saling mendukung dengan hasil analisa stereografis dengan keterdapatn pola kekar berarah relatif barat laut-tenggara dan utara timurlaut- selatan barat daya yang merupakan pola dari kekar gerus, sedangkan arah-arah lainnya yang tidak dominan diperkirakan merupakan pola dari kekar tarik maupun kekar-kekar penyerta sesar yang relatif berbeda-beda. Arah umum pola urat yang terbentuk pada daerah penelitian juga menunjukkan kecocokan dengan pola-pola kekar tarik (*extension* dan *release joint*) sehingga diinterpretasikan urat-urat yang berkembang di daerah penelitian didominasi oleh urat tarikan.



**Gambar 19.** Diagram roset pola kekar: (A) Keseluruhan daerah penelitian; (B) Satuan lava dan breksi Jajar; (C) Satuan batupasir Sidodadi; (D) Litodem dasit; (E) Litodem andesit; (F) Pola urat.

### Sesar

Struktur sesar di daerah penelitian berkembang secara sistematis dan memiliki pola tertentu dan hubungan satu sama lainnya. Setelah dilakukan analisa kinematik menggunakan proyeksi stereografis, diketahui sesar-sesar yang ditemukan di lapangan ada yang merupakan sesar mayor maupun sesar minor. Maka dari itu penulis mengelompokkan sesar-sesar tersebut berdasarkan suatu sistem sesar utamanya dan dianggap terbentuk bersamaan dimana penentuan umur sesar didasarkan atas satuan batuan termuda yang dipotongnya.

Sesar-sesar yang diperkirakan berumur Miosen Awal seluruhnya mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal yang ada di daerah penelitian, hal ini dapat terlihat jelas dari himpunan mineral yang berada di sekitar jalur sesar umumnya menunjukkan mineral-mineral bersuhu tinggi, adapun kelompok sesar tersebut adalah:

#### 1. Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan

Kelompok sesar ini berada pada bagian barat laut daerah penelitian yang terdiri dari 2 sesar utama yaitu Sesar Jambu-Sugihan dan Sesar Nalangan-Bendo serta terdapat 1 sesar minor (sintetik) di sekitar Gunung Tukung. Pada jalur Sesar Nalangan-Bendo terdapat zona alterasi filik pada LP 38 dan zona alterasi argilik yang juga membentuk urat gerusan termineralisasi sulfida pirit pada LP 81. Sedangkan Sesar Jambu-Sugihan mempengaruhi persebaran zona alterasi argilik serta *gash fracture* terisi oleh urat breksi dan pirit pada LP 70.

#### 2. Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi

Kelompok sesar ini berada pada bagian utara daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Bendo-Sidodadi dan sesar minor (antitetik) yaitu Sesar Bendo pada lembah di sekitar Dsn Sidodadi. Sesar Bendo-Sidodadi mempengaruhi persebaran zona alterasi argilik dan *gash fracture* umumnya juga terisi oleh urat breksi dan pirit pada LP 105, pada perpotongan dengan Sesar Jajar-Sidodadi di LP 113 juga didapatkan breksi hidrotermal tersilisifikasi. Sedangkan pada Sesar Bendo didapatkan zona alterasi filik secara setempat pada LP 85.

#### 3. Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-utara daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Bendo-Kaliwungu, sesar minor (sintetik) yaitu Sesar Nglangan. Sesar Bendo-Kaliwungu mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian barat Gunung Gembes, sedangkan Sesar Nglangan juga ditemukan mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian selatan Gunung Gembes.

#### 4. Kelompok Sesar Nalangan-Buluh

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Nalangan-Buluh, sesar minor (sintetik), dan sesar minor antitetik pada lembah di sekitar Kali Ngambo. Sesar Nalangan-Buluh membentuk zona alterasi silisik mengikuti pola sesar turun yang terbentuk secara lokal di LP 79 membentuk urat kuarsa dan silisifikasi dan juga pada LP 15 yang searah dengan pola sesar utama.

5. Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Sugihan-Nglangan dan sesar turun Nalangan yang memotong perbukitan Gunung Gembes. Sesar Sugihan-Nglangan mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian barat daya Gunung Gembes, sedangkan Sesar Nalangan membentuk zona alterasi silisik mengikuti pola sesar di lembah Kali Ngambo.

6. Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-timur daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Jajar-Sidodadi, sesar minor (sintetik) Sidodadi, dan sesar minor (antitetik) yang memotong perbukitan Gunung Gembes hingga lembah di Kali Ngambo. Sesar Jajar-Sidodadi mempengaruhi persebaran zona alterasi filik di sepanjang lembah bagian utara Gunung Gembes dan ditemukan mineral kuarsa, illit dan serisit pada zona alterasi propilitik di sekitar jalur sesar. Selain itu pada perpotongan dengan Sesar Bendo-Sidodadi juga membentuk breksi hidrotermal yang tersilisifikasi.

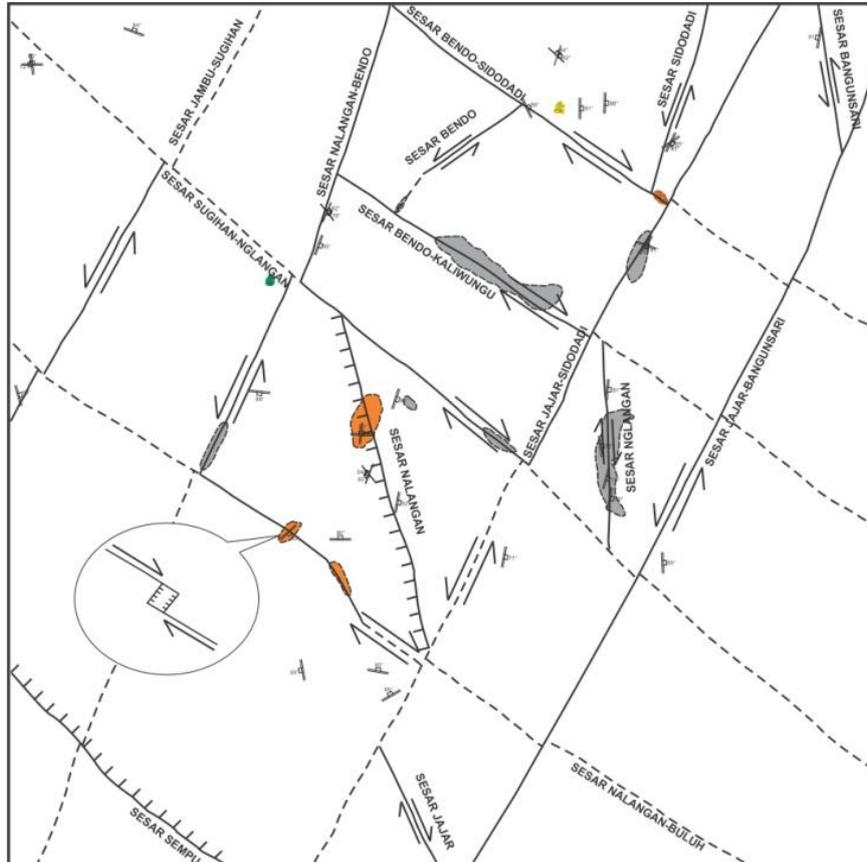
Sedangkan sesar-sesar yang diperkirakan berumur Miosen Tengah berdasarkan pengamatan di lapangan ditemukan tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal(*post*). Hal ini didukung dengan tidak ditemukannya mineral-mineral bersuhu tinggi pada jalur sesar yang ada. Adapun kelompok sesar tersebut adalah:

1. Kelompok Sesar Jajar-Bangunsari

Kelompok sesar ini berada pada bagian tengah-timur daerah penelitian yang terdiri dari sesar mayor Jajar-Bangunsari, sesar minor (sintetik) Bangunsari, dan memotong perbukitan Gunung Gembes hingga lembah di Kali Dowo membentuk morfologi lembah sesar. Di sepanjang Sesar Jajar-Bangunsari ditemukan mineral yang dominan adalah klorit, kalsit, dan halosit dengan intensitas ubahan lemah-sedang dimana mineral-mineral tersebut menunjukkan suhu pembentukan yang rendah.

2. Sesar Sempu dan Sesar Jajar

Kedua sesar ini berada pada bagian selatan daerah penelitian, Sesar Sempu berada pada morfologi lereng terjal di barat daya Gunung Gedebe sedangkan Sesar Jajar berada di lembah Kali Ngambo. Di sepanjang Sesar Sempu ditemukan mineral dominan berupa klorit dan mineral lempung halosit sedangkan pada Sesar Jajar hanya ditemukan mineral ubahan klorit dengan intensitas yang lemah dimana mineral-mineral tersebut menunjukkan suhu pembentukan yang rendah.



Gambar 20. Persebaran struktur dan zona alterasi temperatur tinggi

**TIPE ENDAPAN HIDROTERMAL****Tabel 1.** Perbandingan Karakteristik Tipe Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah, Epitermal Sulfidasi Tinggi dan Tipe Endapan Daerah Penelitian (White dan Hedenquist, 1995; Corbett dan Leach, 1997)

Komponen Pendekatan	Sulfidasi Tinggi	Sulfidasi Rendah	Tipe Endapan Daerah Telitian
Tatanan Tektonik	Busur magmatik	Busur magmatik-cekungan belakang busur & continental rifting	Busur magmatik
Struktur	Dikontrol oleh sistem sesar regional utama dan rekahan yang dibentuk pada beberapa generasi.	Sesar lokal/regional atau rekahan	Sesar dan Kekar
Tekstur	<i>Vuggy, locally vein and breccias</i>	<i>Crustiform, comb, colloform quartz, stockwork, vein breccias</i>	<i>Comb, vuggy, Stockwork, vein breccia</i>
<i>Host rock</i>	Batuan vulkanik asam-intermediet, umumnya riodasit (juga riolit, trakit, andesit)	Batuan vulkanik asam-intermediet, riolit hingga andesit serta berasosiasi dengan intrusi dan batuan sedimen.	Dasit, lava andesit, dan batuan sedimen vulkanik.
Mineral bijih	Enargit-luzonit, tenantit, pirit % tinggi, kalkopirit, tenantit-tetrahedrit, kovelit, elekttrum, native Au, telurid.	Galena, spalerit, kalkopirit, pirit % rendah, arsenopirit, tenantit-tetrahedrit, native Au, Ag, elekttrum, telurid.	pirit
Logam/aksesori ekonomis	Au±Cu As Te melimpah	Au±Ag Pb, Zn, Cu As, Te, Hg, Sb	Au, Hg ?
Asosiasi mineral ubahan	Pirofilit, alunit, diaspor, kaolinit, semakin jauh terbentuk illit dan zona propilitik.	Serisit/illit dan mineral lempung, semakin jauh membentuk zona propilitik.	Serisit/illit, haloysit, kuarsa, silika, klorit, kalsit
Tipe Ubahan	Silisikasi (vuggy), argilik lanjut, argilik, propilitik	Filik-argilik, propilitik	Silisik, filik, argilik, propilitik

**KESIMPULAN**

1. Pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua yaitu pola pengaliran *Rectangular* dan pola pengaliran *Parallel* pada tiga Daerah Aliran Sungai yaitu DAS Jeruk (*Rectangular*), DAS Kali Ngambo (*Rectangular*), dan DAS Bandar (*Parallel*).
2. Bentuk asal daerah penelitian dibagi tiga yaitu vulkanik, struktural dan denudasional yang terbagi menjadi tujuh satuan bentuk lahan, yaitu Perbukitan Lava (V1), Perbukitan Intrusi (V2), Lembah Intrusi (V3), Bukit Intrusi (V4), Perbukitan Kubah (S1), Lembah Sesar (S2), dan Perbukitan Denudasional (D1).
3. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi tujuh satuan dari tua ke muda, yaitu satuan breksi Jajar, satuan lava Jajar, satuan batupasir Sidodadi, Satuan batupasir Watupudi, litodem dasit, litodem andesit dan satuan endapan aluvial.

4. Struktur geologi daerah penelitian meliputi kekar, sesar, dan kedudukan perlapisan batuan yang membentuk kubah. Sesar daerah penelitian dapat dibagi menjadi delapan kelompok yaitu Kelompok Sesar Jambu-Sugihan-Nalangan, Kelompok Sesar Bendo-Sidodadi, Kelompok Sesar Bendo-Kaliwungu, Kelompok Sesar Nalangan-Buluh, Kelompok Sesar Sugihan-Nglangan, Kelompok Sesar Jajar-Sidodadi yang berumur Miosen Awal, serta Kelompok Sesar Jajar-Bangunsari, Sesar Sempu dan Sesar Jajar yang berumur Miosen Tengah.
5. Zonasi alterasi hidrotermal daerah penelitian berdasarkan himpunan mineral dapat dibagi menjadi lima, yaitu zona alterasi silisik (kuarsa ± silika ± pirit), filik (kuarsa + serisit/illit + pirit), argilik (illit + haloysit ± kuarsa), argilik lanjut (silika + haloysit + alunit), dan propilitik (klorit + kalsit + haloysit)
6. Persebaran alterasi hidrotermal dipengaruhi oleh struktur geologi berupa sesar yang berumur Miosen Awal (*pre-syn*) sedangkan sesar yang berumur Miosen Tengah (*post*) tidak mempengaruhi persebaran alterasi hidrotermal.
7. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil penelitian meliputi tatanan tektonik pada busur magmatik; kontrol struktur lokal berupa sesar dan kekar; tekstur *comb*, *vuggy*, *stockwork*, *vein breccias*; *host rock* dasit, lava andesit dan batuan sedimen vulkanik; mineral bijih pirit; logam/aksesori ekonomis Au, Hg? (dibutuhkan penelitian lebih lanjut); himpunan mineral serisit/illit, haloysit, kuarsa, silika, klorit, dan kalsit; tipe ubahan silisik, filik, argilik, dan propilitik, maka disimpulkan bahwa daerah penelitian termasuk dalam tipe endapan epitermal sulfidasi rendah (*epithermal low sulphidation*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.I., N.A. Magetsari, H.S. Purwanto. 2003. Analisis Dinamik Tegasan Purba pada Satuan Batuan Paleogen-Neogen di Daerah Pacitan dan Sekitarnya, Provinsi Jawa Timur Ditinjau dari Studi Sesar Minor dan Kekar Tektonik. *PROC. ITB Sain & Tek. Vol 35 A, No.2, 2003*, hal. 111-127.
- Anderson E.M. 1951. *The Dynamic of Faulting and Dyke Formation with Applications of Brittan, Edinburgh, Oliver and Boyd*. Stanford University : California.
- Bateman, A.M., 1981, *Mineral Deposit 3rd edition*, Jhon Wiley and Sons, New York. 593 hal.
- Billings, M.P., 1972, *Structural Geology 3rd Edition*: Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs. 591 hal.
- Bronto, S., 2010. *Geologi Gunung Api Purba*. Badan Geologi Kementerian ESDM: Bandung. 184 hal.
- Browne, P.R.L., 1991. *Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems*. The University of Auckland, Auckland.
- Buchanan, L.J., 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest, Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera: *Arizona Geological Society Digest*, v. 14.
- Corbett, G dan Leach, T. 1997. Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization. *A workshop presented for the Society of Economic Geologist*, Townsville.
- Dennis, J.G., 1979. *Structural Geology*: New York, John Wiley & Sons, 532 hal.
- Guilbert, G dan Park, C. 1986. *The Geology of Ore Deposits*, New York: W. H. Freeman and Company.
- Harding, T.P., Wilcox, R.E., Seely, D.R., 1973, Basic Wrench Tectonics, *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v.57, hal. 97-116.
- Hartono, G., 2008. *Magmatisme dan Stratigrafi Pegunungan Selatan Jawa Timur*. ANTAM, Pacitan, 12-13 Mar 2008.
- Hedenquist, J.W 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Gold in 2000: Review in Society Economic Geologist*, vol. 13. Hal 245-277.
- Hedenquist, J.W dan Arribas, A. 2017. Epithermal ore deposits: First-order features relevant to exploration and assessment. *Mineral Resources to Discover - 14th SGA Biennial Meeting 2017*, Volume 1.
- Howard, A.D, 1967, Drainage Analysis In Geologic Interpretation: *A Summation, AAPG Bulletin, Vol.51 No.11 November 1967*, hal. 2246-2259.
- Lowell, J.D. dan Guilbert, J.M., 1970, Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: *Economic Geology*, volume-65. Hal 373-408.
- Mcphie, J., Doyle, M., dan Allen, R., 1993. *Volcanic Textures: A guide to the Interpretation of Texture in Volcanic Rocks, Centre of Ore Deposit and Exploration Studies*. University of Tasmania. 191 hal.
- Morrison, K., 1995, Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. *Geothermal and Minerals Service Division Limited*, Volume-6.
- Nahrowi, T., Suratman, Y., Namida, S., Hidayat, S. 1978. *Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur*, Bagian Explorasi PPTMGB, Lemigas, Cepu.
- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concept for the Exploration Geologist*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris. 1243 hal.

- Purwanto, H.S. 2002. *Disertasi*, Kontrol Struktur pada Mineralisasi Emas di daerah Penjom dan Lubuk Mandi Semenanjung Malaysia. Malaysia : Universitas Kebangsaan Malaysia (Tidak dipublikasikan).
- Pulunggono, A., dan Martodjojo, S. 1994. Perubahan tektonik Paleogen-Neogen merupakan peristiwa tektonik terpenting di Jawa. *Proceedings Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa sejak akhir Mesozoik hingga Kuartar*, Seminar Jurusan T. Geologi Fak. Teknik UGM, hal. 253-274.
- Rickard, M.J., 1972. Fault classification - discussion: *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, hal. 2545-2546.
- Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI). (1996). Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Samodra, H., Gafoer, S., & Tjokrosapoetro, S., 1992, Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Samodra, H. & Sampurno. 1989. *Tinjauan tatanan stratigrafi dan tektonik Pegunungan Selatan Jawa Timur antara Pacitan – Ponorogo*, P3G, Bandung
- Sampurno & Samodra, H., 1997, Peta Geologi Lembar Ponorogo, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., dan Kinny P., 2005, East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement, *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 30th Annual Convention*, hal. 251-266.
- Strahler, A.N., and Strahler, A.H., 1978, *Modern Physical Geography*, New York: John Wiley & Sons, 501 hal.
- Strecheisen, A.L., 1974, The IUGS Systematic of Igneous Rocks, *Journal of The Geological Society*, London.
- Surono, Sudarno, I. dan Toha, B., 1992, Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Twiss dan Moores. 1992. *Structural Geology*. New York : WH Freeman & Co. 532 hal.
- White, N., dan Hedenquist, J.W. 1995. Epithermal Gold Deposits Style Characteristics and Exploration. *Published in SEG Newsletter* No. 23, pp. 1, 9-13.
- William, H, F., Turner and Gilbert, C, M., 1954, *Petrography : Introduction To Study of Rockin Thin Section*, W. H. Freeman and Co., San Fransisco. 416 hal.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*, Govt. Printing Office, The Hague, v.1A, 732 hal.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Aerial Photo - Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC Enschede The Nederland.

## GEOLOGI DAN ANALISIS KESTABILAN LERENG DINDING BARAT DAERAH BATU HIJAU, KECAMATAN SEKONGKANG, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT

Lua Nafsiah Hafizah A. Abdan, Basuki Rahmad, Puji Pratiknyo  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: [geoupn@indosat.net.id](mailto:geoupn@indosat.net.id)  
Corresponding author : [nafsiahlua@yahoo.com@yahoo.com](mailto:nafsiahlua@yahoo.com@yahoo.com)

**Sari** - Sistem penambangan dengan metode tambang terbuka meliputi kegiatan pembongkaran lapisan penutup menjadi lereng-lereng bertingkat. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan gaya pada lereng dan perubahan kekuatan massa batuan. Perubahan gaya yang terjadi menyebabkan kesetimbangan lereng terganggu dan adanya pelepasan beban dalam bentuk longsoran. Lokasi pemetaan geologi dilakukan di pit Batu Hijau dan analisis geologi teknik dilakukan di lereng barat yang terbagi menjadi 10 segmen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui geologi daerah penelitian, potensi longsor dan nilai faktor keamanan pada dinding lereng barat daerah penelitian. Metode yang digunakan yaitu pemetaan geologi, line mapping, analisis petrografi, analisis struktur geologi, analisis kinematik berdasarkan data orientasi kekar dan sesar, dan metode kesetimbangan batas. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, satuan batuan daerah penelitian dibagi menjadi Satuan Andesit Batu Hijau, Satuan Diorit Batu Hijau, dan Satuan Tonalit Batu Hijau. Dari hasil himpunan mineral yang ditemui, daerah penelitian terbagi menjadi 4 zona alterasi yaitu alterasi Magnetit ± Biotit, Kuarsa + Serisit ± Pirit, Klorit + Epidot, dan Kaolinit ± Klorit. Berdasarkan analisis kinematik, diidentifikasi kemungkinan longsoran berupa longsoran bidang dan longsoran baji di segmen seluruh segmen. Hasil Perhitungan kesetimbangan batas dan permodelan *slide* memperlihatkan nilai faktor keamanan rata-rata yang didapat sebesar 1.39 atau memiliki faktor keamanan yang stabil (Bowles, 1991).

**Kata kunci** : Geologi, Kestabilan Lereng, Analisis Kinematik, Faktor Keamanan

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Pulau Sumbawa merupakan kelanjutan dari Zona Solo yang berada pada gugus Kepulauan Nusa Tenggara. Kondisi tersebut merupakan hasil tumbukan antara Lempeng Eurasia dengan Lempeng Pasifik dan tepi benua dari Lempeng Indo-Australia (Van Bemmelen, 1949). Menurut Garwin (2002), Pulau Sumbawa memiliki zona kompresi yang dibatasi oleh dua sistem patahan utama berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya. Zona kompresi patahan tersebut, mempengaruhi morfologi yang berakibat pada kondisi lereng hasil penambangan yang terjadi di Batu Hijau.

Lereng merupakan permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah dan buatan. Lereng buatan diakibatkan oleh manusia, seperti galian dan timbunan jalan, tanggul sungai, bendungan dan tambang terbuka (Arief, 2007). Kegiatan penambangan terbuka dengan membuat lereng berjenjang menyebabkan terjadinya perubahan gaya pada lereng. Perubahan gaya tersebut mengakibatkan terjadinya perubahan kekuatan massa batuan. Kondisi ini menyebabkan kesetimbangan lereng tidak stabil dan mengakibatkan terjadinya longsoran.

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini ialah menggunakan metode pendekatan. Metode pendekatan didasarkan pada data yang diperoleh di lapangan berupa data primer (litologi, alterasi struktur, dan sampel batuan) maupun data sekunder (data pemboran geotek) dianalisis dan diolah serta disajikan dalam bentuk peta dan laporan. Hasil penelitian dari peneliti terdahulu menjadi dasar acuan dalam penyajian data (Gambar 1.)

#### Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan suatu proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, tekstur, dan komposisi kimia batuan. Proses tersebut merupakan hasil interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya pada kondisi fisika dan kimia tertentu (Pirajno, 1992).

#### Klasifikasi Alterasi Hidrotermal Pada Batu Hijau

Endapan porfiri adalah endapan dengan tonase besar dan kadar rendah hingga sedang dengan mineral bijih utamanya secara dominan dikontrol oleh struktur dan pembentukannya berhubungan dengan intrusi porfiri

felsik hingga intermediet (Sinclair, 2007). Endapan Porfiri adalah endapan penghasil tembaga (Cu) terbesar, lebih dari 50%. Endapan porfiri umumnya terbentuk pada jalur orogenik, contohnya pada lingkaran Pasifik. Contoh endapan ini di Indonesia, terdapat di Batu Hijau.

Ukurannya yang besar serta pengaruh kontrol struktural (contoh: urat, set urat, stockwork, rekahan, dan breksi) membedakan endapan porfiri dengan endapan lain yang mungkin berdekatan. Kandungan metal dari endapan porfiri sangat beragam. Logam-logam seperti Cu, Au, Mo, Ag, Re, Sn, W, Bi, Zn, In, Pb, serta logam-logam lainnya bisa hadir dalam sebuah endapan porfiri (**Gambar 2**).

Tipe mineralisasi Batu Hijau dicirikan dengan adanya endapan porfiri Cu–Au yang alterasi batuan sampling yang berkembang secara zonasi akibat pengaruh keluar dari intrusi tonalit porfiri. Alterasi hidrotermal yang berhubungan erat dengan mineralisasi pada sistem porfiri Batu Hijau terbagi menjadi beberapa tahap berdasarkan waktu pembentukannya (Garwin, 2002), yaitu :

**a. Alterasi Tingkat Awal (*Early Alteration*)**

Alterasi tingkat awal terdiri dari proses biotisasi fenokris dan masa dasar mineral mafik serta pembentukan shreddy biotit, magnetit, kuarsa dan anhidrit berasosiasi dengan biotit-kuarsa ± magnetit stringer, urat biotit terisi dan memotong dengan tipe A dan AB. Alterasi awal terjadi pada bagian dalam dan proksimal intrusi tonalit dimana di tingkat ini terdapat kalsit, digenit dan digenit-bornit.

**b. Alterasi Tingkat Transisi (*Transitional Alteration*)**

Alterasi tingkat transisi ditandai dengan terubahnya biotit menjadi klorit, oligoklas menjadi albit di sepanjang urat dan hadir serisit ± kalsit. Berasosiasi dengan urat AB dan B. Magnetit telah berubah menjadi hematit. Mineralisasi berupa bornit dan kalkopirit.

**c. Alterasi Tingkat Akhir (*Late Alteration*)**

Alterasi tingkat akhir dicirikan oleh kehancuran feldspar (*feldspar destruction*), alterasi serisit dan pembentukan urat sulfida tipe D. Urat terisi oleh pirit dan kuarsa ± kalkopirit. Urat pada tahap alterasi ini umumnya dikelilingi oleh urat-urat kecil pirit-biotit dan feldspar yang terubah menjadi serisit. Pada perbatasan suatu tipe endapan alterasi, tahapan alterasi ini sulit dibedakan dengan bagian luar tahap alterasi transisi. Hal ini umumnya disebut “zona propilitik” (Clode dkk., 1999).

**d. Alterasi Tingkat Sangat Akhir (*Very Late Alteration*)**

Alterasi tingkat sangat akhir dicirikan oleh kehancuran feldspar, tetapi berbeda dengan late alteration, feldspar digantikan oleh smektit berasosiasi dengan serisit dan klorit. Mineral sulfida berupa sfalerit, galena, tennantit, pirit, kalkopirit dan sedikit bornit.

**e. Alterasi Zeolit (*Zeolit Alteration*)**

Alterasi zeolit dicirikan oleh kehadiran mineral zeolit (stilbit dan laumontit) yang terbentuk pada suhu rendah. Kehadiran mineral penciri ini bersamaan dengan munculnya kalsit, kuarsa dan kristobalit yang mengisi rekahan/rongga.

Menurut Mitchell dkk (1998) dalam Clode, dkk (1999), membagi Alterasi Batu Hijau menjadi beberapa jenis, penjelasan masing-masing zona antara lain:

1. Zona alterasi *partial biotit*

Zona ini merupakan alterasi awal yang terbentuk pada batuan tonalit. Alterasi ini dicirikan oleh mineral mafik berupa hornblend dan piroksen yang sebagian terubah menjadi biotit, selain masih ditemukannya mineral hornblend primer yang utuh. Penyebaran zona alterasi *partial biotit* mengikuti pola penyebaran intrusi tonalit muda.

2. Zona alterasi biotit sekunder

Zona ini merupakan alterasi tingkat awal yang dicirikan oleh hadirnya biotit sekunder dan magnetit serta umumnya berasosiasi dengan urat kuarsa, hornblenda teralterasi sepenuhnya menjadi biotit. Alterasi ini ditandai dengan asosiasi mineral porfiri tingkat tinggi seperti bornit, digenit, magnetit serta secara bergradasi keluar menjadi kalkopirit dan pirit.

3. Zona alterasi *pale green mica* (PGM)

Zona ini merupakan zona alterasi tingkat transisi yang dicirikan oleh adanya mineral mika hijau yang menandakan peralihan klorit dengan serisit dan berasosiasi dengan mineral sulfida kalkopirit dan pirit.

4. Zona alterasi klorit-epidot-serisit

Zona ini merupakan alterasi tingkat akhir yang dicirikan oleh hadirnya klorit, epidot, serisit, pirit, magnetit dan kalsit. Plagioklas teralterasi menjadi epidot sementara mineral mafik teralterasi menjadi klorit.

5. Zona alterasi *feldspar destructive*

Zona ini merupakan alterasi yang terbentuk paling akhir, dicirikan oleh mineral lempung, serisit, andalusit, piropilit dan berasosiasi dengan urat yang terisi mineral pirit.

**Lereng**

Lereng merupakan permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi, contohnya adalah bukit dan lembah atau tebing

sungai. Lereng juga dapat dibentuk secara buatan oleh manusia, contohnya yaitu galian dan timbunan jalan, tanggul sungai, bendungan dan tambang terbuka (Arief, 2007).

### **Struktur Geologi**

Struktur geologi merupakan gambaran arsitektur permukaan bumi akibat deformasi batuan oleh gaya tektonik (Thompson dan Turk, 1997). Struktur yang banyak berkembang adalah kekar. Kekar adalah struktur retakan/rekahan terbentuk pada batuan akibat suatu gaya yang bekerja pada batuan tersebut dan belum mengalami pergeseran. Secara umum dicirikan oleh pemotongan bidang perlapisan batuan. Dari hasil pemotongan bidang tersebut biasanya terisi mineral lain (mineralisasi) seperti kalsit, kuarsa dsb. Struktur kekar dapat dikelompokkan berdasarkan sifat dan karakter retakan/rekahan serta arah gaya yang bekerja pada batuan tersebut.

### **Analisis Kestabilan Lereng**

Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran. Dalam suatu analisis kestabilan lereng tambang terbuka, diperlukan klasifikasi jenis batuan, karena batuan di daerah tersebut memiliki rentang kekuatan yang lebar dan kondisi geologi yang kompleks. Maka dari itu diperlukan klasifikasi tipe batuan berdasarkan parameter geoteknik atau disebut domain geoteknik untuk keperluan analisis kestabilan lereng.

### **Analisis Kinematik**

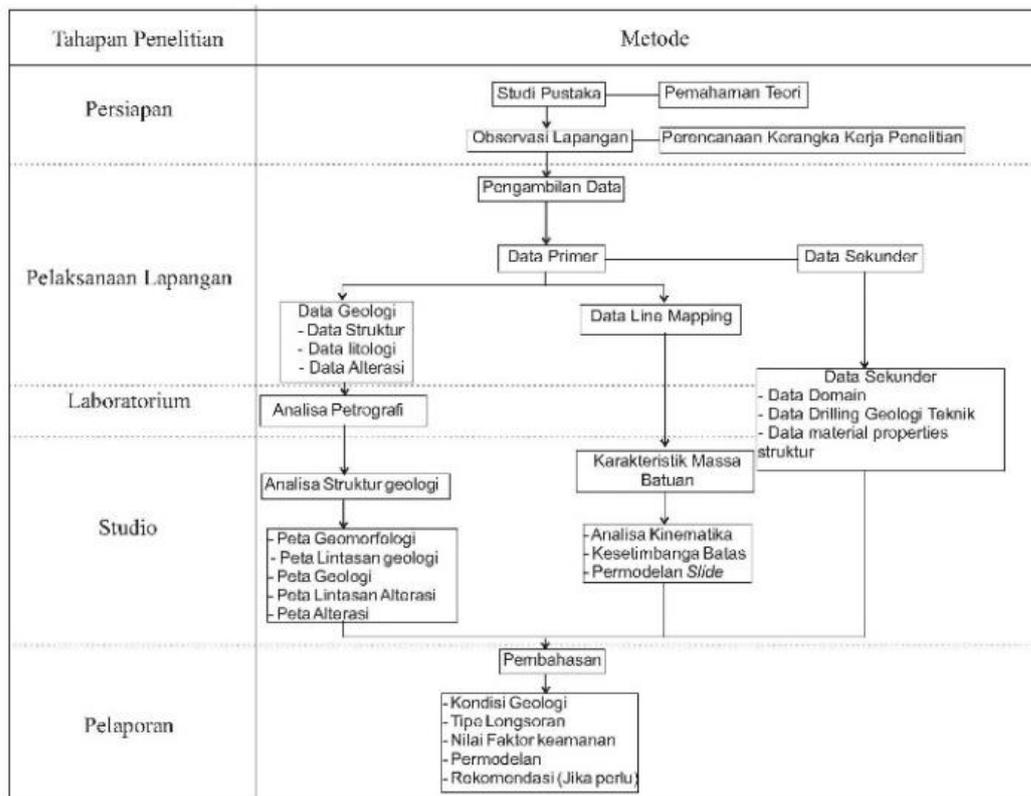
Analisis kinematik merupakan metode yang digunakan pada tahap awal dalam melakukan analisis kestabilan lereng sebelum melangkah ke tahap perhitungan faktor keamanan. Dengan melakukan analisis ini dapat diketahui orientasi bidang, jenis dan arah longsoran yang mungkin terjadi (Sugiyanto, 2000). Metode analisis stereografis (stereonet) hanya dipakai untuk batuan yang mempunyai bidang lemah atau bidang diskontinuitas seperti perlapisan, kekar, sesar, foliasi dan sebagainya. Hasil yang diperoleh berupa dugaan jenis longsoran atau dengan kata lain mengetahui arah gaya-gaya yang bekerja serta arah luncuran, sedangkan besarnya gaya tidak dapat diketahui.

Lereng yang stabil apabila gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Tipe longsoran dapat dibedakan menjadi empat (Hoek dan Bray, 1981), yaitu longsoran bidang (planar failure), longsoran baji (wedge failure), longsoran busur (circular failure), dan longsoran guling (toppling failure). Longsoran bidang merupakan longsoran yang terjadi jika massa batuan bergerak menuruni lereng sepanjang bidang gelincir. Longsoran baji merupakan longsoran yang terjadi apabila dua bidang diskontinuitas berpotongan dan longsoran terjadi di sepanjang bidang diskontinuitas tersebut. Longsoran guling adalah longsoran yang terjadi jika bidang-bidang diskontinuitas yang terdapat pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng (Irwandy, 2016). Longsoran busur merupakan jenis longsoran yang terjadi pada batuan yang berbutir halus atau terlapukkan secara intensif maupun pada batuan dengan bidang diskontinuitas yang rapat dengan orientasi tidak teratur.

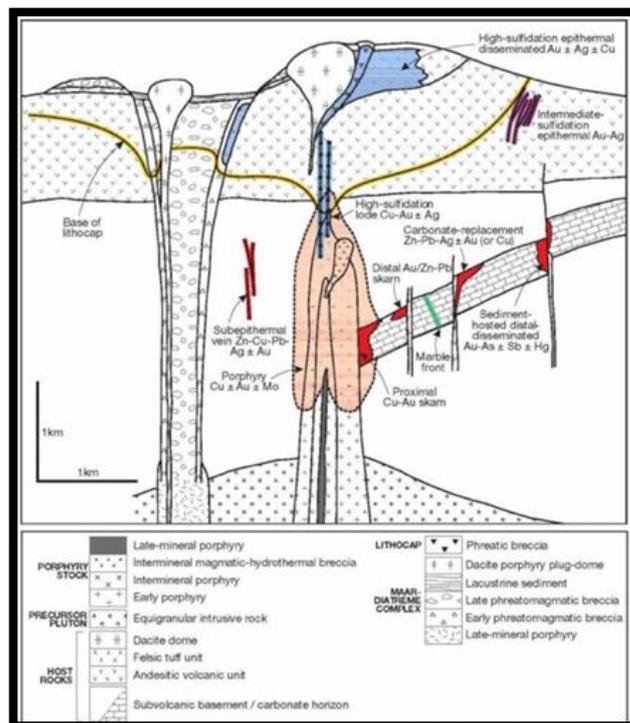
### **Analisis Metode Kestimbangan Batas**

Analisis kestimbangan batas merupakan metode analisis kestimbangan dari massa yang berpotensi bergerak menuruni lereng dengan membandingkan gaya penggerak dan gaya penahan sepanjang bidang gelincir longsoran. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang berpotensi. Nilai faktor keamanan akan mengekspresikan tingkat kestabilan suatu lereng. Untuk klasifikasi nilai faktor keamanan menggunakan klasifikasi menurut Bowles (1984) dimana faktor keamanan ditinjau dari intensitas kelongsorannya. Dimana  $FK < 1,07$  termasuk kelas labil,  $FK 1,07 - 1,25$  termasuk kelas kritis dan  $FK > 1,25$  termasuk kelas stabil.

Analisis kestimbangan batas pada penelitian ini dilakukan pada 10 segmen. Analisis kestimbangan batas dilakukan dengan metode General Limit Equilibrium (GLE) menggunakan Mohr-Coulomb Criterion untuk memodelkan sifat-sifat kekuatan material pengisi struktur yang relative homogen dan anisotropic strength function untuk memodelkan sifat-sifat kekuatan massa batuan. Metode GLE berdasarkan pada dua persamaan faktor keamanan lereng yaitu faktor keamanan terhadap kestimbangan gaya dan faktor keamanan terhadap kestimbangan momen. Dalam analisis menggunakan anisotropic strength function diperlukan data orientasi utama bidang diskontinuitas pada masing-masing sayatan. Data parameter kekuatan batuan yang digunakan adalah data hasil uji laboratorium berupa sudut geser dalam  $30^\circ$ , kohesi 0 kPa, dan berat jenis dari andesit berupa 26 kN/m<sup>3</sup> (Departemen Geoteknik, PT AMNT, 2018).



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

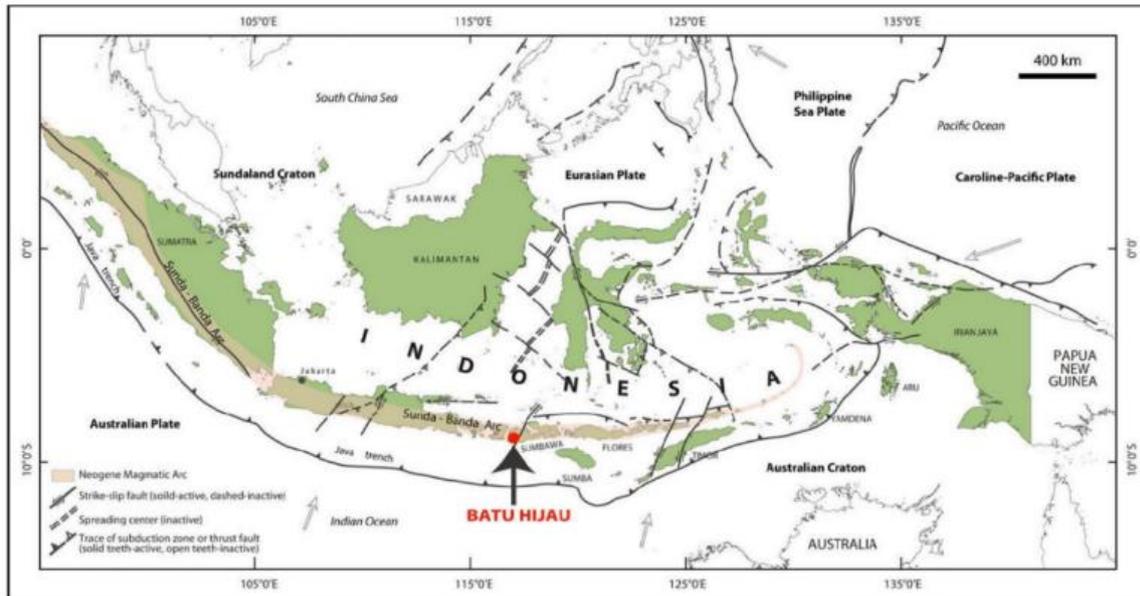


Gambar 2 Model genetik dan asosiasi tipe endapan porfiri (Silitoe, 2010)

**Geologi Regional Daerah Penelitian  
Fisiografi Regional Pulau Sumbawa**

Pulau Sumbawa merupakan kelanjutan dari zona solo yang berada pada gugus Kepulauan Nusa Tenggara (Van Bemmelen, 1949 dalam Garwin, 2002). Pulau Sumbawa merupakan bagian dari sebelah timur Paparan sunda di dalam sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda (Sjoekri, 1997 dalam Garwin, 2002). Kepulauan Sunda-Banda merupakan gabungan dari beberapa sistem jalur subduksi atau busur magmatik, yaitu Busur Sunda dengan arah

pergerakan ke barat dan Busur Banda ke timur. Pulau Sumbawa berada di Kepulauan Nusa Tenggara terletak di zona transisi antara kedua busur tersebut (Sjoekri, 1997 dalam Garwin, 2002). Bagian selatan dari kepulauan Sumbawa bagian baratdaya dibatasi oleh kerak samudera yang berumur Tersier Awal (Hamilton, 1980 dalam Clode, dkk., 1999).



Gambar 3 Tektonik lempeng Indonesia (Garwin, 2002)

**Stratigrafi Regional Pulau Sumbawa**

Menurut Sudrajat, Manga dan Suwarna (1998), secara umum urutan stratigrafi formasi batuan yang ada di Sumbawa bagian Barat tersusun oleh batuan sedimen, batuan vulkanik dan batuan intrusiv. Persebaran batuan ini tergambar dari bentukan morfologi yang beragam di Sumbawa bagian Barat.

1. Batuan sedimen

Variasi batuan sedimen di Sumbawa terdiri atas batuan sedimen klastik lingkungan transisi hingga laut dengan pengaruh proses vulkanisme yang ditunjukkan oleh komposisinya (Tabel 1).

Tabel 1 Formasi batuan sedimen di Pulau Sumbawa (Sudrajat, Manga dan Suwarna, 1998)

	Formasi Batuan	Keterangan
a.	Batugamping (Tml)	Satuan batugamping ini terdiri dari batupasir dan batupasir gampingan serta rombakan gunungapi gampingan. Satuan ini berumur Miosen Awal.
b.	Batupasir Tuffan (Tms)	Terdiri dari batupasir tuffan, batulempung, tuff dan breksi dengan lensa batugamping. Satuan ini berumur Miosen Awal.
c.	Batugamping Korall (Tmcl)	Terdiri dari batugamping korall dengan bagian bawah terdapat rijang. Satuan ini berumur Miosen Tengah.
d.	Terumbu Korall (Ql)	Terdiri dari batugamping berjenis terumbu karang dan pecahan batugamping korall. Beberapa tempat mengandung kepingan batuan hasil gunungapi berupa andesit, andesit piroksen dan andesit berongga. Bagian bawah satuan ini mengandung konglomerat, batupasir dan lapisan tipis
e.	Batulempung Tuffan (Tpe)	Terdiri dari batulempung tuffan dengan sisipan lapisan batupasir dan kerikil hasil rombakan batuan gunungapi. Satuan ini berumur Tersier Akhir.

2. Batuan vulkanik

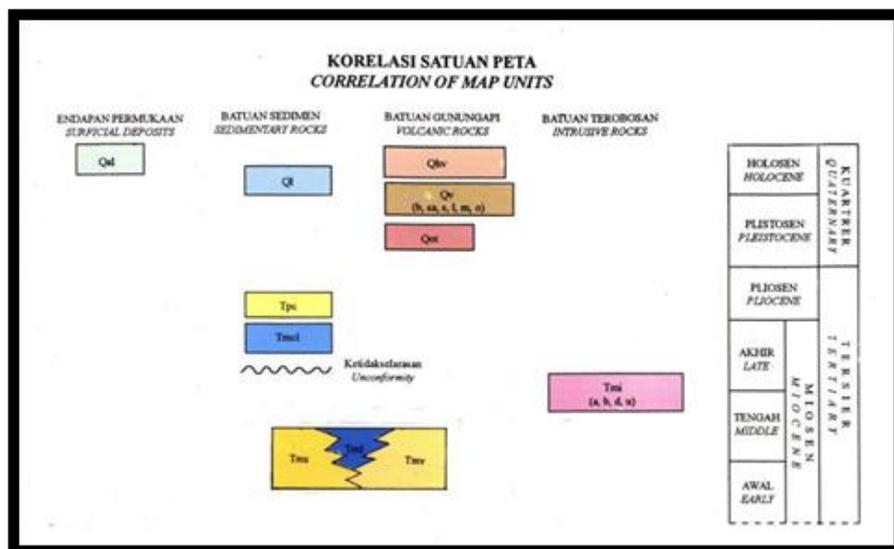
Batuan vulkanik terdiri atas batuan piroklastik dan lava dengan variasi komposisi magma intermediet hingga basa (Tabel 2).

Tabel 2. Formasi batuan vulkanik di Pulau Sumbawa (Sudrajat, Manga dan Suwarna, 1998)

	Formasi	Keterangan
a.	Lava Breksi (Qhv)	Terdiri dari lava, lahar, tuff dan abu gunungapi berkomposisi andesit. Batuan vulkanik dengan afinitas magma kalk alkali. Terdiri dari andesit hornblenda dan augit-hornblenda yang keduanya berupa batuapung dan vesikular andesit serta
b.	Breksi Andesit Basalt	Terdiri dari breksi gunungapi, lahar, tuff, abu dan lava yang berkomposisi andesit dan basalt.
c.	Breksi Tuff (Tmv)	Terdiri dari breksi dengan komponen andesit, bersisipan tuff, terkadang mengandung lahar, lava andesit dan basalt. Umumnya berstruktur bantal dengan sisipan rijang. Satuan batuan mengalami alterasi profilitik dengan keterdapatan
d.	Breksi Tanah Merah (Qot)	Terdiri dari breksi gunungapi yang berkomposisi andesit, hasil letusan Gunung Tanah Merah berumur Kuartar.

### 3. Batuan terobosan/Intrusi

Satuan Batuan Terobosan (Tmi) tersusun atas andesit, basal, dasit, dan batuan yang tak teruraikan yang sebagian merupakan batuan beku lelehan. Satuan ini menerobos batuan berumur Miosen Awal (Tmv dan Tms). Dasit dan andesit pada umumnya mengandung pirit.

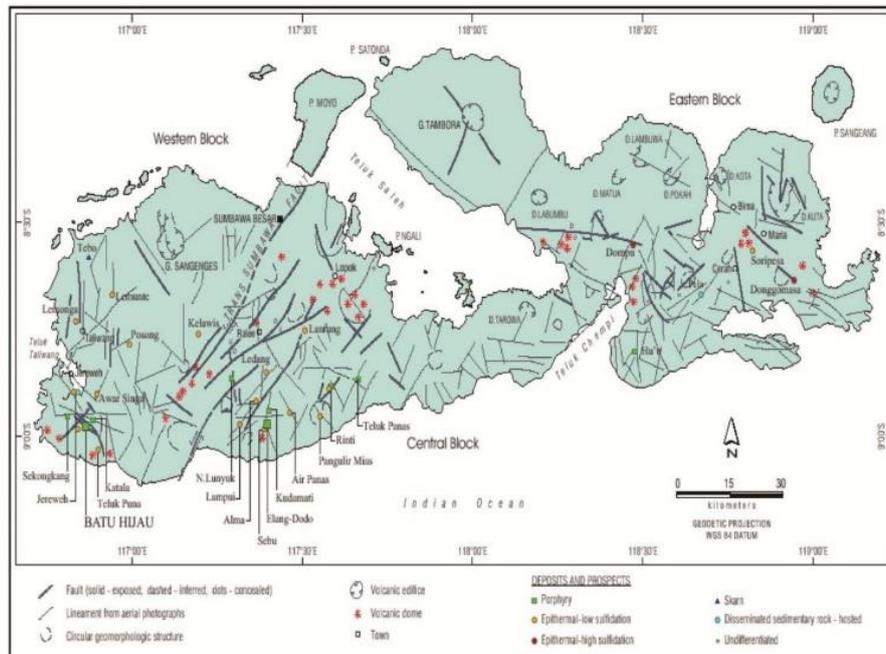


Gambar 4 Stratigrafi Pulau Sumbawa (Sudrajat, Manga dan Suwarna, 1998)

### Tektonisme Pulau Sumbawa

Busur Kepulauan Sumbawa dihasilkan dari tumbukan antara tiga Lempeng India-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik yang berinteraksi dan saling berbenturan satu dengan yang lain (Hamilton, 1980 dalam Clode, dkk., 1999). Batas tumbukan lempeng ini merupakan daerah yang sangat labil ditandai dengan munculnya tiga gunungapi aktif tipe A (Gunung Rinjani, Gunung Tambora dan Gunung Sangeangapi). Pulau Sumbawa terletak di pusat Busur Sunda yang memisahkan dua sektor yaitu Busur Sunda di bagian Barat dan Busur Banda di bagian Timur. Menurut Sudrajat, Manga dan Suwarna (1998), Pulau Sumbawa terdiri dari sistem retakan berarah Baratlaut-Tenggara dan Timurlaut-Baratdaya.

Berdasarkan tatanan tektonik, terbentuknya Pulau Sumbawa berhubungan dengan penunjaman Lempeng Hindia berarah utara-timurlaut di selatan Daratan Sunda menerus dari Pulau Sumatera hingga Jawa. Semakin ke arah Timur membentuk Busur Kepulauan Banda yang terbentuk pada masa Kenozoikum, dengan persebaran litologi berupa batuan gunungapi.



Gambar 5 Struktur Pulau Sumbawa dan potensi endapan mineral, struktur vulkanisme Plio-Plistosen dan pelurusan berdasarkan foto udara (Garwin, 2000)

Bagian pusat Pulau Sumbawa memiliki zona depresi yang dibatasi oleh dua sistem patahan utama berarah Baratlaut-Tenggara dan Timurlaut- Baratdaya. Sesar yang masih aktif ditemukan di sekitar Gunung Tambora. Kelurusan Barat-Timur diisi oleh jajaran gunungapi utama dan terbentuk pada Plistosen di sepanjang Pantai Utara. Pulau Moyo dan Medang terangkat pada Zaman Kuartar, kedudukan Medang akibat pergerakan struktur relatif naik serta adanya lava bantal di Pulau Moyo menunjukkan bahwa Pulau Moyo merupakan sisa kaldera di lereng Tenggara gunung bawah laut Neogen. (Gambar 5)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Stratigrafi Daerah Penelitian**

Pembagian stratigrafi daerah penelitian mengacu pada sistem penamaan litodem (SSI 1996), yaitu penamaan satuan litodem berdasarkan ciri - ciri fisik batuan yang teramati di lapangan, melihat jenis litologi, serta posisi stratigrafi terhadap satuan-satuan yang ada di bawah maupun di atasnya. (Tabel 3)

Berdasarkan dengan melihat bukti kenampakan batuan di lapangan, maka stratigrafi daerah penelitian dapat disusun dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

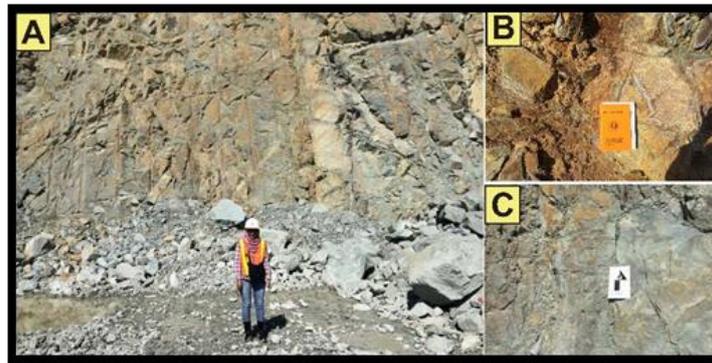
1. Satuan Andesit Batu Hijau
2. Satuan Diorit Batu Hijau
3. Satuan Tonalit Batu Hijau

Tabel 3 Stratigrafi Daerah Penelitian

UMUR GEOLOGI		SATUAN LITODEM	WARNA SATUAN LITODEM
ZAMAN	KALA		
Tersier	Pliosen Awal	Tonalit Batu Hijau	++++
	Miosen Akhir	Diorit Batu Hijau	++++
		Andesit Batu Hijau	++++

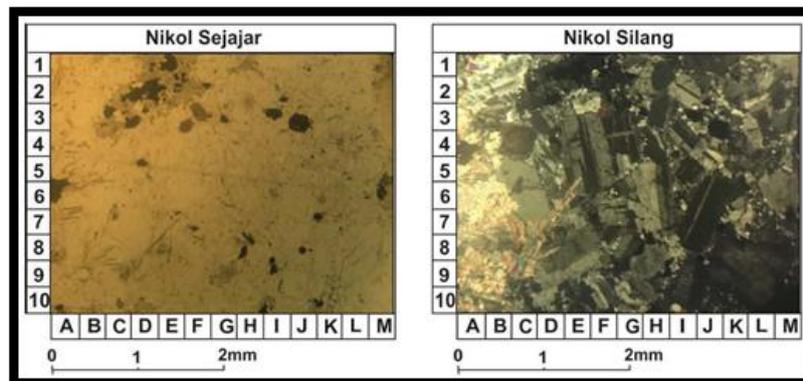
**Satuan Andesit Batu Hijau**

Ciri litologi dari Satuan Andesit Batu Hijau memiliki warna abu-abu kehijauan. Telah mengalami ubahan klorit+epidot serta ubahan kuarsa+serisit dengan persebaran 60% dari luasan penelitian (Gambar 6). Umur dari satuan andesit Batu Hijau berdasarkan peneliti terdahulu Garwin, (2000) adalah pada Kala Miosen Akhir.



Gambar 6 (A) Foto kenampakan singkapan batuan andesit pada lokasi pengamatan (LP) 8. (B) Kenampakan litologi dari batuan andesit yang mengalami ubahan filik dengan intensitas sedang. (C) Kenampakan litologi batuan andesit yang mengalami ubahan propilitik dengan ubahan sedang.

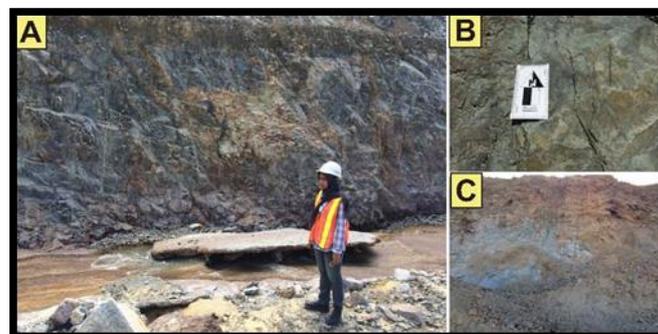
Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan batuan terubah dengan batuan asalnya merupakan litologi andesit dapat dilihat pada keadaan nikol sejajar maupun silang (**Gambar 7**) mineral-mineral primer masih dapat terlihat yang terdiri dari plagioklas (andesin) 60%, piroksen, 2 %, kuarsa 8%, pirofilit 8%, dan mineral opaq (10%).



Gambar 7 Foto kenampakan petrografi Satuan Andesit Batu Hijau yang mengalami ubahan propilitik pada lokasi pengamatan 2

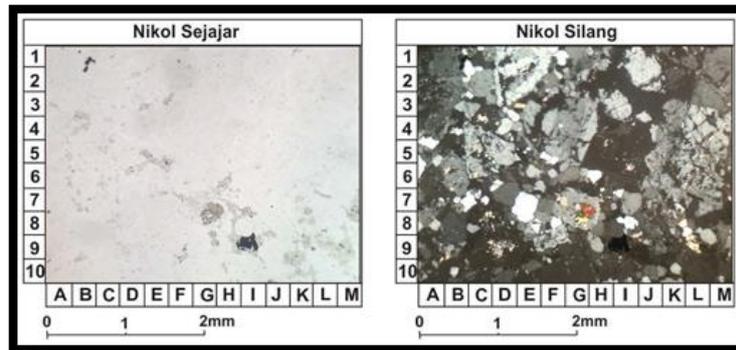
### Satuan Diorit Batu Hijau

Ciri litologi dari Satuan Diorit Batu Hijau memiliki warna abu-abu gelap. Telah mengalami ubahan klorit+epidot serta ubahan kuarsa+serisit dengan persebaran 30% dari luasan penelitian (Gambar 8). Umur dari Satuan Diorit Batu Hijau berdasarkan peneliti terdahulu Garwin, (2000) adalah pada Kala Pliosen Awal (5,9 Ma – 3,6 Ma). Hubungan antar Satuan Diorit Batu Hijau dengan Satuan Andesit Batu Hijau adalah *cross cutting relationship*.



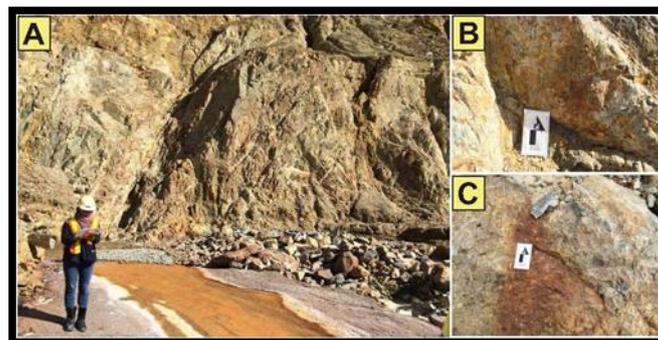
Gambar 8 (A) Foto kenampakan singkapan batuan diorit pada lokasi pengamatan 14. (B) Kenampakan litologi dari diorit yang mengalami ubahan filik dengan intensitas sedang pada lokasi pengamatan 14. (C) Kenampakan litologi batuan diorit yang mengalami ubahan propilitik dengan ubahan sedang pada lokasi pengamatan 25.

Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan batuan terubah dengan batuan asalnya merupakan litologi diorite dapat dilihat pada keadaan nikol sejajar maupun silang (**Gambar 9**) mineral-mineral primer masih dapat terlihat yang terdiri dari plagioklas (andesin) 60%, piroksen 10 %, kuarsa 5%, mineral lempung 15%, dan mineral opaq (5%).



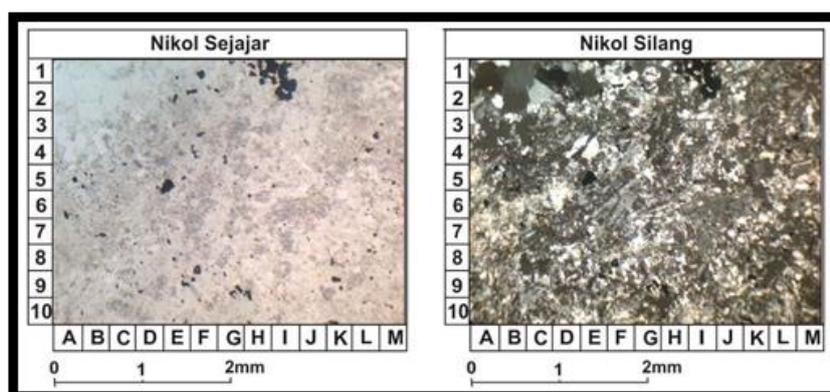
Gambar 9 Foto kenampakan petrografi Satuan Diorit Batu Hijau pada lokasi pengamatan 18 Satuan Tonalit Batu Hijau

Ciri litologi dari Satuan Tonalit Batu Hijau memiliki warna putih. Telah mengalami ubahan klorit+epidot serta ubahan kuarsa+serisit dengan persebaran 10% dari luasan penelitian (Gambar 10). Umur dari Satuan Tonalit Batu Hijau berdasarkan peneliti terdahulu Garwin, (2000) adalah pada Kala Pliosen Awal (3,76 Ma – 3,74 Ma). Hubungan antar Satuan Diorit Batu Hijau dengan Satuan Tonalit Batu Hijau adalah *cross cutting relationship*.



Gambar 10 (A) Foto kenampakan singkapan batuan tonalit pada lokasi pengamatan 16. (B) Kenampakan litologi dari tonalit yang mengalami ubahan potasik dengan intensitas sedang pada lokasi pengamatan 16. (C) Kenampakan litologi batuan tonalit pada lokasi pengamatan 38.

Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan batuan terubah dengan batuan asalnya merupakan litologi tonalit dapat dilihat pada keadaan nikol sejajar maupun silang (Gambar 11) mineral-mineral primer masih dapat terlihat yang terdiri dari plagioklas (andesin) 30%, kuarsa 40%, mineral lempung 20%, dan mineral opaq (10%).



Gambar 11 Kenampakan petrografi Satuan Tonalit Batu Hijau pada lokasi pengamatan 38.

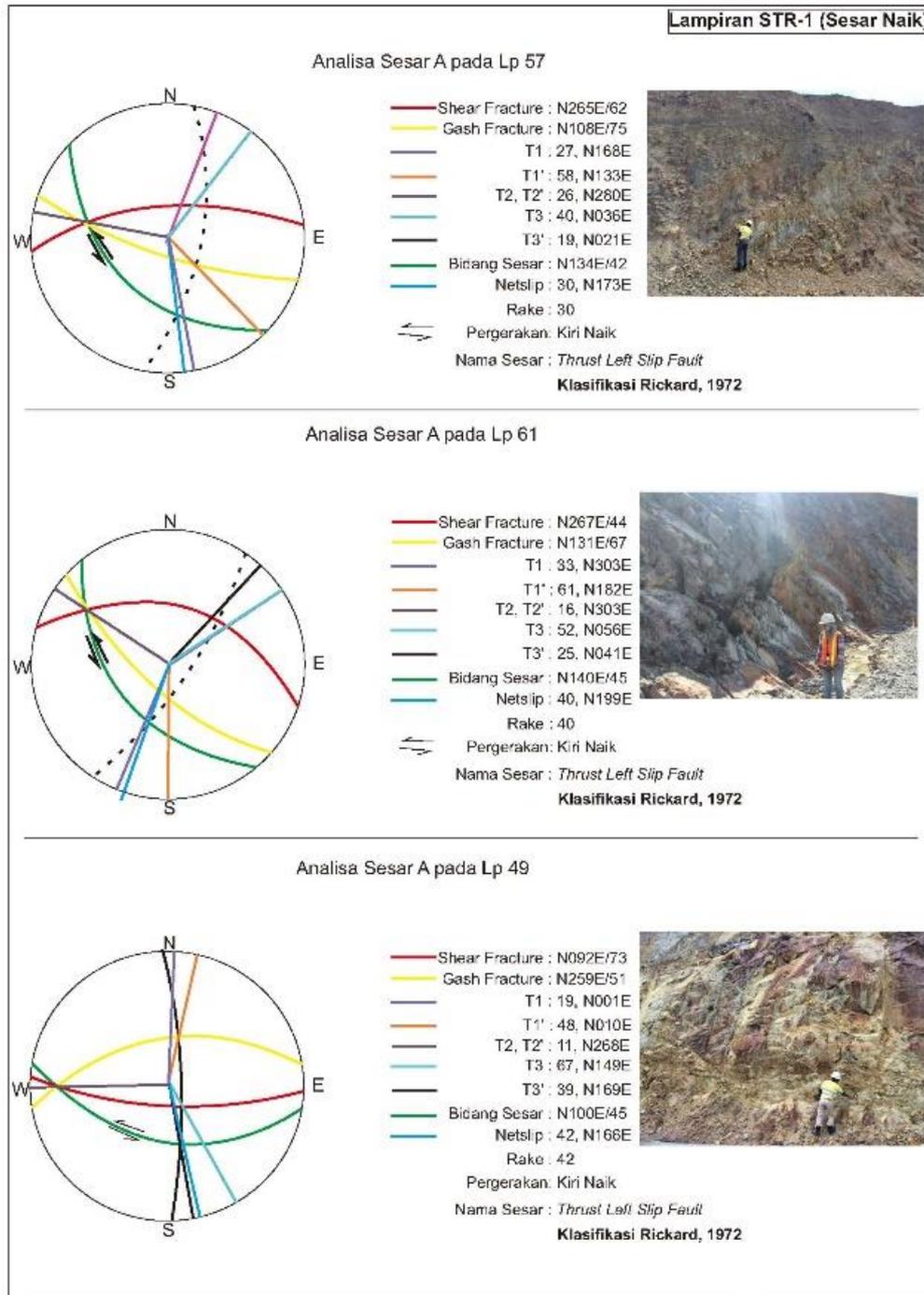
## Struktur Geologi Daerah Penelitian

### Sesar

Struktur geologi merupakan salah satu faktor dominan pengontrol kestabilan lereng di daerah penelitian. Struktur geologi terekam dalam batuan dan menyebabkan deformasi terhadap batuan di daerah penelitian. Adapun struktur geologi yang terdapat di lapangan antara lain berupa kekar gerus dan sesar mendatar. Pengukuran data struktur geologi di lapangan meliputi kekar gerus dan breksiasi.

### Sesar A

Sesar A didapatkan melalui 3 lokasi pengamatan yang dijumpai di bagian barat hingga selatan daerah penelitian yaitu di LP 49, LP 57 dan LP 61. Sesar ini berada di satuan batuan vulkanik yang telah teralterasi klorit-epidot dan menempati satuan morfologi pit. Sesar ini berorientasi barat-laut – tenggara dimana berdasarkan analisis menggunakan klasifikasi sesar oleh Rickard (1972) merupakan Thrust Left Slip Fault (**Gambar 12**).

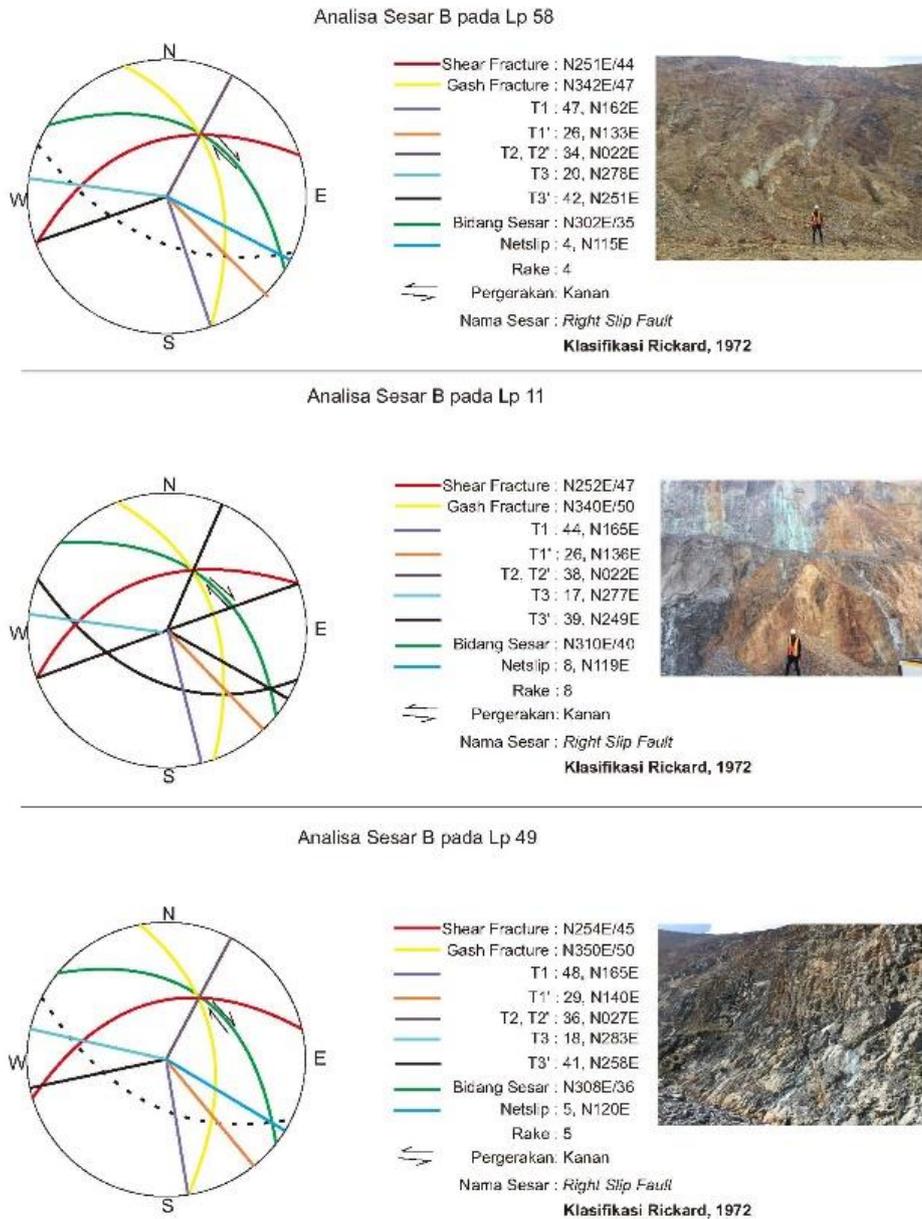


**Gambar 12** Analisis sesar A pada lokasi pengamatan 49, 57 dan 61

**Sesar B**

Sesar B didapatkan melalui 3 lokasi pengamatan yang dijumpai di bagian barat hingga selatan daerah penelitian yaitu di LP 11, LP 41 dan LP 58. Sesar ini berada di satuan batuan vulkanik yang telah teralterasi klorit-epidot dan menempati satuan morfologi pit. Sesar ini berorientasi baratlaut – tenggara dimana berdasarkan analisis menggunakan klasifikasi sesar oleh Rickard (1972) merupakan Right Slip Fault (**Gambar 13**).

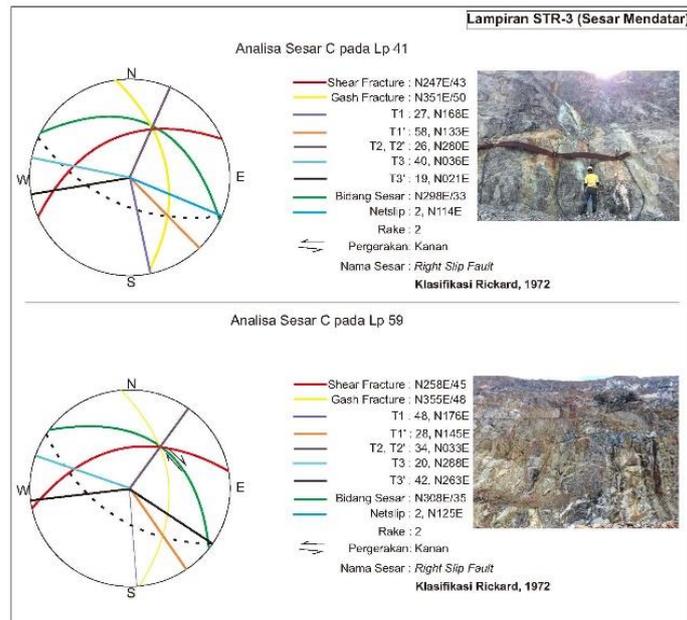
**Lampiran STR-2 (Sesar Mendatar)**



**Gambar 13 Analisis sesar B pada lokasi pengamatan 11, 41, dan 58**

**Sesar C**

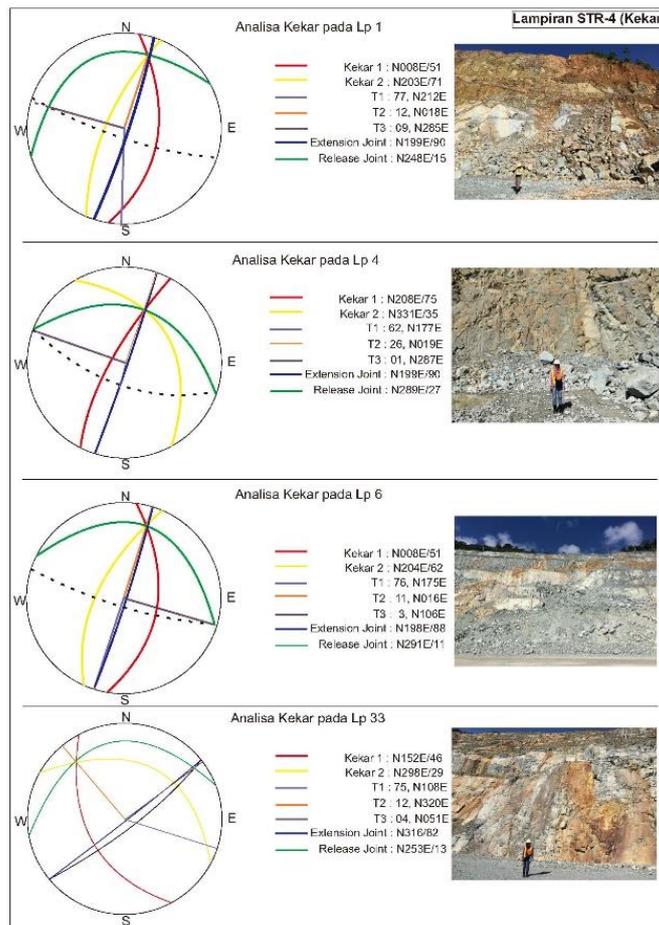
Sesar C didapatkan melalui 2 lokasi pengamatan yang dijumpai di bagian barat hingga selatan daerah penelitian yaitu di LP 41 dan LP 59. Sesar ini berada di satuan batuan vulkanik yang telah teralterasi klorit-epidot dan menempati satuan morfologi pit. Sesar ini berorientasi baratlaut – tenggara dimana berdasarkan analisis menggunakan klasifikasi sesar oleh Rickard (1972) merupakan Right Slip Fault (**Gambar 14**).



Gambar 14 Analisis sesar C pada lokasi pengamatan 41 dan 59

**Kekar**

Struktur kekar merupakan hasil dari intrusi dan aktivitas tektonik yang berkembang di daerah penelitian. Kekar yang terbentuk hampir dijumpai diseluruh dinding tambang daerah penelitian. Kekar – kekar ini berpengaruh terhadap kestabilan lereng sehingga keberadaannya selalu dipantau oleh sistem radar yang digunakan oleh PT. AMNT. Arah umum dari tegasan utama baratlaut-tenggara (**Gambar 15**).



Gambar 15 Analisis kekar

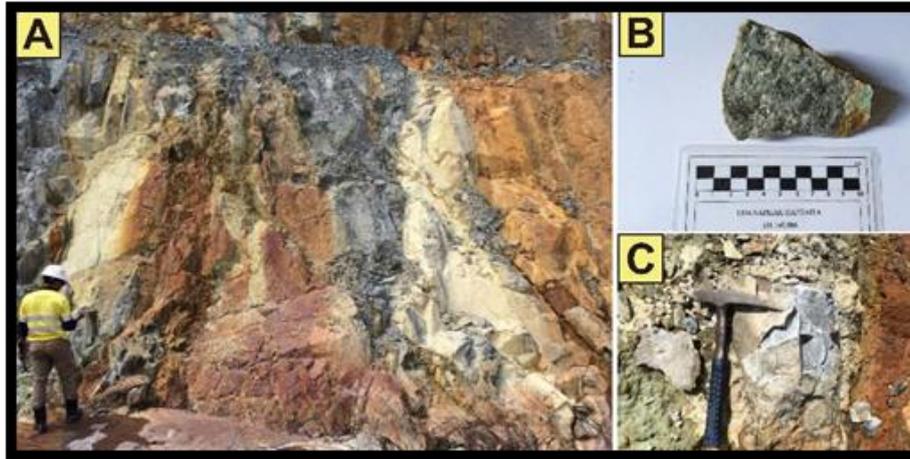
### Alterasi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, daerah penelitian didapatkan 4 zona tipe alterasi mineral. Empat zona tipe mineral tersebut didapatkan dari dominasi keterdapatan mineral tersebut pada batuan dari hasil pemetaan lapangan, yaitu:

1. Tipe Magnetit + Biotit (ditandai dengan mineral magnetit, biotit, k-feldspar dengan dijumpai mineralisasi bornit-kovelit-kalkopirit).
2. Tipe Kuarsa + Serisit (ditandai dengan mineral kuarsa, serisit, ±pirit)
3. Tipe Klorit + Epidot (ditandai dengan mineral klorit, epidot, ±pirit)
4. Tipe Kaolinit + Klorit (ditandai dengan mineral kaolinit, klorit)

### Zona Ubahan Magnetit + Biotit (Potasik)

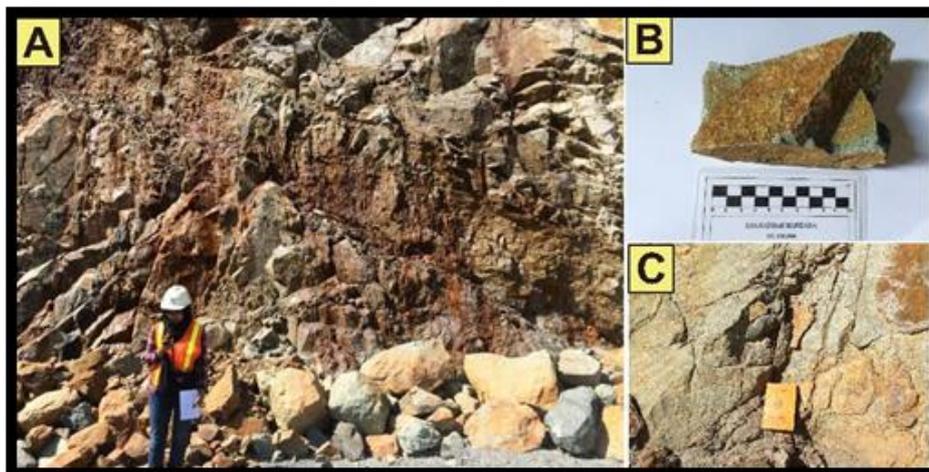
Pada zona alterasi ini ditandai dengan munculnya himpunan mineral magnetit, biotit, k-feldspar. Sebaran alterasi ini menempati 15% dari luasan daerah penelitian dan umum dijumpai pada sistem porfiri (**Gambar 16**)



Gambar 16 (A) Kenampakan singkapan alterasi potasik pada lokasi pengamatan 38. (B) handspecimen alterasi potasik dengan kehadiran mineral magnetit, biotit, k-feldspar. (C) kenampakan litologi tonalit lokasi pengamatan 38.

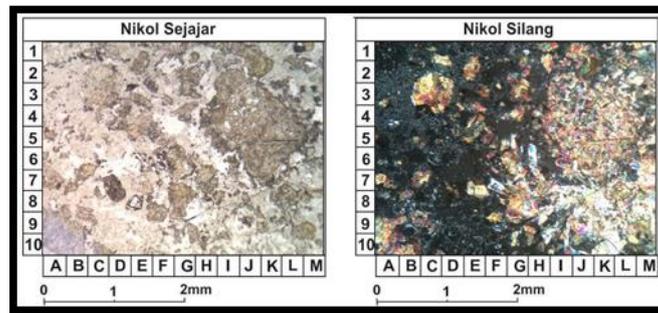
### Zona Ubahan Kuarsa + Serisit (Filik)

Tipe filik ditandai dengan munculnya himpunan mineral serisit, kuarsa, pirit. Sebaran menempati 25% dari luasan daerah penelitian dan umum dijumpai pada sistem porfiri.



Gambar 17 (A) Kenampakan singkapan alterasi filik pada lokasi pengamatan 61. (B) handspecimen alterasi filik dengan kehadiran mineral serisit, kuarsa, pirit. (C) kenampakan litologi andesit lokasi pengamatan 61.

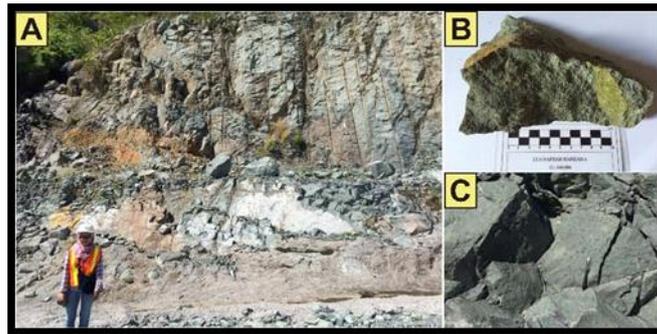
Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sayatan alterasi filik dijumpai mineral serisit, mineral lempung, kuarsa yang mengoverprint mineral plagioklas sebanyak 90% dari sayatan tipis (**Gambar 18**).



Gambar 18 Pengamatan petrografi pada alterasi filik

#### Zona Ubahan Klorit + Epidot (Propilitik)

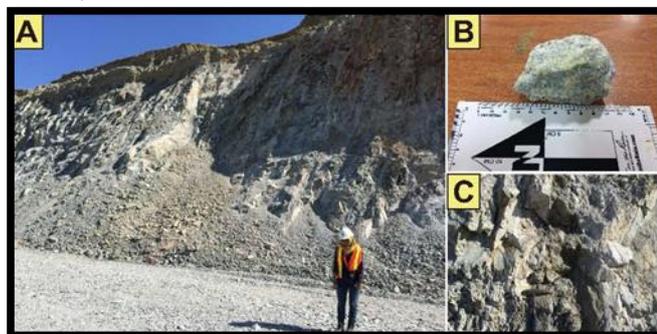
Tipe propilitik ditandai dengan munculnya himpunan mineral berwarna hijau seperti klorit, epidot, serta pirit. Sebaran menempati 50% dari luasan daerah penelitian dan umum dijumpai pada sistem porfiri (**Gambar 19**).



Gambar 19 (A) Kenampakan singkapan alterasi propilitik pada lokasi pengamatan 8. (B) handspecimen alterasi propilitik dengan kehadiran mineral klorit, epidot. (C) kenampakan litologi andesit lokasi pengamatan 8.

#### Zona Ubahan Kaolinit + Klorit (Argilik)

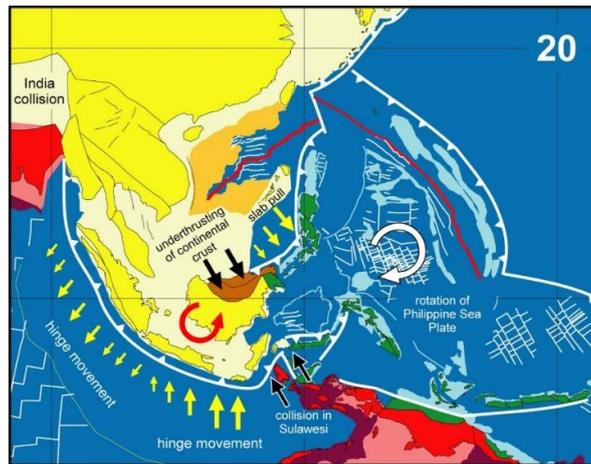
Tipe ubahan argilik ditandai dengan munculnya himpunan mineral kaolinit, klorit. Sebaran menempati 10% dari luasan daerah penelitian (**Gambar 20**).



Gambar 20 (A) Kenampakan singkapan alterasi argilik pada lokasi pengamatan 21. (B) handspecimen alterasi argilik dengan kehadiran mineral klorit, kaolinit. (C) kenampakan litologi andesit lokasi pengamatan 21.

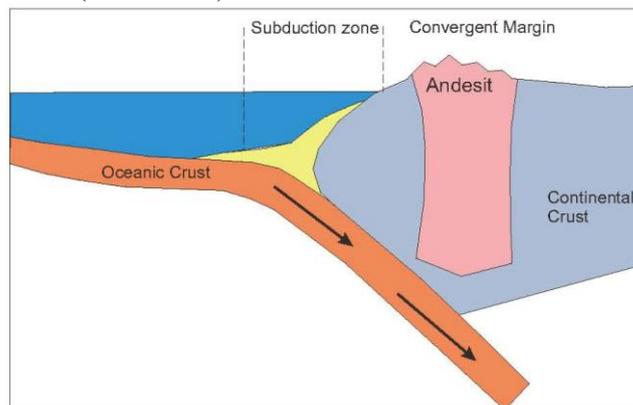
#### Sejarah Geologi

- Pergerakan lempeng Australia ke utara menyebabkan terbentuknya subduksi dibawah lempeng Eurasia (**Gambar 21**). Pulau Sumbawa yang berada diperbatasan lempeng Eurasia mengalami kejadian tektonik berupa adanya aktivitas vulkanik di selatan pulau Sumbawa. Daerah penelitian yang berada di barat daya Pulau Sumbawa merupakan hasil dari kejadian tersebut..



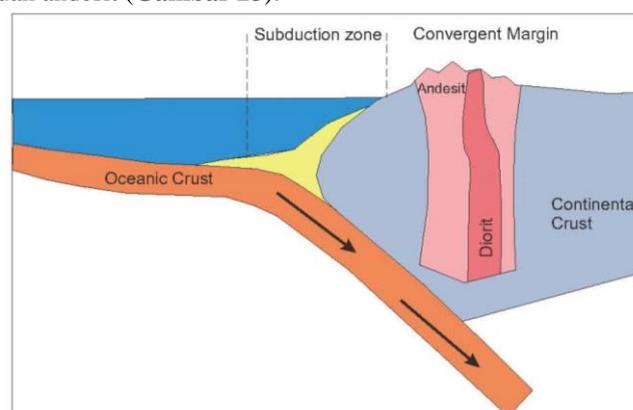
Gambar 21. Pergerakan lempeng pada Kala Miosen (Garwin, 2005)

- Pada Kala Miosen tersebut, seiring dengan pergerakan lempeng yang terus terjadi, mengakibatkan terjadinya aktivitas vulkanik pada daerah penelitian. Aktivitas vulkanik pada saat itu menghasilkan intrusi andesit pada Miosen Akhir (**Gambar 22**)



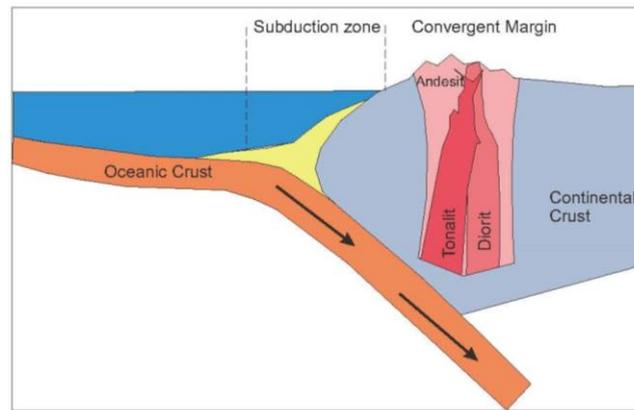
Gambar 22. Kerangka tektonik berupa subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia menghasilkan intrusi andesit pada Miosen Akhir (Modifikasi Sinclair (2007) dan Garwin (2000))

- Aktivitas vulkanik masih sering terjadi di daerah Batu Hijau, seiring dengan pergerakan lempeng, menyebabkan terbentuknya intrusi diorit yang terjadi pada Pliosen Awal yang berumur 5,9 Ma – 3,8 Ma yang menerobos batuan andesit (**Gambar 23**).



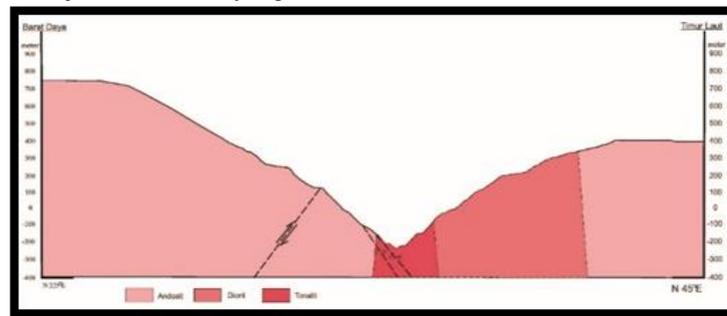
Gambar 23. Ilustrasi intrusi diorit yang menerobos batuan andesit pada Pliosen Awal (Modifikasi Sinclair (2007) dan Garwin (2000))

- Pergerakan lempeng yang terus berlangsung pada Pliosen Awal menyebabkan terjadinya intrusi batuan tonalit yang menerobos batuan diorit dan andesit. Intrusi tonalit inilah yang membawa mineralisasi di Batu Hijau (Garwin, 2002). (**Gambar 24**).



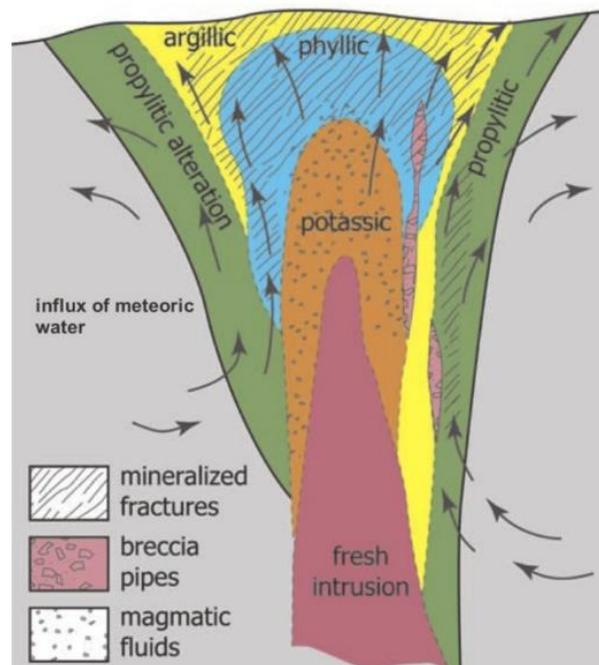
Gambar 24. Ilustrasi intrusi tonalit pada Pliosen Awal yang menerbos batuan diorit dan batuan andesit (Modifikasi Sinclair (2007) dan Garwin (2000))

- Pada kala Miosen satuan andesit dan diorit Batu Hijau terpotong oleh sesar mendatar kanan dengan arah Barat Laut – Tenggara (orde 1). Lalu di susul dengan terjadinya sesar kiri naik dengan arah relatif Barat laut – tenggara pada satu kejadian tektonik yang sama (**Gambar 25**).



Gambar 25. Ilustrasi adanya sesar yang memotong stratigrafi di daerah penelitian.

- Perkembangan selanjutnya adalah dimulainya proses hidrotermal (Gambar 26).



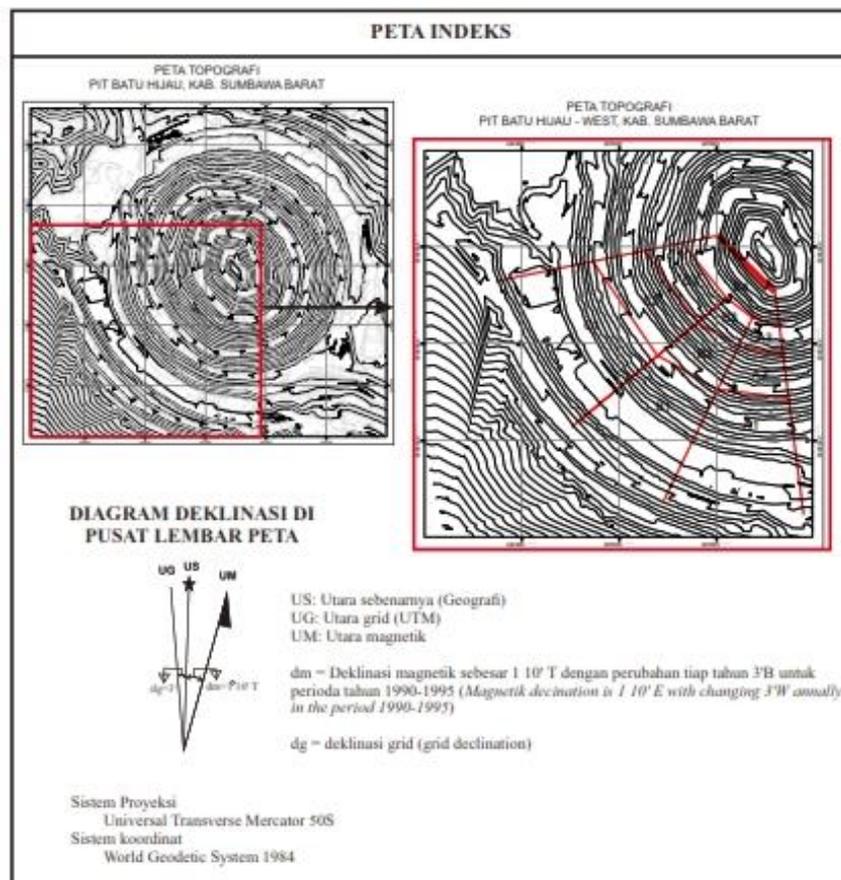
Gambar 26. Pembentukan tipe alterasi pada endapan porfiri

- Fase awal alterasi hidrotermal berasosiasi dengan intrusi Tonalit Pertama. Fase tersebut ditandai oleh proses pembentukan biotit sekunder dari mineral-mineral mafik (Alterasi Potasik) yang diikuti oleh proses kloritisasi mineral-mineral mafik termasuk biotit sekunder yang sebelumnya terbentuk. Fase ini menghasilkan zona alterasi biotit±magnetit yang dilingkupi oleh zona luas klorit-epidot (Alterasi Propilitik) di sekelilingnya.
- Aliran fluida magmatik yang keluar dari tubuh pluton mengakibatkan tubuh pluton mengalami pendinginan dan mendukung pembentukan rekahan- rekahan dalam tubuh tonalit maupun batuan yang diterobos, yakni batuan andesit. Proses tersebut diikuti oleh proses pergantian mineral-mineral silikat dalam batuan oleh serisit dan kuarsa yang terjadi karena fluida magmatik dari tubuh pluton mengalami penurunan suhu (akibat bercampur dengan fluida meteorik dan alterasi batuan samping/wall rock alteration). Pada fase ini zona alterasi klorit±magnetit terekspansi oleh zona alterasi serisit+kuarsa (Alterasi Filik).
- Aliran fluida meteorik yang menjadi semakin intens mempercepat proses pendinginan fluida magmatik, menyebabkan aliran fluida meteorik dari sekeliling sistem hidrotermal pun menjadi semakin dominan dan mengakibatkan proses penghancuran feldspar dalam batuan menjadi mineral-mineral lempung pun menjadi semakin intens. Proses tersebut mengakibatkan pembentukan zona alterasi mineral lempung (kaolinit-ilit dan pirofilit- alunit) di sekelilingnya (Alterasi Argilik).

**ANALISIS KESTABILAN LERENG DINDING BARAT PIT BATU HIJAU**

Analisis kestabilan lereng di Pit tambang terbuka, dilakukan dengan pemetaan line mapping. Metode line mapping adalah metode pemetaan struktur geologi dan pengambilan data karakteristik massa bataun yang dilakukan di sepanjang lereng dinding barat.

Analisis kinematik dilakukan untuk menentukan potensi tipe longsoran berdasarjan kedudukan bidang dan arah lereng. Selain mengetahui potensi longsoran, analisis kestabilan lereng dapat mengetahui nilai faktor keamanan. Dalam menentukan nilai faktor keamanan diperlukan analisis metode kesetimbangan batas. Dalam metode kesetimbangan batas dibutuhkan material propertis seperti sudut geser dalam, kohesi, unit weight yang didapat dari perusahaan. Setelah didapat nilai material propertis tersebut, data-data tersebut diolah kedalam software Slide 6.0 untuk mendapatkan nilai nilai faktor keamanan.



Gambar 27. Daerah analisis kestabilan lereng

### Analisis Kinematik

Analisis kinematik atau Analisis stereografis merupakan salah satu metode analisis kestabilan lereng yang menggunakan parameter orientasi struktur geologi, orientasi lereng dan sudut geser dalam batuan yang diproyeksikan pada stereonet (Hoek dan Bray, 1981).

Dari hasil pengolahan data pada lereng dinding barat tambang Batu Hijau ditemukan beberapa potensial longsoran yang terjadi, yaitu longsoran tipe bidang dan tipe baji. Lereng dinding ini memiliki arah kemiringan menghadap utara-timurlaut dengan sudut geser dalam rata-rata sebesar  $30^\circ$  yang di dapatkan dari UCS (*Unconfined Compressive Strength Test*) rata-rata sebesar 90 Mpa,  $\mu$  sebesar 25 dan GSI 65.

Daerah analisis dibagi menjadi 3 sektor yaitu sector A, sector B dan Sektor C. dari ketiga sektor tersebut dibagi lagi kedalam beberapa segmen berdasarkan sudut kemiringan lereng dan besaran slope aspect dari lereng tersebut, sehingga terdapat 10 segmen penelitian yang diamati. Berikut hasil dari analisis kinematik yang telah dilakukan:

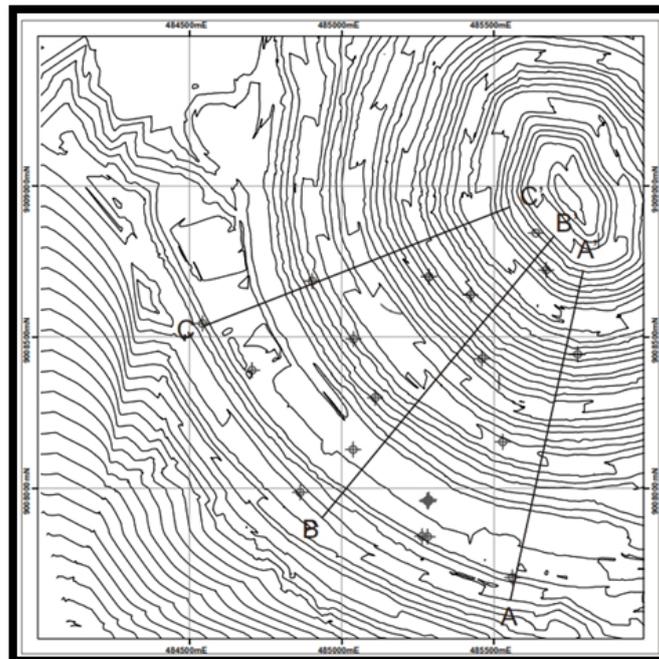
Tabel 4 Hasil analisis kinematik dari 10 segmen lereng dinding barat Pit Batu Hijau

SEGMENT	SUDUT KEMIRINGAN LERENG	SUDUT KEMIRINGAN STRUKTUR	ARAH KEMIRINGAN LERENG	ARAH KEMIRINGAN KEKAR	SUDUT GESER DALAM	ANALISIS KINEMATIK (PoF (%))			TIPE LONGSORAN
						TIDAK TERJADI LONGSORAN	BIDANG	BAJI	
							<i>Drilling &amp; Line Mapping</i>	<i>Drilling &amp; Line Mapping</i>	
A1	$40^\circ$	$19^\circ$	N014°E	N017°E	$30^\circ$	86.03	9.09	4.88	Longsoran Bidang
A2	$43^\circ$	$81^\circ$	N014°E	N251°E	$30^\circ$	90.52	5.56	3.92	Longsoran Bidang
A3	$43^\circ$	$77^\circ$	N017°E	N272°E	$30^\circ$	67.45	14.29	18.26	Longsoran Baji
B1	$40^\circ$	$31^\circ$	N040°E	N358°E	$30^\circ$	79	9.62	11.38	Longsoran Baji
B2	$41^\circ$	$20^\circ$	N040°E	N026°E	$30^\circ$	90.85	5	4.15	Longsoran Bidang
B3	$43^\circ$	$57^\circ$	N040°E	N057°E	$30^\circ$	84.81	6.67	8.51	Longsoran Baji
B4	$47^\circ$	$24^\circ$	N040°E	N096°E	$30^\circ$	80.78	11.11	8.11	Longsoran Bidang
C1	$41^\circ$	$54^\circ$	N054°E	N060°E	$30^\circ$	79.12	9.62	11.26	Longsoran Baji
C2	$43^\circ$	$26^\circ$	N054°E	N095°E	$30^\circ$	78.16	8	13.84	Longsoran Baji
C3	$43^\circ$	$21^\circ$	N054°E	N064°E	$30^\circ$	81.78	11.54	6.68	Longsoran Bidang

### Analisis Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas dilakukan untuk dapat mengetahui bagaimana pengaruh struktur dalam kestabilan lereng dinding tambang. Tujuan dari metode kesetimbangan batas adalah untuk menentukan faktor keamanan dari lereng. Nilai faktor keamanan akan mengekspresikan tingkat kestabilan suatu lereng.

Analisis kesetimbangan batas dilakukan dengan metode General Limit Equilibrium (GLE) menggunakan Mohr-Coulomb Criterion untuk memodelkan sifat-sifat kekuatan material pengisi struktur yang relative homogen dan anisotropic strength function untuk memodelkan sifat-sifat kekuatan massa batuan. Metode GLE berdasarkan pada dua persamaan faktor keamanan lereng yaitu faktor keamanan terhadap kesetimbangan gaya dan faktor keamanan terhadap kesetimbangan momen. Dalam analisis menggunakan anisotropic strength function diperlukan data orientasi utama bidang diskontinuitas pada masing-masing sayatan.



Gambar 28. Daerah analisis dan sayatan analisis metode kesetimbangan batas

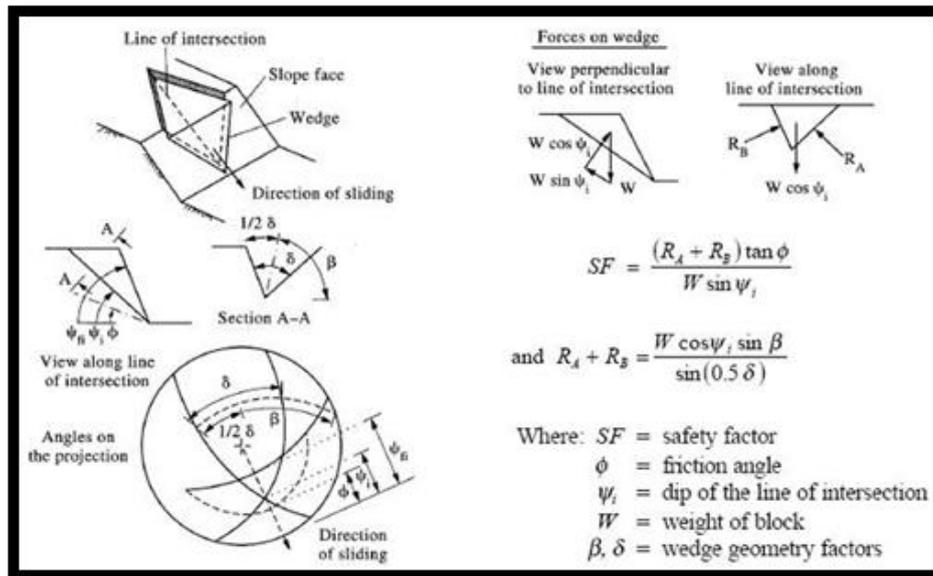
Dari hasil analisis metode kesetimbangan batas pada 10 lereng dinding barat pit Batu Hijau, didapatkan hasil sebagai berikut:

SEGMENT	ANALISIS KESETIMBANGAN BATAS (FK)		ANALISIS KESETIMBANGAN BATAS (FK RATA-RATA)	KRITERIA RESIKO BOWLES, 1991
A	A1	1.81	1.53	STABIL
	A2	1.29		STABIL
	A3	1.51		STABIL
B	B1	1.13	1.07	KRITIS
	B2	1.24		KRITIS
	B3	1.41		STABIL
	B4	1.02		LABIL
C	C1	1.49	1.28	STABIL
	C2	1.50		STABIL
	C3	1.40		STABIL

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dinding barat didapatkan lereng yang memiliki kemungkinan terjadi longoran terbesar dari 10 lereng yang telah di analisis, didapatkan lereng segmen A3 dengan hasil analisis kinematik terkecil untuk probabilitas tidak terjadi longoran sebesar 67,45%. Namun, memiliki FK hasil metode kesetimbangan batas sebesar 1,51 dengan kriteria stabil (Bowles, 1991).

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan *software slide 6.0*, penulis membandingkan nilai faktor keamanan antara *software slide 6.0* dengan perhitungan manual berdasarkan tipe longoran bidang dan tipe longoran baji yang dilakukan pada empat lereng yang memiliki potensi kelongsoran tipe bidang dan tipe baji.

Berikut adalah perhitungan faktor keamanan pada lereng batuan di pit Batu Hijau berdasarkan tipe longoran baji:

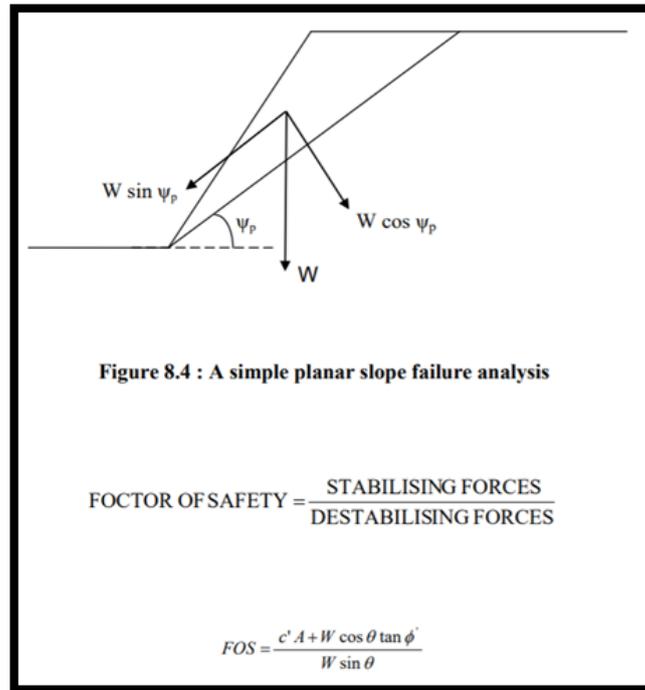


Gambar 29. Konsep Perhitungan Faktor Keamanan Pada Tipe Longoran Baji

Tabel 5. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Tipe Longoran Baji

Lereng	Berat (W)	jarak antar kekar (...°) ( $\delta$ )	jarak arah lereng dg arah longoran ( $\beta$ )	sudut geser dalam ( $\theta$ )	perpotongan kekar (a)	RA + RB	FS
						$\frac{(W \cdot \cos a \cdot \sin \beta)}{(\sin 1/2 \delta)}$	$\frac{(RA+RB) \cdot \tan \theta}{W \cdot \sin a}$
A3	26	103	115	30	38	23.73	0.86
C1	26	112	90	30	30	27.16	1.21

Untuk perhitungan faktor keamanan pada lereng batuan di pit Batu Hijau berdasarkan tipe longoran bidang sebagai berikut:



Gambar 30. Konsep Perhitungan Faktor Keamanan Pada Tipe Longsoran Bidang

Tabel 6. Perhitungan Faktor Keamanan Pada Tipe Longsoran Bidang

Lereng	Berat (W)	Slope ( $\psi$ )	Dip Kekar (b)	Sudut geser dalam ( $\theta$ )	W.sin b	W.cos b.tan $\theta$	FS
							$\frac{(W \cdot \cos b \cdot \tan \theta)}{W \cdot \sin b}$
B4	26	47	23	30	10.16	13.82	1.36
C3	26	54	21	30	9.31	15	1.50

Dari hasil perhitungan tersebut dan membandingkan dengan menggunakan *software slide 6.0* dan memiliki kesimpulan bahwa nilai faktor keamanan yang lebih relevan terhadap keadaan lereng batuan di pit Batu Hijau adalah perhitungan dengan berdasarkan tipe longsoran bidang dan berdasarkan tipe longsoran baji.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian “Geologi dan Analisis Kestabilan Lereng Dinding Barat Daerah Batu Hijau, Kec. Sekongkang, Kab. Sumbawa Barat, Prov. Nusa Tenggara Barat” didapatkan kesimpulan:

- Kondisi geologi daerah penelitian terdiri atas
  - Geomorfologi: memiliki 2 bentuksal yaitu bentuk asal vulkanik dan bentuk asal antropogenik dengan bentuklahan berupa Perbukitan intrusi, pit, stockpile, area reklamasi.
  - Stratigrafi: memiliki 3 satuan batuan dari tua ke muda diantaranya satuan Andesit Batu Hijau, satuan Diorit Batu Hijau dan satuan Tonalit Batu Hijau.
  - Alterasi: memiliki 4 tipe alterasi berupa Zona Kaolinit + Klorit (argilik), Zona Klorit + Epidot (propilitik), Zona Kuarsa + Serisit (filik), Zona Magnetit + Biotit (potasik).
- Berdasarkan hasil line mapping di daerah focus penelitian kestabilan lereng dibagi menjadi dua kelas RMR, yaitu sangat baik dan baik. Kemudian, analisis kinematik dengan membagi daerah analisis menjadi 3 sektor (A, B, C) dan membagi sector tersebut kedalam 10 segmen berdasarkan sudut kemiringan lereng didapatkan segmen dengan potensi terjadinya longsoran bidang dan baji terbesar pada segmen A3 sebesar 32.55%
- Dari hasil perhitungan faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas, penulis telah membandingkan antara hasil analisis menggunakan *software slide 6.0* dan berdasarkan tipe longsoran, disimpulkan bahwa nilai faktor keamanan yang lebih relevan terhadap keadaan lereng batuan di pit Batu Hijau adalah perhitungan dengan berdasarkan tipe longsoran baji dan tipe longsoran bidang.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Anonim. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI), 26 h.
- Aprilia, Faridha dkk. 2014. Analisis Tipe Longsor Kestabilan Lereng Berdasarkan Orientasi Struktur Geologi di Dinding Utara Tambang Batu Hijau, Sumbawa Barat. Yogyakarta. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-7 dan Simposium Pendidikan Geologi Nasional. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada*.
- Arief, S. 2007. *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. PT INCO. Sorowako.
- Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang*. Bandung; Institut teknologi Bandung.
- Bateman, A. M., 1981. *Deposit Mineral 3rd edition*. John Wiley and Sons, New York.
- Bemmelen, R. W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Government Printing Office, The Hague.
- Bieniawski Z.T. 1976. *Rock mass classification in rock engineering*. In Exploration for Rock Engineering, *Proc. of the Symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1*, 97-106. Cape Town, Balkema.
- Bowles J.E. 1991, *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- Clode, Projectt, Mitchell, dkk. 1999. Relationship of Intrusion, Wall Rock Alteration and Mineralisation In the Batu Hijau Copper – Gold Porphyry Deposit. *Jurnal PACRIM'99 Bali Indonesia*
- Corbett, G. J. Dan Leach, T. M., 1997. *Southwest Pacific Rim Gold/ Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization*, A workshop presented for the Society of Economic Geologist, Townsville.
- Garwin, 2005. The geologica Setting of Intrusion-Related Hydrothermal System near the Batu Hijau Porphyry Zopper Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia. *Society of economic Geologist Special Publication 9, 2002, p. 333-366*.
- Garwin, S., 2000. Distric-scale Expression of Intrusion-related Hydrothermal Systems Near the Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia. *Proceedings of Banda and Eastern Sunda Arcs 2012 MGEI Annual Convention, Malang, Jawa Timur*.
- Guilbert, G. M., dan Park, C. F., 1986. *The Geology of Ore Deposits*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Hoek, E. 1968. *Brittle failure of rock*. In *Rock Mechanics in Engineering Practice* . (eds K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz), 99-124. London: Wiley.
- Hoek, E. dan Bray, J.W.1981. *Rock Slope Engineering 3rd Ed*. The Institution Of Mining and Metallurgy. London.
- Hoek, Evert. 2006. *Practical Rock Engineering*. Canada; Evert Hoek Consulting Engineer Inc.
- Le Bas, M.J. dan Streckeisen, A.L. 1991. *The IUGS Systematics of Igneous Rocks*. Journal of The Geological Society. London. Vol. 148, pp. 825-833.
- Lowell, Guilbert. 1970. Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Bulletin of society of economic geologist Vol. 65 No. 4 pp 373-408*.
- Pirajno, F., 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris.
- Read dan Stacey. 2009. Guidelines for Open Pit Slope Design. Australia; CRC Press/Balkema
- Rickard, M. J., 1972. *Fault Classification Discussion: Geological Society of America Bulletin*. Vol. 83, hal 2545-2546.
- Romana, M., Tomas, R., Seron, J.B. (2015). Slope Mass Rating (SMR) geomachanics classification: thirty years review. ISRM Congress 2015. *Proceedings – International Symposium on Rock Mechanics, Quebec, Canada, May 10 to 13 2015. ISBN: 978-1-926872-25-4, hal 10* .
- Sillitoe, R.H., & Hedenquist, J.W., 2003, *Linkages between Volcanotectonic Setting, Ore-fluid Compositions and Epithermal Precious Metal Deposits*. Soc. Econ.Geol. Spec Publ.10 hal 315-343.
- Sinclair, W.D., 2007. *Porphyry deposits*. In: *Goodfellow, W.D. (Ed.)*, Mineral deposits of Canada, 5. Geological Association of Canada Special Publication, hal 223– 243.
- Sudradjat, A., Mangga, S.A. dan Suwarna, N., 1980. Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sutarto. 2001. "*Buku Petunjuk Praktikum Endapan Mineral*" Edisi 2, Laboratorium Endapan Mineral, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Verstappen, H., 1985. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental*. Amsterdam: Elsevier. Xi + 473 pp.
- Zuidam, Van R. A., 1983. *Applied Geomorphological Surveys and Natural Hazard Zoning*. International for Aerospace Surface and Earth Science (ITC), Enschede, the Netherlands..



## GEOLOGI DAN HIDROGEOKIMIA AIR TANAH DAERAH PANDANRETNO DAN SEKITARNYA, KECAMATAN DUKUN, KABUPATEN MAGELANG, JAWA TENGAH

Fariz Dwi Prayogi, Sari Bahagiarti Kusumayudha, Eko Teguh Paripurno  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: [geoupn@indosat.net.id](mailto:geoupn@indosat.net.id)  
Corresponding author : [farizprayogi@gmail.com](mailto:farizprayogi@gmail.com)

**SARI** - Daerah penelitian terletak di Daerah Pandanretno dan sekitarnya, Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, daerah penelitian berada pada koordinat UTM 425000 mE - 432000 mE dan 9161000 mN - 9165000 mN. Daerah penelitian memiliki luas 28 km<sup>2</sup> dengan panjang 7 km dan lebar 4 km. Hasil penelitian ini yaitu mengetahui kondisi geologi pada daerah penelitian yang meliputi pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi, dan kondisi hidrogeologi yaitu hidrogeokimia air tanah serta kualitas kimia air tanah.

Pola pengaliran yang terdapat pada daerah penelitian adalah pola pengaliran parallel. Berdasarkan aspek - aspek geomorfologi, pada daerah penelitian dibagi menjadi 2 satuan bentuklahan, diantaranya adalah Satuan Lereng Vulkanik Bawah (V1), Satuan Lembah Aliran Lahar (V2).

Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi 4 satuan dari tua ke muda yaitu Satuan aliran piroklastik Merapi, Satuan jatuhnya piroklastik Merapi, dan Satuan lahar Merapi 1, dimana ketiga satuan tersebut termasuk ke dalam aktivitas Merapi Baru serta Satuan lahar Merapi 2 yang termasuk ke dalam aktivitas Merapi Muda.

Berdasarkan analisis hidrogeokimia air tanah pada daerah penelitian, fasies air tanah pada daerah penelitian yaitu Kalsium-Magnesium-Bikarbonat (Ca<sup>2+</sup>-Mg<sup>2+</sup>- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Back,1966). Pada kation didominasi oleh ion Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> sedangkan pada anion didominasi oleh ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ion Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> diinterpretasikan berasal dari batuan vulkanik yaitu andesit piroksen, yang kaya akan unsur plagioklas dan piroksen. Sedangkan ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> diinterpretasikan berasal dari unsur CO<sub>2</sub> di udara bebas yang berikatan dengan unsur H dalam tanah yang kemudian larut dalam air. Kualitas kimia air tanah pada daerah penelitian tergolong sangat baik atau layak dikonsumsi berdasarkan Standar Kualitas Air Minum Nomor 492 / Menkes / Per / IV / 2010. Hasil analisis lainnya menunjukkan bahwa kualitas air tanah untuk lahan pertanian adalah baik, hal ini dibuktikan dengan klasifikasi Wilcox, air tanah daerah penelitian termasuk kedalam kelas C1S1 dan kelas C1S2, yang tergolong dalam salinitas dan gangguan sodium rendah.

**Kata-kata kunci** : Gunung Merapi, hidrogeokimia, kualitas kimia air tanah, pertanian

### PENDAHULUAN

Air tanah merupakan elemen penting sebagai sumberdaya alam karena memiliki peranan penting dalam penyediaan pasokan kebutuhan air untuk berbagai keperluan. Pengambilan airtanah untuk berbagai macam kebutuhan telah memberikan kontribusi yang sangat besar dalam meningkatkan kualitas hidup manusia baik secara sosial maupun ekonomi. Peranan airtanah yang semakin vital tersebut, maka dalam pemanfaatannya harus memperhatikan keseimbangan dan pelestarian.

Gunung Merapi merupakan gunung berapi aktif yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis, Gunung Merapi terletak pada 110°26'30"BT dan 7°32'30"LS dengan ketinggian 2980 meter diatas permukaan laut, dan secara administratif Gunung Merapi terletak pada 4 wilayah kabupaten yaitu Kabupaten Sleman di Provinsi Yogyakarta, dan Kabupaten Magelang, Boyolali, serta Klaten di Provinsi Jawa Tengah. Daerah Gunung Merapi termasuk daerah rawan bencana karena tingginya tingkat bencana erupsi seperti banjir lahar dingin yang dampaknya sangat berpengaruh pada kehadiran air tanah.

Lokasi penelitian berada 7 km dari Gunung Merapi dan termasuk dalam daerah rawan bencana erupsi ditambah dengan aktivitas vulkanik Gunung Merapi yang terus berlangsung hingga saat ini, sehingga penelitian ini sangat menarik untuk dibahas, khususnya mengenai hidrogeokimia air tanah daerah penelitian. Karakter kimia air tanah tersebut nantinya dapat digunakan untuk menentukan kualitas kimia air tanah pada daerah penelitian. Oleh karena itu pemetaan geologi beserta analisa hidrogeokimia diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi hidrogeologi serta informasi kualitas kimia air tanah secara tepat.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pemetaan geologi permukaan meliputi pengamatan litologi, geomorfologi, dan stratigrafi, serta pemetaan kondisi hidrogeologi meliputi mengukur tinggi muka air tanah, pengamatan fisik airtanah (pH, suhu, TDS, DHL) serta pengambilan sampel air tanah pada sumur warga dan mata air daerah penelitian untuk di analisa di laboratorium. Kedua data tersebut menjadi acuan dasar dalam penentuan fasies

hidrogeokimia air tanah serta kandungan kualitas kimia air tanah yang ada. Analisis diagram Trilinier Piper digunakan untuk mengetahui fasies hidrogeokimia air tanah, analisis diagram Stiff digunakan untuk mengetahui perbedaan dan persamaan komposisi kimia air tanah dan analisis diagram Wilcox digunakan untuk mengetahui kualitas air tanah untuk irigasi maupun lahan pertanian.

## **Geologi Daerah Penelitian**

### **Stratigrafi daerah telitian**

Stratigrafi regional yang digunakan oleh penulis yakni mengacu pada stratigrafi gunung Merapi berdasarkan Paripurno (2006) membagi menjadi lima aktivitas gunungapi Merapi dari tua hingga muda, yaitu Pra Merapi (>8787 SM), Merapi Tua (8787 SM – 200 SM), Merapi Dewasa (200 SM – 220), Merapi Muda (220 – 1811), dan Merapi Baru (>1811).

- Merapi Baru (>1811)  
Merapi baru disusun oleh satuan lava Merapi 5 (Mlv5) Watugaruda, satuan aliran piroklastika Merapi 4 (Map4) Brubuhan, satuan jatuhan piroklastika Merapi 4 (Mjp4) Pasarbubar, satuan lahar Merapi 5 (Mlh5) Kalikrasak dan satuan lahar Merapi 4 (Mlh4) Kaliworo.
- Merapi Muda (220-1811)  
Merapi muda disusun oleh satuan lava Merapi 4 (Mlv4) Alap-alap, satuan aliran piroklastika Merapi 3 (Map3) Kaliurang, satuan jatuhan piroklastika Merapi 3 (Mjp3) Sumber, dan satuan lahar Merapi 3 (Mlh3) Kalikuning.
- Merapi Dewasa (200 SM – 220)  
Merapi dewasa disusun oleh endapan satuan lahar Merapi 2 (Mlh2) Gendol, hasil pengendapan ulang satuan aliran piroklastika Merapi 2 (Map2) Deles dan satuan jatuhan piroklastika Merapi 2 (Mjp2) Kinahreja, serta retas dari satuan lava Merapi 3 (Mlv3) Batulawang.
- Merapi Tua (8787 SM – 200 SM)  
Merapi tua disusun oleh endapan satuan lahar Merapi 1 (Mlh1) Luwuk, hasil pengendapan ulang satuan aliran piroklastika Merapi 1 (Map1) Rogobelah, dan satuan jatuhan piroklastika Merapi 1 (Mjp1) Sela, serta retas dari satuan lava Merapi (Mlv3) Watulawang.
- Pra Merapi (>8787 SM)  
Pra Merapi disusun oleh tubuh satuan lava Merapi 1 (Mlv1) Plawangan dan satuan lava Merapi 2 (Mlv2) Bibi. Satuan lava Merapi 1 (Mlv1) Plawangan merupakan sisa tubuh gunung Merapi tua yang pada saat ini merupakan pembentuk utama tubuh gunung Turgo dan gunung Plawangan yang terletak 6 kilometer di sebelah selatan puncak Gunung Merapi, dan mempunyai luas 1,52 km<sup>2</sup>.

### **Hidrogeologi Daerah Telitian**

Berdasarkan sifat fisik dari batuan penyusun di wilayah cekungan air tanah Magelang – Temanggung, karakteristik hidrogeologi di wilayah ini terdapat 5 satuan hidrogeologi, yaitu sistem akuifer dengan produktivitas tinggi, produktivitas akuifer sedang, setempat akuifer produktif, produktivitas kecil dan daerah airtanah langka.

## **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

### **Pola Pengaliran Daerah Penelitian**

Pola pengaliran parallel memiliki karakteristik yaitu mengalir pada cabang – cabang sungai yang memanjang atau mengikuti bentuk bentang alam pada daerah tersebut serta anak sungai mengalir ke arah yang sama. Pola pengaliran jenis ini menggambarkan kemiringan lereng yang cukup besar dan hampir seragam. Pada daerah penelitian berada pada lembah yang memanjang dengan orientasi arah timur laut – barat daya. Dicitrakan dengan bentuk lembah U-V serta tempat mengalir berupa *bedrock stream* yang mencirikan bahwa dinding sungai agak curam dan tingkat resistensi batuan yang tinggi. Pola pengaliran pada daerah penelitian dikontrol oleh kelerengan yang curam dan memiliki cabang sungai yang sedikit. (**Gambar 1**)

### **Geomorfologi Daerah Penelitian**

Berdasarkan aspek – aspek geomorfologi untuk pembagian satuan bentuklahan pada daerah penelitian, maka pada daerah penelitian dibagi menjadi Berdasarkan aspek – aspek geomorfologi, pada daerah penelitian dibagi menjadi 2 satuan bentuklahan, diantaranya adalah Satuan Lereng Vulkanik Bawah (V1), Satuan Lembah Aliran Lahar (V2). (**Gambar 2**)

### **Stratigrafi Daerah Penelitian**

Satuan litostratigrafi pada daerah penelitian dibuat berdasarkan pada Sandi Stratigrafi Indonesia oleh Martodjojo dan Djuhaeni (1996) serta acuan berdasarkan peneliti terdahulu Paripurno (2006). Pembagian satuan batuan pada daerah penelitian berdasarkan kenampakan fisik batuan dan ciri litologi yang meliputi struktur, tekstur, dan

komposisi batuan yang terdapat di lapangan. (**Gambar 3**). Berdasarkan hasil pemetaan geologi permukaan, pengukuran penampang stratigrafi dan hasil penelitian terdahulu, maka stratigrafi pada daerah penelitian dibagi dari tua ke muda sebagai berikut : (**Gambar 4**)

#### **Satuan aliran piroklastik Merapi**

Ciri litologi berdasarkan pengamatan di lapangan yaitu aliran piroklastik dengan warna coklat kemerahan (lapuk) abu-abu kecoklatan (fresh), struktur masif, dengan ukuran butir pasir sangat halus – bongkah (0,0625 - >256 mm), derajat pembundaran menyudut – agak membulat, derajat pemilahan buruk, kemas terbuka, memiliki komposisi yaitu fragmen andesit piroksen, pecahan arang kayu, matriks debu vulkanik struktur masif.

Satuan aliran piroklastik menempati sekitar 15% dari luas seluruh daerah penelitian, yang tersebar di bagian Timur Laut kavling, yaitu pada Desa Ngargosoko. Penentuan umur satuan aliran piroklastik Merapi penulis merujuk pada peneliti terdahulu (Paripurno, 2006) yang menyatakan bahwa satuan ini berumur Holosen atau Merapu Muda (Tahun 220 - Tahun 1811). Satuan aliran piroklastik Merapi diendapkan pada lingkungan darat gunungapi dengan fasies *proksimal volcanoclastic* (Vessel & Davies, 1981).

#### **Satuan jatuhan piroklastik Merapi**

Satuan jatuhan piroklastik Merapi merupakan endapan endapan jatuhan piroklastik hasil erupsi Gunung Merapi. Satuan ini tersusun atas litologi berupa perulangan antara lapisan lapilli dan lapisan tuff dengan ketebalan lapisan 3-20cm. Pada beberapa lokasi pengamatan, satuan jatuhan piroklastik Merapi pada lapisan lapilli di temukan kandungan skoria yang cukup melimpah dalam kondisi lapuk. Penyebaran satuan Jatuhan Piroklastik Merapi menempati sekitar 5% dari seluruh daerah penelitian dan tersingkap pada daerah tinggian atau puncak bukit. Di beberapa lokasi pengamatan satuan ini ditemukan pada dinding-dinding di pinggir jalan. Satuan ini tersebar di bagian Timur Laut daerah penelitian pada desa Ngargosoko.

Penentuan umur satuan jatuhan piroklastik Merapi penulis merujuk pada peneliti terdahulu (Paripurno, 2006) yang menyatakan bahwa satuan ini berumur Holosen atau Merapi Muda (Tahun 220 - Tahun 1811). Satuan jatuhan piroklastik Merapi diendapkan di lingkungan darat gunungapi dengan fasies *proksimal volcanoclastic* (Vessel dan Davies, 1981).

#### **Satuan lahar Merapi-I**

Satuan lahar Merapi 1 didominasi dengan litologi berupa endapan lahar. Berdasarkan pengamatan di lapangan, ciri litologi satuan endapan lahar Merapi 1 yaitu memiliki warna coklat kemerahan (lapuk) abu-abu kecoklatan (fresh), ukuran butir pasir sangat halus – bongkah (0,0625 - >256 mm) serta terdapat fragmen raksasa (*giant fragment*) dengan ukuran mencapai 1-2m, terpilah buruk, derajat pembundaran agak membulat – menyudut, kemas terbuka, memiliki komposisi yaitu fragmen andesit piroksen, arang kayu, matriks debu vulkanik, litik, struktur masif. Satuan lahar Merapi 1 bersifat terkonsolidasi lemah – sedang antara matriks dengan fragmennya, banyak ditemukannya arang kayu di beberapa lokasi pengamatan.

Satuan lahar Merapi 1 menempati sekitar 55% dari luas seluruh daerah penelitian, yang tersebar di bagian utara, barat dan selatan kavling, meliputi Desa Mranggen, Desa Ngargosoko, Desa Pandanretno, Desa Ngadipuro, Desa Wates, dan Desa Kalibening. Penyebaran pada satuan ini umumnya banyak dijumpai pada alur – alur liar sungai. Penentuan umur satuan lahar Merapi 1 penulis merujuk pada peneliti terdahulu (Paripurno, 2006) yang menyatakan bahwa satuan ini berumur Holosen/ Merapi Muda (Tahun 220 - 1811). Satuan Lahar Merapi 1 ini diendapkan pada lingkungan darat gunungapi dengan fasies *medial volcanoclastic* (Vessel & Davies, 1981).

#### **Satuan lahar Merapi-II**

Satuan Lahar Merapi 2 merupakan satuan termuda dari daerah penelitian, yang mana satuan ini tersusun atas endapan lahar yang tersebar luas disepanjang tubuh dan tebing pada sungai-sungai besar seperti Sungai Putih, Sungai Blongkeng dan Sungai Bebeng dengan litologi yang masih berupa material lepas (*unconsolidated*) dan komponen penyusunnya yang tidak saling berikatan. Satuan ini dicirikan dengan banyak ditemukannya fragmen besar (*giant fragment*) berukuran 1-2m yang mengambang pada material lepas. Satuan lahar Merapi 2 ditemukan dengan ketebalan lapisan mencapai 2,5 – 6,8m di lapangan.

Penentuan umur dari Satuan Lahar Merapi 2 merujuk pada peneliti terdahulu (Paripurno, 2006) yang menyatakan bahwa satuan ini berumur Merapi Baru <1881. Satuan Lahar Merapi 2 terendapkan di lingkungan darat gunungapi dengan fasies *medial volcanoclastic* (Vessel & Davies, 1981).

#### **Fasies Gunungapi Daerah Penelitian**

Berdasarkan pengamatan di lapangan, analisis geomorfologi, analisis stratigrafi berupa pembuatan penampang profil dan peta geologi serta dari penampang sayatan pada peta geologi menunjukkan bahwa daerah penelitian berada pada fasies medial dan fasies proksimal (Vessel & Davies, 1981). Fasies medial pada daerah penelitian tersusun atas endapan lahar terdiri atas Satuan Lahar Merapi 1, Satuan Lahar Merapi 2, serta fasies proksimal tersusun atas Satuan Aliran Piroklastik Merapi dan Satuan Jatuhan Piroklastik Merapi.

## Hidrogeokimia Air Tanah Daerah Penelitian

Fasies hidrogeokimia air tanah mencerminkan litologi, kinetika fluida, dan pola aliran air tanah di dalam akuifer. (**Gambar 5**)

### Diagram Trilinier Piper

Berdasarkan klasifikasi menurut Back, 1966, hasil dari analisa diagram Trilinear Piper pada daerah penelitian menunjukkan titik pengeplotan jatuh pada dominasi kehadiran kation tipe Non-Dominan dan anion tipe Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) (**Gambar 6**). Berdasarkan klasifikasi tersebut bahwa fasies hidrogeokimia air tanah daerah penelitian berupa Kalsium-Magnesium-Bikarbonat ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ ) (Back, 1966). Fasies air tanah  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  ini dijumpai pada 2 satuan litologi pada daerah penelitian yaitu satuan aliran piroklastik Merapi, dan satuan lahar Merapi 1. Fasies air tanah ini di dominasi oleh ion  $\text{HCO}_3^-$  pada anion yang menunjukkan dominasi sistem air tanah bebas yang berinteraksi dekat permukaan atau unsur  $\text{CO}_2$  di udara bebas yang berikatan dengan unsur H dalam tanah yang kemudian larut dalam air, hal ini ditunjukkan dengan kemunculan 5 mata air di permukaan pada daerah penelitian. Sedangkan untuk ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  pada kation yang diinterpretasikan berasal dari pelarutan mineral plagioklas, hornblende dan piroksen yang terkandung dalam batuan vulkanik. Hal ini dapat dilihat dari sayatan petrografi bahwa fragmen dari satuan aliran piroklastik Merapi, satuan lahar Merapi 1, dan satuan lahar Merapi 2 berupa Andesit Piroksen.

### Diagram Stiff

Berdasarkan hasil analisis diagram Stiff pada daerah penelitian baik pada sampel sumur gali maupun mata air, bahwa pola diagram Stiff menunjukkan pola yang seragam, hal ini dikarenakan litologi pada lokasi pengamatan air tanah berasal dari sumber yang sama yaitu Gunung Merapi (**Gambar 7**). Tipe kimia air tanah pada daerah penelitian yaitu Kalsium Bikarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Tipe air tanah ini didominasi oleh kandungan ion yang tinggi yaitu ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan ion  $\text{HCO}_3^-$  dibandingkan dengan ion lainnya. Keterdapatannya  $\text{HCO}_3^-$  (Bikarbonat) yang melimpah di semua sampel air tanah diinterpretasikan berasal dari unsur  $\text{CO}_2$  di udara bebas yang berikatan dengan unsur H dalam tanah yang kemudian larut dalam air. Keterdapatannya unsur Kalsium (Ca) berasal dari mineral-mineral pada batuan beku seperti piroksen, hornblende, dan plagioklas. Unsur ini terletak pada batuan beku sebagai fragmen dari litologi aliran piroklastik dan endapan lahar.

### Kualitas Kimia Air Tanah Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil uji 8 sampel air tanah pada daerah penelitian, secara keseluruhan air tanah pada daerah penelitian sangat baik dan mempunyai kualitas yang sangat baik dan layak digunakan baik untuk dikonsumsi maupun digunakan untuk bahan baku rumah tangga sehari-hari. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisa 8 sampel air tanah baik pada sumur gali maupun mata air, tidak ada nilai unsur kimia air tanah yang melebihi ambang batas Standar Kualitas Air Minum Nomor 492 / Menkes / Per / IV / 2010.

### Kualitas Air Tanah Untuk Pertanian

Berdasarkan hasil uji terdapat 8 sampel air tanah, air tanah pada daerah penelitian memiliki kualitas yang baik untuk lahan pertanian (klasifikasi Wilcox, 1948) (**Gambar 8**). Klasifikasi ini yaitu untuk memberikan rekomendasi kualitas air yang sesuai dengan kepentingan irigasi maupun lahan pertanian, yang dilihat dari dua parameter yaitu kadar *sodium adsorption ratio* (SAR) dan juga daya hantar listrik (DHL) yang menunjukkan salinitas. Berdasarkan hasil plotting pada grafik Wilcox didapatkan 2 kelas, yaitu Kelas pertama yaitu kelas C1S1 dan kedua yaitu kelas C1S2 (**Tabel 5**). Kedua kelas tersebut di kategorikan dalam kondisi yang baik untuk pertanian. Hal ini dikarenakan pada ke-8 sampel air tanah tersebut termasuk kedalam kondisi yang salinitasnya rendah sehingga tidak berpotensi secara signifikan untuk mengganggu proses perkembangan tanaman, sedangkan untuk potensi gangguan sodium pada tanah juga rendah sehingga tidak bersifat *toxic* yang mengganggu tanaman pada lahan pertanian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afita, S. 2015. Kimia Air Tanah di Cekungan Air Tanah Magelang- Temanggung, Kabupaten Temanggung dan Magelang, Provinsi Jawa Tengah, *Jurnal Nasional Kebumihan Ke-8*
- Back., 1966: *Hydrochemical Facies and Groundwater Flow in Northern part of Atlantic coastal plain*, U.S.G.S.Paper, No.498a, pp.A42.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Semarang, 2018
- Bogie, L., dan Mackenzie, K.M., 1998. The application of volcanic facies models to an andesitic stratovolcano hosted geothermal system at Wayang Windu, Java, Indonesia. *Proceedings, 20 New Zealand Geothermal Workshop*, Pp 265-276
- Bronto., et al. 2006. Geomorphological Approach for Regional Zoning in The Merapi Volcanic Area. *Dalam Indonesia Journal of Geography : Faculty of Geography GMU, Jogjakarta.*

- Bronto, S. 2006. Fasies Gunungapi dan Aplikasinya. Dalam Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No. 2 Juni 2006: 59-71
- Cas, R.A.F., dan Wright, J.V., 1987, *Volcanic Succesion, modern and ancient*, Allen & Uwwin Publisher Ltd., London
- Canter, L., Knox, R. and Fairchild, D., 1987, *Groundwater Quality Protection*, Lewis Publisher, Inc., Chelsea, Michigan.
- Direktorat Geologi Tata Lingkungan, 1985. Hidrogeologi CAT Magelang-Temanggung. Dalam *Jurnal Nasional Kebumihan Ke-8*
- Fetter, C.W., 2001. *Applied Hydrogeology Fourth Edition*. Prentice-Hall Inc, USA, 37-45, 368, 378.
- Fisher, R., & Schmincke, H.-U. (1984). *Pyroclastic Rocks*. New York: Springer-Verlag.
- Freeze, R.A. dan Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice Hall, Inc., United State of America.
- Ian Clark. 2015, *Groundwater Geochemistry and Isotop*, CRC Press. New York
- Kruseman, G.P., dan de Ridder, N.A., 1994, Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Bull. 11, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands
- Paripurno, E. T. (2006). *Karakter Lahar G. Merapi Sebagai Respon Perbedaan Jenis Erupsi Sejak Holosen*. Bandung : Universitas Padjajaran.
- Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Todd, D.K., 1980, *Groundwater Hydrology*, New York: John Wiley and Sons.
- Tolman, C. F. 1937. *Groundwater*. McGraw-Hill Book Company, Inc., California
- Van Bemmelen. (1949). *The Geology of Indonesia*. The Hague, Vol IA, 732 p
- Wilcox, L.V., 1955, *Clasifcation and Use of Irrigation Use*, US. Dept. Agric. Circ. 969. Washington, D.C., 40 pp.
- Wirakusumah, A., Juwana H., & Loebis, H. 1989. *Peta Gunungapi Merapi, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta & Jawa Tengah*. Bandung : Badan Geologi

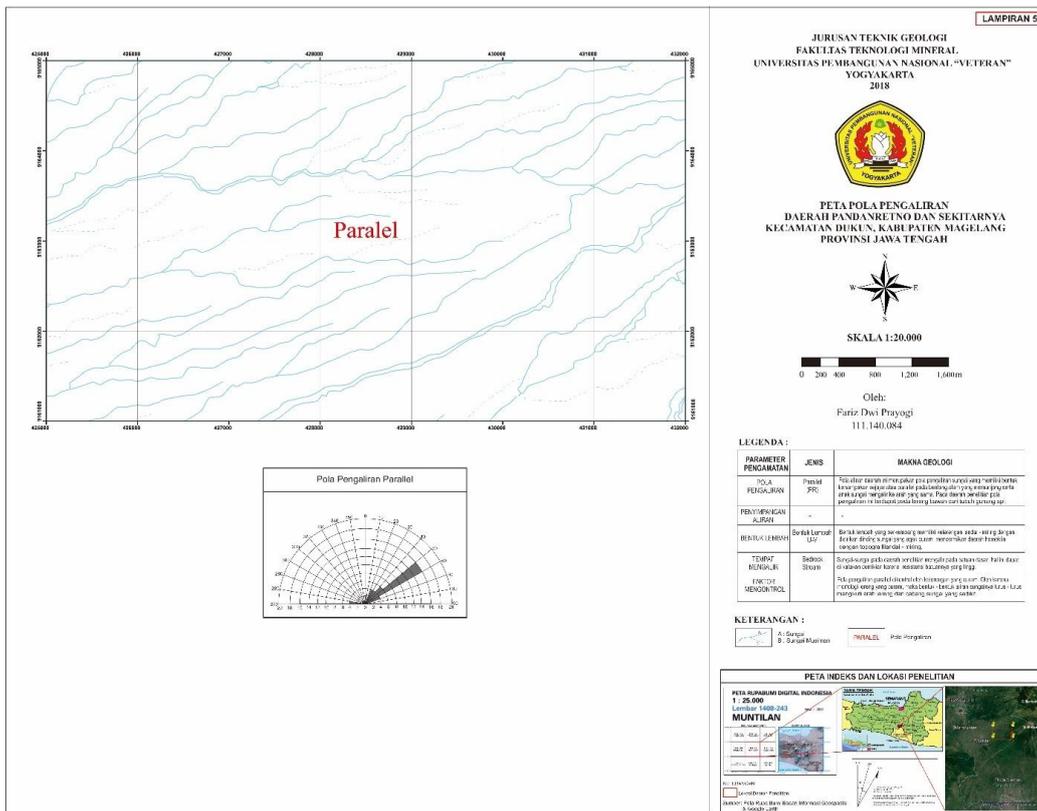
## LAMPIRAN-LAMPIRAN

**Tabel 1.** Hasil uji kimia air tanah pada 8 sampel daerah penelitian (dalam mg/L)

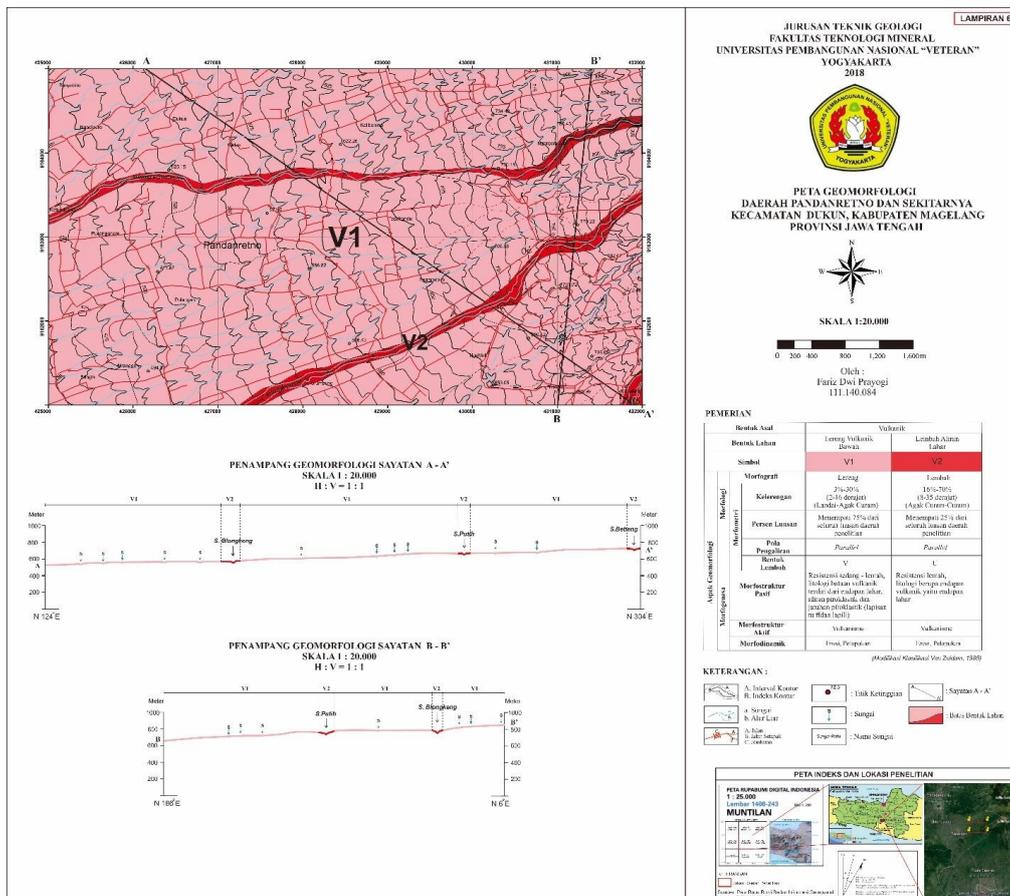
UNSUR	PARAMETER	SATUAN	HASIL UJI SAMPEL							
			FDP-1	FDP-2	FDP-3	FDP-4	FDP-5	FDP-6	FDP-7	FDP-8
KATION	Na	mg/L	20	20	19	22	23	17	17	17
	K	mg/L	9	7	12	9	12	10	9	6
	Ca	mg/L	19,30	17,69	16,08	20,90	20,90	20,10	20,90	19,30
	Mg	mg/L	8,78	5,86	8,79	8,79	8,79	2,93	1,46	7,33
ANION	Cl	mg/L	10	5,5	12,6	12	10,5	9,3	9	7,5
	SO <sub>4</sub>	mg/L	30	27	30	13	27	16	17	26
	HCO <sub>3</sub>	mg/L	97,6	91,5	73,2	109,8	109,8	73,2	73,2	79,3

**Tabel 2.** Hasil konversi 8 sampel kimia air tanah pada daerah penelitian (dalam meq/L)

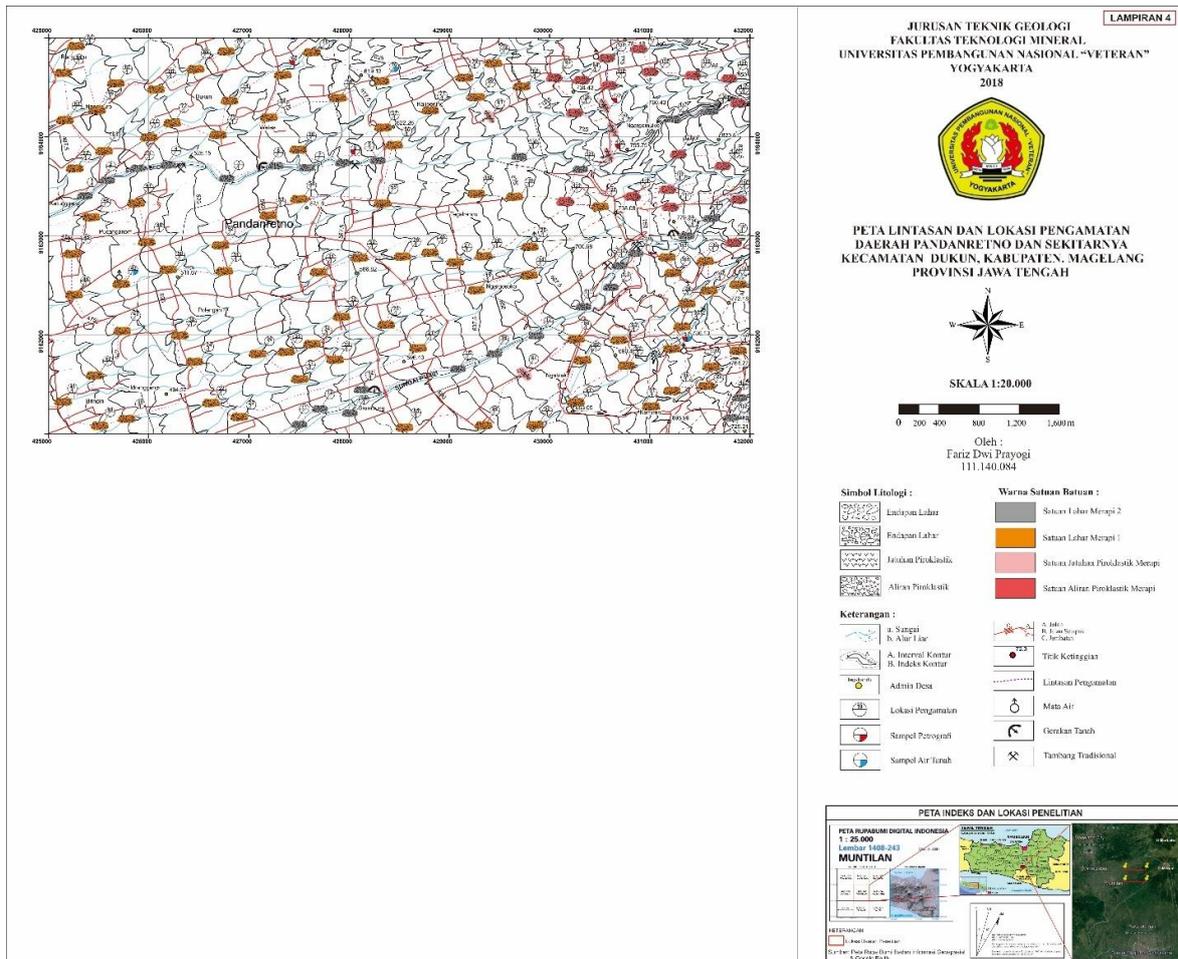
Kode	Kandungan Ion Utama (meq/L)						
	Ca	Na	K	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	HCO <sub>3</sub>
FDP-1	37,69	34,03	9	28,27	24,93	11,23	63,82
FDP-2	39,5	38,91	8,01	21,57	25,36	6,98	67,64
FDP-3	34,12	35,12	13,05	30,75	28,67	16,28	55,04
FDP-4	38,3	35,13	8,45	26,56	11,24	14,03	74,72
FDP-5	37,7	36,15	11,09	26,14	21,16	11,12	67,71
FDP-6	50,57	37,27	12,89	12,15	18,56	14,59	66,84
FDP-7	54,82	38,85	12,1	6,31	19,59	14,02	66,38
FDP-8	41,77	32,06	6,65	26,15	26,38	10,29	63,32



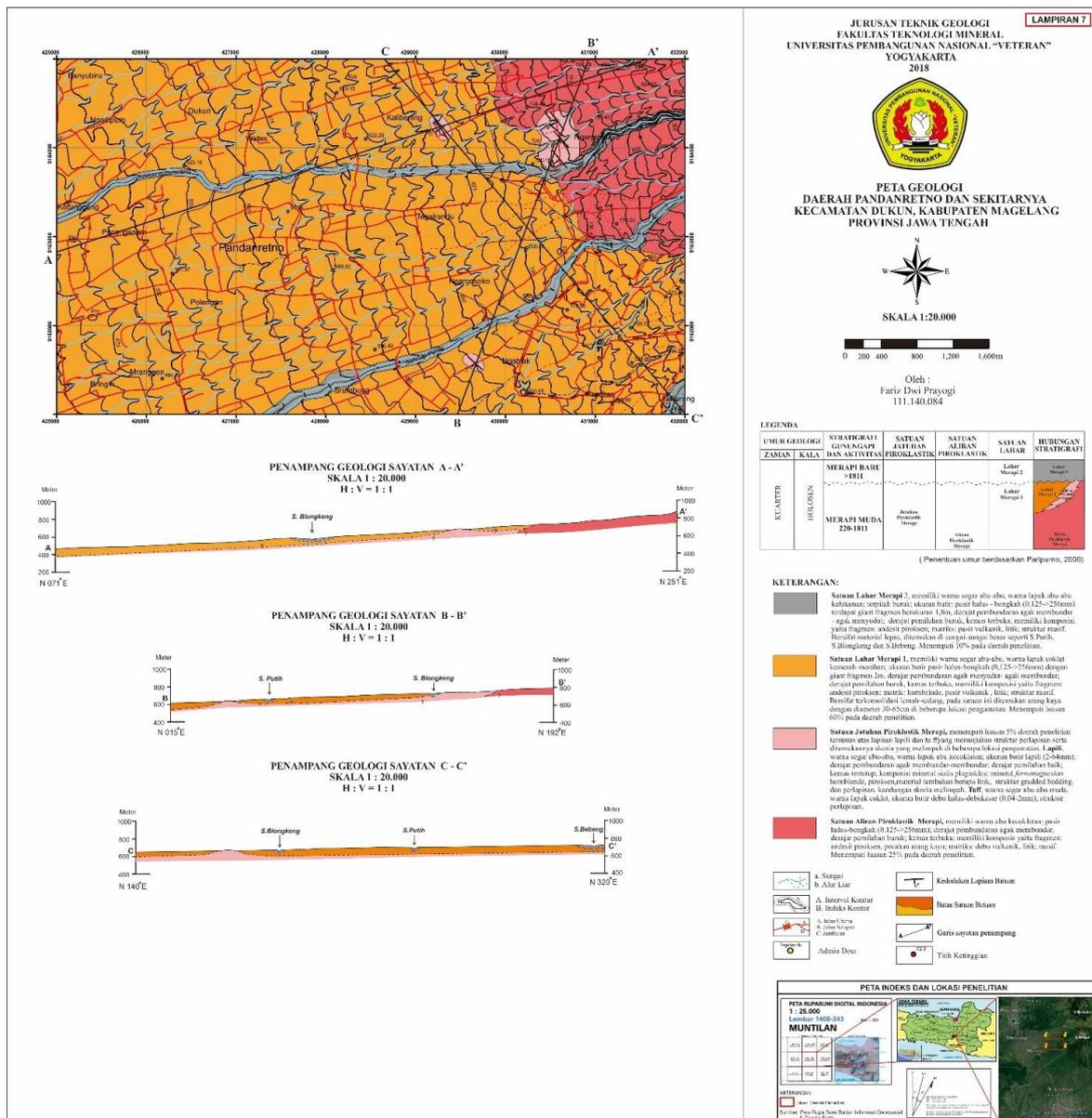
Gambar 1. Peta pola pengaliran daerah penelitian



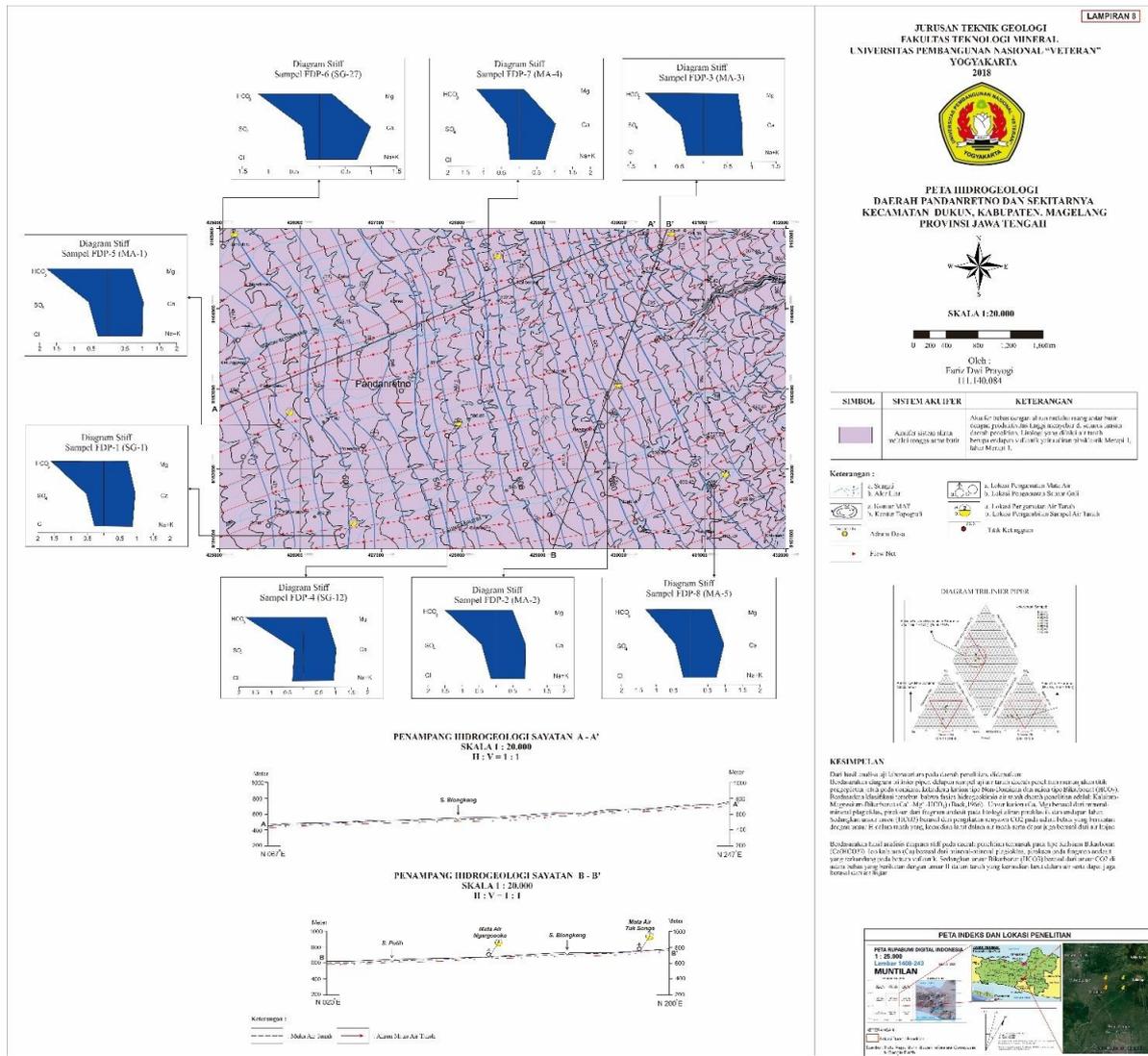
Gambar 2. Peta geomorfologi daerah penelitian



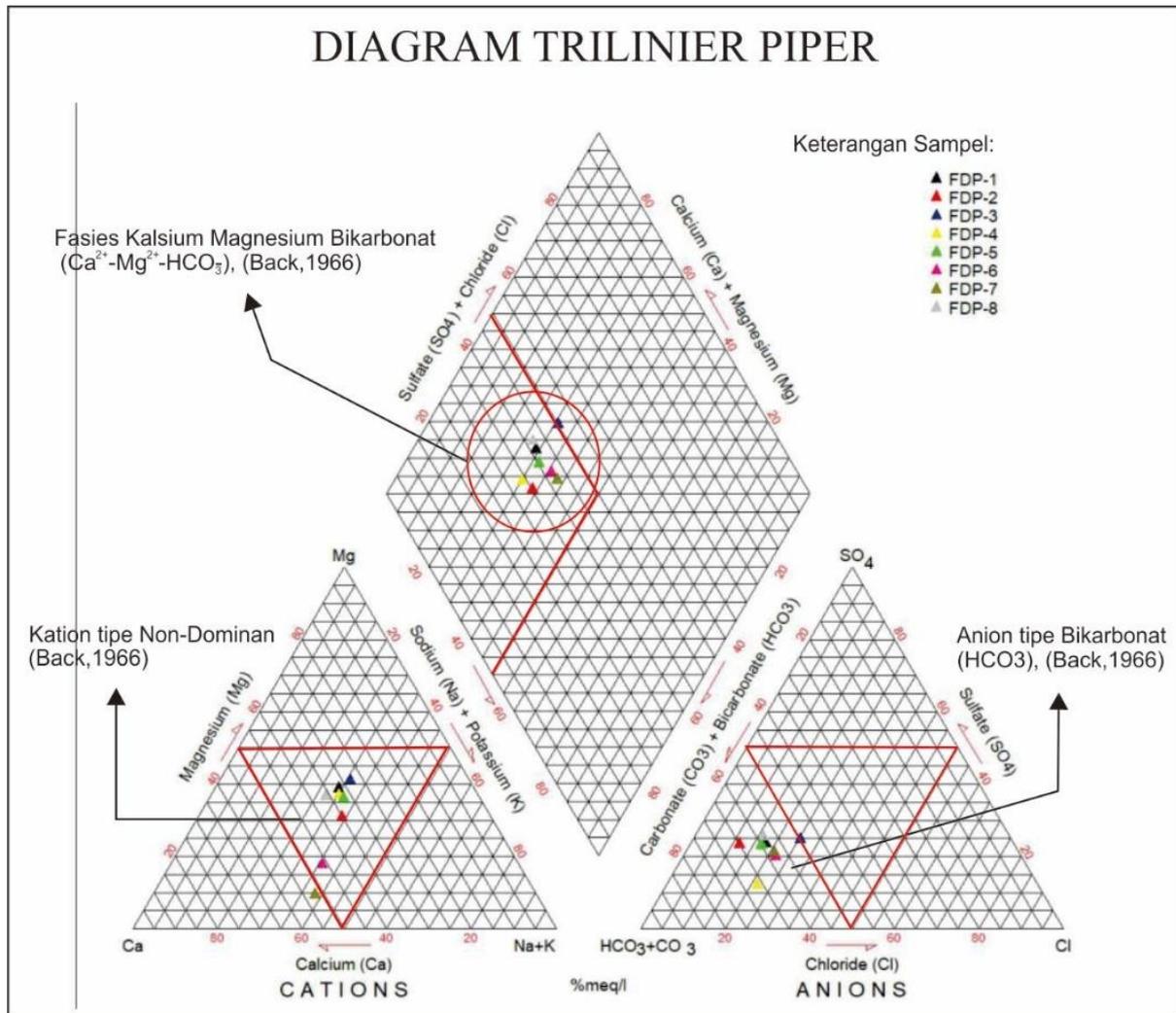
Gambar 3. Peta lintasan daerah penelitian



Gambar 4. Peta geologi daerah penelitian



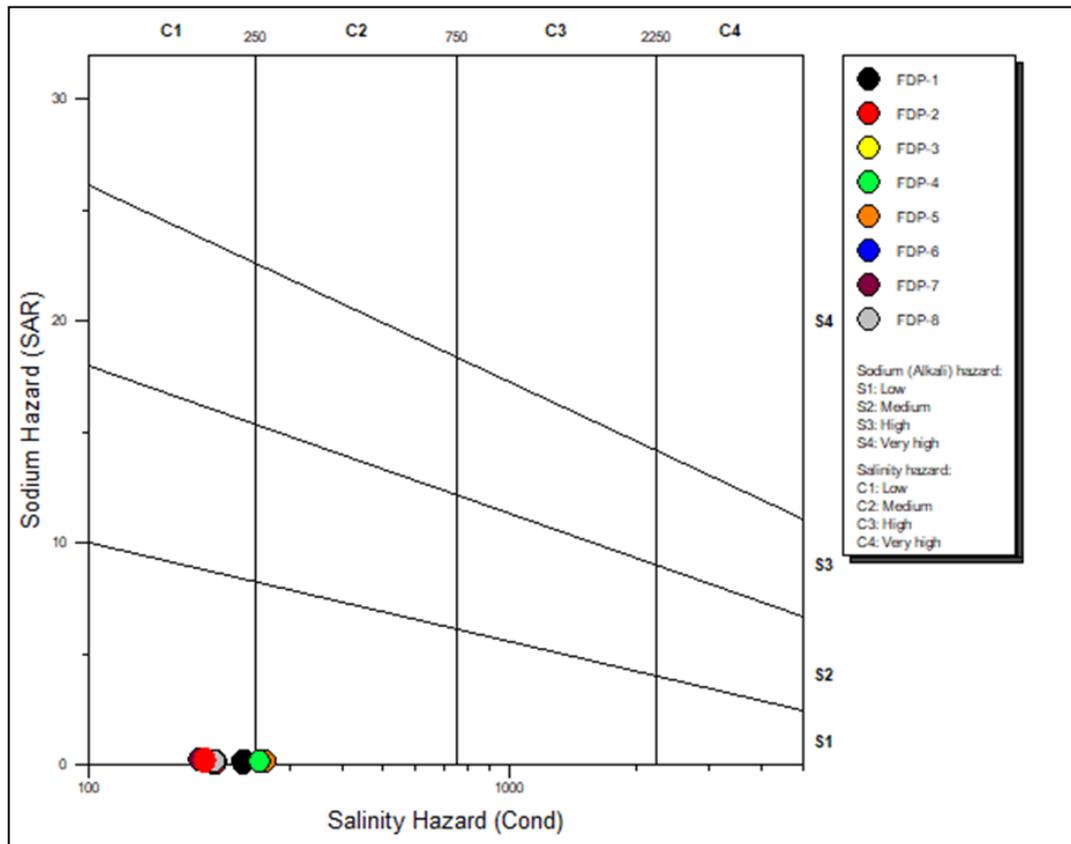
Gambar 5. Peta hidrogeologi daerah penelitian



**Gambar 6.** Analisis 8 sampel air tanah diagram Trilinier Piper pada daerah penelitian

No	Satuan Litologi	STA	Diagram Stiff	Kandungan ion (meq/L)
1	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-1		Mg <sup>2+</sup> = 0,72 Ca <sup>2+</sup> = 0,96 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 1,09 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,6 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,52 Cl = 0,28
2	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-2		Mg <sup>2+</sup> = 0,68 Ca <sup>2+</sup> = 0,88 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 1,03 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,5 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,43 Cl = 0,15
3	Satuan Jatuhan Piroklastik Merapi	FDP-3		Mg <sup>2+</sup> = 0,72 Ca <sup>2+</sup> = 0,8 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 0,85 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,47 Cl = 0,35
4	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-4		Mg <sup>2+</sup> = 0,72 Ca <sup>2+</sup> = 1,04 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 1,18 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,8 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,27 Cl = 0,33
5	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-5		Mg <sup>2+</sup> = 0,72 Ca <sup>2+</sup> = 1,04 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 1,3 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,8 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,56 Cl = 0,29
6	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-6		Mg <sup>2+</sup> = 0,24 Ca <sup>2+</sup> = 1 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 0,98 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,33 Cl = 0,26
7	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-7		Mg <sup>2+</sup> = 0,12 Ca <sup>2+</sup> = 1,04 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 0,96 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,35 Cl = 0,25
8	Satuan Lahar Merapi 1	FDP-8		Mg <sup>2+</sup> = 0,6 Ca <sup>2+</sup> = 0,96 Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> = 0,88 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 1,3 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> = 0,45 Cl = 0,21

**Gambar 7.** Analisis diagram Stiff 8 sampel air tanah pada daerah penelitian



Gambar 8. Analisis diagram Wilcox 8 sampel air tanah pada daerah penelitian

Tabel 3. Hasil uji kelayakan air dari sifat kimia air tanah pada daerah penelitian

NO	PARA METER	HASIL UJI								BATAS KADAR MAKS	LAYAK /TIDAK LAYAK DIKONSUMSI
		FDP-1	FDP-2	FDP-3	FDP-4	FDP-5	FDP-6	FDP-7	FDP-8		
1	Na	20	20	19	22	23	17	17	17	175	LAYAK
2	K	9	7	12	9	12	10	9	6	12	LAYAK
3	Ca	19,30	17,69	16,08	20,90	20,90	20,10	20,90	19,30	250	LAYAK
4	Mg	8,78	5,86	8,79	8,79	8,79	2,93	1,46	7,33	50	LAYAK
5	Cl	10	5,5	12,6	12	10,5	9,3	9	7,5	250	LAYAK
6	SO4	30	27	30	13	27	16	17	26	250	LAYAK
7	HCO3	97,6	91,5	73,2	109,8	109,8	73,2	73,2	79,3	500	LAYAK
8	pH	6,5	6,5	7	7	7	6,5	7	7	6,5-8,5	LAYAK
9	DHL	235	200	233	256	262	189	184	198	500	LAYAK

Tabel 4. Hasil uji kelayakan air dari sifat fisik air tanah pada daerah penelitian

Parameter Fisik	Hasil Uji								Batas Maks Kualitas Air	Layak/ Tidak Di konsumsi
	FDP-1	FDP-2	FDP-3	FDP-4	FDP-5	FDP-6	FDP-7	FDP-8		
Warna	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	15 TCU	Layak
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau Tidak berasa	Layak							
Rasa	Tidak berasa	500	Layak							
TDS	117	100	116	128	131	94	94	98		Layak

Tabel 5. Hasil kualitas kimia air untuk lahan pertanian pada daerah penelitian

No	Kode Sampel	Kelas USSL	Keterangan	Sodium Hazard (S)	Salinity Hazard (C)	Kualitas Irigasi/Pertanian
1	FDP-1	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik
2	FDP-2	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik
3	FDP-3	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik
4	FDP-4	C1S2	Baik-Sedang	Sedang	Rendah	Baik
5	FDP-5	C1S2	Baik-Sedang	Sedang	Rendah	Baik
6	FDP-6	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik
7	FDP-7	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik
8	FDP-8	C1S1	Baik	Rendah	Rendah	Baik

**GEOLOGI DAN PENENTUAN KUNCI FOTO GEOLOGI,  
IDENTIFIKASI DATARAN BEKAS RAWA DAN GUNUNG API PURBA  
DI DESA SELOHARJO DAN SEKITARNYA, KECAMATAN KRETEK, KABUPATEN BANTUL,  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Flandy D. Turangan, Bambang Kuncoro, Agus Harjanto  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: geoupn@indosat.net.id

**Sari** - Dalam penelitian diperlukan metode, persiapan dan perencanaan yang tepat agar penelitian dapat berjalan sesuai rencana dan tepat sasaran, terlebih penelitian dengan basik pemetaan geologi. Hasil yang diharapkan bahwa yang akan dipetakan nantinya sesuai dengan rencana dan mengurangi timbulnya kesalahan-kesalahan dalam pemetaan. Tahap interpretasi awal atau kerja studio sangat dibutuhkan guna mengetahui kondisi geologi dan menyusun rencana lintasan. Dalam interpretasi menggunakan foto udara. Kajian interpretasi mencakup interpretasi pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi.

Penelitian ini dilakukan di daerah Seloharjo dan Sekitarnya, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode penelitian yang digunakan dibagi atas tiga tahap, yaitu tahap akuisisi merupakan perolehan data awal yang dipakai sebagai dukungan penelitian ini yaitu kajian pustaka, pemetaan geologi, percontohan dan kunci foto geologi, tahap analisis merupakan penelaahan dan penguraian atas data hingga menghasilkan simpulan akhir dan tahap sintesa merupakan hasil dari analisis sehingga menjadi kesatuan yang selaras dalam membangun model yang didapatkan.

Berdasarkan hasil interpretasi dan pengamatan di lapangan, maka dapat diketahui geologi daerah penelitian. Dalam interpretasi pola pengaliran menghasilkan geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi. Akhirnya hasil interpretasi pola pengaliran dan geomorfologi dikaitkan, sehingga menghasilkan stratigrafi dan struktur geologi di daerah penelitian.

**Kata-kata Kunci** : Geologi, kunci foto, rawa purba, gunung api purba.

## **PENDAHULUAN**

Daerah penelitian terletak di Desa Seloharjo dan sekitarnya, Kec. Kretek, Kab. Bantul, Prov. Daerah Istimewa Yogyakarta. Menurut Srijono, dr (2008), daerah penelitian terdiri atas bentuklahan-bentuklahan pegunungan struktural terbiku kuat, pegunungan struktural terbiku sedang, sisa vulkanik, kerucut kars bundar, gump pasir dan gisik.

Berdasarkan interpretasi peta Rupa Bumi Indonesia (skala 1:25.000) perbesaran skala 1:12.500, foto udara dengan skala 1:40.000 dan citra *google earth*, dilakukan interpretasi geomorfologi bahwa di daerah penelitian terdiri atas bentukan-bentukan asal kars, fluvial, marine, eolian dan denudasional. Bervariasinya bentukan asal di daerah penelitian mencerminkan bervariasinya struktur geologi dan litologi yang mengendalikan. Menurut Thornbury (1969), proses-proses geomorfologi meninggalkan bekasnya yang spesifik terhadap bentuk-bentuk permukaan bumi dan tiap proses geomorfologi membentuk suatu kumpulan bentuk-bentuk permukaan bumi (*assemblage of landforms*) yang khas.

Menurut Rahardjo, dr (1992), daerah penelitian disusun oleh Formasi Nglanggran, Formasi Wonosari dan Endapan Gunung api Merapi Muda. Secara stratigrafi hubungan antara keempat formasi tersebut adalah tidak selaras.

Mengacu Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo dr., 1995), daerah penelitian memiliki sesar-sesar yang berarah NE-SW dan NW-SE. Menurut Surono (2009), struktur geologi daerah penelitian berarah N-S dan NW-SE.

Terbatasnya referensi mengenai kunci foto udara di Indonesia, maka dianggap perlu, penting dan mendesak untuk dilakukan pembuatan kunci foto yang kajiannya meliputi aspek-aspek geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi. Selain itu kunci foto dapat memecahkan studi khusus, yaitu (1) Identifikasi daratan bekas rawa dan (2) Gunung api purba.

## **Model Geologi Regional**

Menurut Srijono, dr (2008), daerah penelitian terdiri atas bentuklahan-bentuklahan pegunungan struktural terbiku kuat, pegunungan struktural terbiku sedang, sisa vulkanik, kerucut kars bundar, gump pasir dan gisik.

Mengacu Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo, 1995), daerah penelitian terdiri atas Formasi Nglanggran, Formasi Wonosari dan Endapan Gunung Merapi. Menurut Surono (2009), daerah penelitian terdiri atas Formasi Nglanggran, Wonosari, Gump Pasir Parangkusumo serta Aluvium. Hubungan antar satuan adalah tidak selaras.

Mengacu Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo drr., 1995), daerah penelitian memiliki sesar-sesar yang berarah NE-SW dan NW-SE. Menurut Surono (2009), struktur geologi daerah penelitian berarah N-S dan NW-SE.

**METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini menggunakan tahapan yaitu akuisisi merupakan perolehan data awal atau bahan - bahan yang dipakai sebagai dukungan penelitian ini yaitu kajian pustaka, pemetaan geologi, permecontohan dan pembuatan kunci foto geologi. Analisis merupakan penelaahan dan penguraian atas data hingga menghasilkan simpulan akhir. Sintesa merupakan hasil dari analisis sehingga menjadi kesatuan yang selaras dalam membangun model yang didapatkan.

**Objek Penelitian dan Pengamatan**

Adapun objek penelitian adalah mengamati secara lebih detil mengenai geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi pada citra dan kondisi lapangan di daerah Seloharjo dan sekitarnya, Kec. Purwosari, Kab. Gunung Kidul, Prov. Daerah Istimewa Yogyakarta.

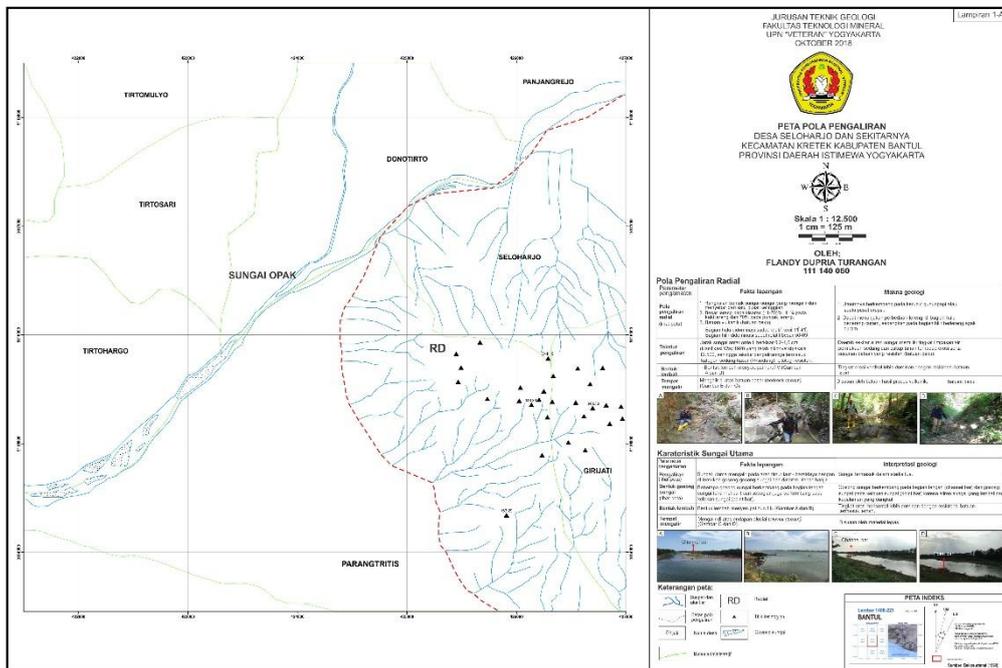
Objek pengamatan yang dilakukan adalah mengamati foto udara guna menentukan kunci-kunci foto yang menjelaskan mengenai geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi di daerah penelitian.

**PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil analisis-analisis menggunakan peta topografi, foto udara dan citra *google earth* (Gambar 1) serta pengamatan langsung di lapangan, maka dapat diketahui pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi daerah penelitian. Penjelasan hasil analisis adalah sebagai berikut:

**Pola pengaliran**

Menurut Howard (1967), pola pengaliran adalah kumpulan aliran-aliran sungai hingga bagian terkecilnya pada batuan yang mengalami pelapukan atau tidak dan ditempati oleh sungai secara permanen. Pola pengaliran di daerah penelitian, yaitu pola pengaliran radial.



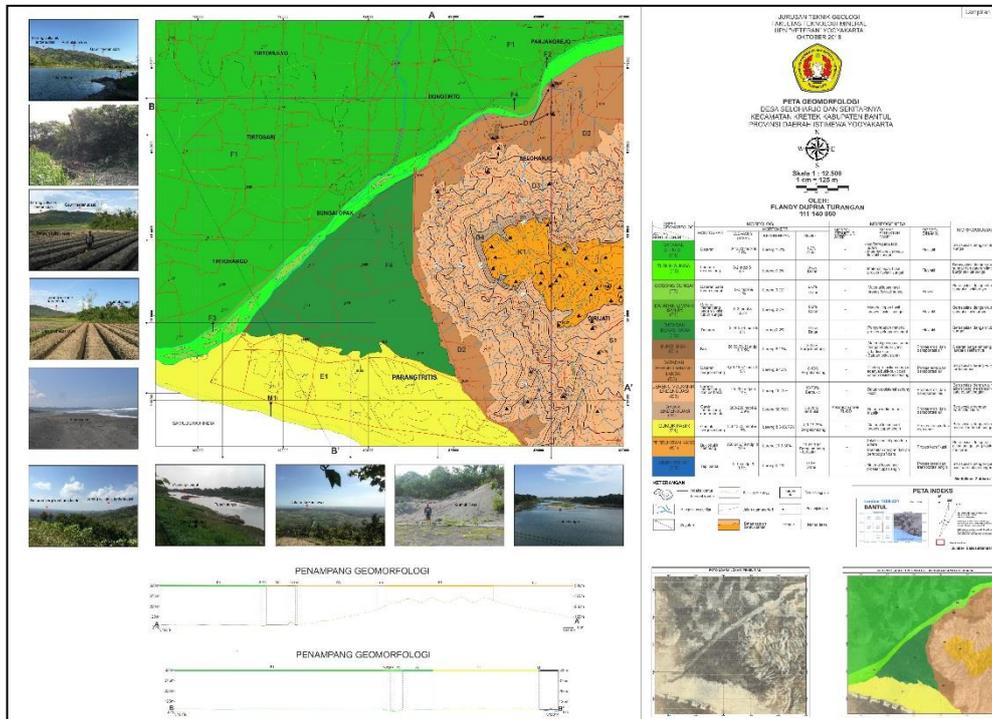
Gambar 1. Peta pola pengaliran daerah penelitian.

**Geomorfologi**

Berdasarkan hasil interpretasi dan pengamatan di lapangan, maka daerah penelitian dapat dibagi menjadi 12 satuan bentuklahan, yaitu:

1. Bentuk asal fluvial, terdiri atas satuan-satuan bentuklahan tubuh sungai, dataran alluvial, dataran limpah banjir, gosong sungai dan dataran bekas rawa.

2. Bentuk asal denudasional, terdiri atas satuan-satuan bentuklahan bukit sisa, dataran bergelombang landai, lereng vulkanik terdenudasi, gawir terdenudasi.
3. Bentuk asal eolian, terdiri atas satuan bentuklahan gumuk pasir.
4. Bentuk asal kars, terdiri atas satuan bentuklahan perbukitan kars.
5. Bentuk asal marine, terdiri atas satuan bentuklahan bibir pantai.



Gambar 2. Peta pola pengaliran daerah penelitian.

### Stratigrafi

Berdasarkan hasil analisis-analisis pola pengaliran, geomorfologi menggunakan peta topografi, foto udara dan citra *google earth* serta pengamatan langsung di lapangan, maka stratigrafi daerah penelitian urutannya dari tua ke muda dimulai dari satuan lava Nglanggran, litodem andesit, satuan batugamping Wonosari, Endapan aluvial, Endapan bekas rawa dan Endapan gumuk pasir.

### Struktur Geologi

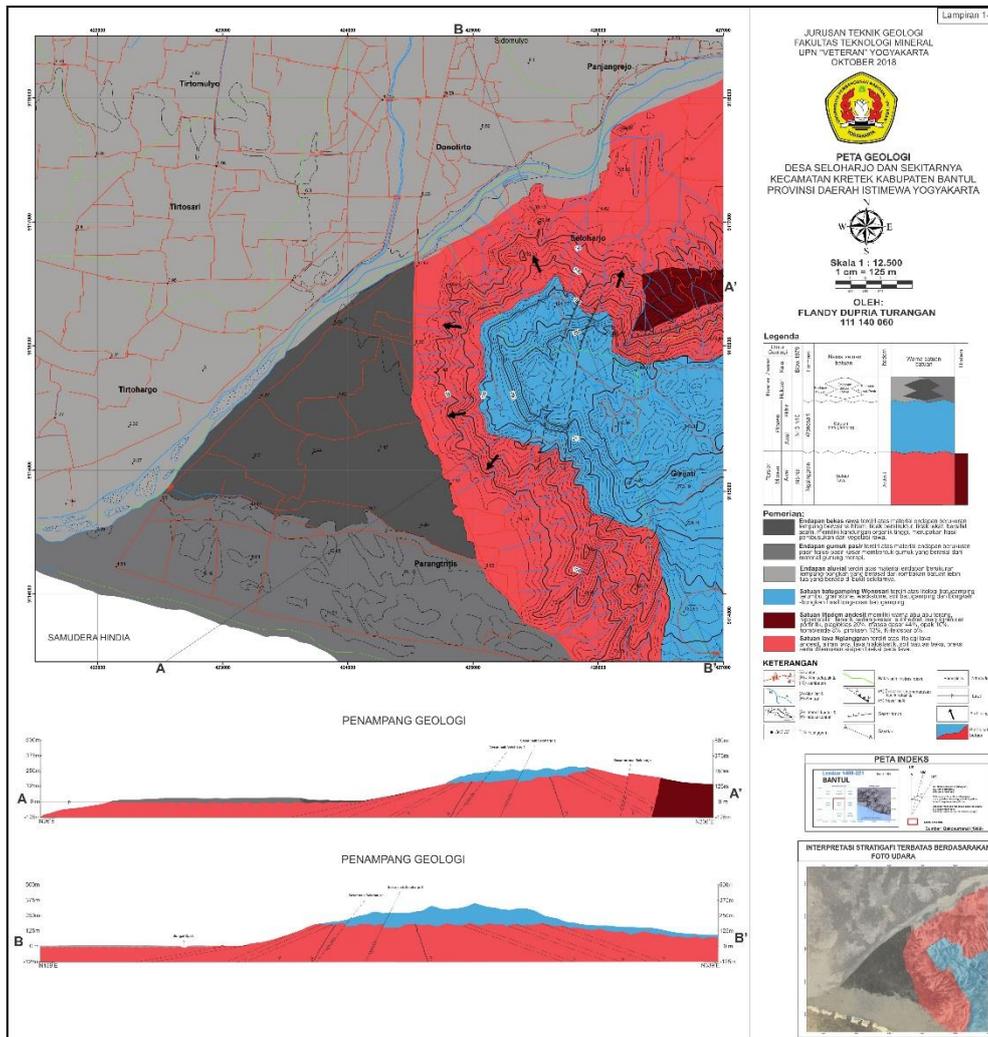
Berdasarkan hasil analisis-analisis pola pengaliran, geomorfologi dan kelurusan menggunakan peta topografi, foto udara dan citra *google earth* serta pengamatan langsung di lapangan, maka terdapat tiga sesar bearah NW-SE dan N-S (Gambar 3.).

## PEMBAHASAN

### Kunci Foto Geologi

Tujuan perolehan data interpretasi citra *google earth*, peta RBI (skala 1:25.000), dan foto udara (skala 1:40.000) adalah untuk mengetahui diantara ketiga citra tersebut manakah yang sangat membantu di dalam interpretasi geologi yang meliputi interpretasi pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi terbatas, litologi, dan struktur geologi. Peta RBI didukung oleh peta toponimi sehingga unsur geografis (nama kota, nama sungai dll) dapat terlihat dengan baik dan memudahkan dalam interpretasi penulis.

Berdasarkan hasil interpretasi dan lapangan, maka dapat dibuat kunci foto geomorfologi, stratigrafi dan struktur geologi daerah penelitian dalam Tabel 1, 2, 3, 4 dan 5.



Gambar 3. Peta pola pengaliran daerah penelitian.

Tabel 1. Kunci Foto Pola Pengaliran

No.	Parameter	Tanda-tanda pada foto udara	Interpretasi
1	Pola pengaliran dasar/ubahan	Pola pengaliran radial. Dengan rangkaian bentuk aliran sungai memancar dari satu titik pusat ketinggian (sentrifugal).	Pola pengaliran radial memiliki aliran-aliran sungai yang memancar dari satu titik pusat ketinggian (sentrifugal). Membuktikan adanya bekas gunung api purba.
2	Tekstur pengaliran	Jarak sungai antar orde 1 berkisar 0,2-4,6 cm (Klasifikasi Way, 1920 yang telah di konversi), sehingga tekstur pengalirannya termasuk kategori sedang-kasar (>>sedang).	Di susun oleh batuan bertekstur kasar. Berasosiasi dengan pola pengaliran radial sehingga dapat diinterpretasi merupakan batuan hasil vulkanik.
3	Bentuk lembah	Rona: abu-abu cerah hingga gelap bergradasi. Semakin bergradasi gelap ronanya maka semakin dalam dan terjal.	Berbentuk menyerupai V terjal.
		Rona: abu-abu cerah hingga gelap bergradasi. Semakin bergradasi gelap ronanya maka semakin dalam dan terjal, semakin bergradasi cerah ronanya maka semakin landai.	Berbentuk menyerupai V terjal hingga V landai.
4	Tempat mengalir	Tekstur khusus: <i>scrabbled</i>	Mengalir di atas batuan dasar (bedrock stream)

Tabel 2. Kunci Foto Geomorfologi

Objek yang diamati	Tanda-tanda pada foto udara		Interpretasi
Dataran aluvial	Tekstur Bentuk Pola Relief asosiasi	<i>uniform</i> dataran vegetasi dan permukiman yang berpola sejajar rendah tubuh sungai yang memanjang	Dataran hasil proses aktivitas sungai yang berasosiasi dengan tubuh sungai. Disusun oleh endapan aluvial material belum terkonsolidasi.
Tubuh sungai	Tekstur Bentuk Pola Relief asosiasi	<i>uniform</i> lembah memanjang rendah gosong sungai dan dataran limpah banjir	Lembah memanjang berupa tubuh sungai. Terdapat gosong sungai dan tersusun atas material belum terkonsolidasi.
Gosong sungai	Rona Bentuk Pola Relief asosiasi	cerah merata membulat dengan ujung lancip membulat tanggung rendah berasosiasi dengan tubuh sungai	Gosong sungai pada bagian tengah sungai yang tersusun atas endapan aluvial yang dipengaruhi oleh aktivitas sungai.
Dataran limpah banjir	Rona Bentuk Pola Relief asosiasi	abu-abu cerah dataran memanjang rendah tubuh sungai memanjang	Dataran tersusun atas material-material lepas hasil limpasan ketika terjadi banjir.
Dataran bekas rawa	Rona Bentuk Pola Relief asosiasi	gelap dataran menyerupai bentuk segitiga rendah tubuh sungai	Dataran dengan elevasi rendah, tersusun oleh endapan berwarna gelap material belum terkonsolidasi.
Bukit sisa	Rona Bentuk Pola Relief asosiasi	abu-abu di setiap yang sama antar bukit di sekitarnya bukit membulat sedang di antara relief yang rendah lereng vulkanik terdenudasi	Litologi antar bukit dan daerah sekitarnya sama.
Dataran bergelombang landai	Tekstur Bentuk Relief asosiasi	halus dataran bergelombang rendah-sedang lereng vulkanik terdenudasi	Dataran bergelombang landai yang ditandai dengan adanya bukit-bukit.
Lereng vulkanik terdenudasi	Tekstur Bentuk Pola Relief asosiasi	<i>scrabbled</i> lereng cembung memanjang dan berbelok sedang-tinggi aliran-aliran sungai yang memancar dari satu pusat titik ketinggian	Lereng membulat tanggung. Rangkaian aliran-aliran sungai rapat. Tekstur khusus <i>scrabbled</i> menurut Way (1973) mencirikan litologi lava muda dan tua.
Gawir terdenudasi	Bentuk Pola Relief asosiasi	Lereng terjal Memanjang dan berbelok Sedang-tinggi aliran-aliran sungai yang memancar dari satu pusat titik ketinggian	Lereng sangat terjal. Litologi tersusun oleh batugamping yang telah tererosi.
Gumuk pasir	Rona Bentuk Pola Relief asosiasi	cerah gumuk-gumuk memanjang memanjang rendah-sedang tubuh sungai dan bibir pantai	Kenampakan berupa gumuk-gumuk pasir material dari gunung merapi dan hasil transportasi oleh angin yang di endapkan.

Objek yang diamati	Tanda-tanda pada foto udara		Interpretasi
Perbukitan kars	Tekstur Bentuk Pola Relief	mottled bukit-bukit cembung bukit membulat sedang	Merupakan daerah bertopografi kars berbentuk bukit-bukit. Tekstur khusus <i>mottled</i> menurut Way (1957) mencirikan litologi batugamping karst.
Bibir pantai	Rona Bentuk Letak Relief asosiasi	cerah memanjang berbatasan dengan laut rendah gumuk pasir	Kenampakan dataran memanjang yang disusun oleh material lepas yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan merupakan tempat rekreasi.

Tabel 3. Kunci Foto Satuan Batuan

Objek yang diamati	Tanda-tanda pada foto udara	
Satuan lava	Tekstur khusus Tekstur Bentuk Relief Pola Asosiasi	<i>scrabbled</i> halus-sedang lereng cembung sedang membulat tanggung aliran-aliran yang memancar dari satu titik pusat ketinggian
Satuan batugamping	Tekstur khusus Tekstur Bentuk Relief Pola	<i>mottled</i> halus-sedang bukit-bukit cembung sedang bukit-bukit membulat
Endapan aluvial	Tekstur khusus Tekstur Bentuk Relief Pola Asosiasi	Uniform Halus Dataran Rendah vegetasi dan permukiman yang berpola sejajar tubuh sungai
Endapan gumuk pasir	Rona Bentuk Relief Pola Asosiasi	cerah merata gumuk-gumuk rendah-sedang memanjang tubuh sungai dan bibir pantai
Endapan bekas rawa	Rona Tekstur Bentuk Relief Pola Asosiasi	Gelap di antara rona cerah Halus Dataran Rendah Berbentuk segitiga Tubuh sungai

Tabel 4. Kunci Foto Stratigrafi Terbatas

Objek yang diamati	Tanda-tanda pada foto udara	Interpretasi
Kontak satuan batuan	Adanya aliran-aliran sungai yang memancar dari satu titik pusat ketinggian didukung dengan tekstur <i>scrabbled</i> . Kemudian ditindih di atasnya kenampakan tekstur <i>mottled</i> yang menandakan perbedaan litologi	Kontak ketidakselarasan dengan jenis non-conformity. Didukung oleh perbedaan tekstur khusus <i>scrabbled</i> berada di bawah tekstur <i>mottled</i>

Tabel 5. Kunci Foto Struktur Geologi

Parameter	Objek yang diamati	Tanda-tanda pada foto udara	Interpretasi
Struktur geologi	Sesar	Gawir memanjang	Bidang sesar

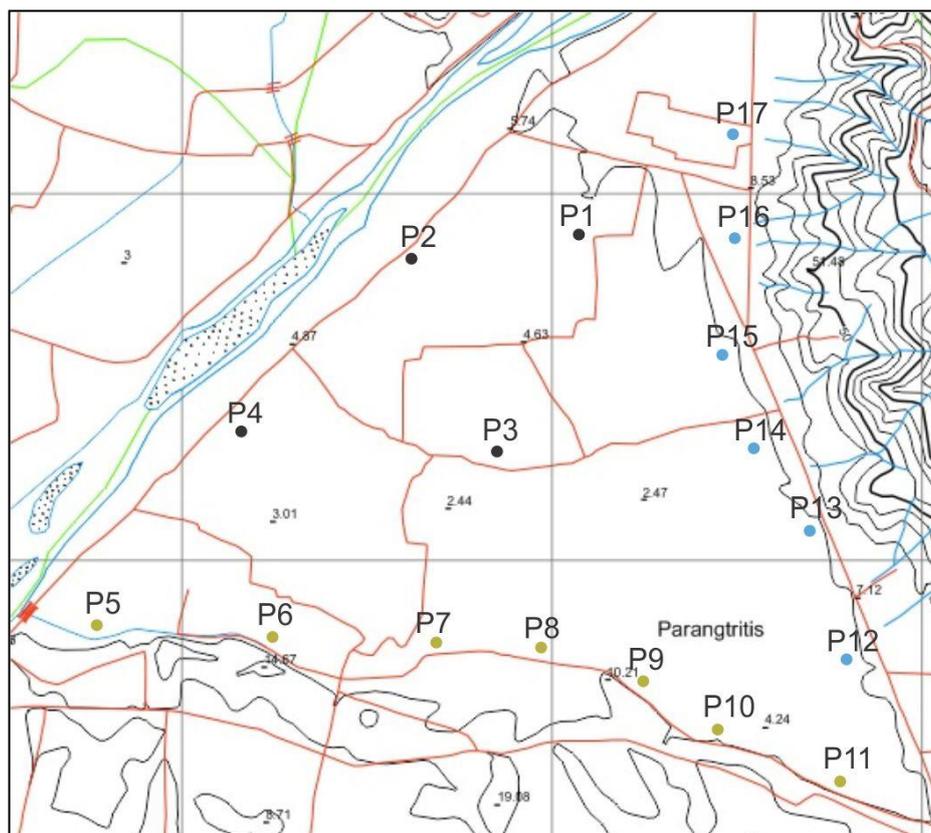
**Identifikasi Dataran Bekas Rawa**

Identifikasi dataran bekas rawa didasarkan kepada beberapa pendekatan, yaitu:

- a. Kajian pustaka yang terkait dengan tanah bekas rawa.
- b. Interpretasi citra (foto udara dan citra *google earth*).
- c. Pengamatan lapangan

Menurut Sugiharyanto (2009), tanah bekas rawa berasal dari bahan induk organik seperti dari hutan rawa atau rumput rawa yang mengandung bahan organik paling tinggi, sehingga tidak mengalami perkembangan profil membentuk horizon-horizon yang berbeda, ketebalan lebih dari 0,5 meter, warna coklat hingga kehitaman, tekstur debu lempung, tidak berstruktur, konsistensi tidak lekat-agak lekat, kandungan organik lebih dari 30% untuk tanah tekstur lempung dan lebih dari 20% untuk tanah tekstur pasir, umumnya bersifat asam (pH 3-4) dan kandungan unsur hara yang rendah.

Pengamatan tanah lapangan dilakukan dengan melakukan pengamatan detil terhadap profil tanah pada tiga lokasi utama, yaitu di bagian timur, bagian selatan, dan bagian barat-tengah (Gambar 4). pembagian ini berdasarkan hasil interpretasi citra yang memperlihatkan adanya perbedaan sumber material penyusun dataran bekas rawa. Berikut ini adalah profil-profil tanah di dataran bekas rawa.



Gambar 4. Peta lokasi pengamatan tanah.

Hasil pengamatan tanah pada bagian barat, timur dan selatan pada daerah penelitian dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan karakteristik tanah bekas rawa

Parameter Tanah	Profil Selatan	Profil Timur	Profil Barat
Warna tanah	Abu-abu	Hitam dan coklat	Hitam

Karatan	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Struktur tanah	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Tekstur tanah	Pasir sedang-halus	Lempung dan lempung kerikilan	Lempung
Konsistensi tanah	Lunak	Agak keras	Agak keras
Plastisitas	Tidak plastis	Agak plastis	Agak plastis
Permeabilitas	Sangat cepat	Lambat	Lambat
Perakaran	Sedikit-sedang	Sedikit-sedang	Sedikit-sedang
pH tanah	Asam	Asam	Asam
Unsur hara	rendah	rendah	rendah
Kandungan organik	Rendah	Tinggi	Tinggi

Tabel 7. Perbandingan karakteristik tanah bekas rawa berdasarkan peneliti sebelumnya dan penulis

Karakteristik tanah bekas rawa	Peneliti (Sugiharyanto, 2009)	Daerah penelitian
Ketebalan	Ketebalan >0.5 meter	Ketebalan mencapai 1-1,5 meter
Warna tanah	Coklat-hitam	Abu-abu sedikit dibagian Selatan, coklat hitam bagian Timur dan hitam bagian Barat >> hitam.
Struktur tanah	Tidak ada	Pada lokasi pengamatan tidak menemukan struktur tanah.
Tekstur tanah	Debu lempung	Lempung pada bagian barat, lempung kerikilan pada bagian Timur dan pasir pada bagian Selatan. >>lempung
Konsistensi tanah	Tidak lekat-agak lekat	Lunak pada bagian selatan dan agak keras pada bagian Barat dan Timur.
pH tanah	Asam	Pada daerah penelitian semua bersifat asam.
Unsur hara	Rendah	Pada daerah penelitian kandungan hara rendah.
Kandungan organik	Tinggi	Tinggi pada bagian Barat dan Timur dan sedikit pada bagian Selatan.

Akhirnya dapat disimpulkan bahwa perbedaan karakteristik tanah disebabkan oleh perbedaan material yang menyusun tanah bekas rawa, sumber material rawa pada bagian selatan berasal dari pelapukan pasir, pada bagian Timur dan Barat berasal dari pelapukan batuan beku, sehingga terdapat perbedaan-perbedaan pada karakteristik tanah bekas rawa pada bagian Selatan, Timur dan Barat.

### Identifikasi Gunung Api Purba

Mcdonald (1972) dalam Bronto (2010), mengatakan bahwa gunung api adalah tempat bukaan tempat batuan kental pijar atau gas dan umumnya kedua-duanya, keluar dari dalam bumi ke permukaan, dan bahan batuan yang mengumpul di sekeliling bukaan itu membentuk bukit atau gunung. Tempat atau bukaan yang dimaksudkan di sini adalah kawah, bila diameternya kurang dari 2000 m, atau disebut kaldera bila diameternya lebih besar atau sama dengan 2000 m Mcdonald (1972) dalam Bronto (2010). Berbeda halnya dengan gunung api purba, menurut Bronto (2010), gunung api purba atau fosil gunung api (paleovulcanoes) adalah gunung api yang pernah aktif pada masa lampau, tetapi sekarang ini sudah mati dan bahkan tererosi lanjut sehingga fitur/penampakkannya sudah tidak sejelas gunung api aktif masa kini.

Menurut Bronto (2010), gunung api purba dapat dikenali dari berbagai macam pendekatan, yaitu pendekatan analisis penginderaan jauh (inderaja) dan geomorfologi, pendekatan peta geologi, penelitian stratigrafi dan litofasies gunung api, sedimentology, struktur geologi, petrologi dan geokimia, analisis data pemboran dan pendekatan studi geofisika. Dalam hal ini, penulis menggunakan lima pendekatan yaitu: analisis penginderaan jauh (inderaja) dan geomorfologi, pendekatan peta geologi, penelitian stratigrafi dan litofasies gunung api, sedimentologi dan struktur geologi.

A. Pola Pengaliran

Pola pengaliran di daerah penelian merupakan pola pengaliran radial. Menurut Howard (1967), rangkaian bentuk alirannya menggambarkan bentukan kubah atau kerucut gunung api yang mengalir di atas batuan hasil aktivitas vulkanisme, yaitu umumnya batuan beku (Gambar 1).

B. Geomorfologi

Menurut Bronto (2010), indikasi adanya gunung api purba biasa dilakukan dengan pendekatan inderaja antara lain adanya relief paling kasar dibandingkan dengan sekelilingnya ataupun bentuk sebaran lateral relief kasar tersebut relatif melingkar. Berdasarkan hasil analisis geomorfologi, di dapatkan adanya lereng atau gawir yang melingkar atau memusat menuju pusat erupsi. Bentuk melingkar tersebut sedikit cembung yang menggambarkan bentukan kubah (Gambar 2).

C. Stratigrafi dan Fasies Gunung Api

Berdasarkan berhubungan bentang alam gunung api dan asosiasi batuan penyusunnya, maka dapat disusun fasies gunung api di daerah penelitian. Fasies gunung api daerah penelitian mengacu pada model modifikasi klasifikasi fasies gunung api menurut Bronto (2010). Berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan fasies sentral dan fasies proksimal.

1. Fasies sentral (SF) didapatkan intrusi andesit dengan dibuktikan adanya efek bakar, ditemukan xenolith dan mineralisasi berupa pirit.
2. Fasies proksimal (PF) memiliki ciri litologi lava masif, perlapisan lava, ditemukan struktur *sheeting joint, sudden death*, lava hyaloklastik dan ditemukan breksi pada beberapa lokasi penelitian.

D. Struktur Geologi

Selain oleh proses tektonik, struktur geologi dapat juga terbentuk oleh proses vulkanisme. Menurut Bronto (2010), pendekatan ini mengutamakan pola struktur geologi yang ada, seperti jurus dan kemiringan lapisan batuan serta struktur rekahan dan perlipatan. Jurus perlapisan batuan gunung api berpola konsentris mengelilingi sumber erupsi gunung api, sementara kemiringannya melandai dan memancar semakin menjauhi sumber erupsi. Di daerah penelitian didapatkan jurus perlapisan batuan berupa struktur *sheeting joint*.

E. Arah Aliran Lava

Tabel 8. Perbandingan aliran lava peneliti sebelumnya dan penulis

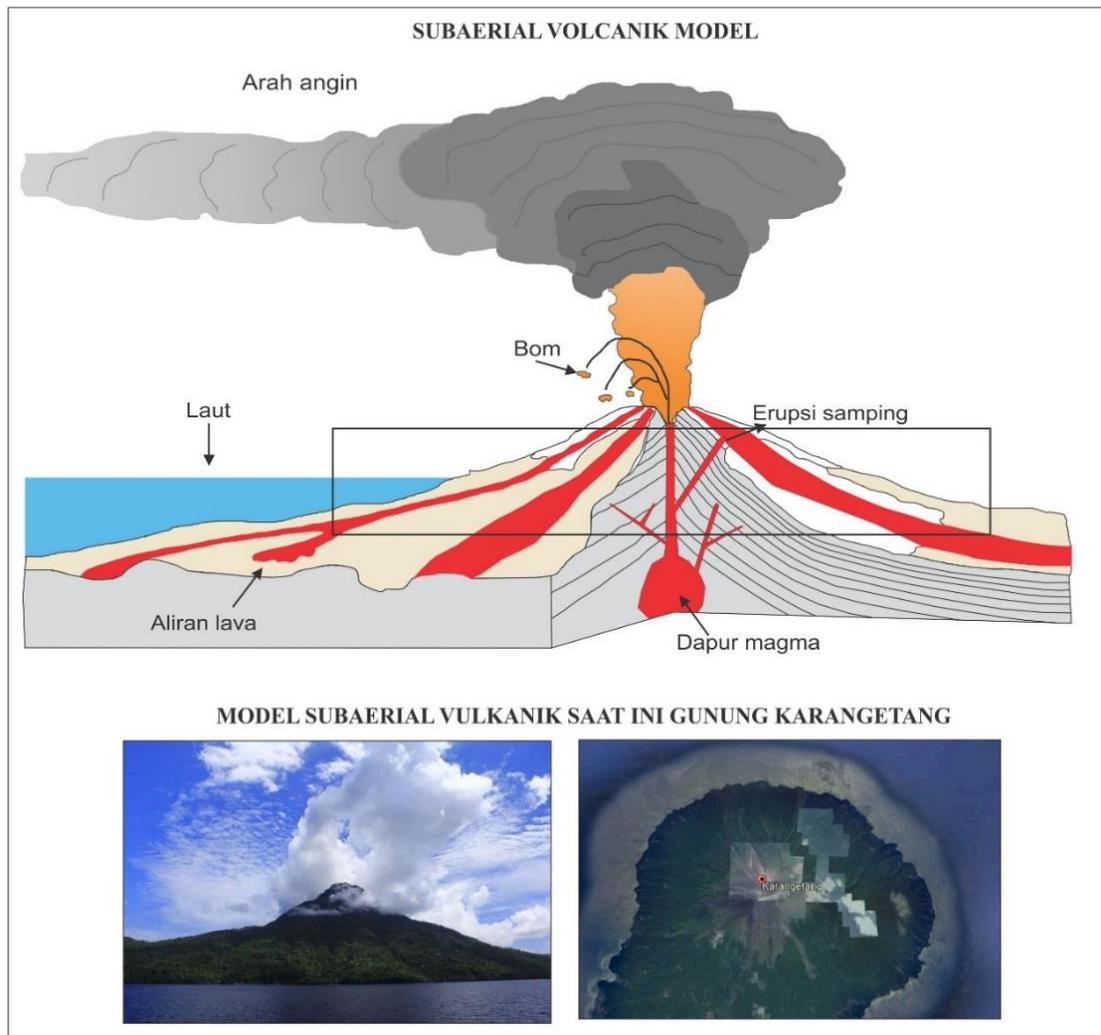
Bronto (2010)	Mulyaningsih (2015)	Penulis (2018)
1. Berbentuk aliran memanjang.	1. Struktur aliran lava.	1. Ditemukan struktur aliran lava berbentuk memanjang.
2. Diketahui berdasarkan truktur <i>bomb sag</i> .	2. Struktur punggung katak (imbrikasi).	2. Ditemukan struktur <i>bomb sag</i> pada beberapa lokasi.
3. Orientasi arah fragmen batuan.	3. Aliran lava dapat keberadaan dapat dilihat pada alur-alur sungai.	3. Ditemukan struktur <i>sudden death</i> (akhir dari pergerakan lava).
4. Membentuk struktur vesikuler, semakin encer dan basa bentuk lubang menyerupai elips.	4. Struktur <i>sheeting joint</i> .	4. Keberadaan aliran lava terdapat pada alur-alur sungai.
		5. Ditemukan struktur <i>sheeting joint</i> .

F. Perbedaan Lava Darat dan Laut

Tidak ada perbedaan yang mencolok pada bentuk fisik antara gunungapi darat dan gunungapi bawah laut, hanya saja letak dan keterdapatannya yang berbeda. Perbedaan lainnya terdapat pada karakteristik lava. Menurut Mulyaningsih (2015) pada air laut dangkal, lava sering berwarna kemerahan akibat berhubungan langsung dengan udara bebas. Hyaloclastite (McPhie dkk 1993) mempunyai pengertian bahan klastika yang terbentuk oleh disentrigrasi dan perekahan non letusan karena pendinginan yang sangat cepat pada lava dan intrusi di dasar air laut. (Bronto, 2010) di dalam air, lava yang menyentuh air langsung terbreksiasi

membentuk breksi autoklastik, dicirikan oleh batuan beku yang memiliki kenampakan seperti breksi, namun fragmen dan matriksnya memiliki komposisi yang sama.

Mulyaningsih (2015), pembentukan lava meniang dan berlembar terjadi pada lingkungan darat hal ini karena proses pembentukan lava berstruktur meniang dan berlembar terbentuk dari proses pembekuan yang cepat pada morfologi lereng gunung api. Pada tubuh aliran lava sering dijumpai sejumlah lubang yang beragam bentuk dan ukurannya. Lubang-lubang tersebut adalah bekas gas yang terlarut dalam magma (lava) yang kemudian menguap bersamaan dengan membekunya cairan tersebut. Lubang tersebut dinamakan vesikuler ini akan banyak ditemukan di bagian permukaan, sementara ke arah lebih dalam jumlahnya menjadi berkurang (Bronto, 2010). Pada daerah penelitian ditemukan lava yang bereaksi dengan HCL, hal ini juga dapat mendukung bahwa adanya lava yang terbentuk di laut. Kemudian di dukung oleh pengamatan petrografi dengan adanya kehadiran mineral kalsit.



Gambar 5. Model gunung api subaerial yang menampakan sebagian tubuh gunung api terdapat di laut dan di darat diinterpretasikan gunung api purba daerah penelitian merupakan gunung api subaerial (Mulyaningsih, 2015)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, maka kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis pola pengaliran dapat mencirikan karakteristik geomorfologi, stratigrafi (litologi dan stratigrafi terbatas) dan struktur geologi.
2. Pola sebaran satuan bentuklahan dapat mencerminkan karakteristik stratigrafi (litologi dan stratigrafi terbatas) dan struktur geologi.
3. Berdasarkan penelitian di daerah Parangtritis dan Sekitarnya, maka kunci foto geologi daerah penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman dalam interpretasi sehingga dapat mengetahui kondisi geologi daerah lain yang memiliki kenampakan pada foto udara yang sama dengan daerah penelitian.

4. Hasil indentifikasi gunung api purba berdasarkan enam analisis menunjukkan bahwa di daerah penelitian terdapat gunung api purba, yaitu gunung api purba parangtritis.
5. Hasil pengamatan tanah yang berdasarkan pengamatan profil-profil menunjukkan bahwa dataran bekas rawa memiliki perbedaan material pada bagian Utara Timur dan Selatan.
6. Potensi geologi positif berupa bahan galian non logam, mata air dan geowisata, potensi negatif berupa longsor.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada kedua pembimbing saya Dr. Ir. Bambang Kuncoro, M.T dan Dr. Agus Harjanto S.T, M.t yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. 2017. Peta RBI. <http://big.go.id/peta-rupabumi>.
- Bemmelen, R.W. Van. 1949. The Geology of Indonesia. Vol IA, General Geology. The Hague.
- Bronto. 2006. *Fasies Gunungapi dan Aplikasinya*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No. 2
- Bronto. 2010. Geologi Gunungapi Purba. Badan Geologi: Kementrian ESDM. Bandung.
- Isa Darmawijaya. 1990. Klasifikasi Tanah. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Srijono, Hesein S. Eko H. Susetyo E.Y., H. Samodra, Prakosa R. dan E. Budiadi, 2008. *Penerapan Pemetaan Geomorfologi Metode ITC dalam menganalisis Geomorfologi Pegunungan Selatan Jawa Timur*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Iagi Ke-37. Bandung.
- Howard. 1967. *Drainage Analysis in Geological Interpretation A Summation*. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. California.
- Lillesand, T, M, Kiefer, R, W. 1998. Penginderaan jauh dan Interpretasi Citra. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Margono, Fakhruddin, dalam Surono, 2009. *Peta Geologi Daerah Bantul-Wonosari*. Yogyakarta. Dalam persiapan. Yogyakarta.
- Mulyaningsih, S. 2015. Vulkanologi. Ombak. Yogyakarta.
- Muhammad Noor. 2001. Pertanian Lahan Gambut. Kanisius. Yogyakarta.
- Williams, H. and McBirney, A.R. 1979: *Volcanology*. San Francisco: Freeman, Cooper and Company.
- John Prucha. 1964. Moody and Hill System of Wrench Fault Tectonic. Bulletin Of AAPG Volume. 48, No 1.
- Nurwidyanto M.I., Rina D.I., Zukhrufuddin T.D., 2007. Pemodelan Zona Sesar Opak di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta dengan Metode Gravitasi. ISSN: 1410 – 9662.
- Purnama, 2007. Sistem Akuifer dan Potensi Airtanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak. Yogyakarta.
- Rahardjo, W, Sukandarrumidi, H, M, D, Rosidi, 1995. Peta Geologi Lembar Yogyakarta Skala 1 : 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Richardson & Vepraska. 2000. *Wetland Soil*. CRC Press.
- Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia. 1996. Sandi Stratigrafi Indonesia. IAGI. Jakarta.
- Salahuddin Husein dan Srijono. 2016. Peta Geomorfologi Daerah Istimewa Yogyakarta. Gajah Mada University. ITC
- Sudarno. 2007. *Evolusi Tegasan Purba dan Mekanisme Pembentukan Sesar di Pegunungan Selatan Bagian Barat DIY dan Sekitarnya*. Prosiding Workshop Pegunungan Selatan. Bandung.
- Soetoto. 2015. Penginderaan Jauh untuk Geologi. Yogyakarta. Penerbit Ombak.
- Sugiharyanto. 2009. Geografi tanah. UNY Yogyakarta.
- Surono, 2012, *Litostatigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Yogyakarta : Pusat Survei Geologi.
- Thomas Eugene Avery and Graydon Lennis Berlin. 1992. *Fundamental of Remote Sensing and Airphoto Interpretation*. Macmillan Publishing Company.
- Thornbury, W. D. 1969. *Principles of Geomorphology*. John Wiley and Sons, Inc. New York
- Tucker, M. M. 2003. *Sedimentary Rocks in the Field*. England: John Willey & Sons.
- Verstappen, Th., H. 1977. The Use of Aerial Photographs in Geomorphological Mapping. ITC Teksbook of Photo-interpretation. ITC. Enschede
- Van Bemmelen, R. W., 1949, *The Geology of Indonesia, Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, The Hague, Martinus Nijhoff, vol. 1A, Netherlands
- Wikipedia. 2017. Google Earth. [https://id.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth).



**STUDI ALTERASI HIDROTERMAL DAN MINERALISASI ENDAPAN PORFIRI Cu-Au  
BERDASARKAN ANALISIS DATA CORE PADA SECTION 040 DAERAH TAMBANG TERBUKA  
BATU HIJAU, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, NUSA TENGGARA BARAT**

Septian Aldrin, Joko Soesilo, Jatmiko Setiawan  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: [geoupn@indosat.net.id](mailto:geoupn@indosat.net.id)  
Corresponding author : [septian.aldrin@yahoo.com](mailto:septian.aldrin@yahoo.com) No.Hp: 082227396123

**Sari** - Daerah penelitian berada di Batu Hijau, yang merupakan salah satu lokasi tambang terbuka yang di kelola oleh PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. Secara administratif Batu Hijau berada di Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, NTB. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi geologi, penyebaran zona alterasi, zona mineralisasi dan korelasi hubungannya dengan persebaran kadar Cu-Au pada Section 040 (timurlaut-baratdaya) tambang terbuka Batu Hijau. Penelitian dilakukan menggunakan data pemboran inti batuan dari 10 sumur bor yaitu, SBD293, SBD654, SBD257, SBD229, SBD183, SBD566, SBD002, SBD270, SBD009, dan SBD467. Metode penelitian yang dilakukan berupa *detail core logging*, analisa petrografi, analisa mineragrafi, dan melakukan analisis statistik untuk mengetahui hubungannya dengan sebaran *grade* Cu-Au. Stratigrafi pada daerah penelitian terdiri atas 4 satuan berurutan dari tua ke muda, antara lain, Satuan breksi vulkanik; intrusi diorit kuarsa; intrusi tonalit porfir 1; dan intrusi tonalit porfir 2. Alterasi pada daerah penelitian di bagi menjadi 4 zona alterasi yaitu, zona biotit + magnetit + k-feldspar (tipe potasik); zona biotit + k-feldspar + klorit (tipe potasik); zona klorit + epidot + kuarsa (tipe propilitik); dan zona serisit + klorit + kuarsa (tipe filik). Sedangkan zona mineralisasi dibagi berdasarkan banyaknya kandungan mineral sulfida dominan antara lain, zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit); zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit); zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit). Berdasarkan analisis statistik diagram *Boxplot* sebaran kadar Cu-Au dibagi menjadi 3 zonasi yaitu, zona *low grade*; zona *medium grade*; dan zona *high grade*. Hasil analisis menunjukkan zona alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian dikontrol oleh kemunculan intrusi tonalit porfir 1. Zona *low grade* Cu (0,01-0,5%) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan pirit. *Medium grade* Cu (0,5-1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit dan zona serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Cu (>1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *Low grade* Au (0,00-0,5g/t) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan zona pirit. *Medium grade* Au (0,5-1g/t); zona alterasi biotit+magnetit, zona alterasi serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Au (>1g/t); zona biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit.

**Kata-kata kunci:** Alterasi, Mineralisasi, Zonasi *Grade* Cu-Au, Section 040.

## PENDAHULUAN

Salah satu sumber daya mineral yang menjadi komoditas utama dalam industri mineral di Indonesia adalah kelompok mineral logam seperti tembaga (Cu) dan emas (Au). Sebagian besar endapan Cu dan Au terakumulasi pada jalur busur magmatik tersier. Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, termasuk dalam busur kepulauan gunungapi utama di Indonesia yaitu Area Timur Paparan Sunda dalam Sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda (Sjoekri, 1997). Daerah Sumbawa merupakan salah satu daerah yang memiliki sistem endapan porfiri yang membawa mineral tembaga (Cu) dan emas (Au) (Garwin, 2000). Sistem endapan ini merupakan salah satu endapan porfiri Cu-Au terbesar di Indonesia yang berhasil dijadikan daerah tambang. Lokasi endapan porfiri ini berada di kawasan Batu Hijau yang berlokasi di bagian baratdaya Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Batu Hijau diketahui memiliki cadangan sejumlah 914 juta ton bijih dengan kadar rata-rata tembaga 0,53% (4,8 juta ton tembaga) dan 0,4 g/t emas (366 ton emas) dengan cut off grade 0,3% tembaga (Clode et al., 1999; dalam Garwin, 2002). PT Amman Mineral Nusa Tenggara merupakan perusahaan tambang Indonesia yang mengoperasikan tambang Batu Hijau pada saat ini.

Daerah tambang Batu Hijau sudah mencapai tahapan eksploitasi, dengan melakukan metode penambangan tambang terbuka (*open pit*), diameter bukaan lubang tambang ±2,5 km dan kedalaman lubang tambang ±-315 m. Dalam proses kegiatan penambangan tembaga dan emas, kondisi geologi bawah permukaan merupakan hal yang penting untuk diketahui dan dapat memudahkan dalam menentukan persebaran dan membuat suatu model endapan secara berkala. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan melakukan pemboran, yang dimana pemboran ini ditujukan untuk memperoleh data bawah permukaan, yaitu berupa data inti bor (*core*).

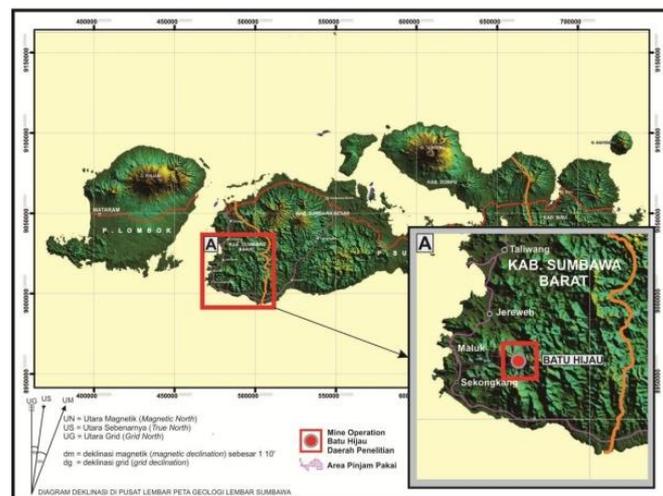
*Core Logging* adalah salah satu metode dalam pemetaan detail di bawah permukaan yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Metode ini digunakan dalam menginterpretasi pola penyebaran litologi, penyebaran zona

alterasi dan zona mineralisasi yang kemudian dipakai untuk membuat model sistem porfiri yang ada di bawah permukaan dalam suatu penampang timur laut – barat daya (*section 040*). Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian dan studi lebih lanjut tentang studi alterasi-mineralisasi endapan porfiri Cu-Au berdasarkan analisis data *core* pada *section 040* daerah tambang terbuka Batu Hijau, Kabupaten Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat.

### Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di wilayah tambang terbuka Batu Hijau yang secara administratif berada pada Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara koordinat dengan sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator (UTM)*, pit Batu Hijau terletak pada koordinat 484600 – 487000 mE dan 9007800 – 9010200 mN. Sedangkan area penelitian penulis yaitu pada *section 040* Pit Batu Hijau. Daerah ini merupakan area penambangan utama wilayah kontrak kerja PT Amman Mineral Nusa Tenggara (Gambar 1).

Daerah Batu Hijau dapat ditempuh dari Yogyakarta menggunakan pesawat menuju bandara Internasional Lombok, yang terletak di Praya Kabupaten Lombok Tengah dengan waktu tempuh  $\pm 1,45$  jam. Kemudian dari bandara Internasional Lombok, menggunakan travel dengan menempuh jalur darat menuju pelabuhan Kayangan di Lombok timur dengan waktu tempuh sekitar 2 jam. Dari pelabuhan Kayangan, selanjutnya menuju pelabuhan Benete menggunakan *speedboat* perusahaan dengan waktu tempuh 1,5 jam. Kemudian dari pelabuhan Benete, kita dapat menggunakan bis perusahaan menuju lokasi area tambang dengan waktu tempuh  $\pm 30$  menit, dan tiba di *Townsite* Batu Hijau.



**Gambar 1.** Peta Lokasi daerah Batu Hijau dan sekitarnya yang berada di Kabupaten Sumbawa Barat.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif analitik yang terdiri dari empat tahapan, yaitu tahapan pendahuluan yang meliputi studi pustaka, tahapan pengumpulan data meliputi data sekunder dan data primer, tahapan analisis data meliputi analisis laboratorium dan analisis statistik, serta tahapan pengolahan dan penyajian data. Adapun *output* yang akan dihasilkan dari penelitian ini antara lain, peta geologi *section 040*, peta zona alterasi *section 040*, peta zona mineralisasi *section 040*, peta sebaran *grade* Cu dan sebaran *grade* Au *section 040*.

### Kondisi Geologi Regional

#### Fisiografi

Pulau Sumbawa merupakan salah satu dari gugusan Kepulauan Nusa Tenggara yang terletak pada Busur Kepulauan Banda dan merupakan kelanjutan dari Zona Solo (Van Bemmelen, 1949). Secara Umum, morfologi Pulau Sumbawa dibagi menjadi dua kelompok, yaitu morfologi kompleks vulkanik dengan ketinggian mencapai 1500 mdpl pada bagian utara dan morfologi yang didominasi oleh perbukitan intrusi serta perbukitan curam pada bagian selatan.

Pada bagian utara, kompleks vulkanik muda ini terdiri atas Gunung Sekadet dan Gunung Bulupasak (1735 mdpl) dibarat serta Gunung Tambora (2851 mdpl) dan Gunung Sangiang (1923 mdpl) di timur. Gunung-gunung ini memiliki tipe gunung api strato dengan pola aliran sungai radial. Pada bagian selatan, kompleks morfologi

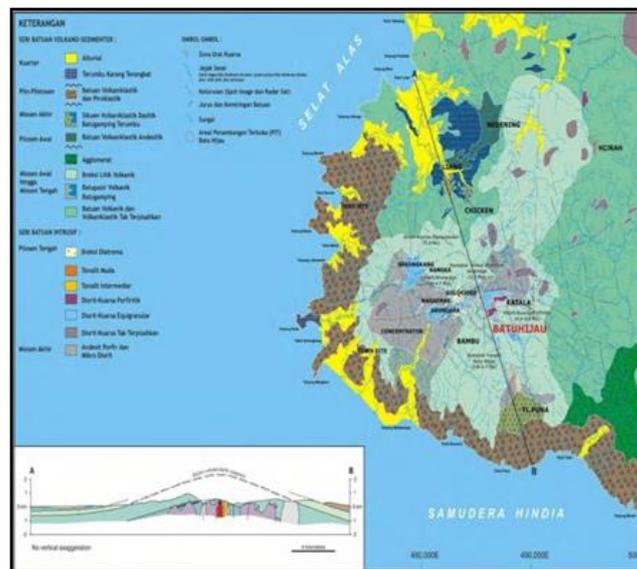
tersusun atas perbukitan intrusi dan perbukitan-perbukitan curam yang terbentuk akibat aktivitas tektonik di bagian selatan. Pola aliran sungai pada daerah ini adalah radial yang berpusat di bukit-bukit intrusi dan sebagian menampakkan pola aliran sungai radial yang di kontrol oleh kelurusan-kelurusan strukturnya.

**Stratigrafi**

Secara stratigrafi, Pulau Sumbawa bagian baratdaya tersusun atas kompleks batuan vulkanik-plutonik berumur Tersier, yang ditutupi oleh produk vulkanik berumur Kuartar-Resen. Batuan tertua yang tersingkap berupa batuan vulkanik-sedimenter yang terdiri dari batuan piroklastik halus-kasar, dan perlapisan batugamping. Berdasarkan kelimpahan fosil foraminifera pada lapisan batugamping, unit batuan ini berumur Miosen Awal hingga Miosen Tengah (Sudrajat dkk., 1998). Batuan ini memiliki ketebalan hingga 1500 m (Garwin, 2000). Batuan termuda di daerah ini adalah produk dari vulkanisme Kuartar dan Resen, yang secara umum bersumber dari sebelah utara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa. Aliran debris menutupi sebagian besar dataran tengah Pulau Lombok, dan memisahkan batuan Kuartar di utara dengan busur vulkanik tererosi di selatan.

Batuan aglomerat - breksi dan piroklastik halus muncul di daerah pesisir di bagian barat dan tengah Pulau Sumbawa. Batuan vulkanik ini umumnya berlapis dan pada beberapa daerah batuan ini berinterkalasi dengan lapisan batupasir kasar (Sudrajat dkk., 1998). Sikuen batuan vulkaniklastik ini menutupi secara tidak selaras unit batuan volkano-sedimenter dan satuan batuan terobosan.

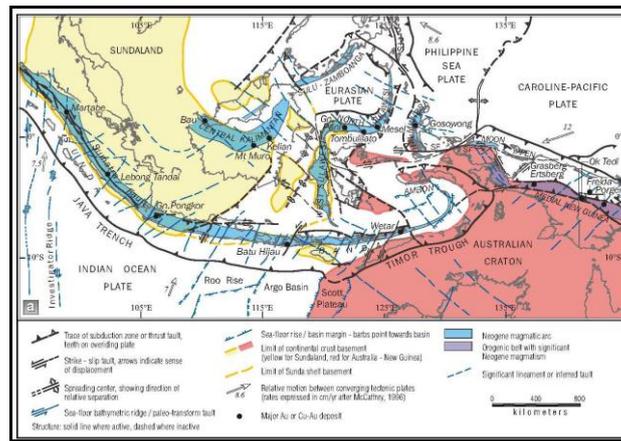
Seri batuan vulkaniklastik di daerah Sumbawa diterobos oleh unit batuan intrusif. Pada Pulau Sumbawa bagian baratdaya, batuan intrusi ini umumnya memiliki afinitas kalk-alkali dengan komposisi batuan diorit, andesit-basalt, diorit kuarsa, tonalit hingga granodiorit. Batuan intrusi ini diperkirakan berumur Miosen Tengah-Pliosen berdasarkan hubungan potong-memotong dan perajahan radiometrik (Garwin, 2000). Geometri dari batuan intrusi ini berupa dike dan stock dengan arah umum timur-barat dan baratlaut. Batuan intrusi ini berasosiasi dengan aktifitas vulkanik, dengan litologi yang terdiri dari diorit hornblende, tonalit porfiri, diorit kuarsa, dan breksi intrusif (breksi diaterma). Unit batuan intrusi ini memiliki hubungan dengan proses mineralisasi bijih ekonomis di beberapa tempat di Pulau Sumbawa, termasuk Batu Hijau. Kubah breksi berkomposisi dasitik yang terletak sekitar 2,5 km dari Batu Hijau, diduga sebagai bagian akhir dari rangkaian intrusi. Mineralisasi bijih logam ekonomis di daerah ini dominan berasosiasi dengan stock tonalit porfiri (Gambar 2).



**Gambar 2.** Peta Geologi Pulau Sumbawa Baratdaya (Garwin, 2000).

**Tektonik**

Pulau Sumbawa merupakan bagian dari sebelah timur Paparan Sunda di dalam sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda (Sjoekri, 1997). Busur kepulauan ini dihasilkan dari tumbukan antara tiga Lempeng Hindia-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik (Hamilton, 1980 dalam Clode, et al., 1999). Kepulauan Sunda- Banda merupakan gabungan dari beberapa sistem jalur subduksi atau busur magmatik, yaitu Busur Sunda dengan arah pergerakan ke barat dan Busur Banda ke timur. Pulau Sumbawa yang berada di Kepulauan Nusa Tenggara terletak di zona transisi antara kedua busur tersebut (Sjoekri, 1997). Bagian selatan dari kepulauan Sumbawa bagian baratdaya dibatasi oleh kerak samudera yang berumur Tersier Awal, bersifat kalium kalk-alkali rendah sampai andesit vulkanik yang alkali lemah dan batuan vulkaniklastik berlapis, berasosiasi dengan intrusi intermediet dan sedikit sedimen laut dan batugamping (Hamilton, 1980 dalam Clode, et al., 1999).



**Gambar 3.** Peta yang menggambarkan tatanan tektonik Indonesia dan lokasi Batu Hijau serta terjadinya deposit Cu-Au porfiri utama lainnya di Asia Tenggara (Garwin *et al.*, 2005)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Stratigrafi

Dalam menyusun stratigrafi daerah telitian, penulis mengacu pada sistem penamaan stratigrafi tak resmi, dengan mengacu pada ciri-ciri fisik litologi yang diamati secara megaskopis pada saat deskripsi batuan inti (*core logging*). Berdasarkan deskripsi batuan inti (*core logging*) yang dilakukan, penulis membagi beberapa satuan batuan mulai dari yang tua hingga yang muda sebagai berikut.

### Satuan Breksi Vulkanik

Penyebaran satuan breksi vulkanik ini memiliki sebaran yang luas  $\pm 60\%$  dari tambang Batu Hijau, dan menempati luasan  $40\%$  pada peta geologi *section 040*.

Secara megaskopis breksi vulkanik ini memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu hingga coklat lapuk, masif, ukuran butir  $0,5 - 54$  mm, derajat pemilahan buruk, derajat pembundarang menyudut tanggung, kemas terbuka. Mengandung fragmen batuan beku (*lithic*), matriks berukuran pasir sedang hingga debu halus  $0,1 - 0,3$  mm, semen silika. Breksi vulkanik yang berada dekat intrusi seperti pada lubang bor SBD654 pada kedalaman 147 meter, menunjukkan perubahan mineral mafik menjadi klorit dan kehadiran magnetit, karena pengaruh fluida hidrotermal dan temperatur, sehingga teralterasi menjadi (potasik).

Satuan breksi vulkanik ini termasuk dalam unit atas suskesi batuan vulkaniklastik yang terdiri dari breksi vulkanik, batupasir, dan konglomerat (Garwin, 2000). Satuan ini didapatkan pada lingkungan darat (gununapi) yaitu *proximal volcanogenic facies*, pada kala Miosen Awal-Miosen Tengah (Garwin, 2000).

### Intrusi Diorit Kuarsa

Penyebaran dari intrusi diorit kuarsa ini menempati bagian utara – timur dari sistem porfiri Batu Hijau, dan menempati luasan  $\pm 30\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi diorit kuarsa merupakan batuan intrusi yang menerobos batuan yang lebih tua yaitu Satuan breksi vulkanik. Pengamatan secara megaskopis menunjukkan ciri-ciri warna abu-abu gelap hingga terang, struktur masif, tekstur: derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fenerik sedang ( $1 - 3$ mm), bentuk kristal subhedral – anhedral, inekuigranular porfiritik, fenokris berupa mineral mafik, kuarsa dan plagioklas dengan dikelilingi masa dasar kristal yang lebih kecil.

Umur relatif dari intrusi diorit kuarsa ini adalah Miosen Akhir ( $5,9$  Ma) – Pliosen Awal ( $4,4-3,8$  Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Intrusi Tonalit Porfir 1

Penyebaran dari intrusi tonalit porfir 1 ini menempati bagian tengah dari Pit Batu Hijau yang merupakan sistem kompleks tonalit porfiri, dan menempati luasan  $\pm 20\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi porfiri 1 ini secara ekstensif mengalami alterasi dan banyak dijumpai *vein-veinlets* kuarsa (*stockwork*) pada intrusi tonalit porfir 1 di sekitaran kontak dengan batuan samping. Secara megaskopis litologi ini dicirikan dengan warna abu-abu keputihan, struktur masif, tekstur; derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fenerik sedang ( $1 - 4,2$  mm), bentuk kristal subhedral-anhedral, relasi inekuigranular porfiritik, dengan fenokris terdiri dari kuarsa, hornblende, biotit, dan plagioklas yang di kelilingi oleh masa dasar plagioklas dan kuarsa yang lebih kecil. Umur relatif dari intrusi tonalit porfir ini adalah kala Pliosen Awal ( $3,76$  Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Intrusi Tonalit Porfir 2

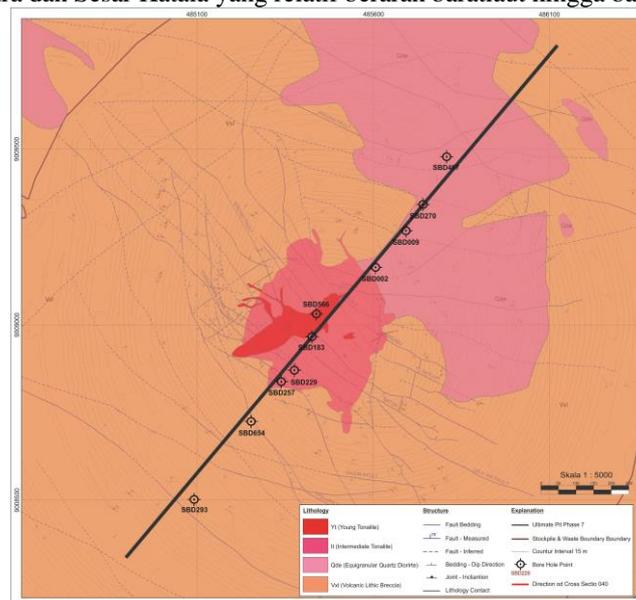
Penyebaran dari intrusi tonalit porfir 2 ini menempati bagian tengah dari Pit Batu Hijau berupa *dyke* yang merupakan sistem kompleks tonalit porfiri, dan menempati luasan  $\pm 10\%$  pada peta geologi *section 040*. Intrusi tonalit porfir 2 secara megaskopis memiliki ciri warna putih keabu-abuan, struktur masif, tekstur; derajat kristalisasi holokristalin, derajat granularitas fanerik sedang hingga kasar (2 - 10 mm), bentuk kristal subhedral-euhedral, relasi inekuigranular porfiritik, dengan fenokris terdiri dari kuarsa, hornblende, biotit, dan plagioklas yang di kelilingi oleh masa dasar plagioklas, kuarsa dan biotit yang lebih kecil. Umur relatif dari intrusi tonalit porfir ini adalah kala Pliosen Awal (3,74 Ma) berdasarkan hasil radiometrik menggunakan metoda U-Pb SHRIMP Zircon (Garwin, 2000).

### Struktur Geologi

Priowasono (2002), menyebutkan beberapa arah umum yang terdapat pada Pit Batu Hijau yang umur relatifnya dari awal – akhir (*early – late*), yaitu utara-selatan (N-S), timur laut (NE), barat laut (NW) dan barat-timur (W-E). Struktur yang berarah N-S dan NE-SW di interpretasikan sebagai struktur yang terbentuk lebih awal. Struktur yang berarah NE-SW dipotong oleh arah struktur yang berarah NW-SE. Reaktivasi akhir dari struktur berarah W-E yang merupakan struktur yang paling muda.

Mineralisasi pada Batu Hijau berasosiasi dengan arah N-S dan NE. Tubuh utama intrusi tonalit porfir 1 secara struktur dikontrol oleh struktur yang relatif berarah N-S. Kemudian distribusi dari intrusi tonalit porfir 2 dibatasi oleh struktur berarah NE. Struktur yang berarah NW merupakan struktur yang paling dominan dan merupakan struktur yang paling muda. Struktur ini memotong seluruh struktur dan batuan yang ada pada Pit Batu Hijau.

Kemudian dari data yang ada berupa peta geologi yang di buat oleh tim geologi PT. Amman Mineral edisi pertama tahun 2018, dapat di lihat struktur geologi yang berkembang pada daerah Pit Batu Hijau yaitu struktur kekar yang relatif berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut baratdaya dan struktur sesar. Berikut beberapa struktur sesar yang terdapat di Pit Batu Hijau diantaranya; Sesar Nagin berarah baratlaut hingga barat-timur, Sesar Uka-Uka berarah baratlaut-tenggara, Sesar Tonggoloka-Puna berarah baratlaut – tenggara, Sesar Bromo berarah baratlaut - tenggara dan Sesar Katala yang relatif berarah baratlaut hingga barat – timur (Gambar 4).



Gambar 4. Peta geologi daerah Pit Batu Hijau dan lokasi borehole pada *section 040* (PT. AMNT, 2018)

### Zona Alterasi Hidrotermal

Dalam penentuan zona alterasi hidrotermal pada daerah penelitian yaitu pada *section 040* Pit Batu Hijau yang berarah timur laut – barat daya dibagi berdasarkan kesamaan himpunan mineral alterasi menurut klasifikasi Corbett dan Leach (1998). Pembagian ini berdasarkan pengamatan megaskopis dan mikroskopis terhadap sampel batuan inti dari tujuh sumur bor pada *section 040*.

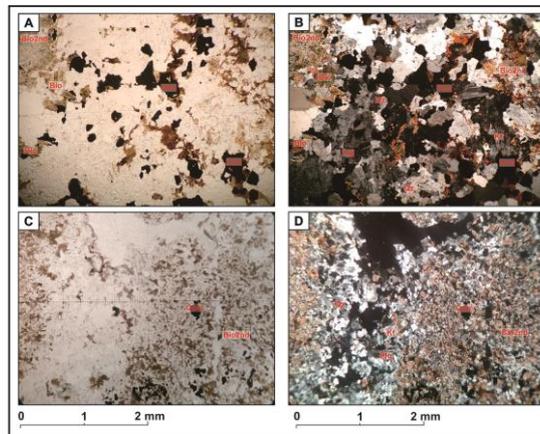
### Zona Biotit + Magnetit + K-Feldspar (Tipe Potasik)

Zona alterasi ini menempati bagian pusat dari sistem porfiri Batu Hijau, dan zona alterasi ini berkembang pada tubuh intrusi tonalit porfir 1 dan di sekitar kontak dengan Satuan breksi vulkanik dan intrusi diorit kuarsa, yang teralterasi sedang-kuat dan memiliki pola alterasi *selectively pervasive - pervasive*.

Secara mikroskopis pada sayatan SBD002 kedalaman 186 meter, zona ini dicirikan dengan kehadiran biotit sekunder berwarna coklat, berukuran 0,1 hingga 0,5 mm, pleokroik sedang-lemah, bentuk kristal anhedral, hadir bersama mineral opak dan menyebar menggantikan mineral hornblende. Kehadiran biotit sekunder dapat di lihat

bahwa pada sayatan meng-*overprint* mineral-mineral primer (menindih). Terdapat juga mineral k-feldspar yang menggantikan mineral feldspar primer yang dicirikan dengan menindih plagioklas secara setempat dan kuarsa yang memiliki ukuran bervariasi serta kontak antar bidang kristalnya tidak jelas.

Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona biotit + Magnetit + k-feldspar terbentuk pada salinitas tinggi dan karakter magmatik yang kuat dengan kisaran temperatur 300° – 360° C.



**Gambar 5.** (A & B) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang tipe alterasi potasik pada SBD002 kedalaman 186 meter, (C & D) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang pada SBD654 kedalaman 147 meter, menunjukkan adanya urat terisi kuarsa dan mineral opak.

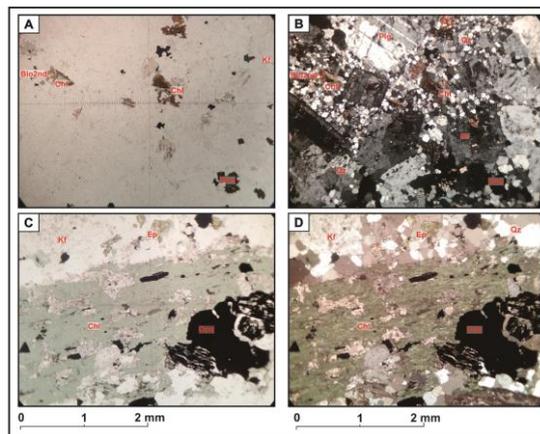
#### Zona Biotit + K-Feldspar + Klorit (Tipe Potasik)

Zona alterasi ini berkembang pada tubuh intrusi tonalit porfiri 2. Pada bagian tepi intrusi tonalit porfiri 2 yang dekat dengan kontak intrusi tonalit porfiri 1 mengalami alterasi dengan intensitas sedang dan semakin ke arah dalam intensitas alterasi menjadi lemah.

Dari hasil pengamatan *core*, pola alterasi pada zona ini yaitu menunjukkan pola alterasi *selectively pervasive*.

Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral biotit sekunder yang menggantikan mineral mafik (mineral-mineral yang mengandung Fe dan Mg) dan mineral klorit yang menggantikan hornblende secara keseluruhan (*replacement*) maupun sebagian (*partly*). Mineral klorit dapat terbentuk diduga karena adanya proses retrograde karena kemunculan dari tonalit porfiri 2 yang memiliki suhu lebih rendah dari tonalit porfiri 1.

Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona biotit + k-feldspar + klorit terbentuk pada kisaran temperatur 300° – 320° C.

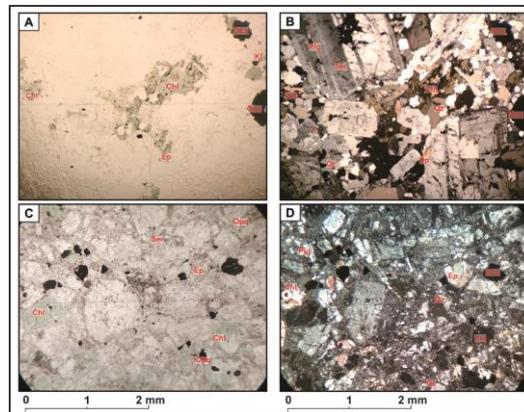


**Gambar 6.** (A & B) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang menunjukkan hadirnya mineral biotit sekunder dan klorit mencetak tindih (*overprint*) biotit, (C & D) Sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang yang menunjukkan mineral klorit dan epidot hadir, klorit menggantikan secara keseluruhan (*replacement*) mineral hornblende.

#### Zona Klorit + Epidot + Kuarsa (Tipe Propilitik)

Zona alterasi ini umumnya berkembang pada Intrusi diorit kuarsa dan Satuan breksi vulkanik dengan intensitas alterasi lemah-kuat. Zona alterasi ini dicirikan dengan melimpahnya mineral klorit dan epidot yang merupakan

hasil ubahan dari mineral mafik dan dapat juga berasal dari ubahan mineral feldspar. Secara megaskopis mineral epidot hadir sebagai butir kristal berwarna hijau muda, berukuran 0,5-1,0 mm, hadir mengganti mineral mafik. Mineral klorit berwarna hijau tua, berukuran 0,6-2,5 mm, hadir mengganti hornblende dan biotit. Zona alterasi ini berada di bagian luar dari zona biotit+magnetit, yang terbentuk terutama karena reaksi hidrasi, yaitu adanya penambahan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> dan secara lokal juga terjadi penambahan S dengan sedikit terjadi metasomatisme H<sup>+</sup>. Dicirikan oleh kehadiran klorit disertai dengan mineral epidot, dan beberapa mineral serisit. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona klorit + epidot + kuarsa ± serisit terbentuk pada kisaran temperatur 280° – 320° C.



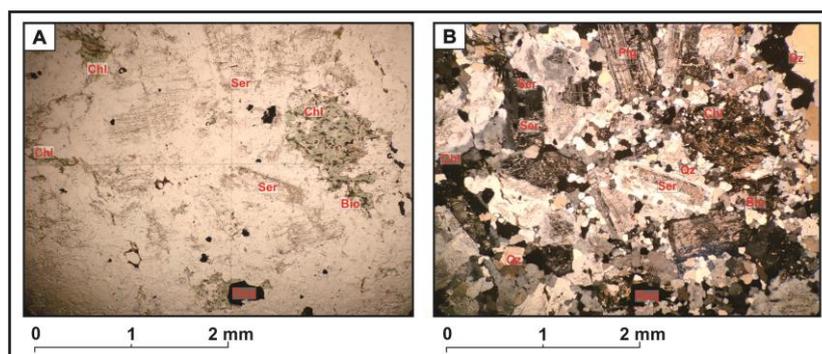
**Gambar 7.** (A & B) Kenampakan sayatan tipis nikol sejajar dan nikol silang alterasi klorit+epidot pada SBD467 kedalaman 193 meter, (C & D) Sayatan tipis nikola sejajar dan nikol silang alterasi klorit+epidot pada SBD293 kedalaman 436 meter.

**Zona Serisit + Klorit + Kuarsa (Tipe Filik)**

Zona alterasi ini umumnya berkembang pada intrusi diorit kuarsa di bagian timur laut pada *section 040*, dengan tingkat alterasi sedang-kuat. Zona ini dicirikan dengan melimpahnya mineral sekunder berupa serisit, klorit, dan kuarsa yang merupakan mineral ubahan dari mineral feldspar dan mineral ferromagnesian berupa hornblende dan biotit.

Secara megaskopis serisit berwarna putih hingga tak berwarna dan bentukannya memipih (mineral mika) serta ukurannya yang halus, namun dapat diidentifikasi dengan melihat kilapnya dan kekerasan serta asosiasinya dengan dengan klorit serta urat kuarsa.

Zona alterasi ini pada dasarnya disebabkan oleh tidak stabilnya (destabilisasi) mineral feldspar dengan kehadiran unsur H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, K<sup>+</sup> dan S untuk merubah menjadi kuarsa, muskovit (serisit), klorit dan pirit. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral oleh Morrison (1997), zona serisit + klorit + kuarsa terbentuk pada kisaran temperatur 278° – 320° C.



**Gambar 8.** (A) Sayatan tipis nikola sejajar menunjukkan serisit berwarna putih keruh dan klorit berwarna hijau menggantikan biotit, (B) Sayatan tipis nikol silang ang menunjukkan serisit berwarna pelangi yang berukuran halus menggantikan plagioklas pada bidang dan belahannya, serta kuarsa sekunder yang terisi pada vein di bagian pojok kanan atas.

**Zona Mineralisasi**

Pengamatan dilakukan terhadap kehadiran mineral bijih terutama sulfida pada *section 040* (timur laut – barat daya). Kehadiran mineral sulfida secara megaskopis melimpah dengan persentase ±1% - 10% setempat hingga tersebar dalam tubuh batuan (*disseminated*), kemudian mengisi dan berasosiasi dengan urat-urat kuarsa. Mineral

sulfida yang hadir di daerah telitian antara lain pirit, kalkopirit, bornit, kalkosit, dan kovelit, serta mineral oksida magnetit dan hematit. Diantara mineral tersebut beberapa merupakan mineral sulfida utama yang lebih sering hadir dan mudah diidentifikasi secara megaskopis, sehingga dijadikan sebagai petunjuk pada kegiatan penambangan di Batu Hijau yakni pirit, kalkopirit, dan bornit. Mineralisasi pada daerah telitian merupakan mineralisasi zona primer atau zona *hypogen*, yaitu mineralisasi yang terbentuk dan berhubungan dengan proses dari dalam atau dari proses intrusi yang membawa mineral-mineral bijih.

Emas dan Tembaga merupakan komoditas utama yang diproduksi di daerah penelitian. Melalui perhitungan secara empirik pada setiap zona yang telah dibuat terhadap kadar Cu dan Au setiap interval kedalaman, diketahui bahwa bornit dan kalkopirit membawa unsur tembaga dan emas dalam jumlah lebih banyak dibandingkan pirit. Secara empirik bornit memberikan kontribusi hingga 63,33 % Cu, sedangkan kalkopirit 34,64%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada 699 butir emas melalui mineragrafi oleh Arif dan Baker (2004), 65% emas pada daerah penelitian berasosiasi bornit, 14% berasosiasi dengan kalkopirit, dan sisanya hadir sebagai butiran bebas di dalam urat. Keterdapatn emas (Au) dalam mineral sulfida terdapat dalam bentuk inklusi maupun antar batas mineral sulfida, serta dalam bentuk *invisible gold* yaitu kehadiran kadar emas berada pada struktur kimia mineral sulfida (Arief, 2002).

#### **Zona Bornit (Bornit ± Kalkopirit ± Pirit)**

Zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit) ini pada *section 040* berasosiasi dengan tubuh intrusi diorit kuarsa bagian timur laut, yang berda dekat kontak dengan tonalit porfir 1.

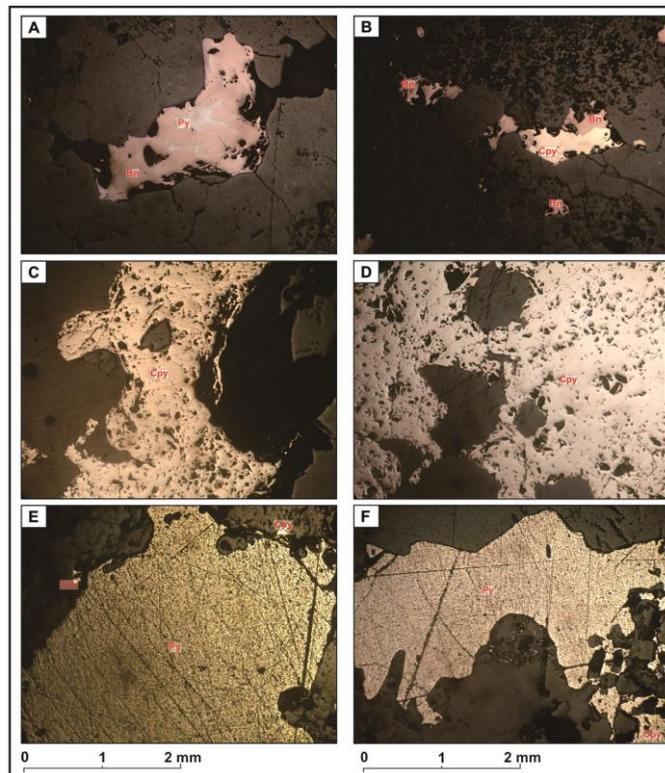
#### **Zona Kalkopirit (Kalkopirit ± Bornit ± Pirit)**

Zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit) hadir melingkupi zona bornit, zona ini berada dan tersebar di sekitar kontak intrusi tonalit porfir 1 dan intrusi diorit kuarsa, serta antara intrusi tonalit porfir 1 dan Satuan breksi vulkanik. Pola sebara dari zona mineralisasi ini relatif mengikuti pola intrusi tonalit porfir 1.

#### **Zona Pirit (Pirit ± Kalkopirit ± Bornit)**

Sedangkan zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit) dibagi menjadi 2 yaitu zona yang berada di dalam zona selubung kalkopirit dan yang berada di luar zona kalkopirit. Zona yang berada di dalam selubung kalkopirit berasosiasi dengan tubuh intrusi tonalit porfir 2 sedangkan yang berada di luar zona kalkopirit berasosiasi dengan Satuan breksi vulkanik dan intrusi diorit kuarsa.

Dari hasil pengamatan mikroskopis melalui metode mineragrafi dapat diidentifikasi hanya beberapa mineral saja, salah satu contohnya pada sampel SB-002-(P2) diantaranya bornit, kalkopirit dan pirit. Bornit berwarna merah muda-keunguan, anisotrop sangat lemah, kilap logam, bentuk kristal subhedral-anhedral, berukuran 0,1 – 2,5mm, hadir disseminated dan mengisih pada urat, serta hadir lebih dominan dalam sayatan. Kalkopirit berwarna kuning loyang dengan anisotrop lemah, kilap logam, bentuk kristal subhedral-anhedral, berukuran ±1,2mm, hadir menggantikan mineral bornit hampir secara keseluruhan. Pirit Berwarna kuning pucat isotrop, kilap logam, bentuk kristal anhedral, berukuran 0,2 – 0,6mm, hadir menindih mineral bornit pada bagian tengah.



**Gambar 9.** Kenampakan fotomikrograf mineral bijih pada sayatan poles, (A) Mineral bornit pada urat dengan terdapat inklusi mineral pirit di tengah, (B) Mineral Bornit *disseminated* sebagian di *replace* oleh mineral kalkopirit, (C) Mineral Kalkopirit yang terdapat pada urat, (D) Mineral kalkopirit tersebar (*disseminated*) sebagai masadasar, (E) Mineral pirit menggantikan kalkopirit yang terdapat pada masadasar, (F) *Disseminated* mineral pirit dan kakopirit, dimana kalkopirit di *replace* oleh pirit.

### Tipe Vein

Pada umumnya hampir semua endapan bijih hidrotermal mempunyai sistem urat (*vein system*). Dimana pada urat ini dapat menjadi jebakan atau perangkap mineralisasi yang mengandung endapan bijih logam bernilai ekonomis. Maka dari itu pemahaman mengenai kriteria dan tipe urat (*vein type*) / urat halus (*veinlets*) dalam sistem porfiri sangatlah penting, terutama pada endapan porfiri Cu – Au, karena sebagian besar mineralisasi dikaitkan dengan kehadiran urat dan urat halus (*stockwork*). Tipe urat pada sistem porfiri sebelumnya sudah di sampaikan oleh beberapa ahli terdahulu seperti: (Gustafson dan Hunt, 1975; Corbett, 2008; Sillitoe, 2010), diantaranya yaitu tipe EB atau EDM, Tipe M, tipe A, tipe AB, tipe B, tipe C dan tipe D.

### Kuarsa ± Magnetit ± Pirit-kalkopirit (Urat Tipe A)

Urat tipe ini memiliki ciri urat kuarsa dengan tekstur masif – granular dengan bentuk yang tidak teratur, terkadang tidak menerus dan kontaknya yang bergelombang dengan batuan sampling. Biasanya urat tipe ini di jumpai berupa kuarsa transparan masif dan umumnya hadir membentuk (*stockwork*), terkadang terisi mineral sulfida seperti pirit-kalkopirit-bornit dan mineral magnetit yang hadir tersebar (*disseminated*) pada urat. Pada umumnya urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

### Kuarsa + Bornit + Kalkopirit (Urat Tipe AB)

Urat tipe ini merupakan tipe urat transisi antara urat tipe A dan B dengan ciri membentuk kontak yang masih terlihat bergelombang dengan batuan sampling. Pada urat tipe ini mineral sulfida berupa bornit dan kalkopirit yang hadir pada bagian tengah urat kuarsa dan membentuk pola garis putus-putus. Tipe urat ini umumnya berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

### Kuarsa + Kalkopirit + Bornit (Urat Tipe B)

Urat tipe ini merupakan urat kuarsa yang memiliki ciri membentuk garis kontak yang tegas dan jelas dengan batuan sampling. Pada urat tipe ini mulai menunjukkan garis tengah yang menerus pada urat (*center line*) yang terisi oleh kalkopirit, bornit dan terkadang sedikit pirit. Tipe urat ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik.

**Kalkopirit ± Kuarsa (Urat Tipe C)**

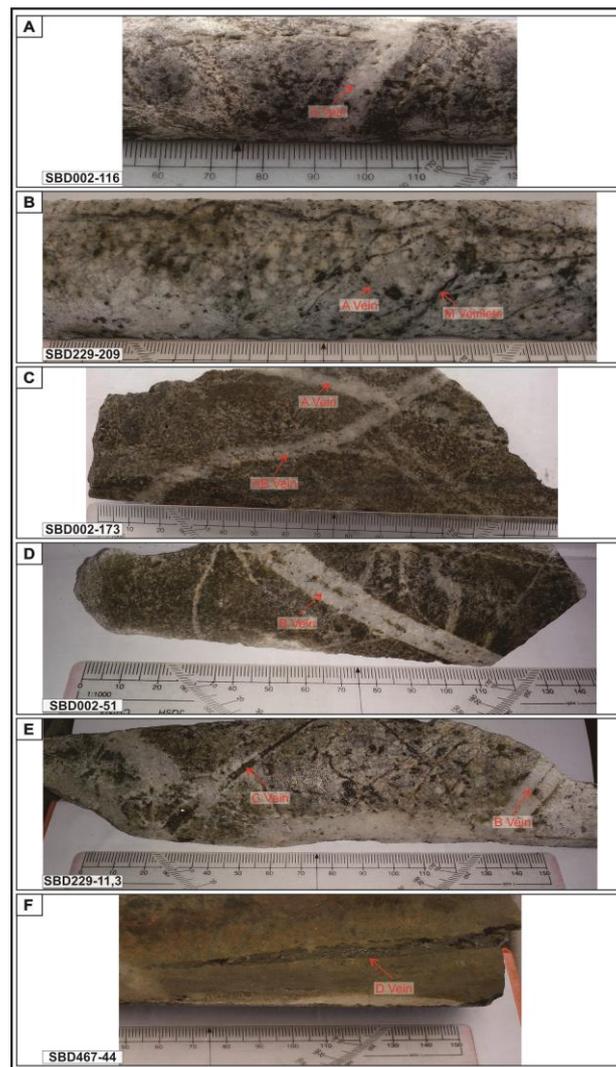
Urat ini merupakan urat yang dicirikan hampir seluruhnya terisi oleh kalkopirit dan sedikit kuarsa, serta memiliki kontak yang jelas dengan batuan sampling serta memiliki ukuran lebih kecil. Urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe potasik ke arah luar dan tipe filik.

**Kuarsa + Pirit ± Kalkopirit (Urat Tipe D)**

Urat ini merupakan urat kuarsa yang terisi oleh pirit dan kalkopirit dengan kandungan pirit yang lebih dominan atau dapat seluruhnya mengandung pirit dengan kuarsa yang sedikit. Biasanya pada bagian tepi dari urat ini umumnya membentuk *salvage / halos*. Urat tipe ini berasosiasi dengan zona alterasi tipe filik dan propilitik.

**Magnetit + Kuarsa (Urat Tipe M)**

Urat tipe ini merupakan urat yang memiliki komposisi mineral berupa magnetit-kuarsa. Magnetit hadir dengan pola desiminasi atau urat halus (*veinlets*). Urat tipe ini melimpah pada zona alterasi tipe potasik dan berasosiasi dengan urat tipe A.



**Gambar 10.** Kenampakan urat-urat pada endapan bijih porfiri Cu-Au di Daerah Batu Hijau, (A) Urat tipe A, (B) Urat Tipe M, (C) Urat tipe AB memotong urat tipe A, (D) Urat tipe B, (E) Urat tipe C, (F) Urat tipe D.

**Hubungan Satuan Batuan, Zona Alteras Dan Mineralisasi Dengan Sebaran *Grade* Cu-Au Pada *Section 040***

Dalam pembuatan zonasi Cu – Au, data yang diperoleh berasal dari data *assay* yang diambil dari data batuan inti (*coring*) di wilayah penelitian.

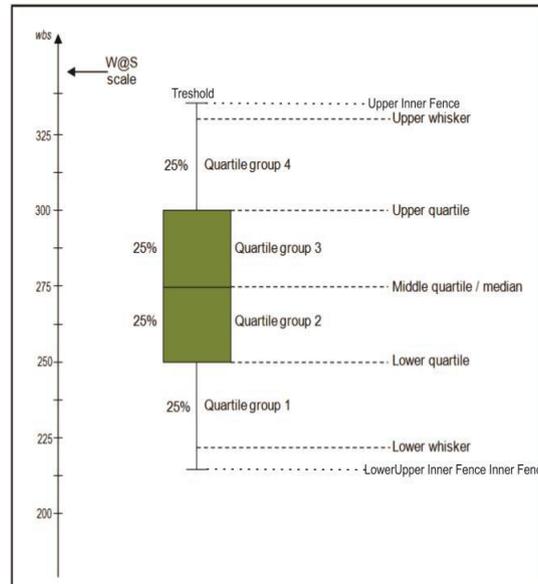
Data *assay* merupakan data sekunder yang diambil setiap interval tiga meter pada batuan inti. Karena jumlah data yang diperoleh cukup banyak (1600 data) diperlukan metode untuk mengolah dan memilah data tersebut sesuai dengan kelas/kelompok data. Hal ini diperlukan untuk mempermudah melakukan interpretasi karena

besar kecilnya nilai pada data sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi serta proses geologi yang terjadi. Metode yang digunakan penulis dalam mengelompokkan data mengacu pada diagram *Boxplot*, sedangkan untuk membuat zonasi Cu - Au penulis menggunakan *conturing* dengan metode *freehand*.

Pembuatan diagram *Boxplot* pada penelitian ini dibantu oleh *software Tableau Public 32 (trial)*.

Terdapat lima ukuran statistik yang dapat kita lihat di *Boxplot*, yaitu:

1. Nilai minimum
2. Kuartil terendah Q1
3. Median / Q2
4. Kuartil tertinggi Q3
5. Nilai maksimum

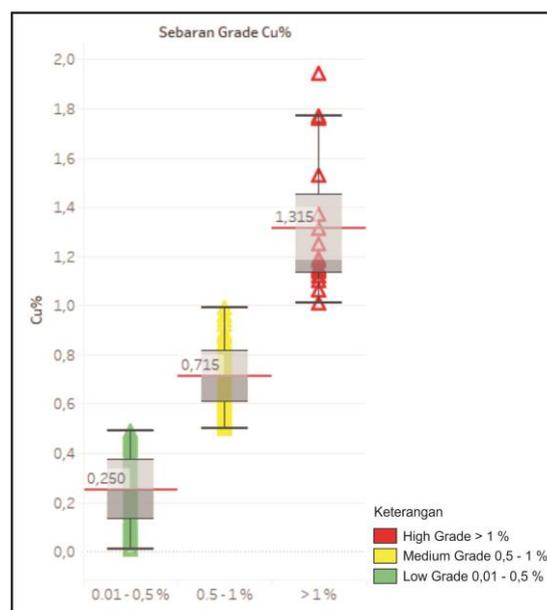


Gambar 11. Contoh diagram *Boxplot*

**Zonasi Grade Cu-Au**

Zonasi *grade* tembaga (Cu) dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan pembagian kelompok dengan menggunakan metode diagram *Boxplot*, diantaranya zona *low grade* (0,01 – 0,5%), *medium grade* (0,5 – 1%), *high grade* (> 1%).

Pada zona *low grade* memiliki nilai rata-rata (*average*) sebesar 0,250% Cu, pada zona *medium grade* memiliki nilai rata-rata 0,715% Cu dan pada zona *high grade* memiliki nilai rata-rata sebesar 1,315% Cu. Nilai latar dari zonasi tembaga (Cu) adalah *low grade* (0,01 – 0,5%).



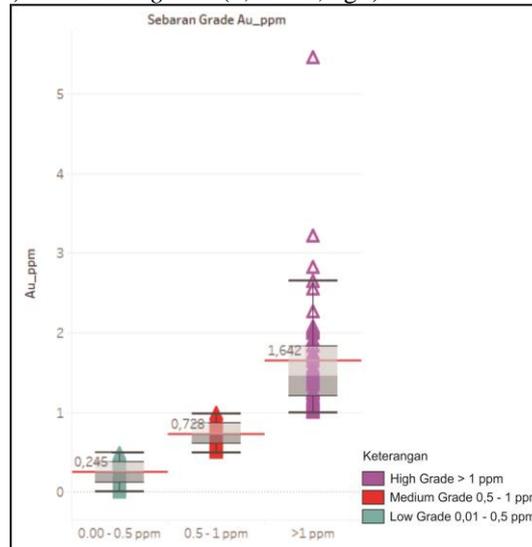
Gambar 12. Diagram *Boxplot* sebaran *grade* Cu pada *Section 04*

**Zonasi Grade Cu-Au**

Zonasi *grade* emas (Au) memiliki pola yang mirip dengan zonasi *grade* tembaga. Mengacu pada pengelompokan dengan diagram *Boxplot*, zona sebaran *grade* emas dibagi menjadi 3 kelompok. Berikut di antaranya, zona *low grade* (0,00 – 0,5 g/t), *medium grade* (0,5 – 1 g/t), *high grade* (> 1 g/t).

Pada zona *low grade* memiliki nilai rata-rata (*average*) sebesar 0,245 g/t Au, pada zona *medium grade* memiliki nilai rata-rata 0,728 ppm Au dan pada zona *high grade* memiliki nilai rata-rata sebesar 1,642 ppm Au. Pada umumnya, pola sebaran zona *high grade* hingga *medium grade* Au memiliki pola yang mirip dengan sebaran zona *high grade* dan *medium grade* Cu.

Hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa keterdapatan emas (Au) berasosiasi dengan mineral sulfida. Kemudian dapat dilihat dari data *assay* kadar Cu – Au, dimana kadar dari pada keduanya saling berhubungan. Nilai latar dari zonasi emas (Au) adalah *low grade* (0,00 – 0,5 g/t).



**Gambar 13.** Diagram *Boxplot* sebaran *grade* Au pada *Section 040*

**Tabel 1.** Hubungan satuan batuan, zona alterasi dan mineralisasi dengan sebaran *grade* Cu

Grade Cu%	Satuan Batuan	Zona Alterasi	Zona Mineralisasi
0,01 – 0,5 %	Breksi vulkanik (0,267%), diorit kuarsa (0,310%), tonalit porfir 1 (0,211%), tonalit porfir 2 (0,106%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,259%), biotit+k.feldspar+klorit (0,079%), klorit+epidot+kuarsa (0,277%), serisit+klorit+kuarsa (0,357%).	Kalkopirit (cpy±bn±py) (0,284%), Pirit (py±cpy±bn) (0,220%).
0,5 – 1 %	Breksi vulkanik (0,671%), diorit kuarsa (0,708%), tonalit porfir 1 (0,646%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,715%), serisit+klorit+kuarsa (0,612%).	Bornit (bn±cpy±py) (0,749%), Kalkopirit (cpy±bn±py) (0,677%).
> 1 %	Breksi vulkanik (1,123%), diorit kuarsa (1,291%).	Biotit+magnetit+k.feldspar (1,315%).	Bornit (bn±cpy±py) (1,335%), Kalkopirit (cpy±bn±py) (1,313%).

**Tabel 2.** Hubungan satuan batuan, zona alterasi dan mineralisasi dengan sebaran *grade* Au

Grade Au g/t	Satuan Batuan	Zona Alterasi	Zona Mineralisasi
0,00 – 0,5 g/t	Breksi vulkanik (0,240g/t), diorit kuarsa (0,248g/t), tonalit porfir 1 (0,252g/t), tonalit porfir 2 (0,127g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,250g/t), biotit+k.feldspar+klorit (0,127g/t), klorit+epidot+kuarsa (0,151g/t), serisit+klorit+kuarsa (0,095g/t).	Kalkopirit (cpy±bn±py) 0,259g/t, Pirit (py±cpy±bn) 0,228g/t.
0,5 – 1 g/t	Breksi vulkanik (0,715g/t), diorit kuarsa (0,709g/t), tonalit porfir 1 (0,711g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (0,728g/t).	Bornit (bn±cpy±py) 0,782g/t, Kalkopirit (cpy±bn±py) 0,711g/t, Pirit (py±cpy±bn) 0,654g/t.
> 1 g/t	Breksi vulkanik (1,667g/t), diorit kuarsa (1,430g/t), tonalit porfir 1 (1,774g/t).	Biotit+magnetit+k.feldspar (1,642g/t).	Bornit (bn±cpy±py) (1,403g/t), Kalkopirit (cpy±bn±py) (1,706g/t).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut yaitu:

- ❖ Berdasarkan pengamatan secara megaskopis dan analisa petrografi, litologi yang berada di daerah telitian dibagi menjadi 4 satuan batuan. Berurutan dari tua ke muda yaitu; Satuan breksi vulkanik, Intrusi Diorit Kuarsa, Intrusi Tonalit Porfir 1 dan Intrusi Tonalit Porfir 2. Kemudian struktur geologi yang terdapat pada daerah Pit Batu Hijau yaitu struktur kekar dan sesar, diantaranya Sesar Nagin berarah baratlaut hingga barat-timur, Sesar Uka-Uka berarah baratlaut-tenggara, Sesar Tonggoloka-Puna berarah baratlaut – tenggara, Sesar Bromo berarah baratlaut - tenggara dan Sesar Katala yang relatif berarah baratlaut hingga barat – timur.
- ❖ Alterasi pada daerah telitian dibedakan berdasarkan dominasi himpunan mineral menjadi empat (4) zona alterasi yaitu; 1). Zona alterasi biotit + magnetit + k-feldspar (tipe alterasi potasik), 2). Zona alterasi biotit + k-feldspar + klorit (tipe alterasi potasik), 3). Zona alterasi klorit + epidot + kuarsa (tipe alterasi propilitik), dan 4). Zona alterasi serisit + klorit + kuarsa (tipe alterasi filik).
- ❖ Mineralisasi pada daerah telitian dibagi menjadi tiga (3) zona berdasarkan rasio kehadiran mineral sulfida dominan yaitu; 1). Zona bornit (bornit ± kalkopirit ± pirit), 2). Zona kalkopirit (kalkopirit ± bornit ± pirit), 3). Zona pirit (pirit ± kalkopirit ± bornit).
- ❖ Karakteristik endapan porfiri pada daerah telitian didapatkan sebagai berikut:
  - a. Adanya kehadiran urat (*vein*) dan urat-urat halus (*veinlets*) yang membentuk *stockworks*. Dari pengamatan inti batuan (*core logging*), terdapat setidaknya enam (6) tipe urat yang dapat diidentifikasi yaitu; urat tipe A, urat tipe M, urat tipe AB, urat tipe B, urat tipe C, dan urat tipe D,
  - b. Mineralisasi yang berhubungan dengan kompleks tubuh intrusi batuan beku berkomposisi intermediet, umumnya terkait beberapa episode aktifitas intrusif, berasosiasi dengan *stock* dan *dyke*. Batuan yang terkena efek alterasi–mineralisasi hidrotermal berada di sekitar tubuh intrusi dengan dimensi yang luas membentuk pola yang simetris mengikuti pola tubuh intrusi.
  - c. Berdasarkan hasil pengamatan pada pemboran inti batuan (*core logging*), didapatkan pola mineralisasi sulfida pada daerah telitian yaitu; pola mineralisasi pada *vein-veinlets* dan pola *disseminated* (menyebar).
- ❖ Zona *low grade* Cu (0,01-0,5%) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan pirit. *Medium grade* Cu (0,5-1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit dan zona serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Cu (>1%) berasosiasi dengan zona alterasi biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona pirit. *Low grade* Au (0,00-0,5g/t) berasosiasi dengan semua zona alterasi, mineralisasi zona kalkopirit dan zona pirit. *Medium grade* Au (0,5-1g/t); zona alterasi biotit+magnetit, zona alterasi serisit+klorit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit. *High grade* Au (>1g/t); zona biotit+magnetit, mineralisasi zona bornit dan zona kalkopirit.

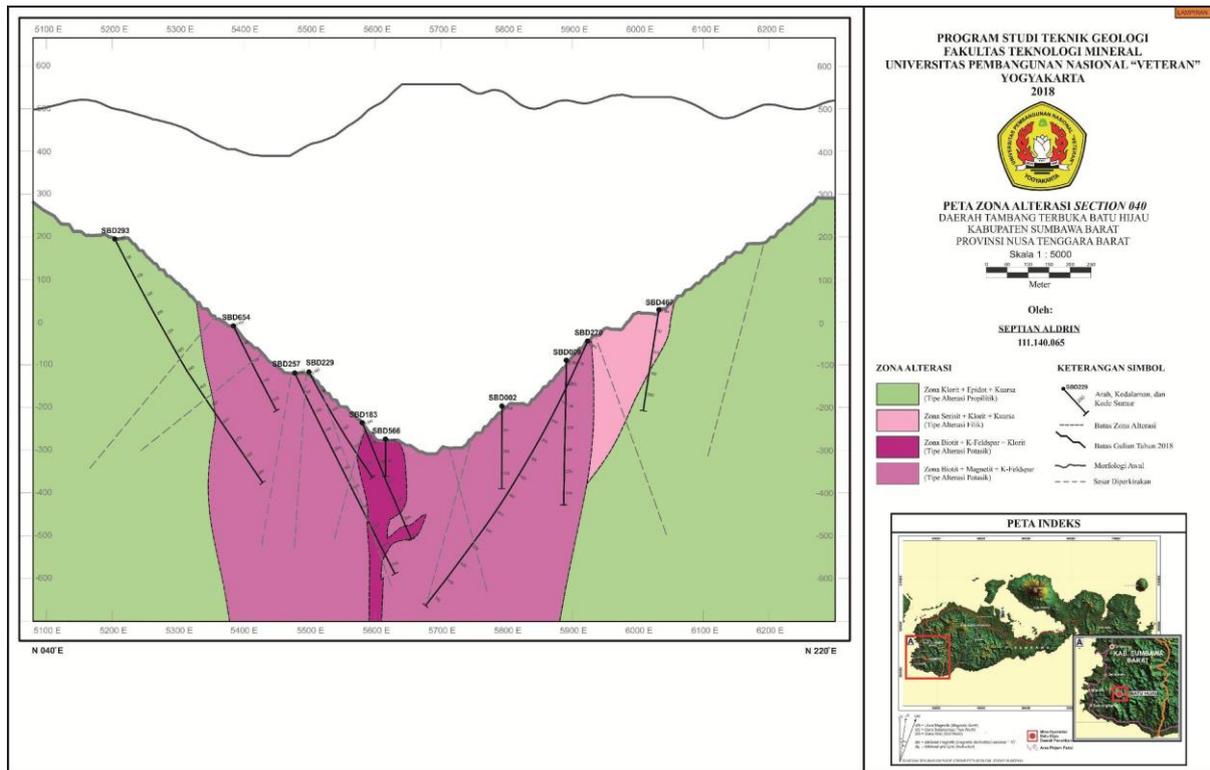
## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada PT. Amman Mineral Nusa Tenggara atas dukungan, sarana dan prasarana selama penelitian. Serta seluruh tim geologi yang meluangkan waktu di sela – sela pekerjaan untuk melakukan diskusi dan bimbingan selama proses pengambilan data hingga pengolahan data.

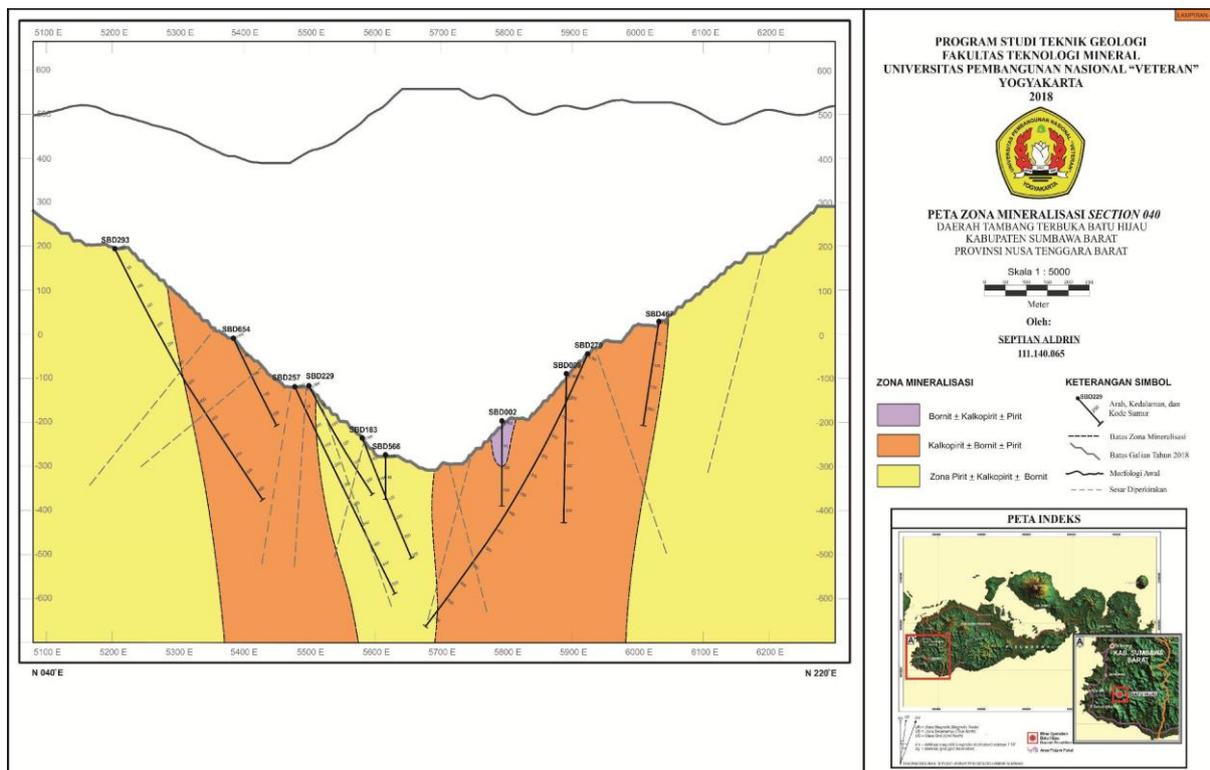
## DAFTAR PUSTAKA

- Arif, J., 2002. Gold Distribution at the Batu Hijau Pophyry Copper–Gold Deposit, Sumbawa Island, Indonesia: *Thesis Msc*, University James Cook: Australia.
- Arif, J dan Baker, T., 2004. Gold Paragenesis and Chemistry at Batu Hijau, Indonesia: *Implications for Gold-rich Porphyry Copper Deposit*. Mineralium Deposita, 39, 523 – 535.
- Arancibia, O.N., dan Clark, A.H., (1996) : Early Magnetite – Amphibole – Plagioclase Alteration – Mineralization in The Island Copper Porphyry Copper – Gold – Molybdenum Deposit, British Columbia. *Economic Geology*, Vol. 91, 402 – 438 p.
- Bateman, A.M., Jansen, M.L., 1981. *Economic Mineral Deposit 3rd Edition*. John Wiley and Sons Inc, New York, 600-621.
- Camuti, K., 2008. Clay Minerals, Alteration and Terry’s pH-Temperature Table. Lantana Exploration Pty Ltd. *Terry Leach Symposium, Australian Institute of Geoscientists, Bulletin 48*, 13 – 18 p.
- Cooke, D.R., Hollings, P., dan Walshe, J.L., 2005. Giants Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls. *Bulletin of The Society Economic Geologists*, Vol. 100, No. 5, 801 – 818 p.
- Clode, C., Proffett, J., Mitchell, P., and Munajat, I., 1999. Relationship of Intrusion, Wallrock Alteration and Mineralization in The Batu Hijau Copper-Gold Porphyry Deposit. *Australian Institute of Mining and Metallurgy Pacrim Conference*.
- Corbett, G.J. and Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization: *Special Publication 6, Society of Economic Geologist*, 238 p.

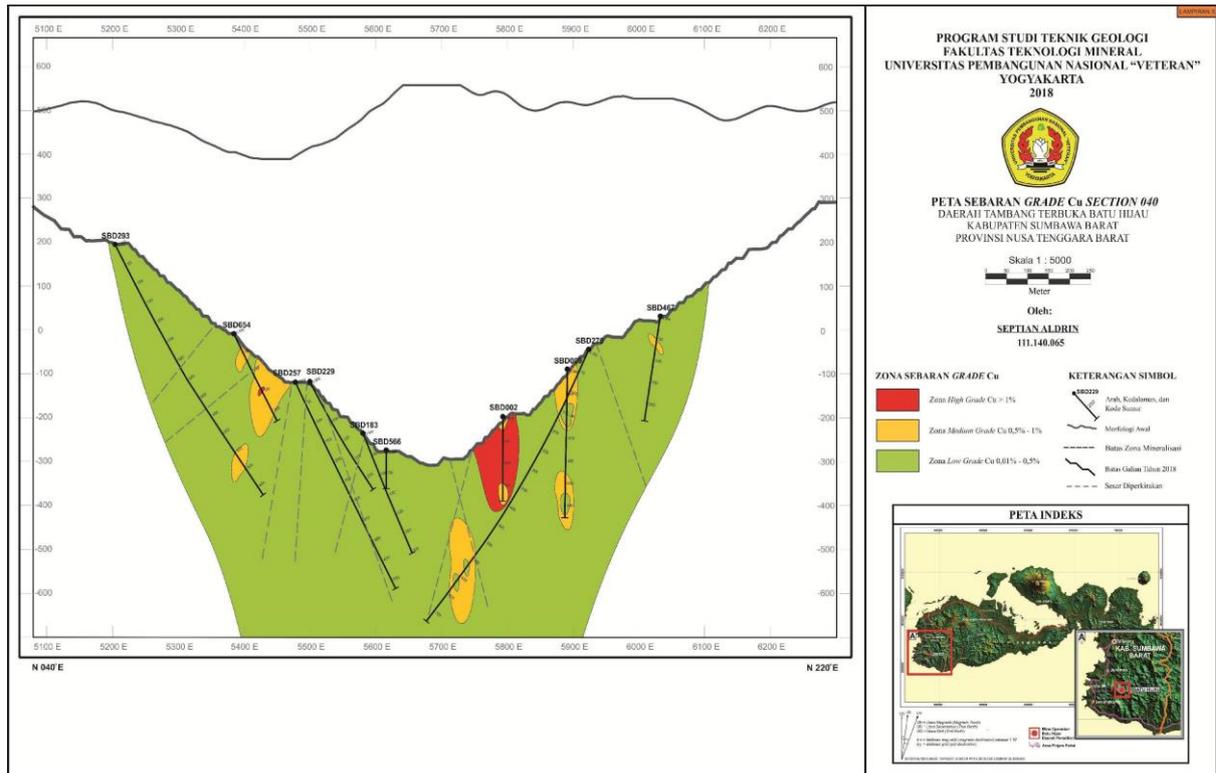
- Corbett, G., 2008. Influence of Magmatic Arc Geothermal Systems on Porphyry – Epithermal Au – Cu – Ag Exploration Models. *Paper Presented at The Terry Leach Symposium*, Sydney.
- Garwin, S.L., 2000. The Setting, Geometry and Timing of Intrusion-Related Hydrothermal Systems in The Vicinity of Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposits, Sumbawa, Indonesia: *Thesis Ph.D*, University of Western Australia, Nedlands, 320 pp.
- Garwin, S., (2002): The Geologic Setting of Intrusion-Related Hydrothermal Systems near the Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia, *Economic Geology, Special Publication 9*, 333-366.
- Garwin, S., Hall, R., and Watanabe, Y., 2005. Tectonic Setting, Geology, and Gold and Copper Mineralization in Cenozoic Magmatic Arcs of Southeast Asia and the West Pacific. *Economic Geology 100th Anniversary Volume* pp. 891–930.
- Guilbert, J.M., dan Lowell, J.D., 1974. Variations in Zoning Patterns in Porphyry Ore Deposits. *Canadian Inst. Mining and Metallurgy Bull*, 67, 290–295 p.
- Gustafson, L.B., dan Hunt, J.P., 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Bulletin of The Society of Economic Geologist*, Vol. 70, No. 5, 857 – 912 p.
- Idrus, A., 2005. Petrology Geochemistry and Compositional Changes of Diagnostic Hydrothermal Mineral within The Batu Hijau Porphyry Copper–Gold Deposits, Sumbawa Island, Indonesia. *Doctor Dissertation*, RWTH Aachen University Germany, Unpublished, 352 p.
- Lowell, J.D., Guilbert, J.M., 1970. Lateral and Vertical Alteration–Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. *Bulletin of The Society of Economic Geologists*, Vol. 65, No. 4, 373 – 108 p.
- Maryono, A., 2008. Porphyry Veining Types and Characteristics. *Porphyry Deposit Workshop*, Batu Hijau.
- Mitchell, P.A., Proffett, J.M., and Dilles, J.H. 1998. Geological review of the Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa, Indonesia: *Internal Report*, PT. Newmont Nusa Tenggara. Unpublished.
- Morisson, K., 1997. *Important Hydrothermal and their Significance*. Geothermal and Mineral Service Division, New Zealand. 76 pp.
- Pirajno, F., 1992. *Hydrothermal mineral deposits principles and fundamental concepts for the exploration geologist*: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris. 709 p.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer Geological Survey of Western Australia. 1250 p.
- Priowasono, E. dan Maryono, A. 2002. Structural Relationship and Their Impact on Mining at The Batu Hijau Mine, Sumbawa, Indonesia. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI ke-31*.
- Reimann, C., Flizmoser, P., dan Garret., R., 2005. *Background and Thrashold: Critical Comparison of Method of Determination*, Science of The Total Environment, Elsevier.
- Sillitoe, R.H., 1979. Some Thoughts on Gold – Rich Porphyry Copper Deposits. *Mineral Deposits*, Vol. 14, 161 – 174 p.
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 105, pp. 3–41.
- Sjoekri, A.A., 1997. Application of Geographic Information Systems for mineral exploration in southwestern Sumbawa, Indonesia: *Thesis Master*, Colorado School of Mines, Golden, Colorado. Unpublished.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12, 1-33 p.
- Sudradjat, A. Andi Mangga, dan S., Suwarna, N., 1998. Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. 1 A, Government Printing Office, Nijhoff, The Hague.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C.M., 1954, *PETROGRAPHY. An Introduction to Study of Rocks in Thin Sections*. W.H. Freeman and Company Inc., San Francis



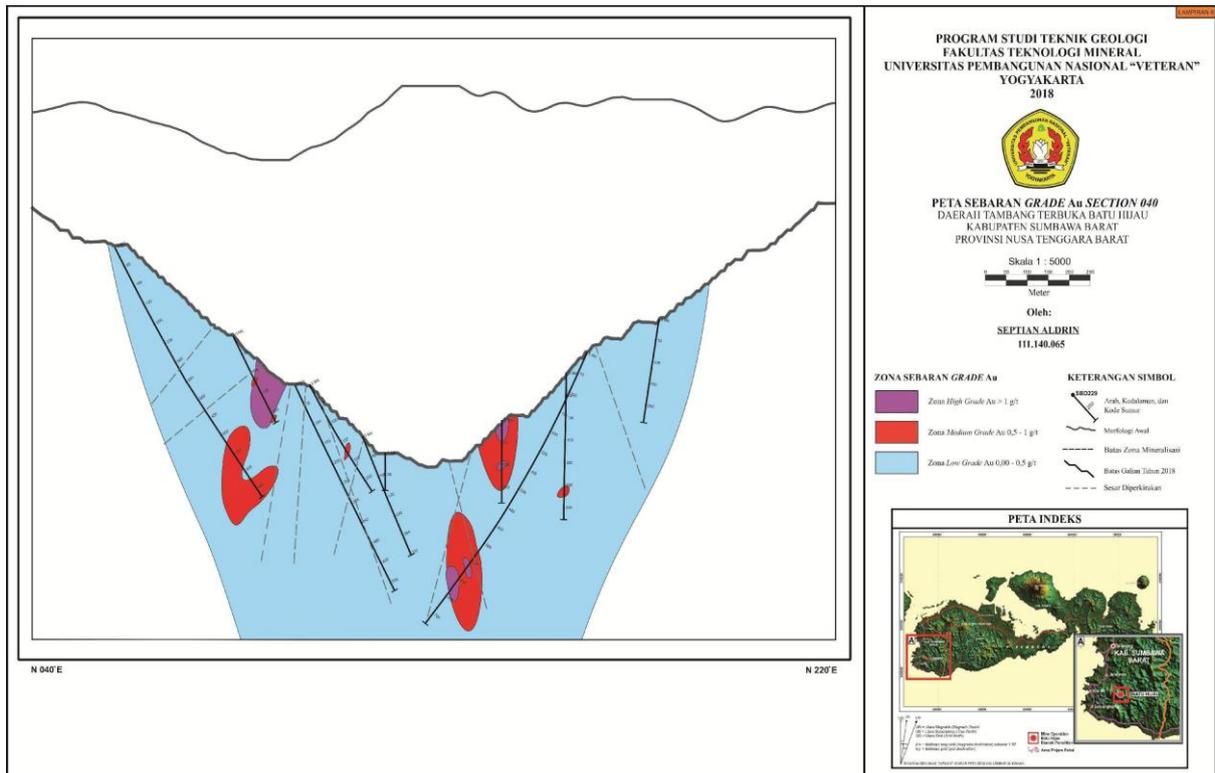
Gambar 14. Peta Zona Alterasi Section 040



Gambar 15. Peta Zona Mineralisasi Section 040



Gambar 16. Peta Sebaran Grade Cu Section 040



Gambar 17. Peta Sebaran Grade Au Section 040

### 3D ROCKTYPE DAN FZI MODELING RESERVOAR KARBONAT, FORMASI BERAI, CEKUNGAN BARITO, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

J Prasetya, S S Surjono, J Setyowiyoto  
Geological Engineering Department of Gadjah Mada University - Yogyakarta  
Corresponding author : [juniprasetya@gmail.com](mailto:juniprasetya@gmail.com)

**Sari** – Distribusi tipe batuan karbonat Formasi Beraí di cekungan Barito telah dinilai menggunakan kombinasi data *log* sumur, analisis inti dan inversi seismik. Pemodelan objek 3D dari distribusi fasies menunjukkan tiga unit utama sub-karbonat yang terbentuk dalam kronostratigrafi yang berbeda di dalam geometri karbonat pada formasi Beraí yang disebut sebagai *Platform A*, *Platform B* dan *Platform C*. Sementara itu, klasifikasi *rocktype* telah dilakukan dengan menggunakan rentang yang berbeda dilihat dari parameter nilai petrofisika (RHOB, NPHI dan GR) dari enam objek jenis batuan yang berbeda menurut klasifikasi Dunham (1962).

Hasil analisis *Rock Physics* menunjukkan *cut-off* petrofisik dari masing-masing jenis batuan yang terdapat pada formasi Beraí yang memiliki kesamaan dengan kondisi tipe batuan sebenarnya yang diperoleh dari deskripsi data batuan inti (*core*). Hanya ada empat jenis objek batuan yang terklasifikasi dari hasil eksperimen tersebut. Beraí karbonat terdiri dari *Packstone* yang sangat dominan dalam *volume*, berturut-turut diikuti oleh *Grainstone*, *Mudstone* dan *Wackstone*. Dengan kata lain, pendekatan petrofisika dapat digunakan untuk mengkategorikan variasi jenis batuan lapangan karbonat

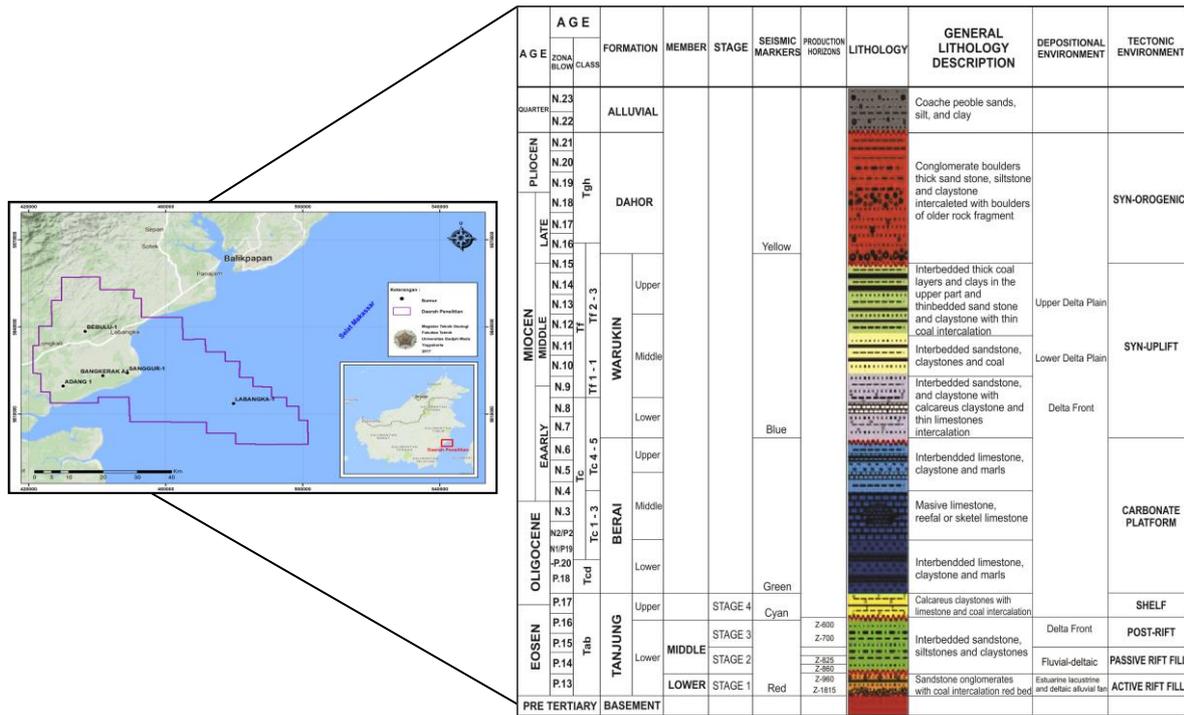
Deskripsi prospek gas di dalam reservoir Beraí karbonat yang dihasilkan dari penelitian ini tercermin dalam nilai FZI terbesar, resistivitas MSFL rendah dan nilai saturasi air terkecil (*Sw*). Model estimasi *co-kriging* 3D menunjukkan distribusi gas berdasarkan tiga parameter di atas mirip dengan profil uji DST. gas *play* yang terbaik dan distribusi gas terbesar terperangkap di dalam reservoir karbonat *Platform A* sebagai produk *packstone* (PRT kelas 3) di mana terdeposit pada transisi *reff flat* dan lingkungan *lagoon*. Gas-gas lain terletak dekat dengan asosiasi Adang *Fault* dan akumulasi hidrokarbon di area prospek ini juga dapat berasal dari migrasi ke atas di Formasi Tanjung ke Lapisan karbonat *Platform A*.

#### PENDAHULUAN

Lokasi penelitian merupakan salah satu lapangan migas di Indonesia yang berada di Provinsi Kalimantan Timur yang telah dilakukan eksplorasi oleh PT. Saka Energi. Lokasi penelitian ini telah terbukti menghasilkan hidrokarbon yang bernilai ekonomis. Saat ini, wilayah penelitian masih sangat menarik untuk dikembangkan karena masih memiliki potensi sumber daya untuk menghasilkan beberapa tambahan minyak dan gas alam. Daerah terdekat yang terletak di lapangan Pekawai menjadi target utama gas yang terperangkap dalam batuan karbonat Formasi Beraí

Karakterisasi reservoir karbonat pada penelitian ini akan difokuskan pada karakterisasi reservoir secara vertical dan lateral dengan menggunakan data bawah permukaan, yaitu data *core*, *cutting*, *well log*, *routine core analysis*, dan *seismic* serta data *DST* (*Drill steam test*) untuk dilakukan analisa fasies, lingkungan pengendapan, dan analisa petrofisik. Daerah penelitian yang akan di kaji terdiri dari 5 sumur eksplorasi yaitu sumur AD-1, BK-1, BL-1, SG-1, LB-1. Status dari sumur AD-1 adalah sumur yg telah ditutup atau sumur yang ditinggalkan, Sumur BL-1 dari tes produksi telah mengalirkan gas dengan *rate* sebesar 0.152 (MMSCFD) hal ini menunjukkan pada formasi Beraí daerah telitian adalah dominan menghasilkan reservoir gas, Sumur BK-1 dan SG -1 dengan data yang cukup lengkap sebagai *keys-well* dengan adanya data RCAL (*routine core analysis*), data tes produksi DST (*drill steam analysis*), namun tidak mengalirkan fluida hidrokarbon pada formasi Beraí, sumur LB-1 digunakan sebagai *guidance* karena memiliki *line* seismik yang melewati sumur tetapi kurang memiliki data log. Selama ini dasar pengklasifikasikan *rock type* dilakukan dengan analisa sayatan petrografi batuan karbonat (Amiarsa DP et al., 2012 ; Lucia, 1995), aplikasi sayatan petrografi untuk keperluan klasifikasi *rock type* di kedalaman sumur bor yang di peroleh dari sampel *coring* pemboran memerlukan biaya yang cukup mahal, oleh karena itu salah satu dasar yang melatar belakangi dilakukan penelitian ini ialah mencoba mengetahui sebaran *rock type* dengan menggunakan pendekatan petrofika berdasarkan data-data yang tersedia sehingga dapat mengurangi biaya eksplorasi.

Pengelompokan satuan stratigrafi Formasi Beraí didaerah penelitian dapat dibedakan menjadi 3 kelompok *platform* karbonat yaitu Beraí Bawah yang tersusun atas interkalasi *limestone*, *claystone* dan *Marl*, kemudian Beraí Tengah yang tersusun atas *masive limestone*, *reefal* dan *sketal limestone*, dan Beraí atas yang juga tersusun atas interkalasi *limestone*, *claystone* dan *Marl* yang terbentuk pada lingkungan pengendapan laguna dan laut dangkal (Koesumadinata, 2004) (Lihat gambar 1).



Gambar 1. Stratigrafi regional daerah penelitian yang terletak di cekungan Barito (modified after koesoemadinata at al., 2004)

**KARBONAT ROCK TYPING**

Analisis *Rock typing* berada antara disiplin ilmu geologi, petrofisika dan keteknikan tetapi umumnya dipublikasikan sebagian besar dalam jurnal petrofisika dan tidak terpantau oleh ahli geologi minyak bumi. Oleh karena itu, sebelum memperkenalkan alur kerja tipe *petro physical rock* (PRT) baru, hal ini sangat penting untuk meninjau status quo yang ada dalam praktik *rock typing* karbonat dan memberikan cara yang coba dipermudah dengan *workflow* baru. Pada saat ini dari *rock typing* karbonat dapat diringkas dalam 5 skema berbeda. Tabel 1. Dapat diringkas dengan skema berbeda dalam hal ketersediaan data, skala, kelebihan dan kekurangan yang merupakan inti dari pengembangan "road map" baru dalam analisis *rock typing* menurut Skalinsi & Kenter (2014).

Tipe batuan yang terendapkan didefinisikan sebagai *lithofacies* dan atribut terkait yang sering disebut sebagai "*Depositional rock types*" (DRT). Ini mengacu dalam klasifikasi (Dunham 1962; Embry & Klovon 1971), jenis pori generik (Choquette & Pray 1970) atau kombinasi klasifikasi Dunham / Embry– Klovon dengan ukuran butir / pori, yang diwakili oleh klasifikasi Lucia 1995). Klasifikasi semacam ini berkaitan dengan klasifikasi geologi tentang atribut geologi, dan relatif sederhana karena dapat dikaitkan dengan lingkungan pengendapan dan distribusi spasial, tetapi sering tidak relevan dengan aliran fluida sebagai hasil modifikasi diagenetik. Fabrik batuan dan jenis pori yang disimpulkan oleh (Lucia 1983, 1995, 2007) dapat memberikan hubungan antara petrofisika dan tren spasial geologi hanya jika sistem pori mengkonfirmasi definisi fabrik batuan yang relatif seragam. Lønøy (2006) dan Ahr (2008) mendefinisikan jenis batuan dengan memperkirakan ukuran dan tekstur pori dari distribusi porositas dengan menggunakan analisis petrografi, tetapi sering terjadi kesalahan pada saat membandingkan jenis batuan yang dihasilkan dengan klasifikasi yang mengacu pada data porositas yang sama.

Rock type berdasarkan kombinasi partisi petrofisika dilihat dari data *core* dan data *log* yang dikenal juga sebagai elektrofasi (Serra & Abbott 1980; Wolff & Pellissier-Combesure 1982) atau partisi porositas-permeabilitas *core* pada unit aliran (Amaefule et al. 1993). Metode ini terkait dengan sifat petrofisika tetapi tidak memiliki kaitan penting dengan geologi dan metode spasial. Serra & Abbott (1980) menciptakan istilah 'elektrofasi', yang pada dasarnya menangkap rangkaian respons *log* yang mencirikan unit batuan. Pada kenyataannya, hal itu adalah '*log typing*' dan terbukti berhasil dalam beberapa studi pada reservoir silisiklastik di mana 'terbentuk alami' dalam suksesi lithofacies yang terkorelasi dengan analisa petrofisika yang diamati dalam *domain log*. Menggunakan reservoir *quality index* (RQI) dan *flow zone indicator* (FZI), *rock type* diklasifikasikan dari nilai porositas - permeabilitas (Amaefule et al. 1993). Pendekatan serupa, juga didasarkan pada model Kozeny-Carman (Carman 1939), diusulkan oleh Wibowo & Permadi (2013). Corbett & Potter

(2004) dan Corbett (2010) untuk melengkapi konsep FZI, dengan memperkenalkan *generalized hydraulic elements* (GHE) yang menghubungkan ke konsep fasies geologi. Meskipun pendekatan tersebut lebih praktis dan efisien dalam karbonat dengan sistem porositas kompleks dan modifikasi diagenetik yang kuat, hubungan antara respon log dan geologi umumnya agak lemah dan mengarah ke prediksi spasial yang tidak akurat dan proporsi jenis batuan yang dihasilkan. Skalinski & Kenter (2015) akhirnya menjelaskan *workflow* baru yang bermaksud untuk mengatasi - dan memudahkan- cara yang ditentukan di atas dapat mendefinisikan dan menentukan *petrophysical rock type* (PRT) yang memperhitungkan proses pengendapan dan diagenesa (DRT & DM), dapat diprediksi dari data log di sumur yang tidak memiliki data *core*, dan dapat didistribusikan dengan cara geologis yang realistis dalam model 3D

Penelitian ini juga telah menyesuaikan konsep PRT serupa yang dikemukakan oleh Skalinski & Kenter (2014). Namun, sedikit modifikasi telah diterapkan dalam klasifikasi DRT. Kelas DRT dibagi menjadi terminologi asosiasi fasies yang diperoleh dari Sarg (1988) dengan menggunakan beberapa analogi model karbonat yang sudah diadaptasi di Taman Kepulauan Seribu mengacu pada Crevello (2005). Terminologi ini disederhanakan menjadi tiga kelompok yang disebut *back-reef lagoon*, *reef flat* dan *reef slope*. *seismic inversion volume* telah diterapkan untuk meningkatkan prediksi distribusi model fasies. Tujuan akhir dari penelitian ini adalah melakukan prediksi zona gas prospek yang terkait dengan kelas PRT dan DRT dalam reservoir Berai karbonat.

**Tabel 1.**  
Ringkasan dan perbandingan skema *rock typing*  
(adapted from Skalinski & Kenter, 2014).

Method/author	Data*	Scale	Plus	Minus
<b>DRT based</b>				
Dunham (1962)	Core description	Core	Defines depositional texture	Ignores diagenesis and pore types
Lucia (1995, 2007)	Core observations	Core	Link to depositional trends and permeability	Ignores later diagenetic events and microporosity, large uncertainty in perm prediction, inferred pore types
<b>Pore type based</b>				
Choquette & Pray (1970)	Core	Core	Genetic pore types	No link to petrophysical properties and spatial trends
Lønøy (2006)	Thin sections	Core	Pore size and texture, simple	No link to geological trends, semi-quantitative porosity
Ahr (2008)	Thin sections	Core	Link to genetic processes	Core domain only
<b>Partitioning – flow units</b>				
Amaefule <i>et al.</i> (1993)	Core FZI	Core	Link to porosity–permeability transforms	No link to spatial trends, transfer to log scale, fails when <i>K</i> and $\phi$ do not conform
Cortez & Corbett (2005)	Core GHE	Core	Link to flow units in larger scale	Poor link to geological trends, challenging prediction from logs
Gunter <i>et al.</i> (1997)	Core or log porosity and permeability	Core or log	Link to flow units in larger scale	Need continuous core profiles, does not include fractures
Wibowo & Permadi (2013)	Core RCA	Core	Link to permeability	Core domain, assumes conformance of porosity and permeability
<b>Partitioning – log clustering or electrofacies</b>				
Serra & Abbot (1980)	Logs	Log	Easy to apply, link to petrophysics	No link to geological trends, driven by input logs
<b>Petrophysical Rock Type (PRT)</b>				
Skalinski & Kenter (2014)	DRT, DM, PT, barrier	Core and log	Integration of DRT, DM, PT and barrier in log domain, includes 3D Earth model, adaptable to various data scenarios	Not easy to apply
<b>THIS STUDY</b>	New DRT class PRT class Reservoir class	Core and log	Integration of DRT based seismic inversion volume, enhance facies model using trend, PRT classification and dynamic validation, include 3D static model.  Also considering gas bearing zone associate with PRT.	Not easy to apply

**METODE PENELITIAN**

- 1) Initial stages of this research began with literature study. Literature study has been done by review some previous literature related to the similar research objective, flow and supporting theories at similar or different basin location especially in the carbonate rock type modeling subject.

- 2) Tahapan kedua merupakan tahapan pengumpulan data. Data di kumpulkan mulai dari data *raw* berupa *core*, log maupun seismik, serta data- data yang di proses dan di turunkan dari data *raw* tersebut. data-data yang di kumpulkan tersebut akan mendukung tercapainya tujuan pada penelitian ini.
- 3) Tahapan ketiga adalah Pengolahan data, Pengolahan dan Analisa data dilakukan guna mendukung pencapaian tujuan penelitian. Langkah pengolahan pertama ialah menginput seluruh data seismik 2D dan membuat data *base* sumur dengan memasukan input data *composite log* dan input log fasies (*lithologi*), yang kemudian dilakukan Analisa *velocity* model yang di peroleh melalui korelasi *check shot* sumur dan pekerjaan *well tie* berdasarkan data *log density* dan *log sonic*. Kemudian membuat marker atau batas *top* dan *bottom Berai* yang di peroleh berdasarkan data *internal report* sumur. Langkah selanjutnya ialah tahapan pekerjaan *picking horizon parasequence* target yang di batasi oleh *top* dan *bottom Berai* serta struktur patahan yang ada di dalamnya. Data *raw seismic* 2D dalam domain waktu yang merefleksikan kurva *amplitude* tidak dapat di gunakan sebagai parameter pemodelan reservoir. Data *amplitude* seismik 2D tersebut harus di olah terlebih dahulu kedalam nilai *property petrofisik* RHOB. Pengolahan atribut log kedalam bentuk seismik merupakan tahapan dalam pekerjaan *deterministic seismic inversion*. Hasil atribut seismik yang di hasilkan di sebut dengan *pseudo seismic* RHOB. Tidak semua atribut seismik yang diperlukan pada penelitian ini seperti seismik *pseudo* NPHI dan seismik *pseudo Gamma Ray* dihasilkan dengan cara 2D *pre-stack inversion*. Sebab antara ketiga atribut log tersebut memiliki kurva *trend* yang identik. Sebaran nilai *grid* 3D dari properti NPHI dan *Gamma Ray* nantinya dapat didistribusikan dengan *upscale well log* dan *co-kriging* dalam *pillar grid* menggunakan *trend* properti RHOB.
- 4) Tahapan keempat yaitu berupa pemodelan terhadap hasil analisis yang dikerjakan. Pemodelan ini akan dilakukan dalam bentuk tiga dimensi dengan menggunakan *Petrel modeling software*. Pemodelan tiga dimensi terhadap probabilitas fasies yang berada dalam target *parasequence* yang terletak di dalam *top* dan *bottom Berai* sangat penting dilakukan, sebab hasil probabilitas fasies inilah yang akan di jadikan *trend* penyebaran reservoir *property*. Selanjutnya, pada tahap pemodelan ini, properti reservoir karbonat akan dimodelkan ke dalam volume RHOB, volume NPHI dan *volume Gamma Ray*. Distribusi masing-masing *grid* properti akan ditampilkan secara vertikal atau lateral mengikuti kisaran nilai petrofisika yang identik pada kedalaman Berai carbonate. Tabel 2 menunjukkan pembacaan nilai RHOB pada kedalaman Berai carbonate mulai dari 2,1 - 2,8 gr / cc, pembacaan nilai NPHI pada kedalaman Berai carbonate mulai dari fraksi 0 - 0,75, dan pembacaan nilai GR pada kedalaman Berai carbonate mulai dari 1 - 40 API. Klasifikasi tipe batuan menurut Dunham (1962) akan diklasifikasikan dalam *crossplot rockphysics* menggunakan perangkat lunak *Rockdoc* dan perhitungan *Flow Zone Indicator* (FZI) akan diterapkan dalam penelitian ini.

**Tabel 2** *Cut of* jenis *rock type* berdasarkan kombinasi data aktual dan asumsi

No	Lithofacies	Grid Interval GR log	Grid Interval RHOB log	Grid Interval NPHI log
1	Mudstone*	25 - 40 API	2.1 - 2,39 gr/cc	0 – 0.008 fraction
2	Wackstone*	11 - 16 API	2,39 - 2.41 gr/cc	0.008 - 0.03 fraction
3	Packstone*	16 - 25 API	2.43 - 2.67 gr/cc	0.03 - 0.11 fraction
4	Grainstone*	8 - 11 API	2.41 - 2.43 gr/cc	0.11 - 0.45 fraction
5	Boundstone*	5 - 8 API	2.67 - 2.74 gr/cc	0.45 - 0.6 fraction
6	Crystalline*	1 - 5 API	2.74 - 2.8 gr/cc	0.6 - 0.75 fraction

Hubungan antara *rock type* dan FZI akan dijelaskan dengan menggunakan korelasi *neural network*

Note (\*) = nilai petrophysics aktual dari *core depth data*  
 (\*) = nilai asumsi petrofisik

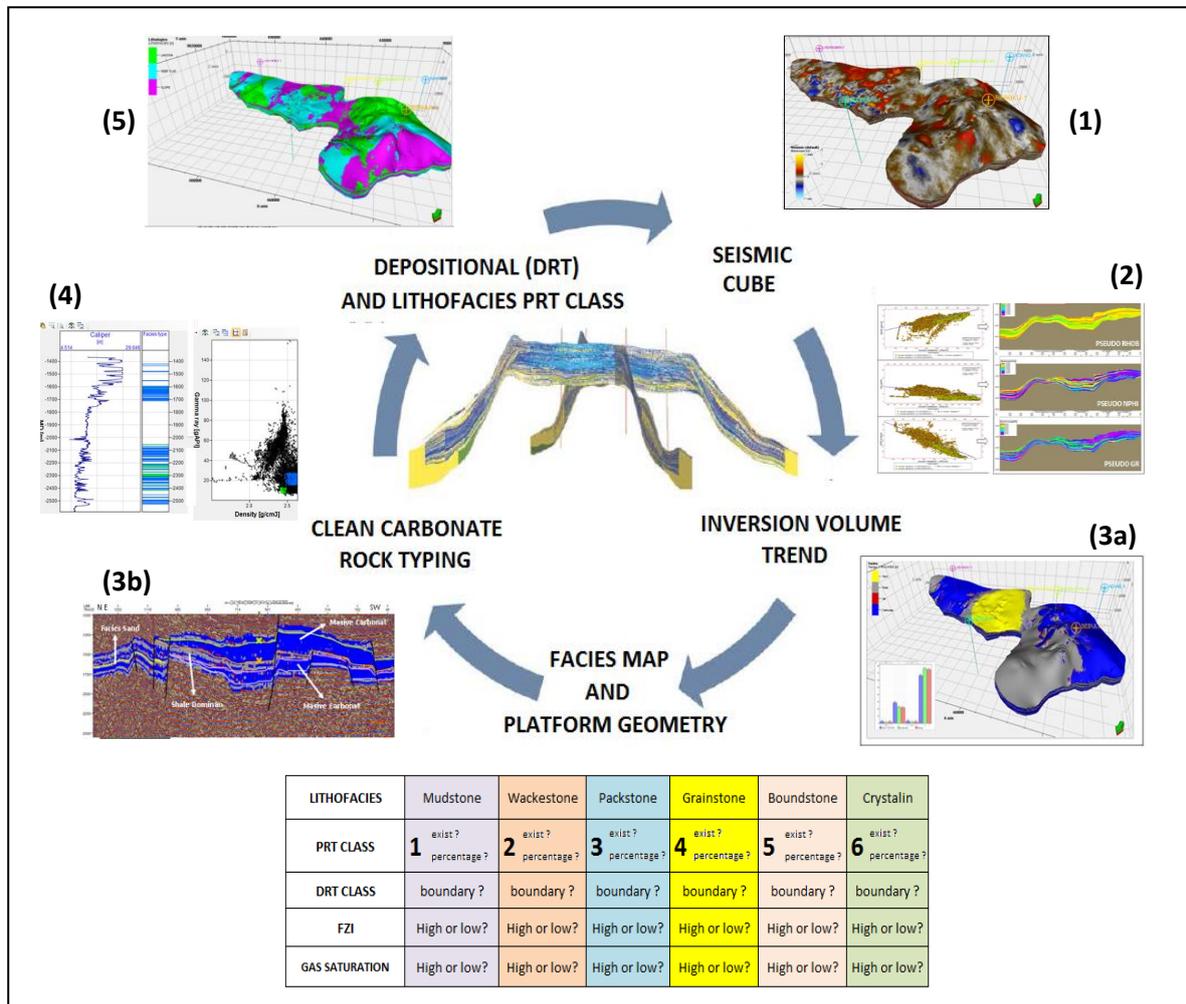
*Flowchart* sederhana model 3D PRT dengan penggabungan beberapa pertanyaan yang terkait dengan ketidakhadiran persentase *rock class*, batas pengendapan dan kehadiran gas potensial di dalam kelas batuan dapat dilihat pada (Gambar 2).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Batasan Marker Formasi Berai

Karakteristik log sumuran dapat digunakan untuk mengetahui refleksi batuan pada beberapa sumur yang memiliki kesamaan berdasarkan pola dan karakteristik petrofisika dalam satuan sekeunstratigrafi. Batasan marker dari beberapa formasi didaerah kajian didapat melalui integrasi antara korelasi log sumur yang sesuai dengan pola log *Gamma ray* dan informasi yang diperoleh berdasarkan data *cutting* pemboran. Korelasi sumur yang dimaksud dilakukan dengan memetakan batas antara Formasi Tanjung, Formasi Berai dan Formasi Warukin pada 4 sumur yang berbeda.

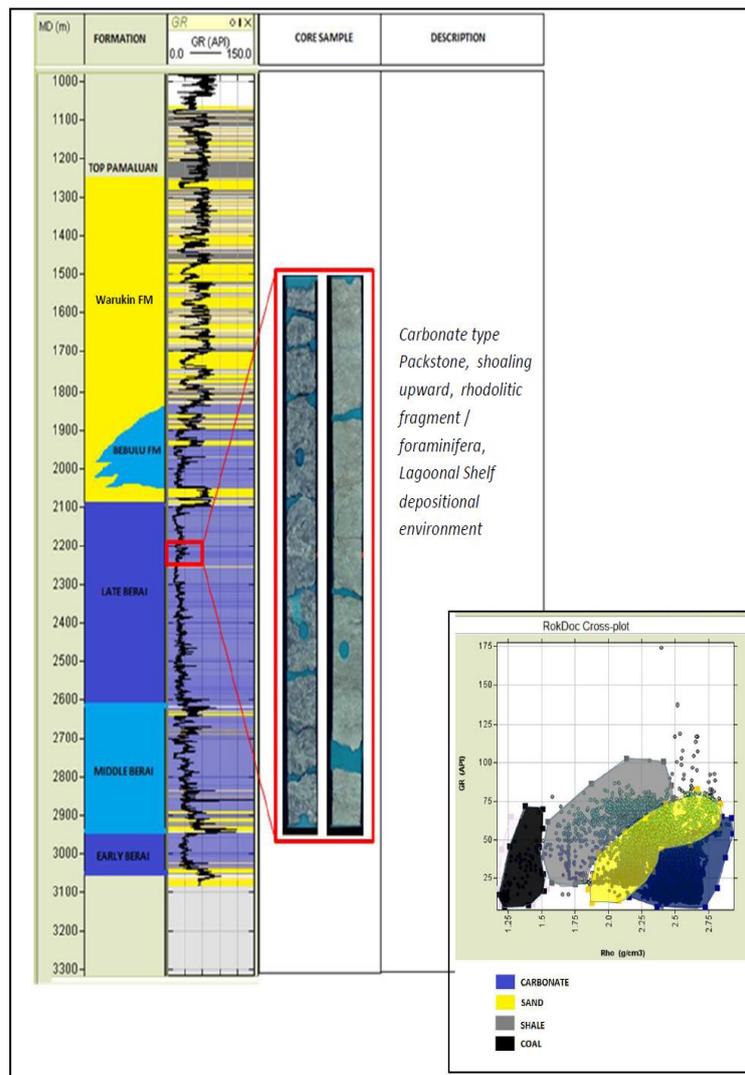
Hasil dari penampang elektrofacies pada Sumur BK-1 seperti yang terlihat pada (Gambar3) menunjukkan bahwa marker stratigrafi antara *top* Berai dan *lower* Berai telah sesuai validasi posisi kedalaman sampel *coring* dan juga sesuai dengan posisi kolom stratigrafi regional yang menunjukkan bahwa formasi Berai tersusun atas 3 satuan *platform* karbonat yang berbeda (Berai bawah, Berai tengah dan Berai atas). Adapun kehadiran satuan karbonat lainnya yang berada diatas Formasi Berai yang masuk pada umur Formasi Warukin disebut juga sebagai Karbonat Bebulu (Mobil Adang Kutei inc, 1987).



Gambar 2. Flowchart sederhana model 3D PRT yang di lakukan dalam penelitian ini

**Depth Structure Formasi Berai**

Tahapan awal yang termasuk dalam pekerjaan input data dan analisa geofisika didaerah kajian yang dilakukan dalam penelitan ini ialah melakukan input data seismik dasar beserta data sumuran dan kemudian dilakukan seismik *well tie*. Proses *picking* data seismik dilakukan untuk mendapatkan batasan horison dari parasekuen Formasi Berai, dimana marker kedalaman horison dari *top* Berai dan *bottom* Berai didapat dari data sekunder sumuran yang telah tersedia. Hasil dari beberapa proses interpretasi awal dan *picking seismic horison* dapat dilihat pada Gambar 4



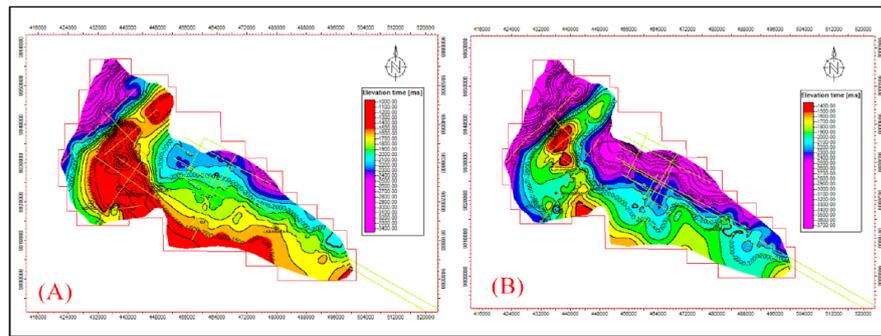
Gambar 3. Analisa elektrofases dan deskripsi core sumur BK-1

### Deterministic Seismic Inversion

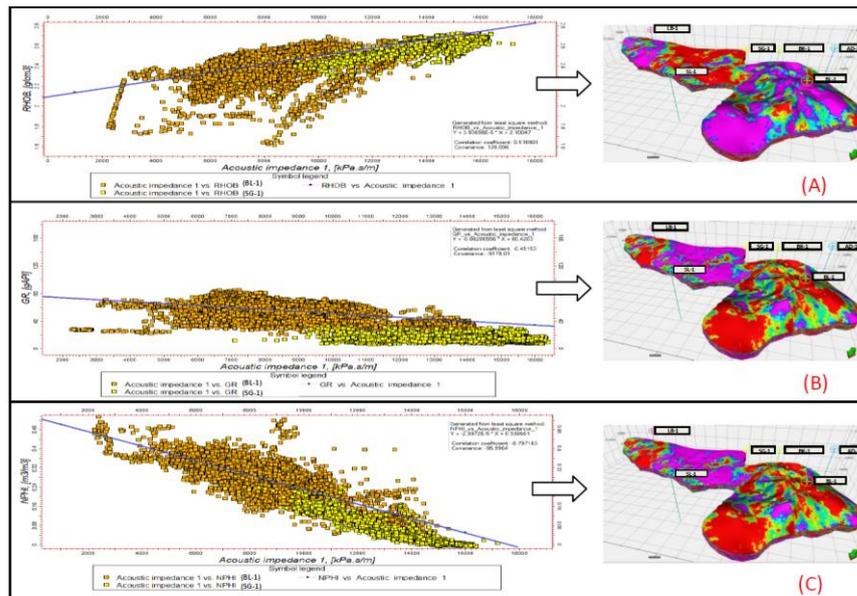
Volume pseudo log hasil dari inversi seismik termasuk pseudo seismik RHOB, pseudo seismik Gamma Ray dan pseudo seismik NPHI. Keterwakilan data log untuk melakukan crossplot acoustic impedance (AI) diambil pada 2 titik sumur yang dianggap paling sensitif dengan lintasan line seismik original, yaitu sumur BL-1 dan sumur SG-1. Hasil crossplot impedance versus log RHOB, log Gamma ray dan log NPHI beserta fungsi regresinya dapat dilihat pada Gambar 4. Fungsi dari crossplot impedance tersebut digunakan sebagai trend untuk menyebarkan atribut inversi seismik.

The detail application of trend volume can be used to enhance the difference of lithological unit (facies), as expressed below :

1. *Facies* batu lempung (*shale*) tercermin dari nilai pembacaan *log gamma ray* yang tinggi. Sehingga pembobotan dilakukan dengan menggunakan *trend volume pseudo gamma ray*.
2. *Facies sandstone* memiliki refleksi nilai pembacaan *log gamma ray* yang rendah, sehingga pembobotan dilakukan dengan menggunakan kebalikan dari trend volume pseudo gamma ray (*trend = 1/Gamma Ray*).
3. *Facies siltstone* tercermin dari nilai pembacaan *log RHOB* yang tinggi, sehingga pembobotan dilakukan dengan menggunakan *trend volume pseudo RHOB*.
4. *Facies* batu gamping tercermin dari nilai pembacaan *log NPHI* yang rendah, sehingga pembobotan dilakukan dengan menggunakan kebalikan dari *trend volume pseudo NPHI* (*trend = 1/NPHI*).



Gambar 4 (A) Top deep structure Berai, (B) Bottom deep structure Berai



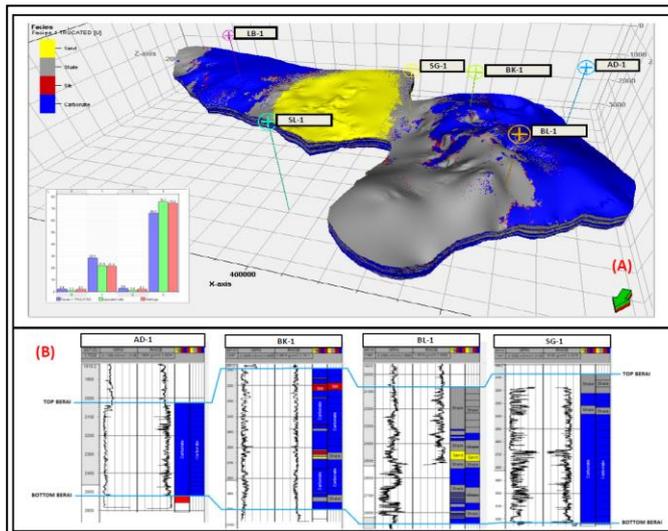
Gambar 5 (A) crossplot log AI versus log RHOB, beserta hasil kalkulasi volume trend (B) crossplot log AI versus log Gamma Ray, beserta hasil kalkulasi volume trend (C) crossplot log AI versus log NPHI, beserta hasil kalkulasi volume trend

### 3d Model Fasies 3d Dan Geometri Platform

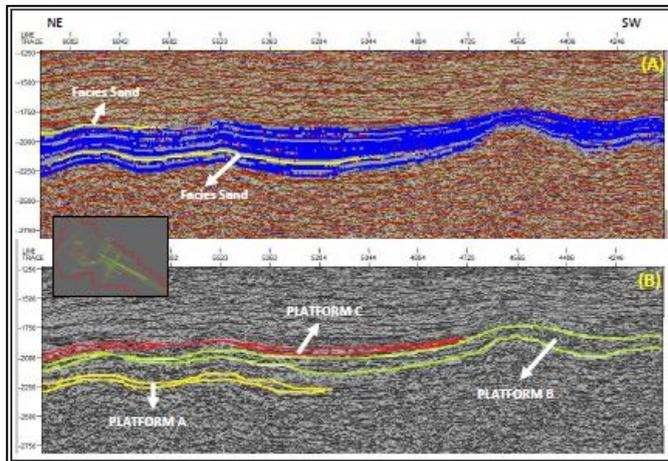
Hasil analisa bentuk geometri dari tubuh fasies karbonat (Gambar 6) didaerah kajian dilakukan dengan memetakan sebaran fasies karbonat yang dominan. bentuk geometri fasies karbonat memperlihatkan tiga kelompok platform yang berbeda periode pembentukannya. Ketiga kelompok platform dinamakan sebagai Platform A, Platform B dan Platform C dimana masing masing platform tersebut dipisahkan oleh sisipan shale, silt dan sand. Sisipan fasies shale yang cukup dominan dengan perselingan batuan karbonat merupakan bagian dari pembentukan platform B dan diidentifikasi sebagai produk transgresi (onlap). Pada sebagian tempat terlihat sisipan sandstone yang menandakan bagian dan batas dari geometri sedimen downlap (regresi). (Gambar 7) menunjukan penampang lateral model fasies pada line seismik SR-IX yang terletak disebelah timur blok kajian, hasil penampang memperlihatkan posisi platform A dan C yang downlap kearah NE, juga beberapa tambahan pada sayatan fasies (facies slicing) menunjukkan tidak adanya platform B di blok NW daerah penelitian. Pendekatan alternatif untuk menentukan pola pembentukan reef akan dinilai berdasarkan pada konfigurasi peta ketebalan pada setiap platform (Gambar 8).

Interpretasi tubuh geometri reef buildup dengan menggunakan picking horison dalam interpretasi tunggal seismik tidak dapat memberikan gambaran yang sebenarnya karena perubahan dalam beberapa parameter pengontrol seperti evolusi tektonik setelah proses pengendapan, proses batuan karbonat yang kontak dengan air meteorik dan mengganggu proses pertumbuhan reef oleh material debris flow ketika regresi terjadi. Ada beberapa metode alternatif yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menganalisis geometri lapisan platform karbonat. fasies clean karbonat telah diklasifikasikan menjadi 3 kelompok platform utama, masing-masing platform ketebalan diperoleh dari penghitungan interval antara horison platform teratas dan horison platform bawah. Pendekatan ini dilakukan karena resolusi seismik di daerah penelitian sangat rendah, menyebabkan beberapa kendala untuk menginterpretasikan munculnya penumpukan reef. Hasil dari pendekatan ini dapat

menggambarkan konfigurasi pola pembentukan *reef* dan mengembangkan pola di dalam parasikuen karbonat itu sendiri. Pertumbuhan penumpukan *reef* masif dalam *platform* geometri dapat diidentifikasi berdasarkan dominasi ketebalan



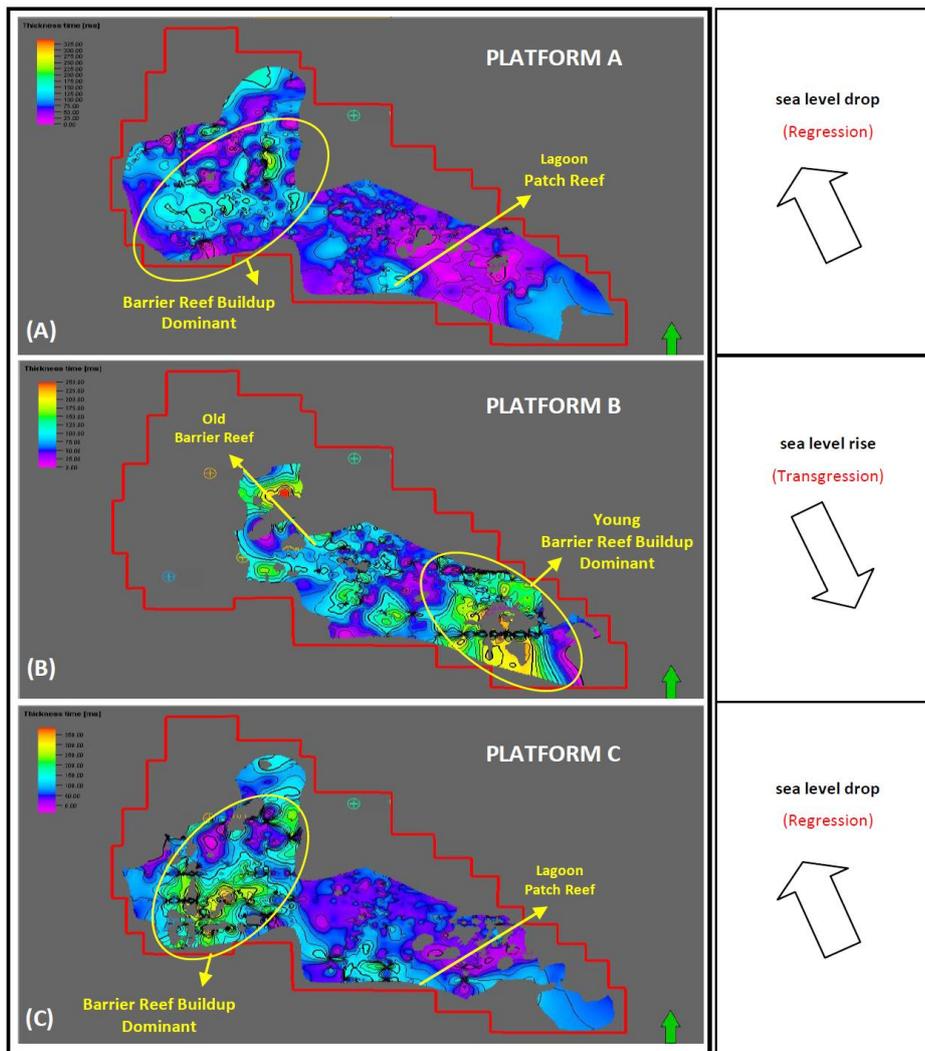
**Gambar 6**  
 (A) Hasil penaksiran sebaran model fasies 3D  
 (B) Validasi hasil model fasies dengan *log* fasies pada penampang sumur



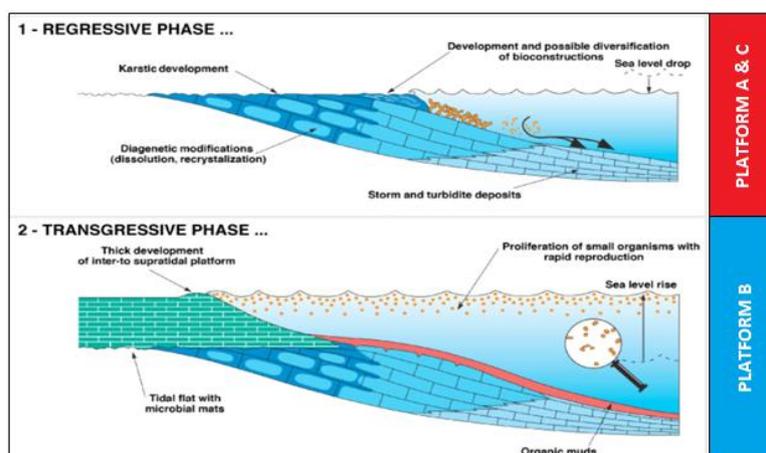
**Gambar 7** (A) Sebaran model fasies 3D pada penampang *line* seismik SR-1X  
 (B) Interpretasi geometri *platform* pada penampang *line* seismik SR-1X

Hasil dari profil ketebalan masing-masing *platform* ditunjukkan pada Gambar 8. Perkembangan *reef* yang terbentuk di *platform* A dan *Platform* C lebih dominan di sebelah barat laut area penelitian, sedangkan perkembangan *reef* yang terbentuk di *platform* B lebih dominan di barat daya dari daerah penelitian. Ini dapat memberikan gambaran mengenai perubahan kenaikan *sea level* di lingkungan paleogeografi dari blok penelitian *inline* dengan interpretasi *onlap* geometri dan posisi *downlap* dari badan *platform* dengan interpretasi sebelumnya (Gambar 8).

konseptual model geologi pengendapan karbonat (lihat Gambar 9) juga *inline* dengan hasil interpretasi dari perkembangan arah pertumbuhan dan asosiasi sedimen. Gambar 9 juga menjelaskan keberadaan fasies sandstone dari produk regresi yang menyalip *platform* A dan C. Sementara kehadiran fasies *shale* sebagai asosiasi sedimen *platform* B yang merupakan bagian dari fase transisi. Menurut Gambar 9, tubuh *platform* B akan cenderung menjadi produk litofasies *reef-flat*. Hal ini telah dibuktikan dalam hasil pemodelan asosiasi fasies yang menunjukkan *platform* B di tengah tubuh karbonat mengandung secara dominan produk *reef-flat* (lihat Lampiran D).



**Gambar 8.** (A) Chronostatigraphy reef buildup pada Platform A  
 (B) Chronostatigraphy reef buildup pada Platform B  
 (C) Chronostatigraphy reef buildup pada Platform C



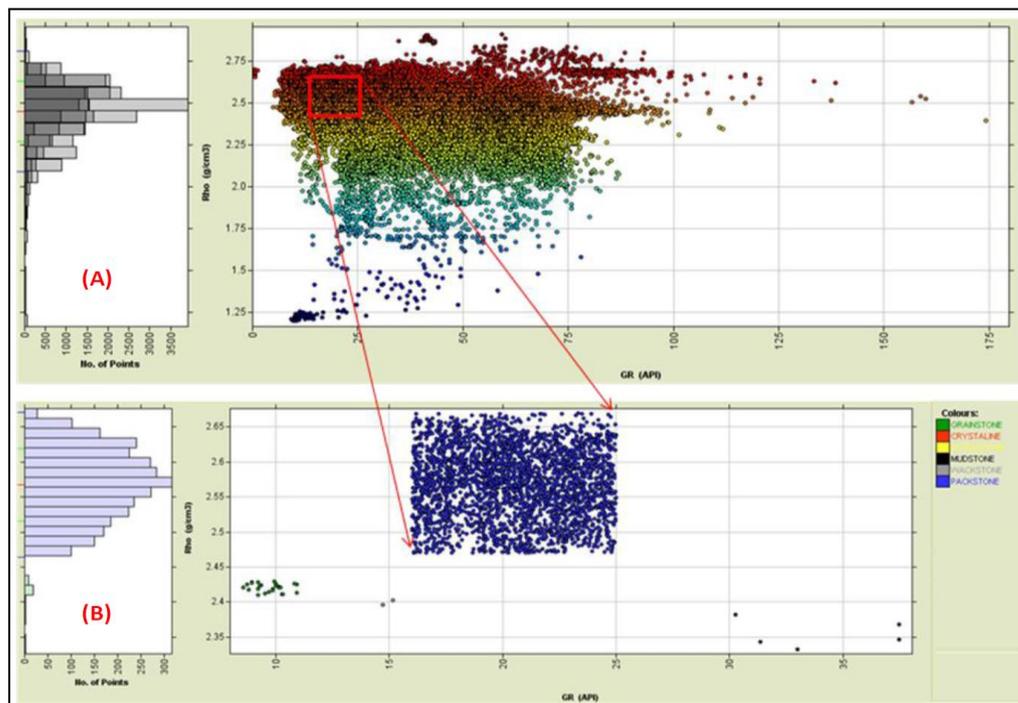
**Gambar 9.** Model geologi tentang pembentukan platform karbonat  
 (modified after ABGP, 2015)

### Analisis *Rock Physics* Dan Pembagian *Rock Type*

Beberapa peneliti telah mengklasifikasikan jenis batuan karbonat menggunakan kombinasi pendekatan petrofisika dan petrografi (Skalinski M et al., 2014). Namun, tidak ada subjek literatur sebelumnya dalam tujuan *rock typing* yang serupa di reservoir karbonat formasi Berai. Kisaran nilai *input* petrofisik enam tipe batuan menurut klasifikasi Dunham (1962) telah dinilai menggunakan kombinasi nilai petrofisika yang terletak di data kedalaman *core* dan beberapa penilaian (lihat Tabel 2). Hasil analisis *crossplot rockphysic* menunjukkan bahwa dari keseluruhan enam kelas litofasies, hanya ada 4 kelas tipe batuan karbonat di lokasi penelitian, yang terdiri dari *grainstone*, *wackstone*, *packstone* dan *mudstone* (Tabel 3). Analisis *crossplot* juga menunjukkan kelas *packstone* sangat dominan, kemudian diikuti oleh *grainstone*, *mudstone* dan *wackstone*. Gambar 10 menggambarkan bahwa hasil analisis *crossplot* menggunakan perangkat lunak *Rockdoc* menunjukkan informasi yang kurang lebih serupa yang diperoleh dari data sekunder berdasarkan pengamatan petrografi. Model estimasi *rock type* 3D di area studi ini dan konfigurasi *rock type* sepanjang arah seismik NW-SE dapat dilihat di Lampiran A.

**Table 3.** Hasil *Cut off* akhir jenis *rock tye* di lokasi penelitian

No	Lithofacies	RHOB Cut off	NPHI Cut off	GR Cut off
1	Mudstone	2.315 – 2.389 gr/cc	0.00 - 0.012 fraction	27.5 – 38 API
2	Wackstone	2.389 – 2.406 gr/cc	0.012 - 0.025 fraction	13 - 15.7 API
3	Packstone	2.45 - 27 gr/cc	0.025 - 0.115 fraction	15.7 - 27.7 API
4	Grainstone	2.406 - 2.45 gr/cc	0.115 - 0.25 fraction	7.0 - 13 API



**Gambar 10.**

(A) Contoh *Crossplot rock physics log Gamma ray versus RHOB*  
 (B) hasil analisa rockphysics yang menunjukkan kehadiran 4 rocktype di daerah penelitian

### Model Porositas

Pembuatan model porositas dilakukan dengan membuat *crossplot AI versus* nilai porositas. Nilai porositas yang diambil untuk langkah ini ialah nilai porositas *core* yang hanya berasal dari *sample core* pada kedalaman sumur SG-1 dan BK-1. Nilai porositas *core* tersebut kemudian diekstrak menjadi porositas log, mengingat interval data porositas *core* tersebut diambil pada kedalaman yang kurang mewakili keseluruhan interval batuan karbonat yang dikaji, maka akan terdapat sedikit anomali pada *crossplot* AI versus porositas *core*. Lihat (Lampiran B). Hasil dari distribusi 3D model porositas dapat dilihat pada (Lampiran C)

**Model FZI**

FZI adalah parameter umum yang digunakan untuk mengklasifikasikan *flow unit* pada batuan reservoir yang dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2). Banyak peneliti sebelumnya menerapkan parameter ini dalam studi reservoir batu pasir dan beberapa juga menerapkannya pada reservoir karbonat (Amaefule et al, 1993).

$$RQI = 0,0314\sqrt{k/\phi} \dots\dots Eq (1)$$

$$FZI = \frac{RQI}{\left(\frac{\phi}{1-\phi}\right)} \dots\dots Eq (2)$$

Sedangkan RQI adalah indeks kualitas reservoir, FZI adalah indikator zona aliran, *k* adalah Permeabilitas dan  $\phi$  adalah porositas.

Model volume FZI dihasilkan dengan menggunakan fungsi kalkulator volume sederhana, input data yang diperlukan seperti porositas dan permeabilitas model sudah diperkirakan pada langkah sebelumnya. Hasil dari model 3D FZI dapat dilihat di (Lampiran B).

**Distribution Zona Prospek Gas**

Gambaran adanya akumulasi gas pada daerah penelitian bergantung terhadap sebaran model FZI setelah dikoreksi dengan saturasi air awal, akan tetapi gambaran mengenai kehadiran akumulasi gas pada reservoir karbonat pada penelitian ini didasarkan pada pendekatan nilai *resisivity* dan perhitungan nilai saturasi air (1-Sw). Rekomendasi daerah prospek dipetakan atas dasar nilai FZI tertinggi dengan nilai *resistivity* MSFL yang rendah dan nilai saturasi air (Sw) yang kecil. Prospek zona akumulasi gas telah divalidasi dengan menggunakan informasi penting dari aliran hidrokarbon yang sesuai dengan kedalaman profil uji DST (Lampiran C). prospek reservoir gas di area studi berdasarkan kombinasi validasi PRT, DRT dan DST yang terletak di kelas *rock type 3 (packstone)* di mana diendapkan pada transisi *reff flat* dan lingkungan pengendapan *lagoon* (Gambar 11).

LITHOFACIES	Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalin
PRT	1	2	3	4	No exist	
DRT	Backreef - Lagoon		Reff flat	Slope	No exist	
GAS CONTENT	VERY LOW		HIGH	FAIR	LOW	No exist

**Gambar 11.** Rekapitulasi potensi PRT dan DRT untuk *gas reservoir play*

**Hubungan Antara DRT, PRT DAN FZI**

Variasi *rock type* yang dihasilkan dalam penelitian ini harus mampu menjelaskan diagenesis pada batuan karbonat yang dapat diwakili oleh parameter FZI. Hasil korelasi menggunakan pendekatan *neural network* antara tipe volume *rock* dan volume FZI di wilayah studi menunjukkan bahwa *Grainstone* memiliki nilai FZI simultan terbesar, diikuti oleh *packstone* dan *mudstone*, sedangkan *wackestone* memiliki nilai simultan FZI terendah (Gambar 12).

Correlation type: Linear						
	FZI	ROCKTYPE [rocktype Neural net]	MUDSTONE	WACKSTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE
FZI	1.0000	0.0200	0.0140	0.0019	0.0217	0.0350
Total	0.0000	0.0200	0.0140	0.0019	0.0217	0.0350

Correlation type: Non-linear					
	FZI	LITHOFACIES	LAGOON	REEF FLAT	SLOPE
FZI	1.0000	0.0347	0.0062	0.0496	0.0579
Total	0.0000	0.0347	0.0062	0.0496	0.0579

**Gambar 12.** Hasil korelasi *simultan* menggunakan fungsi *Neural Network*

- (A) Hasil korelasi FZI dengan volume *rock type*
- (B) Hasil korelasi FZI dengan volume *lithofacies*

Berdasarkan model asosiasi fasies (lihat Lampiran D), asosiasi fasies *backreef lagoon* didominasi oleh *skeletal wackestone* dan *mudstone*. Beberapa pembentukan produk dalam asosiasi fasies ini dihasilkan dari lingkungan energi rendah yang menciptakan kandungan lumpur yang lebih tinggi yang dapat dilihat dari tekstur pengendapannya, umumnya dicirikan sebagai *mudstone* dan *wackestone* (Sarg 1988). Faktor-faktor pembentuk di lingkungan *lagoon* ini menyebabkan jenis batulempung dan batuan *wackestone* mengandung nilai FZI simultan yang rendah (lihat Gambar 12).

Asosiasi *facies reef-flat* didominasi oleh *Foraminifera packstone-grainstone*. Beberapa pembentukan produk dalam hal ini dalam asosiasi fasies ini disebabkan karena lingkungan energi yang lebih tinggi, dampaknya dalam persentase kandungan *mud* harus lebih kecil di dalam tekstur batuan. Faktor pembentukan ini terutama di lingkungan *slope* menyebabkan jenis *grainstone* memiliki nilai FZI simultan yang tinggi (lihat Gambar 12).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, para peneliti mengemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Rock type* reservoir karbonat yang diperoleh dari pendekatan petrofisika di daerah penelitian ini dari volume terbesar ke terendah berturut-turut berturut-turut adalah *Packstone*, *Grainstone*, *Mudstone* dan *Wackestone*. Hasil dari kelas jenis batuan ini menunjukkan hasil yang sama dengan kondisi *rock type* aktual yang diperoleh berdasarkan pengamatan petrografi dari pengamatan sebelumnya.
2. Distribusi model fasies karbonat di daerah penelitian dibentuk dalam lingkungan *shelf* yang disusun menjadi tiga kelompok *platform* yang berbeda, sedangkan jenis *reef* yang terbentuk di *platform* A dan *platform* C memiliki bentuk dominan terbentuk pada *barrier reef* dan *less patch reef*, sedangkan *platform* B memiliki bentuk dominan pada *barrier reef*.
3. Zonasi tinggi gas *bearing* di daerah studi Formasi Berai ditemukan di *platform* A karbonat. Hal ini disebabkan karena refleksi FZI (indikator zona aliran) tertinggi dan pembacaan terkecil resistivitas MSFL dan saturasi air.
4. prospek *gas play* di daerah penelitian setelah divalidasi dengan informasi DST ditemukan di *packstone* (PRT kelas 3) pada transisi dari *reef flat* dan lingkungan *lagoon*. Meskipun produk *grainstone* (PRT kelas 4) memiliki nilai FZI terbesar, mengandung jumlah gas lebih sedikit karena pembentukan energi tinggi di *slope*.

Adapun saran yang ingin disampaikan penulis antara lain :

1. Perlu dilakukan penambahan data SCAL yang sebaiknya di ambil pada interval kedalaman karbonat *platform* A.
2. Data DST yang tersedia hanya tersedia pada *platform* B dan C, oleh karena itu Untuk uji sumur lanjutan, sebaiknya di lakukan DST pada interval kedalaman karbonat *platform* A

## DAFTAR PUSTAKA

- ABGP, Brazilian Association do Petroleum Geologists., 2015, Diagenetic carbonate, Short Course Handbook.
- Ahr, W. M. 2008. Geology of Carbonate Reservoirs. Wiley, New York.
- Amaefule, J.O., Altunbay, D., Tiab, D., Kersey, D.G., dan Keelan, D.K., 1993, Enhanced Reservoir description : using core and log data to identify hydraulic (flow) unit and predict permeability in uncored interval/well, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, SPE paper 26438, 16 page.
- Amiarsa DP, Kurniawan IA, Susanto A, and Tabri KN. 2012., Carbonate Facies Model and Paleogeography of Tendehhantu Formation, Northern Kutai Basin, Indonesia. Search and Discovery Article #50746, AAPG International Conference and Exhibition, Singapore, September 16-19, 2012. 10 pages.
- Carman, P. C. 1939. Permeability of saturated sands, soils and clays. Journal of Agricultural Sciences, 29, 57–68.
- Choquette, P.W. and Pray L.C., 1970, Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Karbonat, AAPG Bulletin, v. 54, p. 207-250.
- Corbett, P. W. M. 2010. Petrotype-based sampling applied in a saturation exponent screening study, Nubian Sandstone Formation, Sirt Basin, Libya. Petrophysics, 51, 264–270.
- Corbett, P. W. M. & Potter, D. 2004. Petrotyping: A basemap and atlas for navigating through permeability and porosity data for reservoir comparison and permeability prediction. Paper presented at the SCA Annual Conference, Abu Dhabi, 5–9 October 2004.
- Dunham, R.J, 1962, *Classification of karbonat rocks according to depositional texture*, American Association of Petroleum Geologist Memoir I, Tulsa, Oklahoma; U.S.A.
- Embry, A. F. & Klovan, J. E. 1971. A late devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT. Canadian Petroleum Geology Bulletin, 19, 730–781.

Koesoemadinata, R.P., Taib, M.I.T., dan Samuel, L., 1994. Subsidence curves dan modeling of some Indonesia Tertiary Basins : 1994 AAPG International Conference dan Exhibition Kuala Lumpur , Malaysia, p. 1-42.

Mobil Adang Kutei inc, 1987, Geological internal report at Adang Block, Kalimantan Indonesia.(*unpublished report*)

Lucia, F. J. 1983. Petrophysical parameters estimated from visual descriptions of carbonate rocks: A field classification of carbonate pore space. *Journal of Petroleum Petrology*, 35, 629–637.

Lucia, F. J. 1995. Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79, 1275–1300.

Lucia, F. J. 2007. *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach*, 2nd edn. Springer, New York.

Lønøy, A. 2006. Making sense of carbonate pore systems. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 90, 1381–1405.

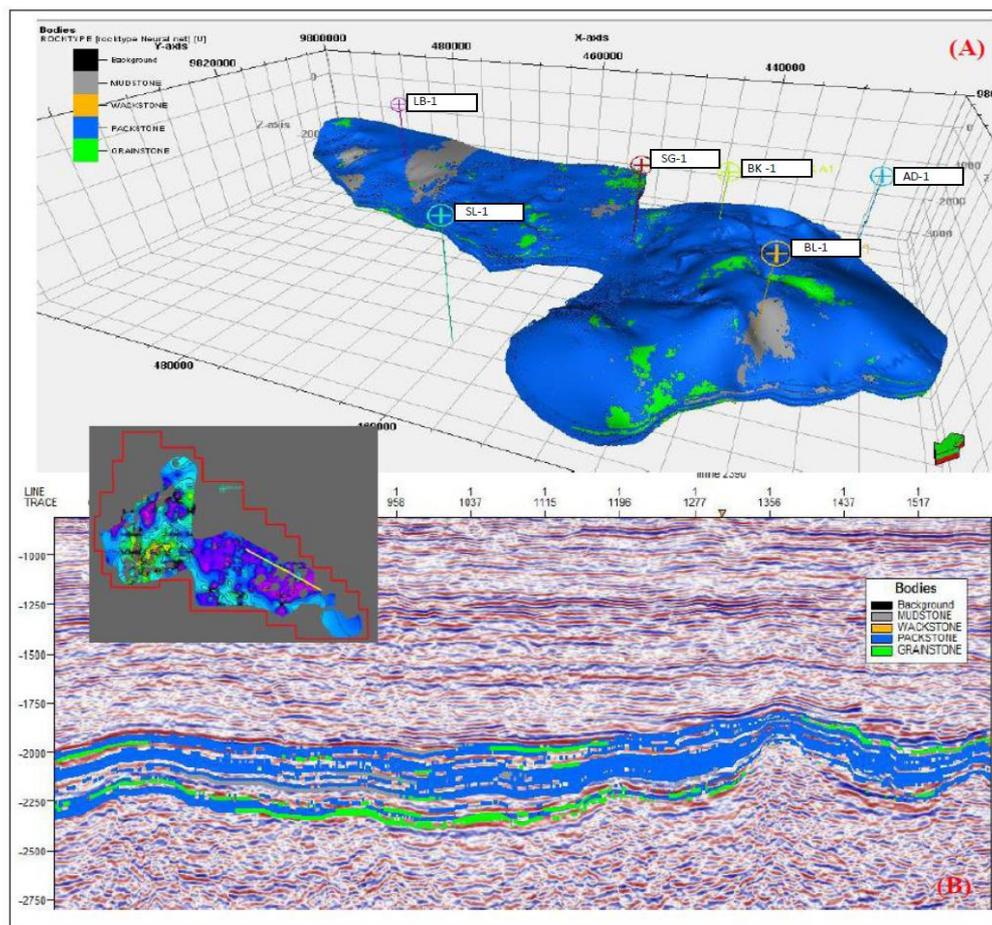
Sarg, J., F., 1998, *Carbonate sequence stratigraphy*, in Wilgus, C., K., Hasting, B., S., Kendal, C., G. ST. C., Posameinter, H., W., Ross, C., A., Van Wagoner, J., C., eds., *Sea level Change: An Intergrated Approach: SEPM Special Publication 42*, page155 - 182.

Serra, O. & Abbott, H. 1980. The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy. (SPE paper 9270.) Paper presented at the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas, TX, 21–24 September 1980.

Skalinski M, Kenter J AM. 2014.,Carbonate petrophysical rock typing: Integrating geological attributes and petrophysical properties while linking with dynamic behavior. *Geological Society London Special Publications* · January 2014. DOI: 10.1144/SP406.6. ResearchGate Publication

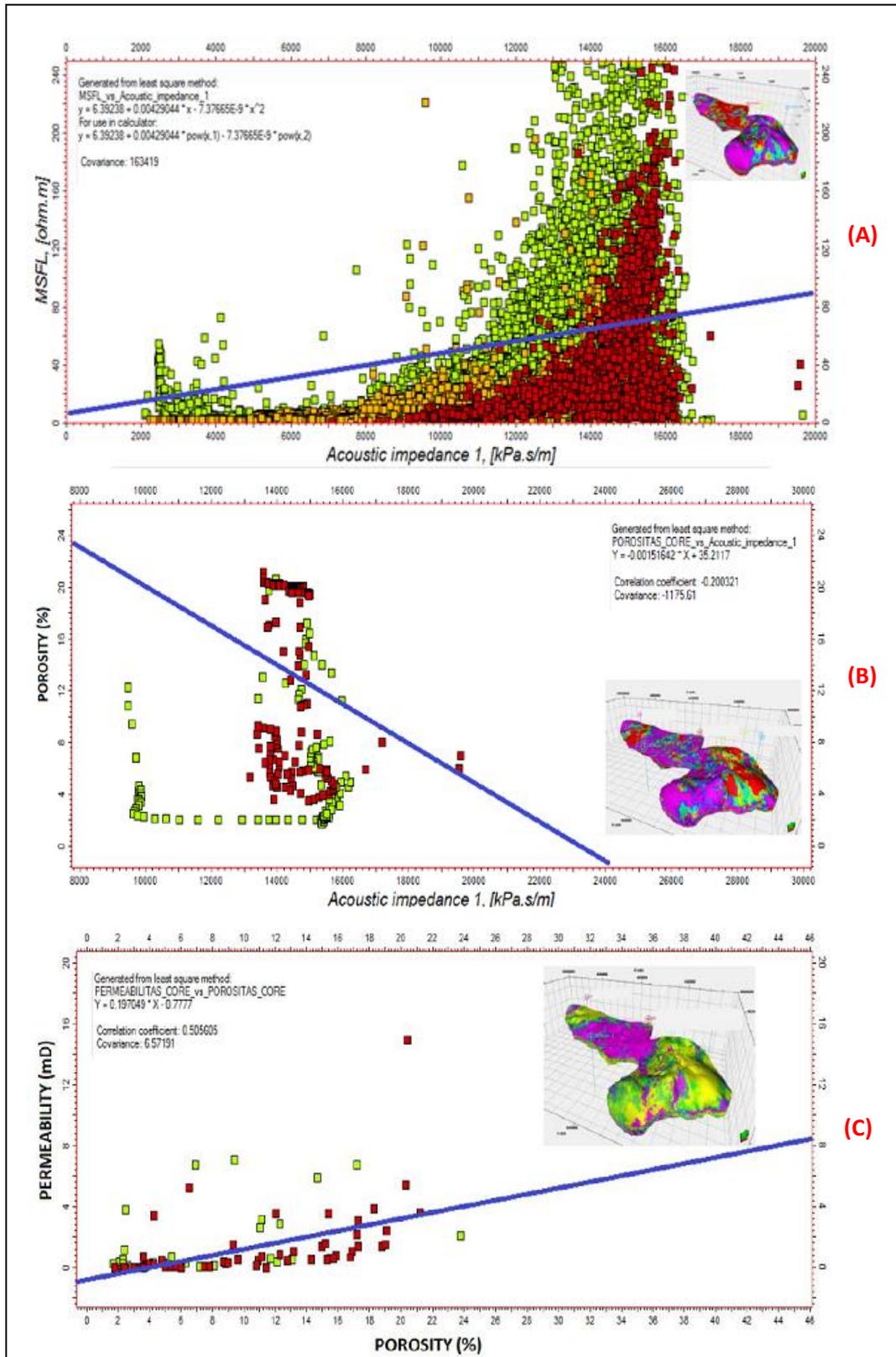
Wibowo, A. S. & Permadi, P. 2013. A type curve for carbonate rock typing. (IPTC paper 16663.) *International Petroleum Technology Conference*, Beijing, China, 26–28 March 2013.

Wolff, M. & Pellissier-Combesure, J. 1982. FACIOLOG – Automatic electrofacies determination. Paper presented at the SPWLA Annual Logging Symposium, Corpus Christi, 6–9 July 1982.



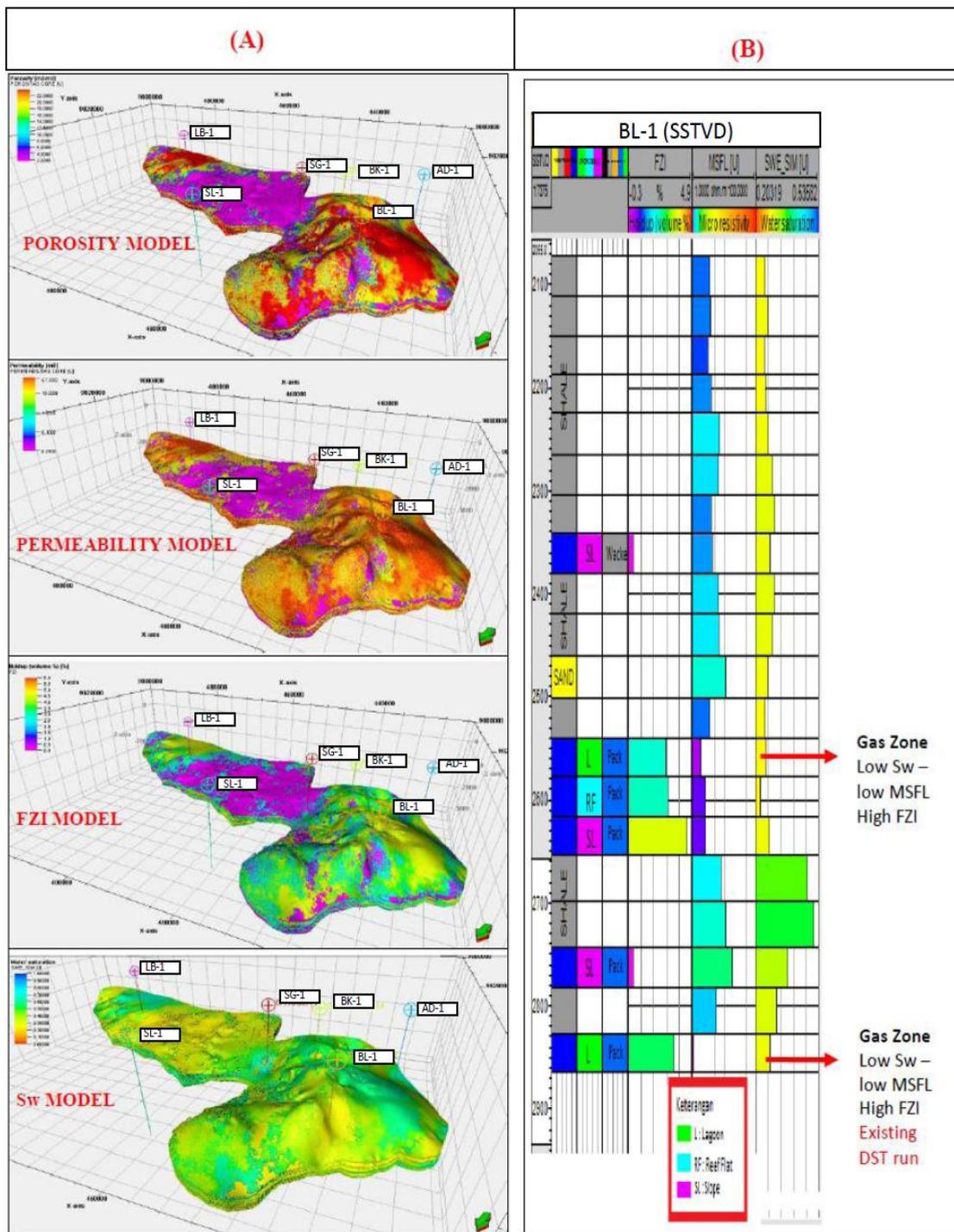
**LAMPIRAN A.**

(A) Tampilan model 3D distribusi sebaran *rocktype* di daerah penelitian  
 (B) Model *rock type* pada penampang seismik arah NW-SE



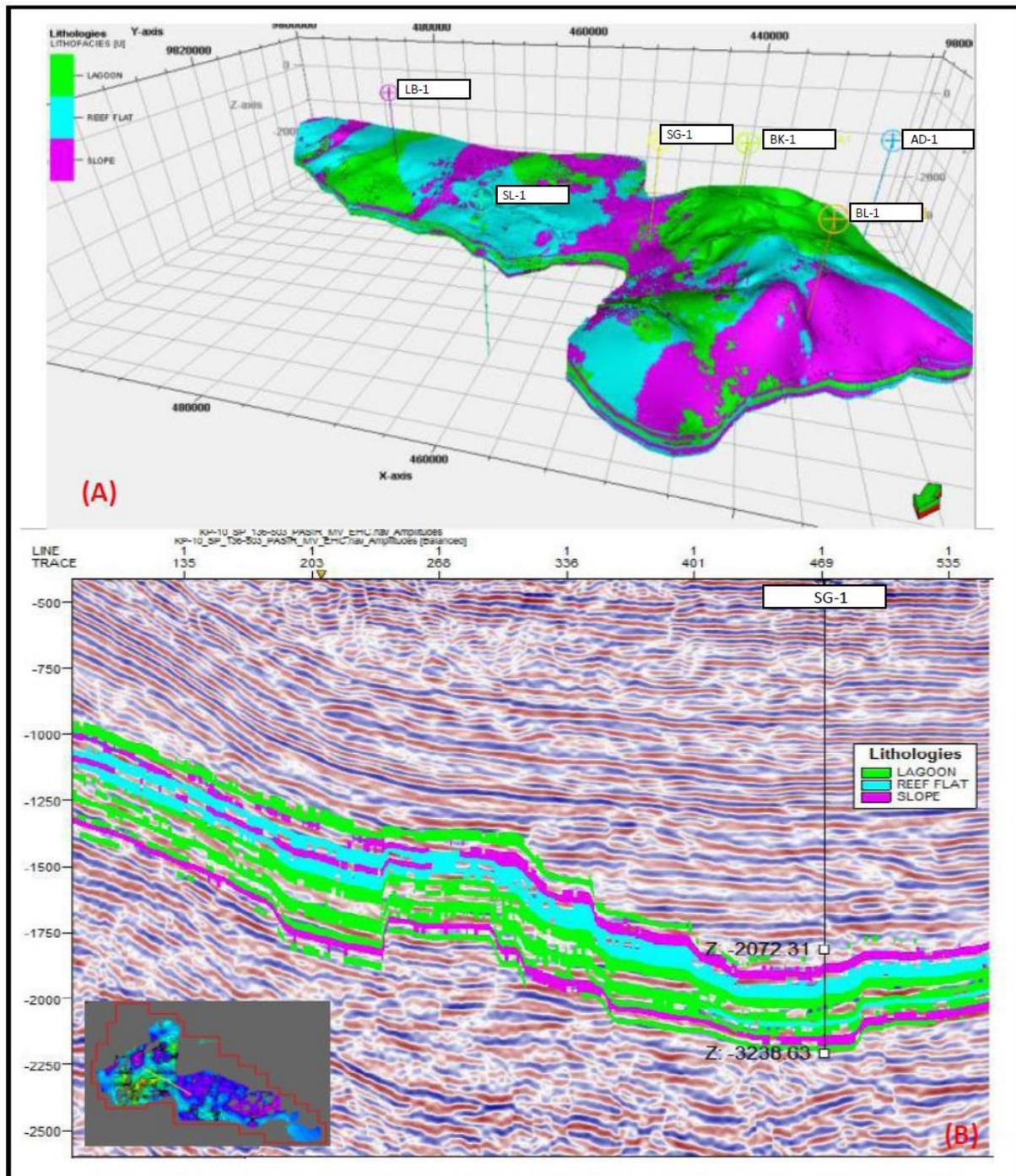
**LAMPIRAN B.**

- (A) Crossplot function AI versus Resistivity
- (B) Crossplot function of AI versus porositas core
- (C) Crossplot function permeabilitas core versus porositas core



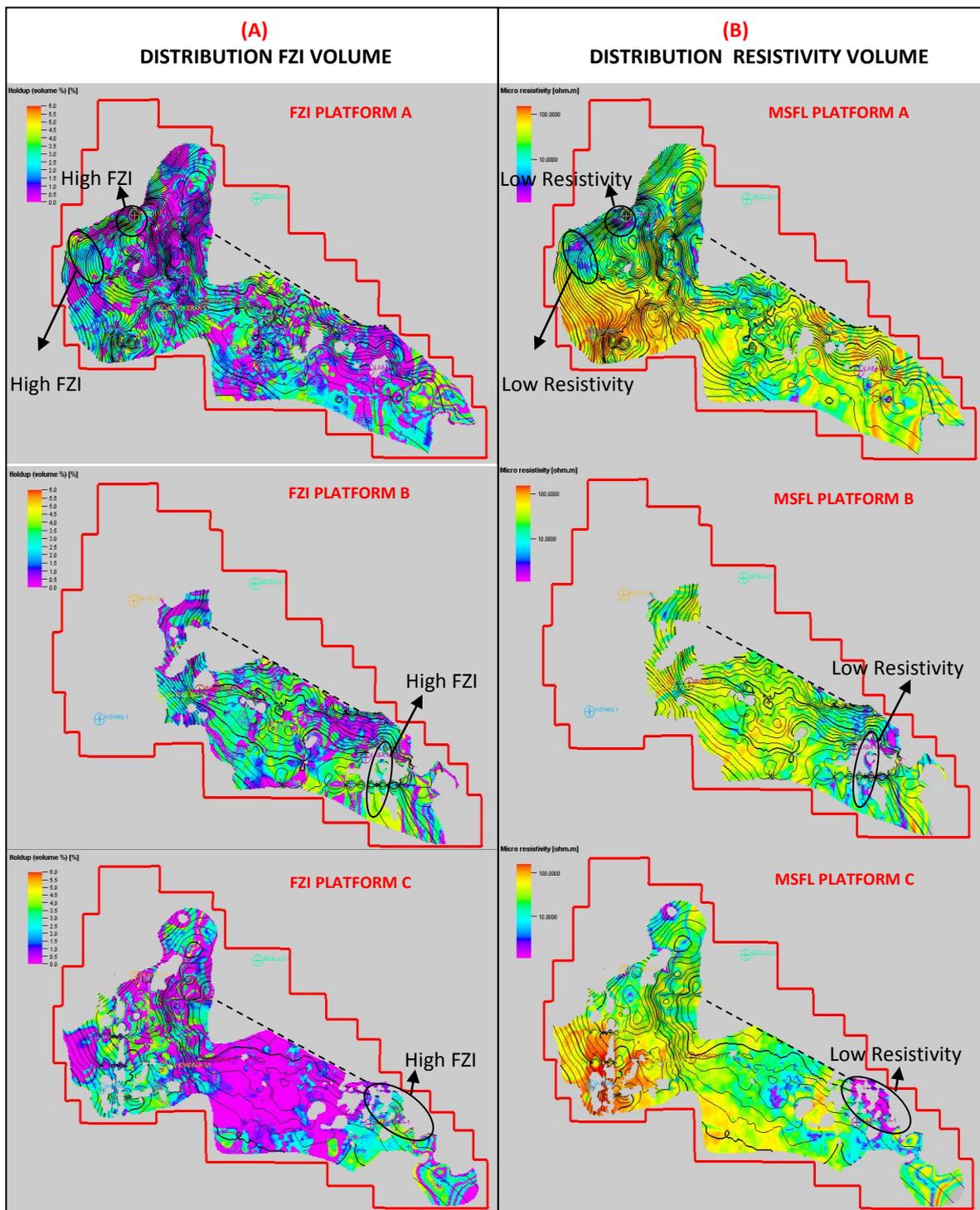
**LAMPIRAN C.**

(A) Sebaran Model Properti Reservoir (Porositas, Permeabilitas, FZI, Sw)  
 (B) validasi properti reservoir pada DST test sumur BL-1



**LAMPIRAN D.**

- (A) Hasil model 3D asosiasi facies setelah di filter
- (B) Penampang asosiasi facies pada line seismik xa-12



**LAMPIRAN E**

- (A) Model 3D sebaran nilai FZI pada *carbonate platform* A, B dan C
- (B) Model 3D sebaran nilai *Resistivity* pada *carbonate platform* A, B dan C



## GEOLOGI DAN ELEMEN ARSITEKTURAL SATUAN BATUPASIR KABUH DI PILANGSARI, KECAMATAN GESI, KABUPATEN SRAGEN, PROVINSI JAWA TENGAH

Matheus Vito Krisnanto<sup>1)</sup>, Ediyanto<sup>2)</sup>, C. Danisworo<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral

<sup>2)</sup>Dosen Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia  
Fax/Phone : 0274-486403; 0274-486403

**Sari** – Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat koordinat UTM X= 496500-501500, dan Y= 9191000-9186000. Secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam wilayah Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah. Metode penelitian dilakukan dengan pemetaan geologi dan analisa studio maupun laboratorium, untuk mendapatkan informasi umum geologi berupa keadaan geomorfologi, pola pengaliran, struktur geologi dan stratigrafinya. Geomorfologi pada daerah penelitian terbagi menjadi 7 satuan bentuk lahan antara lain satuan bentuk lahan perbukitan homoklin, lereng homoklin, lembah homoklin, tubuh sungai, gosong sungai, bukit sisa, dataran denudasi. Sedangkan pola pengaliran yang berkembang yaitu, dendritik, subdendritik, paralel, dan subparalel. Secara stratigrafi dibagi menjadi 6 satuan batuan dari tua ke muda yaitu satuan napal Kalibeng, satuan breksi Banyak, satuan batugamping Klitik, satuan batulempung-karbonatan Pucangan, dan satuan batupasir Kabuh serta endapan aluvial. Struktur geologi yang berkembang dimulai pada Kala Pliosen hingga Plistosen dengan antiklin menunjam Tanggan berarah barat-timur, kemudian diikuti dengan sesar naik Tanggan, dan diakhiri sesar mendatar kanan Jatitengah berarah baratlaut-tenggara, sesar mendatar kiri Tanggan berarah timurlaut-baratdaya, dan kekar.

Satuan batupasir Kabuh yang tersusun oleh batupasir, tuf, konglomerat, dan batulempung terendapkan pada lingkungan darat dan memiliki struktur sedimen khas pada litologi batupasir berupa silangsiur, yang dapat memberikan informasi vektor dari arah arus purba, sehingga dapat memberikan gambaran untuk mengetahui bentuk sungai berkelok. Kumpulan titik lokasi pengamatan, analisa profil dan deskripsi litologi memberi gambaran tentang kumpulan litofasies yang kemudian membentuk elemen arsitektural yang berkembang diantaranya *channel*, *lateral accretion*, *overbank fines*, *crevasse-splay*, dan *gravel bar*.

**Kata-kata kunci** : Satuan batupasir Kabuh, litofasies, dan elemen arsitektural

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Stratigrafi penyusun Zona Kendeng menurut Pringgoprawiro (1983) merupakan endapan laut dalam dibagian bawah yang semakin ke atas berubah menjadi endapan laut dangkal dan akhirnya menjadi endapan non laut. Endapan di Zona Kendeng merupakan endapan turbidit klastik, karbonat dan vulkaniklastik.

Lokasi penelitian terletak di Desa Pilangsari dan sekitarnya, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah, berada pada daerah Zona Kendeng. Pada peta geologi lembar Salatiga yang dibuat oleh Sukardi, dkk. (1992), di daerah Penelitian terdiri dari 5 formasi, dari urutan tua ke muda meliputi: Formasi Kalibeng (TmPk), Anggota Banyak (TmKb), Anggota Klitik (TpKk), Formasi Pucangan (Qpp), dan Formasi Kabuh (Qpk).

Penelitian dikhususkan pada Formasi Kabuh, yang merupakan formasi yang berkembang pada zona darat yang terendapkan pada sungai-sungai yang berkelok-kelok yang dicirikan dengan litologi batupasir kasar silang siur dengan tipe palung (yang dapat menampilkan nilai dan arah dari arus purba yang berkembang dan sumber material penyokong), konglomerat, dan batulempung dengan pola variasi litologi yang beragam, selain itu menurut Pringgoprawiro (1983), Formasi Kabuh yang berumur N23 (Plistosen Akhir), tersedimentasikan dengan pada Cekungan Kendeng dan berada selaras dengan formasi yang lebih tua yaitu Formasi Pucangan. Formasi Kabuh juga sangat identik sebagai lapisan pembawa fosil vertebrata maupun fosil manusia. Sehingga dapat diperkirakan kehidupan purba telah ada pada saat pengendapan Formasi Kabuh berlangsung.

Berdasarkan penjabaran diatas, sehingga menjadi penting dan menarik untuk dilakukan pemetaan geologi yang kajiannya meliputi aspek-aspek geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi, dan aspek-aspek sedimentologi di Desa Pilangsari dan sekitarnya, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah.

#### Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kondisi geologi dan penyebaran dari pola sungai berdasarkan elemen arsitektural satuan batupasir Kabuh.

Tujuan dari penelitian antara lain untuk mengetahui kondisi geomorfologi dan pola pengaliran, struktur geologi yang berkembang, mengetahui batas persebaran litologi serta stratigrafi, menginterpretasikan sejarah geologi, menganalisa litofasies dan model elemen arsitektural satuan batupasir Kabuh.

#### Permasalahan

Masalah yang dijumpai selama penelitian berlangsung diantaranya :  
Daerah penelitian didominasi oleh lahan pertanian, sehingga sulit untuk mendapatkan singkapan yang *fresh*.  
Profil-profil yang didapat sulit untuk diamalgamasikan.

### Lokasi Penelitian

Secara geografis lokasi penelitian (**Gambar 1.**) terletak pada koordinat UTM: X = 496500-501500, dan Y = 9191000-9186000, dan secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam wilayah Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah, dengan luas daerah 25 km<sup>2</sup>. Kesampaian ke daerah penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan motor atau mobil.



**Gambar 1.** Peta lokasi Penelitian

### METODE PENELITIAN

#### 1. Tahap pendahuluan

Pada tahap ini dilakukan studi pendahuluan yang meliputi studi pustaka, jurnal, makalah, penyusunan proposal, perancangan lintasan serta interpretasi awal kondisi geologi dari peta geologi regional di daerah penelitian.

#### 2. Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan melakukan observasi lapangan. Data yang diambil sebagai berikut deskripsi litologi, *sampling* batuan, pengukuran kedudukan, foto parameter singkapan/litologi, sketsa singkapan, *plotting* lokasi pengamatan, foto bentang alam, profil detil serta pengukuran struktur geologi, dan pencatatan potensi geologi yang ada di daerah penelitian

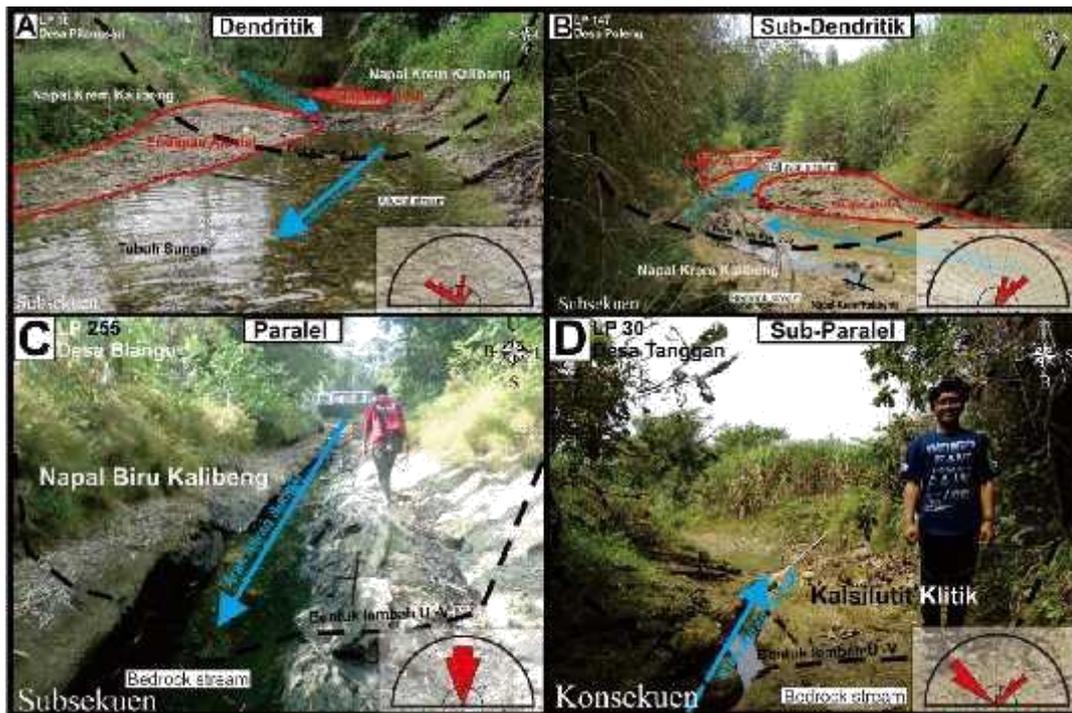
#### 3. Tahap pengolahan data dan analisa data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data lapangan untuk menghasilkan peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta pola pengaliran, peta geomorfologi, peta geologi, profil, peta litofasies satuan batupasir Kabuh, peta arah arus purba serta analisa struktur geologi, petrografi dan mikropaleontologi.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Pola Pengaliran

Peta pola pengaliran pada daerah penelitian, dengan bukti foto lapangan terhadap identifikasi sungai-sungai (**Gambar 2**) maka berdasarkan klasifikasi Howard (1967) didapati pada bagian tenggara peta, terdapat perbukitan homoklin yang memanjang timur–barat menghasilkan bentuk pola pengaliran subdendritik (SD), sedangkan di bagian barat berkembang topografi yang relatif datar hingga miring dengan daya guna lahan persawahan membentuk pola pengaliran dendritik (D), sedangkan sungai utama yang memanjang dari selatan menuju utara dikontrol oleh struktur geologi berupa sesar dan kekar yang berkembang dengan baik membentuk pola pengaliran paralel (PR), serta pada bagian timur laut membentuk lembah homoklin menghasilkan pola pengaliran subparalel (SP).



Gambar 2. Foto lapangan sungai, A) LP 16 pola pengaliran dendritik, B) LP 47 pola pengaliran subdendritik, C) LP 255 pola pengaliran paralel, D) LP 30 pola pengaliran Sub-paralel.

**Geomorfologi**

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan serta faktor pengontrol dari pola pengaliran, morfologi, topografi, kelergangan, litologi, serta aspek-aspek geomorfologi (Tabel 1) serta klasifikasi bentuk lahan oleh Van Zuidam (1983) daerah penelitian peta geomorfologi dibagi maka dibagi menjadi 7 satuan bentuklahan, yaitu:

Tabel 1. Aspek-aspek geomorfologi pada daerah penelitian

SATUAN BENTUKLAHAN		Perbukitan Homoklin S1	Lereng Homoklin S2	Lembah Homoklin S3	Bukit Sisa D1	Dataran Denudasi D2	Tubuh Sungai F1	Gosong Sungai F2	
ASPEK GEOMORFOLOGI									
MORFOLOGI	Morfografi	Kumpulan bukit-bukit	Lereng	Lembah	Bukit	Dataran	Sungai	Dataran	
	Morfometri	Kelerengan	Kelerengan 16-35°	Kelerengan 8-16°	Kelerengan 4-8°	Kelerengan 2-4°	Kelerengan 0-2°	Kelerengan 0-2°	Kelerengan 0-2°
		Relief	Topografi berbukit berkisar 100m - 150m	Topografi bergelombang sedang berkisar 87,5m - 125m	Topografi bergelombang berkisar 75m - 100m	Topografi bergelombang berkisar 75m - 87,5m	Topografi datar berkisar 62,5m - 70m	Topografi datar berkisar 62,5m - 70m	Topografi datar berkisar 65,5m - 72m
		Luas (%)	Menempati 15% dari luasan Peta	Menempati 15% dari luasan Peta	Menempati 30% dari luasan Peta	Menempati 7% dari luasan Peta	Menempati 30% dari luasan Peta	Menempati 2% dari luasan Peta	Menempati 1% dari luasan Peta
		Bentuk Lembah Pola Pengaliran	V - U terjal	V - U terjal	U - V landai	U - V landai	U	U	U
			Subparalel	Paralel	Paralel, Subparalel & Subdendritik	Dendritik	Dendritik	-	-
MORFOGENESA	Morfostruktur Aktif	Pola kelurusan perbukitan memanjang ke arah barat-timur, Peran proses Pengangkatan Lipatan, dan sesar	Kedudukan lapisan relatif ke selatan dicirikan dengan dipslope yang mengarah ke selatan, peran proses pengangkatan, dan sesar	Kedudukan lapisan relatif ke selatan dan barat dicirikan dengan dipslope yang mengarah ke selatan dan barat, peran proses pengangkatan, dan sesar	Pola kelurusan bukit barat - timur	-	-	-	
	Morfostruktur Pasif	Batuan sedimen klastika berbutir sedang - kasar, Litologi breksi, & Batupasir	Batuan sedimen klastika berbutir sedang, litologi Batupasir, & Napal	Batuan sedimen klastika berbutir sedang - halus, Litologi Napal	Batuan sedimen klastika berbutir sedang - halus, Litologi Kalkarenit	Material lepas, endapan alluvial	Material lepas, endapan alluvial	Material lepas, endapan alluvial	
	Morfodinamis	Pelapukan serta erosi oleh air dan angin	Pelapukan serta erosi oleh air dan angin	Pelapukan serta erosi oleh air dan angin	Pelapukan serta erosi oleh air dan angin	Pelapukan serta erosi oleh air dan angin	Fluviatil	Fluviatil	
MORFOASOSIASI		Lembah dan Dataran	Lembah dan Perbukitan	Dataran dan Perbukitan	Dataran	Lembah	Lembah	Dataran	
DAYA GUNA LAHAN		Area Pertambangan	Perkebunan dan wisata curug	Perkebunan	Perkebunan	Persawahan dan Pemukiman	Perikanan	Bahan baku Galian C	

**Stratigrafi**

Pada daerah penelitian dibagi menjadi 6 satuan litostratigrafi tidak resmi (**Tabel 2**) dan tergambar dalam peta geologi dengan urutan paling tua ke muda berupa:

**Tabel 2.** Kolom stratigrafi daerah penelitian (Penulis, 2018)

Umur satuan batuan	Kategori	Satuan batuan	Litografi	Lithologi (skala kecil)	Penjelasan	Facies Pengendapan	Lingkaran Batuan
Holosen	1,5	Endapan Aluvial			Endapan Aluvial: Ditemukan oleh mineral lempas dan endapan yang belum mengalami konsolidasi, didominasi oleh mineral klastik sedimen dengan berbagai komposisi, lempas, pasir, lempsi, kerakal batuan terpadat.	Fluvial	
		Batuapung Kalibeng			Tidak selaras Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi yang cukup beragam yaitu khambir batuan dari lapisan lempas terpadat, Didominasi oleh litologi batuan lempas hingga klastik (Ditemukan petrografi menurut Lilihu, 1975). Lapisan batuan berwana coklat hingga hitam, memiliki struktur sedimen perlapisan, masif, laminasi, dan selang silau. Komposisi mineral yang utama di bagian di atasnya: Kuarsa, Plagioklas, Plagioklas, Hornblende, Klorit, Opat mineral dan Lilit. Litologi penyerta lainnya berupa konglomerat, kalcedon, mikroskopis, konglomerat karbonat, sil, konglomerat silika, dan konglomerat lain.	Deltaik Litoral Overbank Overbank and Overbank flow	
		Batuapung Kalibeng			Endapan Aluvial		
Pliosen Akhir	N17 - N19 62,5 - 112,5	Brekasi Breyak			Brekasi Breyak: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan taf. Utama petrografi utama fragmen dari breksi mineral Gilbert, 1982, argibiotar asiditop, dan amfibolit. Pada bagian bawah satuan ini terdiri dari breksi yang cukup tebal, sedangkan pada bagian atas didominasi oleh perunggu silika dengan satuan homopit dan taf yang cukup tebal hingga tipis.	Prokuvial Kuvial Distal	
		Napal Kalibeng			Napal Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi lempsi yang cukup tebal dan beragam (menurut petrografi menurut Gilbert, 1992). argibiotar asiditop, volkanit asiditop, dan volkanit asiditop. Pada bagian bawah satuan ini terdiri dari napal lempsi dengan satuan batuapung karbonat tafal, sedangkan pada bagian bawah didominasi oleh masif lempsi, batuan karbonat, dan konglomerat silika. Fosil foraminifera pada satuan ini sangat beragam dan banyak terdapat dari analisis mikropaleontologi.	Over sea shelf Over sea margin and Embay	
Pliosen Awal	N19 - N20 162,5 - 486	Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
		Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
Pliosen Tengah	N21 - N22 215 - 562,5	Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
		Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
Pliosen Awal	N21 - N22 215 - 562,5	Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
		Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
Pliosen Awal	N21 - N22 215 - 562,5	Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	
		Batuapung Kalibeng			Batuapung Kalibeng: Ditemukan oleh litologi dengan dominasi batuanapung silika dengan petrografi menurut Embay dan Kiviat, 1971. geolite: asiditop, asiditop, asiditop dan asiditop, memiliki struktur laminasi, perlapisan, asiditop asiditop, batuan dan masif. Pada bagian bawah satuan ini terdapat dengan satuan napal Kalibeng dengan litologi perunggu silika dengan breksi volkanik, lempsi, dan klastik. Pada bagian tengah satuan ini didominasi dengan Pliosen, dan diendapkan karena ditentukan oleh argibiotar asiditop yang terdapat di bagian bawah ini. Sedangkan pada bagian atas satuan ini didominasi oleh litologi perunggu silika, asiditop, dan asiditop yang memiliki struktur masif yang selaras dengan perunggu silika.	Retrasidit Civakian shelf and Tidal Flat Shelf Over Cuvakian Basin and Deep Shelf Margin	

**Satuan Napal Kalibeng  
Penyebaran dan Ketebalan**

Satuan napal Kalibeng menempati 50% dari luas daerah penelitian memiliki kedudukan rata-rata N100°E/25°, dengan arah penyebaran relatif barat-timur dan terletak dibagian Utara peta daerah penelitian. Satuan napal Kalibeng tersingkap baik di daerah Tanggan, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Satuan batuan ini pada peta geologi ditandai oleh warna hijau lumut. Berdasarkan hasil pengukuran penampang stratigrafi, satuan batuan ini memiliki ketebalan >3375 meter.

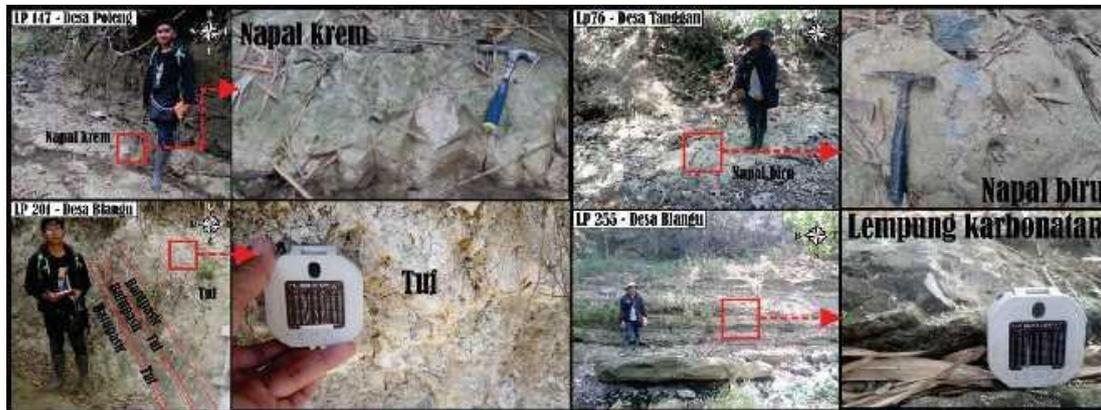
**Umur dan Lingkungan Pengendapan**

Penentuan dari umur satuan napal Kalibeng didasarkan pada hasil analisa mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera plankton dengan menggunakan klasifikasi Blow (1969) yaitu pada N17 – N 19 (Miosen akhir hingga Pliosen Awal). Penentuan dari zona batimetri pada satuan batuan ini, didasarkan pada hasil analisa

mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera bentos dengan menggunakan klasifikasi Barker (1960) yaitu pada batial atas hingga batial bawah.

**Hubungan Stratigrafi**

Satuan napal Kalibeng (**Gambar 3.**) merupakan satuan batuan tertua pada daerah penelitian. Satuan ini memiliki hubungan stratigrafi selaras berupa kontak menjari dengan satuan breksi Banyak dan satuan batugamping Klitik. Hal tersebut didukung oleh data hasil analisa mikropaleontologi yang menunjukkan tidak adanya loncatan umur sehingga dapat disimpulkan bahwa fase pengendapan antar satuan batuan tersebut berlangsung secara kontinyu, selain hal tersebut tidak ditemukannya bidang erosional dan kotak tegas dapat dilihat pada batas antara satuan batuan.



**Gambar 3.** Litologi yang dijumpai pada satuan napal Kalibeng

**Satuan Breksi Banyak**

**Penyebaran dan Ketebalan**

Satuan breksi Banyak menempati 5% dari luas daerah penelitian memiliki kedudukan rata-rata N100°E/45°, dengan arah penyebaran relatif barat-timur dan terletak dibagian timur peta daerah penelitian. Satuan breksi Banyak tersingkap baik di daerah Tanggan, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Satuan batuan ini pada peta geologi ditandai oleh warna *orange*. Berdasarkan hasil pengukuran penampang stratigrafi, satuan batuan ini memiliki ketebalan 62,5-112,5meter.

**Umur dan Lingkungan Pengendapan**

Penentuan umur pada satuan breksi Banyak, karena peneliti tidak melakukan analisa palinologi, dan juga tidak ditemukannya fosil foraminifera planktonik. Penentuan lingkungan serta mekanisme pengendapan satuan breksi Banyak berdasarkan karakteristik fisik, kimia dan biologi pada analisa profil. Peneliti menggunakan pendekatan dari klasifikasi Bogie and mackenzie (1998) sehingga didapati fasies proksimal ke distal.

**Hubungan Stratigrafi**

Satuan breksi Banyak (**Gambar 4.**) memiliki hubungan stratigrafi selaras berupa kontak menjari dengan satuan napal Kalibeng. Fase pengendapan antar satuan batuan tersebut berlangsung secara kontinyu, kotak tegas dapat dilihat pada batas antara satuan batuan. Namun terdapat bidang erosional yang diduga karena breksi Banyak yang terendapkan menggerus satuan napal Kalibeng.



**Gambar 4.** Litologi yang dijumpai pada satuan breksi Banyak

## Satuan Batugamping Klitik

### Penyebaran dan Ketebalan

Satuan batugamping Klitik menempati 25% dari luas daerah penelitian memiliki kedudukan rata-rata N120°E/22°, dengan arah penyebaran relatif barat ke tenggara dan terletak dibagian tengah daerah penelitian. Satuan batugamping Klitik tersingkap baik di daerah Jatitengah, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Satuan batuan ini pada peta geologi ditandai oleh warna biru laut. Berdasarkan hasil pengukuran penampang stratigrafi, satuan batuan ini memiliki ketebalan 162,5-686 meter.

### Umur dan Lingkungan Pengendapan

Penentuan dari umur satuan batugamping Klitik didasarkan pada hasil analisa mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera plankton dengan menggunakan klasifikasi Blow (1969) yaitu pada N19 – N20. Penentuan dari zona batimetri pada satuan batuan ini, didasarkan pada hasil analisa mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera bentos dengan menggunakan klasifikasi Barker (1960), yaitu pada neritik tengah – neritik luar.

**Hubungan Stratigrafi** Satuan batugamping Klitik (**Gambar 5.**) merupakan satuan yang berumur lebih muda daripada satuan napal Kalibeng dan berumur lebih tua daripada satuan batulempung-karbonatan Pucangan. Satuan ini memiliki hubungan selaras terhadap satuan batulempung-karbonatan Pucangan. Hal tersebut didukung oleh data hasil analisa mikropaleontologi yang menunjukkan tidak adanya loncatan umur sehingga dapat disimpulkan bahwa fase pengendapan antar satuan batuan tersebut berlangsung secara kontinyu, selain hal tersebut tidak ditemukannya bidang erosional dan kotak tegas dapat dilihat pada batas antara satuan batuan.



**Gambar 5.** Litologi yang dijumpai pada satuan batugamping Klitik

## Satuan Batulempung Pucangan

### Penyebaran dan Ketebalan

Satuan batulempung-karbonatan Pucangan menempati 10% dari luas daerah penelitian memiliki kedudukan rata-rata N115°E/18°, dengan arah penyebaran relatif barat-tenggara dan terletak dibagian tengah daerah penelitian. Satuan batulempung-karbonatan Pucangan tersingkap baik di daerah Pilangsari, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Satuan batuan ini pada peta geologi ditandai oleh warna hijau tua. Berdasarkan hasil pengukuran penampang stratigrafi, satuan batuan ini memiliki ketebalan 75-562,5 meter.

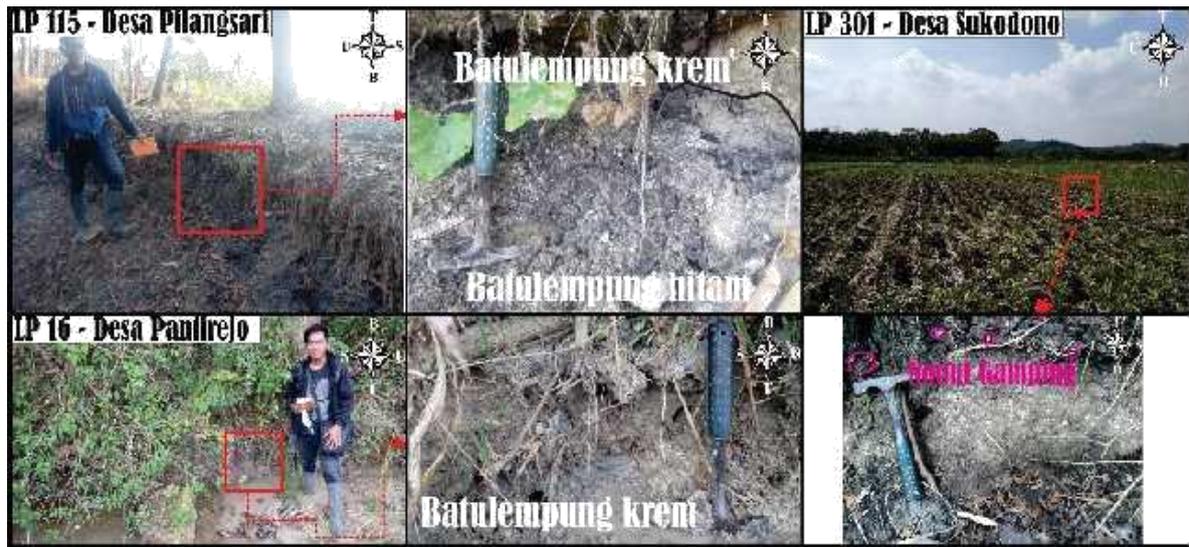
### Umur dan Lingkungan Pengendapan

Penentuan dari umur satuan batulempung-karbonatan Pucangan didasarkan pada hasil analisa mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera plankton dengan menggunakan klasifikasi Blow (1969), yaitu N21 – N22. Penentuan dari zona batimetri pada satuan batuan ini, didasarkan pada hasil analisa mikropaleontologi terhadap kehadiran fosil foraminifera bentos dengan menggunakan klasifikasi Barker (1960), yaitu pada neritik tepi - transisi.

### Hubungan Stratigrafi

Satuan batulempung-karbonatan Pucangan (**Gambar 6.**) merupakan satuan yang berumur lebih muda daripada satuan batugamping Klitik dan berumur lebih tua daripada satuan batupasir Kabuh. Satuan ini memiliki hubungan selaras terhadap satuan batulempung-karbonatan Pucangan. Hal tersebut didukung oleh data hasil analisa mikropaleontologi yang menunjukkan tidak adanya loncatan umur sehingga dapat disimpulkan

bahwa fase pengendapan antar satuan batuan tersebut berlangsung secara kontinyu, selain hal tersebut tidak ditemukannya bidang erosional dan kotak tegas dapat dilihat pada batas antara satuan batuan.



Gambar 6. Litologi yang dijumpai pada satuan batulempung-karbonatan Pucangan

**Satuan Batupasir Kabuh  
Penyebaran dan Ketebalan**

Satuan batupasir Kabuh menempati 25% dari luas daerah penelitian memiliki kedudukan rata-rata N87°E/12°, dengan arah penyebaran relatif barat-tenggara dan terletak dibagian barat-tenggara peta daerah penelitian. Satuan batupasir Kabuh tersingkap baik di daerah Pilangsari, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Satuan batuan ini pada peta geologi memiliki warna kuning. Berdasarkan hasil pengukuran penampang stratigrafi satuan batuan ini memiliki ketebalan 87,5 hingga >700meter.

**Umur dan Lingkungan Pengendapan**

Peneliti telah melakukan analisa mikropaleontologi terhadap satuan batupasir Kabuh, dengan hasil barren (tidak terdapat foraminifera bentos dan plankton), dan peneliti juga tidak melakukan analisa polen. Sehingga umur satuan batuan ini ditentukan berdasarkan dari hasil analisa kehadiran fosil vertebrata yang terkandung dalam satuan batupasir Kabuh.

**Hubungan Stratigrafi**

Satuan batupasir Kabuh (Gambar 7.) merupakan satuan yang berumur lebih muda daripada satuan batulempung-karbonatan Pucangan dan berumur lebih tua daripada endapan aluvial.



Gambar 7. Litologi yang dijumpai pada satuan batupasir Kabuh

### Satuan Endapan Aluvial Penyebaran dan Ketebalan

Satuan endapan aluvial menempati sekitar 1% dari luasan daerah penelitian. Pola sebaran satuan endapan aluvial ini terdistribusi pada sungai utama yang mengalir dari utara ke selatan. Penyebaran endapan aluvial ini hanya setempat pada kelok-kelokkan sungai. Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan ketebalan satuan endapan aluvial ini tidak lebih dari 1-1,5 meter.

#### Umur

Endapan aluvial ini terbentuk pada Kala Holosen dan prosesnya masih terus berlangsung sampai sekarang ini. Proses dominan terjadi berupa pelapukan, aktivitas manusia, dan erosi oleh media angin dan air yang juga ikut mentransportasi.

#### Hubungan Stratigrafi

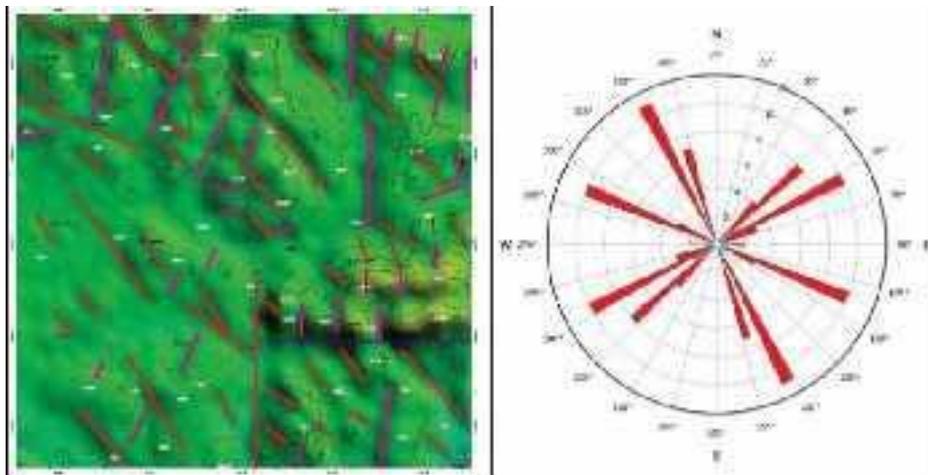
Endapan alluvial ini (**Gambar 8.**), berdasarkan kenampakannya di lapangan, hubungan stratigrafi satuan ini berupa ketidakselarasan terhadap satuan yang berumur lebih tua.



**Gambar 8.** Litologi yang dijumpai pada satuan endapan aluvial

### Struktur Geologi

Pada daerah penelitian Desa Pilangsari, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, Provinsi Jawa Tengah, berdasarkan interpretasi data DEM SRTM, maka dapat diperkirakan bahwa struktur geologi lokal yang berkembang berarah relatif barat-timur, barat daya-timur laut, dan barat laut-tenggara. Hal ini dapat ditinjau dari kemenerusan bukit maupun lembah lembah yang memotong bukit secara tegas (**Gambar 9.**).



**Gambar 9.** Kelurusan struktur geologi berdasarkan Citra DEM SRTM di daerah penelitian

### Sesar Mendatar Kanan Jatitengah

Sesar mendatar kanan Jatitengah (**Gambar 10.**), memiliki kedudukan umum dari kekar gerus pada zona sesar tersebut adalah  $N126^{\circ}E/75^{\circ}$  dan kedudukan umum dari kekar tarik pada zona sesar tersebut adalah  $N198^{\circ}E/80^{\circ}$  sedangkan kedudukan dari bidang sesarnya adalah  $N164^{\circ}E/84^{\circ}$ . Berdasarkan analisa data maka didapatkan kedudukan *net slip*  $5^{\circ}$ ,  $N342^{\circ}E$  dan rake  $5^{\circ}$  serta nama dari sesar tersebut adalah *right slip fault* (Rickard, 1972).



Gambar 10. Sesar mendatar kanan Jatitengah

**Sesar Mendatar Kiri Tangan**

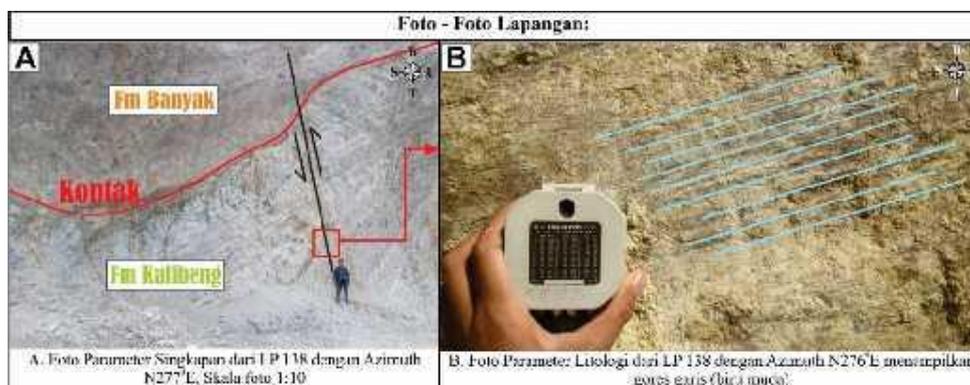
Sesar mendatar kiri Tangan (**Gambar 11.**), memiliki kedudukan umum dari kekar gerus pada zona sesar tersebut adalah  $N72^{\circ}E/82^{\circ}$  dan kedudukan umum dari kekar tarik pada zona sesar tersebut adalah  $N326^{\circ}E/72^{\circ}$  sedangkan kedudukan dari bidang sesarnya adalah  $N20^{\circ}E/65^{\circ}$ . Berdasarkan analisa data maka didapatkan kedudukan *net slip*  $90^{\circ}$ ,  $N198^{\circ}E$  dan rake  $8^{\circ}$  serta nama dari sesar tersebut adalah *reverse left slip fault* (Rickard,1972).



Gambar 11. Sesar mendatar kiri Tangan

**Sesar Naik Kanan Tangan**

Sesar naik kanan Tangan (**Gambar 12.**), memiliki kedudukan umum dari kekar gerus pada zona sesar tersebut adalah  $N191^{\circ}E/64^{\circ}$  dan kedudukan umum dari kekar tarik pada zona sesar tersebut adalah  $N139^{\circ}E/73^{\circ}$  sedangkan kedudukan dari bidang sesarnya adalah  $N260^{\circ}E/80^{\circ}$ . Berdasarkan analisa data maka didapatkan kedudukan *net slip*  $24^{\circ}$ ,  $N75^{\circ}E$  dan rake  $55^{\circ}$  serta nama dari sesar tersebut adalah *reverse right slip fault* (Rickard,1972).



Gambar 12. Sesar naik kanan Tangan

### Antiklin Menunjam Tanggan

Antiklin menunjam Tanggan (**Gambar 13.**), memiliki kedudukan umum dari sayap antiklin bagian utara adalah  $N292^{\circ}E/46^{\circ}$  dan kedudukan umum dari sayap antiklin bagian selatan adalah  $N115^{\circ}E/12^{\circ}$ . Sehingga berdasarkan analisa data lipatan nama dari lipatan tersebut adalah *steeply inclined horizontal fold* (fluety,1964).



**Gambar 13.** Antiklin menunjam Tanggan

### Litofasies, Elemen Arsitektural Satuan Batupasir Kabuh Dan Arah Arus Purba

#### Litofasies satuan batupasir Kabuh

Litofasies (**Tabel 3.**) didapatkan dengan menganalisa sifat fisik suatu litologi baik dari struktur sedimen, ukuran butir batuan sedimen, serta variasi litologinya. Identifikasi terhadap litologi tersebut menghasilkan satu bagian genetik yang apabila dihubungkan akan membentuk suatu asosiasi fasies yang berdasarkan pendekatan dari klasifikasi Miall (2006) menggunakan kode fasies untuk mempermudah pembagiannya.

**Tabel 3.** Kumpulan litofasies pada daerah penelitian

KODE LITOFASIES	TEKSTUR	STRUKTUR SEDIMEN	MAKNA GEOLOGI
Fsm	Lanau, lempung	Masif	Litofasies Fsm terbentuk oleh batulempung atau batulanau yang memiliki struktur sedimen masif, pada daerah penelitian memiliki ketebalan satu meter.
Fl	Pasir, lanau, lempung	laminasi, gelombang kecil	Litofasies Fl terbentuk oleh dominasi dari perselingan antara batulempung dan batulanau dengan sisipan pasir, dengan ciri struktur sedimen berupa perlapisan dan laminasi. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan lebih dari dua meter.
Fm	Lempung, lanau	Masif, mudcrack	Litofasies Fm terbentuk oleh litologi yang didominasi oleh lumpur (mud), dan berstruktur masif. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan antara 10-45 cm.
St	Pasir, halus hingga sangat kasar, terkadang kerikilan	Silangsiur palung	Litofasies St terbentuk dari pasir berukuran kasar hingga kerikilan dan memiliki struktur <i>trough-crossbedding</i> (silangsiur tipe palung) yang mengindikasikan ada nya perubahan energi dari pembawa suplai material sedimen, yang sekaligus menjadi penanda arah arus purba. Pada daerah penelitian litofasies St dapat menjadi petunjuk arah elemen arsitektural endapan fluvial berupa <i>channel</i> maupun <i>crevasse-splay</i> . Pada daerah penelitian memiliki ketebalan 40-150cm.
Sh	Pasir, sangat halus hingga sangat kasar, terkadang kerikilan	Laminasi	Litofasies Sh terbentuk oleh batupasir yang memiliki ukuran butir sangat halus hingga sedang, yang terjadi karena pengaruh transportasi oleh air dengan kecepatan rendah dengan kedalaman air yang dangkal. Sehingga menghasilkan pola struktur berupa perlapisan atau paralel laminasi. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan berkisar antara 20-60 cm.
Sr	Pasir, sangat halus hingga kasar	Perlapisan	Litofasies Sr terbentuk oleh batupasir yang memiliki ukuran butir halus hingga kasar, dengan struktur berupa <i>ripple lamination</i> yang kurang berkembang dengan baik, menandakan bagian dari rezim aliran rendah. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan berkisar antara 20-60 cm.
Sm	Pasir, halus hingga kasar	Masif	Litofasies Sm terbentuk dari batupasir yang bervariasi ukuran butirnya dengan struktur masif, pada daerah penelitian memiliki ketebalan lebih dari 50 cm. Selain itu pasir yang termasuk dalam litofasies ini juga umumnya telah terganggu oleh proses pelapukan yang mengikis struktur sedimen sebelumnya.
Gmm	didukung oleh matriks, kerikil masif	gradasi lemah	Litofasies Gmm terbentuk oleh litologi berupa konglomerat yang berstruktur sedimen masif. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan antara 100-200 cm.
Gmg	didukung oleh matriks	Inverse hingga normal gradasi	Litofasies Gmg terbentuk oleh litologi berupa konglomerat memiliki ukuran butir batupasir kasar hingga kerakalan, biasanya dijumpai dengan sortasi buruk, dengan bentuk butir agak membundar hingga membundar. Litofasies Gmg didaerah penelitian memiliki struktur <i>inverse graded bedding</i> ataupun normal <i>graded bedding</i> yang didukung oleh matriks berukuran butir pasir. Pada daerah penelitian memiliki ketebalan antara 60-250 cm.

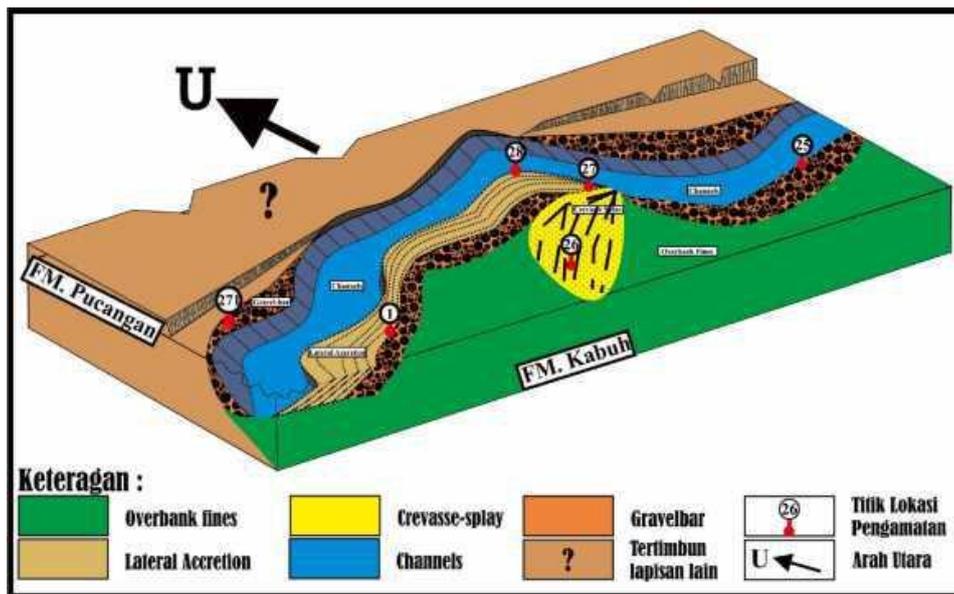
**Elemen arsitektural satuan batupasir Kabuh**

Definisi elemen arsitektural (**Tabel 4.**) adalah sebuah bagian morfologi dari dari sistem pengendapan tertentu yang dicirikan oleh kumpulan fasies, geometri dan sistem pengendapan tertentu.

**Tabel 4.** Elemen Arsitektural pada daerah penelitian

SIMBOL	LITOFASIES	ELEMEN ARSITEKTUR	INTERPRETASI
CH	Sr, St, Sh, dan Sm, serta sedikit Gmm, dan Gmg	Channel	Channel merupakan tubuh sungai purba yang terbentuk oleh erosi pada bagian dasar cekungan. Pada daerah penelitian channel memiliki ketebalan antara 5-10m, dengan variasi litofasies yang sangat beragam menunjukkan bentuk sistem sungai berkelok.
OF	Fsm, Fm dan H	Overbank fines	Overbank fines merupakan bagian dari tepi sungai yang diisi oleh material halus, hasil luapan sungai yang tak dapat terbendung (areal limpah banjir). Pada daerah penelitian overbank fines memiliki ketebalan antara 0.5-1m, dengan litofasies yang berukuran halus berupa tuf, batulanau, dan batu empung.
GB	Gmm, Gmg	Gravel Bar	Gravel Bar merupakan bagian dari tubuh sungai purba, biasanya terbentuk pada kelokkan sungai sebagai endapan (bars) karena sudah tidak terbawa oleh arus air dengan ukurannya material berbutir kasar, biasanya berseling dengan LA. Pada daerah penelitian gravel bar memiliki ketebalan 2m.
LA	Gmg, Sl, S, Sm, dan Fsm	Lateral Accretion	Lateral accretion merupakan bagian dari tubuh sungai purba, biasanya terbentuk pada kelokkan sungai sebagai endapan (bars), karena sudah tidak terbawa oleh arus air dengan ukurannya material berbutir halus pasir hingga lanau, dan menampakkan perlapisan yang baik. Pada daerah penelitian lateral accretion memiliki ketebalan 1m.
CS	Sl, Si dan Fl	Crevasse-splay	Crevasse-splay merupakan bagian dari overbank fines, karena berada diluar tubuh sungai, dan terbentuk oleh akibat adanya penjeblolan tubuh sungai karena limpahan material, sehingga terendapkannya material berukuran pasir dengan struktur silang-siur. Pada daerah penelitian crevasse-splay memiliki ketebalan 2-4m.

Hasil penelitian terhadap elemen arsitektural endapan fluvial pada satuan batupasir Kabuh di Desa Pilangsari, Kecamatan Gesi, Kabupaten Sragen, dapat direpresentasikan ke dalam peta elemen arsitektural dan melalui permodelan 3D untuk mendapatkan interpretasi gambaran dari elemen arsitekturalnya (**Gambar 14.**)



**Gambar 14.** Model 3D Elemen Arsitektural Satuan Batupasir Kabuh

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil observasi di daerah penelitian dan pengolahan data di laboratorium dan studio, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Pada daerah penelitian dibagi menjadi 6 satuan litostratigrafi tidak resmi dengan urutan paling tua ke muda berupa: satuan breki Banyak (Miosen Akhir), satuan napal Kalibeng (Miosen Akhir-Pliosen Awal), satuan batugamping Klitik (Pliosen Awal-Pliosen Akhir), satuan batulempung-karbonatan Pucangan (Pliosen Akhir-Plistosen Awal), satuan batupasir Kabuh (Plistosen Tengah), dan satuan endapan aluvial.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian berlangsung pada Kala pliosen-olistosen pada fase pertama berupa antiklin menunjam Tanggan dengan arah barat-timur dan menunjam pada sisi baratnya dan di utaranya terdapat sinklin Gesi, diikuti dengan fase kedua berupa sesar naik kanan Tanggan yang berarah barat-timur, membentuk morfologi perbukitan. Kemudian selanjutnya pada fase ke tiga terdapat sesar mendatar kanan

Jatitengah dan sesar mendatar kiri Tanggan terbentuk bersamaan dan juga terdapat struktur lainnya berupa kekar-kekar.

Berdasarkan pengamatan terhadap ciri litologi, struktur litologi dan aspek kimia dan biologisnya maka satuan batupasir Kabuh merupakan endapan darat yang berkembang sebagai sungai berkelok dengan elemen arsitektural yang terdiri dari *Channels, overbankfines, lateral accretion, gravelbar, dan Crevasse-splay*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barker, R.W. 1960. *Taxonomic Notes. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication no. 9, U.S.A
- Blow, W.H., 1969. Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminifera Biostratigraphy: Internat. Conf. Planktonic Microfossils 1<sup>st</sup>, Geneva (1967), *Proceedings Leiden*, E.J. Bull. V. 1.
- Bogie, I., Mackenzie, K. M., 1998. The Application of A Volcanic Facies Model To An Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal, System at Wayang Windu, Java, Indonesia, *Proceedings of the 20th New Zealand Geothermal Workshop*.
- Bouma, A.H., 1962, *Sedimentology of Some Flysh Deposits, A Graphic Approach to Facies Interpretation*. Elsevier Co., Amsterdam.
- Conybeare, C.E.B., and Crook K.A.W., 1968. *Manual of sedimentary structures*. Bull. Australian Dept. Nat. Dev., Bur. Min. Res. Geol. Geophys.
- De Genevraye, P.D., and Samuel, L., 1972. Geology of The Kendeng Zone (Central and East Java). *Proceeding Indonesian Petroleum Association First Annual Convention*.
- Dunham, R. J., 1962, *Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture*, AAPG, Memoir 1.
- Embry, A. F., and Klovan, J. E., 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island Northwest Territories. *Bulletin Canadian Petroleum Geologists*.
- Hall, R. and Morley, C.K., 2004. Sundaland basins, in Continent–ocean interactions within the East Asian marginal seas, ed. Clift, P., Wang, P., Kuhnt, W., dan Hayes, D.E., *Geophysical Monograph*, Vol. 149.
- Howard, A.D., 1967. Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation, *AAPG Bulletin*, Vol.51.
- Koesoemadinata, R.P., 1981. *Prinsip-Prinsip Sedimentasi*, Departemen Teknik Geologi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Miall, A.D., 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer, New York.
- McKee, E.D., and Weir G.W., 1953. *Terminology of stratification and cross-stratification*. Bull. Pettijohn, F.J., 1975. *Sedimentary Rocks*, 3rd ed., Harper and Row Publishing Co., New York.
- Postuma, J. A. 1971. *Manual of Planktonic Foraminifera*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands
- Potter, P.E., and Pettijohn, F.J., 1963. *Paleocurrent and Basin Analysis*, Springer Verlag, Germany.
- Pringgoprawiro, H., 1983. *Biostratigrafi Dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara: Suatu Pendekatan Baru*, Institut Teknologi Bandung.
- Rickard, M.J., 1972. Fault classification - discussion: *Geological Society of America Bulletin*, v. 83.
- Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996. Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Selley, R.C., 1985. *Ancient sedimentary environments and their sub-surface diagnosis third edition*, Chapman and Hall Ltd., London.
- Sribudiyani, Muchsin N., Ryacudu R., Kunto T., Astono P., Prastya I., Sapiie B., Asikin S., Harsolumakso A.H., Yuliato I., 2003. The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin, *Indonesian Petroleum Association, Proceeding 29th Annual Conference*, Jakarta.
- Suhala, S., dan Arifin. M., 1997. *Bahan Galian Industri*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung.
- Taylor, H.F.W., 1997. *Cement Chemistry*, 2nd edition. Thomas Telford Service Ltd London.
- Thornbury, W. D., 1989, *Principles of Geomorphology*, John Willey & Sons, inc
- Tucker, M.E., 2003. *Sedimentary Rocks in the Field (Third Edition)*, John Wiley dan Sons Ltd., London.
- van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. 1 A Government Printing Office, The Hague.
- van Zuidam, R.A., 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede, The Netherland.
- Verstappen, H. Th. 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Sureys for Environmental Management*. Amsterdam: Elsvier.
- Walker, R.G., 1984. *Fasies Model*, 2<sup>nd</sup> ed., Geosience., Canada.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C. M., 1954. *Petrography, An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. W.H. Freeman and Company Inc., San Fransisco.
- Wilson, J.L., 1975. *Carbonate Fasies in Geologic History*, Springer Verlog, Berlin Hedelberg, New York.

**FASIES FLUVIAL FORMASI LEMAT,  
DAERAH LUBUK LAWAS, KECAMATAN BATANG ASAM,  
KABUPATEN TANJUNG JABUNG BARAT, PROVINSI JAMBI**

Daryono S.K<sup>1)</sup>, Bambang Triwibowo<sup>1)</sup>, Afrilita<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral

<sup>2)</sup> Mahasiswa Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia  
Fax/Phone : 0274-486403; 0274-486403

**Sari** – Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM-WGS84 zona 48 S) 270250-273350mT dan 9874380mU. Sedangkan secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam wilayah Kecamatan Batang Asam, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi. Berdasarkan analisis aspek-aspek geomorfologi pada daerah penelitian dibagi menjadi lima satuan bentuk lahan, antara lain satuan bentuk lahan perbukitan sesar bergelombang (S1), perbukitan homoklin berlereng miring (S2), perbukitan homoklin berlereng landai (S3), tubuh sungai (F1), gosong tepi sungai (F2). Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi enam satuan batuan dari tua ke muda yaitu Satuan Metabatupasir Mentulu, Satuan Batupasir-kuarsa Lemat, Satuan Konglomerat Lemat, Satuan Batupasir-kerikilan Lemat, Satuan batulanau Benakat. Struktur yang berkembang pada daerah penelitian berupa kekar dengan tegasan baratlaut-tenggara dan timurlaut- baratdaya. Terdapat tiga pola sesar yaitu sesar berarah timurlaut-baratdaya, sesar yang berarah baratlaut-tenggara, dan sesar yang relatif berarah barat laut-timur tenggara. Analisis fasies dilakukan pada masing-masing satuan batuan Formasi Lemat. Satuan Batupasir-kuarsa Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa *channel* (CH), *sand bedform* (SB), *floodplain* (FF), *lateral accretion* (LA). Satuan Konglomerat Lemat dijumpai elemen arsitektural *sediment gravity flows* (SG) dan *gravel bar* (GB), *sand bedform* (SB). Satuan Batupasir-kerikilan Lemat dijumpai elemen *channel* (CH), *lateral accretion* (LA), dan *floodplain* (FF), sedangkan pada Satuan Batulanau Benakat dijumpai elemen *abandoned channel* FF(CH).

**Kata-kata Kunci** : Formasi Lemat, Fasies, Fluvial

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Cekungan Sumatra Selatan merupakan cekungan busur belakang (*back arc basin*) yang terbentuk akibat interaksi antara lempeng Hindia-Australia dengan lempeng mikro Sunda. Cekungan ini dibagi menjadi 2 (dua) subcekungan utama yaitu: Subcekungan Jambi dan Subcekungan Palembang (Pulunggono, 1983). Cekungan Sumatra Selatan dibatasi oleh Musi dan Kuang Platform pada bagian selatan, pada bagian utara dibatasi oleh Pegunungan Tigapuluh dan bagian timur dibatasi oleh Tinggian Lampung, Palembang dan Tamiang.

Cekungan Sumatra Selatan telah dikenal sebagai penghasil minyak dan gas bumi. Namun masih terdapat banyak permasalahan yang ditemukan oleh peneliti sebelumnya mengenai evolusi stratigrafi sedimen Paleogen di Cekungan Sumatra Selatan. Hal ini disebabkan karena batuan Paleogen di cekungan tersebut pada umumnya didominasi oleh endapan darat sehingga sulit mengetahui umur, perkembangan dan perubahan, penyebaran dan asal/sumber dari masing-masing unit litologinya. Geologi dan stratigrafi dari Cekungan Sumatra Selatan telah diteliti oleh banyak orang (Marks, 1957; de Coster, 1974; Pulunggono, 1983; Kamal, 2008; Rudy, 2008). Namun masih terdapat banyak perbedaan penamaan pada batuan sedimen Paleogen pada Cekungan Sumatra Selatan. Batuan berumur Paleogen menindih secara tidak selaras diatas batuan dasar berumur Pra-Tersier. Pembentukan Cekungan Sumatra Selatan berkaitan erat dengan proses tektonik yang terjadi pada batuan Pra-Tersier.

Formasi Lemat merupakan salah satu formasi yang mempunyai peranan penting dalam sistem petroleum pada Cekungan Sumatra Selatan. Oleh karenanya sudah banyak penelitian yang dilakukan pada Formasi Lemat, namun penelitian secara detail mengenai analisis fasies, proses sedimentasi dan interpretasi lingkungan pengendapan belum banyak dilakukan. Studi mengenai analisis fasies dan interpretasi lingkungan pengendapan dari Formasi Lemat yang berlokasi pada Bukit Tigapuluh dapat memperjelas permasalahan yang terdapat pada sedimen Paleogen di Cekungan Sumatra Selatan.

### Permasalahan

Bagaimana persebaran setiap unit stratigrafi dan bagaimana hubungan antara satuan batuan, serta bagaimana ciri fasies dan lingkungan pengendapan Formasi Lemat?

### Tujuan

Mengetahui perubahan fasies sedimen dan menginterpretasi lingkungan pengendapan dari Formasi Lemat berdasarkan data permukaan.

## Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan pada daerah Desa Lubuk Lawas, Kecamatan Batang Asam, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi. Ruang lingkup dibatasi pada gambaran fasies fluvial Formasi Lemat.

## METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan data primer berupa data singkapan batuan di lapangan kemudian dilanjutkan dengan analisis sampel berupa analisis petrografi. Penelitian ini ditunjang dengan studi literatur dari beberapa sumber dan peneliti terdahulu untuk melengkapi kajian mengenai studi regional. Selain itu studi literatur juga digunakan sebagai bahan acuan untuk memberikan penamaan pada satuan batuan yang dijumpai dan dijadikan dasar untuk menentukan fasies serta interpretasi lingkungan pengendapan Formasi Lemat. Untuk mengetahui perubahan fasies dan lingkungan pengendapan dilakukan analisis fasies dari profil-profil lokasi pengamatan yang mewakili dan memiliki ciri litologi tertentu dan singkapan yang baik.

## TINJAUAN PUSTAKA

Hasil penelitian Asril Kamal, R.M.I. Argakoesoemah dan Solichin (2008), pada Cekungan Sumatea Selatan akan dijadikan dasar data sekunder dalam pengkajian stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan.

### 1. Formasi Lahat

Formasi Lahat (Kamal, 2008) diinterpretasikan sebagai sikuen sedimen *pre-rift* Paleogen Awal. Sedimen ini diendapkan langsung di atas batuan dasar pra-Tersier. Komposisi utama litologi adalah tingginya kandungan vulkanik seperti breksi dan/atau material laharik seperti yang dijumpai di sungai Musi *Platform*. Kontak stratigrafi dengan batuan dasar di bawahnya adalah tidak selaras. Persebaran yang diketahui dengan baik dari formasi ini adalah dibagian selatan cekungan dan pendeskripsian formasi, utamanya berasal dari batuan sedimen yang tersingkap di sekitar Gunung Gumai.

### 2. Formasi Lemat dan Anggota Benakat

Formasi Lemat (Kamal, 2008) diinterpretasikan sebagai sikuen *syn-rift* Awal Oligosen yang diendapkan di *paleo-low* atau graben dan unit ini tidak hadir pada *paleo-high* (terutama struktur tipe *horst*). Formasi Lemat terdiri atas perselingan batupasir nonmarin, batulanau, dan serpih yang berubah menjadi serpih ke arah cekungan yang lebih dalam dan di beberapa area, formasi ini mengandung material bersifat tufan. Kontak tidak selaras antara formasi ini dengan Formasi Lower Talangakar di atasnya diinterpretasikan berdasarkan data seismik dan korelasi sumur. Secara litologi, Formasi Lemat di sub-cekungan ini, umumnya terdiri dari serpih dan sedikit batupasir dengan kandungan tinggi material tufan. Oleh karena itu, semua sedimen dibawah Formasi Talangakar dimasukkan kedalam Formasi Lemat (Argakoesoemah dan Kamal, 2004 dalam Kamal, 2008). Ketebalan dari formasi ini mencapai 5000 kaki. Berdasarkan data sumur, sedimen berukuran kasar pada formasi ini ditemukan pada bagian bawah dari satuan batuan ini. Formasi Lemat memiliki satu satuan batuan yang lebih rendah tingkatannya, disebut Anggota Benakat (de Coster, 1974). Satuan ini terdiri atas fasies sedimen lempungan terutama serpih yang hadir pada bagian atas dari Formasi Lemat sebelum pengendapan Formasi Talang Akar. Persebaran dari sedimen fasies lakustrin ini melimpah pada *paleo-low*, juga kemungkinan anggota ini secara lateral kontak menjari menjadi sedimen berukuran lebih kasar dari Formasi Lemat.

### 3. Grup Talang Akar

Grup Talang Akar (*syn-rift*) terdiri atas Formasi Talangakar Bawah dan Formasi Talangakar Atas. Alasan memisahkan Talangakar Atas adalah dari variasi litologi dan posisi litostratigrafi, serta persebaran vertikal dan lateralnya.

#### Formasi Talangakar Bawah

Formasi Talangakar menjadi Anggota Gritsand GRM) dan Anggota Transisi (TRM). Anggota Transisi didominasi klastika halus dengan lapisan batubara dan terkadang mengandung *pelletoid* yang menandakan lingkungan fasies pengendapan transisi hingga laut dangkal. Pada batupasirnya, biasanya terdapat *burrow* dan glaukonitan. Anggota Gritsand didominasi sedimen berbutir kasar hingga batupasir konglomeratan, didefinisikan sebagai sikuen progradasi yang berubah ke atas menjadi Anggota Transisi (TRM) dengan peningkatan serpih sebagai pengaruh awal laut (Pertamina-Beicip, 1985 dalam Kamal, 2008). Bagian dari Gritsand mungkin merupakan sedimen fluvial dan sedimen progradasional dari delta purba Talangakar yang diendapkan pada bagian baratdaya Sundaland (Argakoesoemah dan Kamal, 2004 dalam Kamal, 2008).

#### Formasi Talangakar Atas

Menurut Kamal (2008), Formasi Talangakar Atas terdiri atas Anggota Basal Klastik dan Anggota Serpih Pendopo. Formasi Talangakar Atas juga memiliki kontak lateral dan menjari dengan serpih laut terbuka dari Formasi Gumai.

### 4. Grup Telisa

Grup Telisa terdiri dari Formasi Gumai dan Formasi Baturaja. Formasi Baturaja litologinya didominasi batugamping laut dangkal dari fasies *reef* dan/atau *platform* dengan sedikit serpih. Formasi ini berkembang baik pada *paleo-high*. Ke arah cekungan, formasi secara lateral berubah menjadi serpih laut terbuka dari Formasi Gumai. Kontak bagian bawah dari unit batuan ini kemungkinan batupasir dari Anggota Basal

Klastik, serpih dari Anggota Serpih Pendopo dari Formasi Talangakar Atas, dan/atau batuan dasar pra-Tersier.

#### Formasi Gumai

Terdiri terutamanya dari serpih laut dangkal hingga laut dalam yang melimpah foraminifera. Oleh Argakoesoemah *et al* (2005) nama Gumai digunakan untuk menggantikan Formasi Telisa. Formasi Gumai terdiri dari Anggota Batupasir Lautdalam Gumai (DSM) dan Anggota Batupasir (TSM). Anggota Batupasir Laut dalam Formasi Gumai (DSM) Litologi terdiri dari batupasir berukuran halus, batulanau, dan serpih yang diendapkan pada lingkungan batial atas atau laut yang lebih dalam. Pengendapan Batupasir lautdalam terjadi antara Oligosen Akhir dan Miosen Awal ketika Grup Talangakar diendapkan (Argakoesoemah dan Kamal, 2004 dalam Argakoesoemah *et al*, 2005). Anggota Batupasir Laut dalam lainnya diperkirakan hadir selama pengendapan Formasi Gumai.

#### Anggota Batupasir Formasi Gumai (TSM)

Batupasirnya memiliki ukuran pasir halus – sangat halus, karbonatan, sangat lempungan, glaukonitan, dan umumnya mempunyai porositas dan permeabilitas *poor - fair*. Ketebalan batupasir berkisar antara 25 – 80 kaki. Namun, ketebalan batupasir kotor (*gross*) sekitar 300 kaki dengan ketebalan batupasir bersih (*net*) mencapai 200 kaki. Batupasir ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal yang dikemukakan oleh Argakoesoemah *et al* (2005). Posisi stratigrafi dari Anggota Batupasir diantara Formasi Gumai kemungkinan baik pada bagian bawah, tengah, maupun bagian atas.

#### 5. Grup Palembang

Grup Palembang terdiri dari Formasi Air Benakat, Muara Enim, dan Kasai. Formasi Air Benakat terdiri dari batupasir dan serpih pada saat basal regresi megasikuen Neogen Akhir. Formasi Air Benakat sebanding dengan Formasi Palembang Bawah sementara Formasi Muara Enim sebanding dengan Formasi Palembang Tengah. Kontak stratigrafi antara kedua unit batuan ini adalah lapisan batubara tertua Formasi Muara Enim. Kontak stratigrafi antara Formasi Kasai dan Formasi Muara Enim adalah batubara termuda atau batuan vulkanik apabila batubara tidak ditemui.

#### 6. Formasi Ranau

Formasi Ranau diusulkan sebagai sedimen vulkanik Kuarter yang secara tidak selaras mengendap di atas Formasi Kasai. Nama Tuf Ranau pertama kali diusulkan oleh Marks (1957) dalam Argakoesoemah *et al* (2005). Formasi ini berkembang dengan baik pada bagian selatan dari cekungan dekat dengan Pegunungan Barisan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Pola Pengaliran

Pembagian pola pengaliran pada daerah penelitian mengacu pada klasifikasi Howard, (1966). Pola pengaliran yang terdapat pada daerah penelitian yaitu pola pengaliran *trellis* dan subparallel. Perbedaan Pola pengaliran pada daerah penelitian dibagi menjadi 2 yaitu pola pengaliran *trellis* dan pola pengaliran *subparallel*. Pola pengaliran *trellis* (TR) berkembang pada bagian utara daerah penelitian, sungai mengalir pada *bedrock stream*, dengan lembah berbentuk U-V, dikontrol oleh kekar, sesar dan disusun oleh batuan dengan resistensi kuat berupa batuan metamorf derajat rendah yaitu *slate*. Pola pengaliran *subparallel* (SP) dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang sedang dikontrol oleh bentuk lahan *parallel*, struktur dan litologi, dengan resistensi batuan relatif seragam. Pada daerah penelitian pola pengaliran ini berada pada bagian selatan dan timur peta, sungai mengalir pada *bedrock* dan *alluvial stream*, dengan lembah berbentuk U-V, disusun oleh litologi dengan resistensi relatif seragam yaitu konglomerat, batupasir, dan batulanau.

### Geomorfologi

#### 1. Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Sesar Bergelombang (S1)

Satuan bentuk lahan perbukitan sesar bergeolombang dengan morfografi berupa perbukitan, yaitu relief yang tersusun atas lembah, lereng dan bukit. Satuan ini memiliki bentuk perbukitan yang relatif memanjang berarah baratlaut-tenggara yang dibatasi oleh lembah-lembah sesar yang berarah baratlaut-tenggara, timurlaut-baratdaya dan barat-timur. Satuan ini memiliki elevasi antara 50-175 meter, dengan pola pengaliran *trellis* dan sungai mengalir pada *bedrock stream* serta lembah berbentuk V-U dengan kelerengan agak curam-curam (14-55%). Berdasarkan aspek morfogenesis, satuan ini dipengaruhi oleh pertemuan sesar-sesar yang saling memotong dengan litologi yang dominan berupa batuan metamorf derajat rendah yaitu *slate* yang memiliki resistensi kuat dan tingkat erosi lemah, dengan proses eksogen berupa pelapukan, dan erosi. Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses struktural berupa sesar-sesar yang berarah baratlaut-tenggara, timurlaut-baratdaya dan barat-timur maka satuan ini dimasukkan ke dalam Satuan bentuk lahan perbukitan sesar bergelombang. Bentuk lahan ini memiliki persebaran pada bagian barat laut.

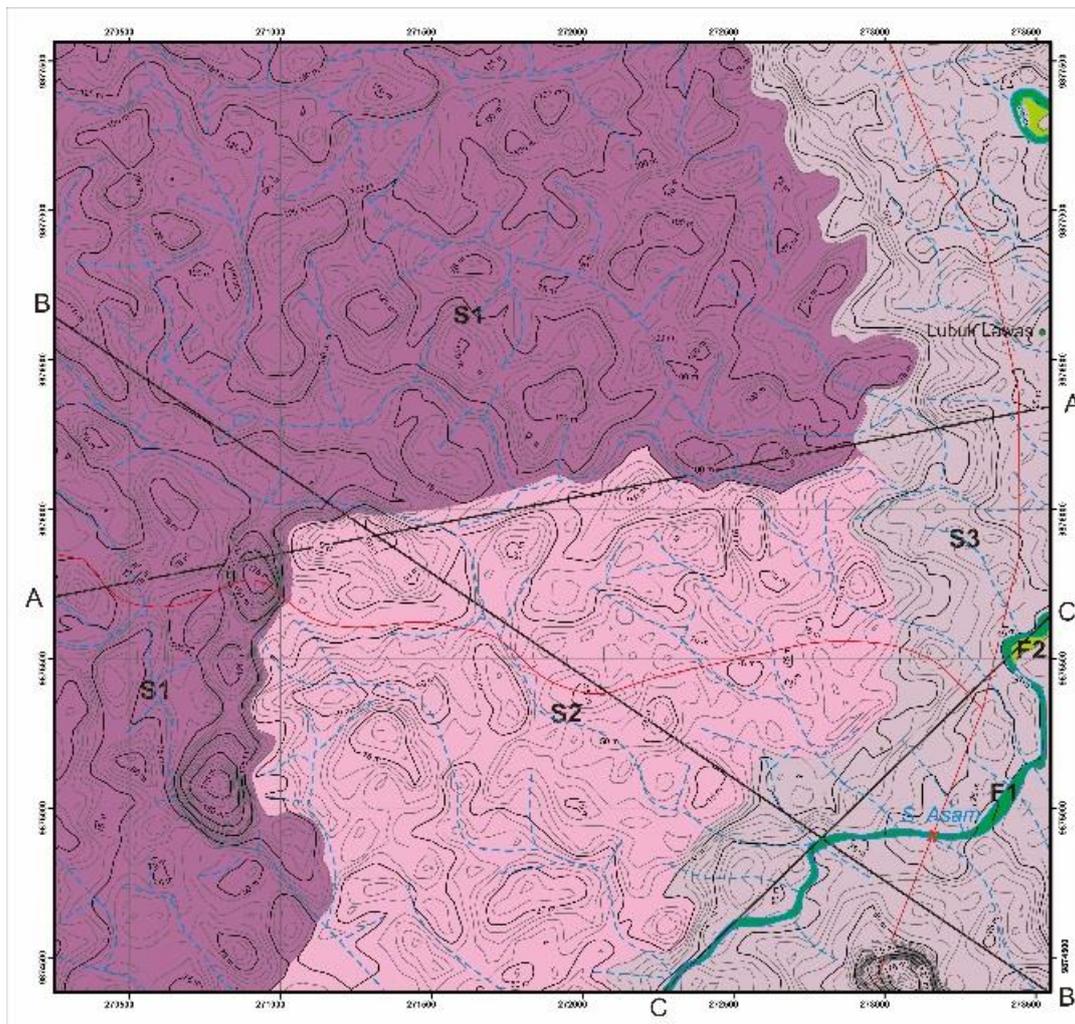
#### 2. Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin Berlereng Miring (S2)

Satuan bentuk lahan perbukitan homoklin berlereng miring memiliki morfografi berupa lembah, bukit dan lereng, dengan tingkat kelerengan landai hingga agak curam (8-20%). Satuan ini memiliki elevasi antara 25 -

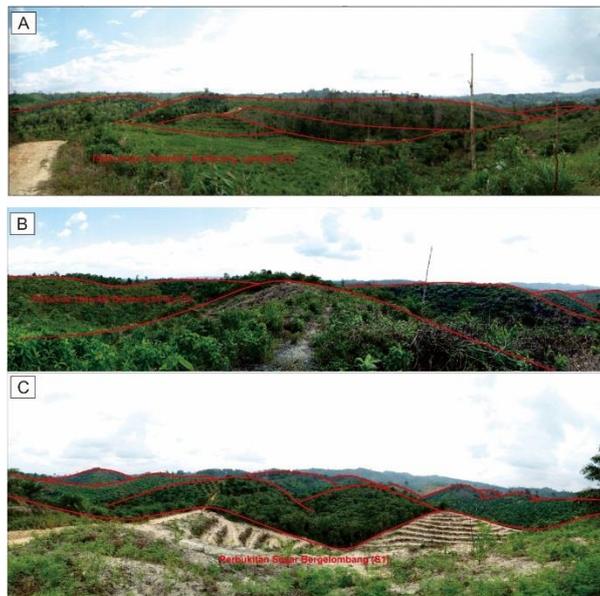
50 meter, dengan pola pengaliran *subparallel* dan sungai mengalir pada *bedrock stream* serta lembah berbentuk V-U. Berdasarkan morfogenesisnya satuan bentuk lahan ini dipengaruhi oleh aktifitas tektonik berupa pengangkatan dengan kemiringan lapisan batuan kearah timur, disusun oleh litologi yang dominan berupa konglomerat, dan batupasir kerikilan. Satuan ini memiliki tingkat resistensi sedang, dengan tingkat erosi sedang, dan dipengaruhi oleh proses eksogen berupa pelapukan, dan erosi. Bentuk lahan ini menempati 25% daerah penelitian dan memiliki persebaran pada bagian selatan.

### 3. Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin Berlereng Landai (S3)

Satuan bentuk lahan perbukitan homoklin berlereng landai memiliki morfografi perbukitan dengan relief yang berkembang berupa bukit, lembah, dan lereng. Satuan ini memiliki kelerengan sangat curam hingga landai (3-140%) dengan elevasi antara 25-175 meter, dengan pola pengaliran subparallel dan sungai mengalir pada *bedrock* dan *alluvial stream* serta lembah berbentuk U. Berdasarkan morfogenesisnya satuan bentuk lahan ini dipengaruhi oleh aktifitas tektonik berupa pengangkatan dengan kemiringan lapisan batuan kearah timur, disusun oleh litologi yang dominan berupa batupasir dan batulanau. Satuan ini memiliki tingkat resistensi sedang, dengan tingkat erosi kuat, dan dipengaruhi oleh proses eksogen berupa pelapukan, dan erosi. Bentuk lahan ini menempati 22% daerah penelitian dan memiliki persebaran pada bagian timur.



Gambar 1. Peta geomorfologi daerah penelitian



Gambar 2. Bentang alam bentuk asal struktural : (A) bentang alam yang memperlihatkan perbukitan homoklin berlereng landai diambil kearah barat dari D. Lubuk Bernai; (B) bentang alam perbukitan homoklin berlereng miring diambil ke arah barat dari D. Lubuk Lawas; (C) bentang alam perbukitan blok sesar berglombang diambil kearah barat dari D. Lubuk Lawas.

**4. Satuan Bentuk Lahan Tubuh Sungai (F1)**

Satuan bentuk lahan tubuh sungai memiliki morfografi lembah dengan elevasi antara 25-125 meter, dengan pola pengaliran *subparallel* dan sungai mengalir pada *bedrock* dan *alluvial stream* serta lembah berbentuk U dengan tingkat pengendapan yang tinggi. Berdasarkan aspek morfogenesis satuan ini dipengaruhi oleh proses pengendapan dan erosi sungai pada litologi batupasir dan batulempung serta endapan alluvial sungai yang setempat. Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses fluvial dan erosi sungai, maka satuan ini dimasukkan ke dalam satuan bentuk lahan tubuh sungai Bentuk lahan ini menempati 2% daerah penelitian dan memiliki persebaran pada bagian.

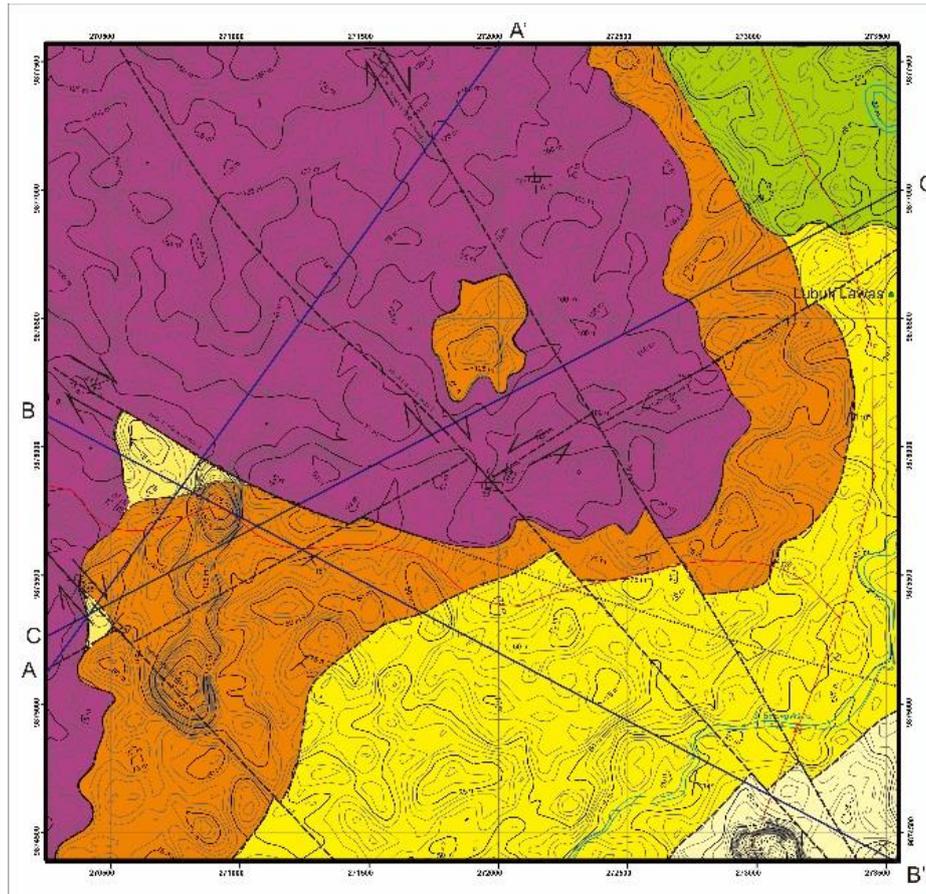
**5. Satuan Bentuk Lahan Gosong Tepi Sungai (F2)**

Satuan bentuk lahan gosong tepi sungai menempati 1% luasan peta. Satuan ini memiliki elevasi kurang lebih 25-28 meter dengan pola pengaliran subparallel, bentuk lembah U, dengan tingkat pengendapan yang tinggi. Berdasarkan aspek morfogenesis satuan ini dipengaruhi oleh proses pengendapan yang setempat pada bagian tepi sungai dan erosi. Berdasarkan morfogenesis yang mendominasi yaitu proses fluvial dan erosi sungai, maka satuan ini dimasukkan ke dalam satuan bentuk lahan gosong tepi sungai.



Gambar 3. Bentang alam bentuk asal fluvial berupa tubuh sungai (F1), dan Gosong tepisungai (F2) diambil kearah timur laut dari D. Lubuk Lawas

## Stratigrafi



Gambar 4. Peta geologi daerah penelitian

### 1. Satuan Metabatupasir Mentulu

Berdasarkan peta geologi lembar Muarabungo oleh Gafoer dkk. (1994), pada daerah penelitian terdapat batuan metamorf berumur Perm yang merupakan bagian dari Formasi Mentulu dan termasuk kedalam Kelompok Tigapuluh yang berkembang pada bagian utara dan tenggara Bukit Tigapuluh. Satuan ini dicirikan dengan hadirnya *pebbly mudstone* yang merupakan endapan *diamictite glacio-marine* dan secara setempat memiliki matriks yang berubah menjadi slate yang berumur Perm Awal-Karbon (Barber, 2005). Pada daerah penelitian dijumpai batuan metamorf derajat rendah yaitu metabatupasir pada beberapa tempat terdapat vein kuarsit, dan skis.

Ciri litologi pada Satuan Metabatupasir Mentulu didominasi oleh metabatupasir, di beberapa tempat dijumpai skis dan vein kuarsit.

- a. Metabatupasir secara pemerian lapangan yaitu batuan metamorf, memiliki sifat fisik keras dan kompak, warna hitam keabuan, struktur nonfoliasi-granulose, tekstur palimpsest-blastopsamit, komposisi kuarsa. Secara petrografi litologi metabatupasir ini belum menunjukkan penjajaran mineral, namun di beberapa tempat pada sayatan terdapat kehadiran biotit dan muskovit, serta dijumpai kuarsa yang menunjukkan bentuk *interlocking*. memiliki ukuran < 0,1-3,5 mm, komposisi mineral penyusun antara lain kuarsa (65%) dengan tekstur *granulose*, muskovit (15%) bertekstur lepidoblastik, biotit (5%) bertekstur lepidoblastik, dan mineral oksida (15%). Skis memiliki ciri warna segar abu-abu keputihan, warna lapuk coklat keputihan, struktur foliasi-*schistosa*, tekstur kristaloblastik-granuloblastik-lepidoblastik, komposisi mineral kuarsa dengan bentuk *granulose*, muskovit dan biotit bertekstur lepidoblastik.
- b. Kuarsit, warna segar putih susu, struktur *nonfoliation-granulose*, tekstur kristaloblastik-granuloblastik, komposisi mineral *antistress* kuarsa.

Hubungan stratigrafi antara Satuan Metabatupasir Mentulu dengan Satuan Batupasir-Kuarsa Lemat, dan Satuan Konglomerat Lemat yang ada di atasnya adalah tidak selaras dengan ketidakselarasan *nonconformity*. Hal tersebut dibuktikan dengan ditemukannya bidang ketidakselarasan berupa kontak erosional antara Satuan Metabatupasir Mentulu dengan Satuan Konglomerat Lemat.



Gambar 5. Ciri litologi pada Satuan Metabatupasir Mentulu : (A) singkapan litologi metabatupasir tersesarkan; (B) litologi metabatupasir; (C) singkapan vein kuarsit pada litologi metabatupasir; (D) litologi kuarsit terkekarkan; (E) singkapan litologi metabatupasir, (F) litologi metasedimen dengan vein kuarsa dan oksida.

## 2. Satuan Batupasir-kuarsa Lemat

Berdasarkan temuan di lapangan satuan ini didominasi oleh batupasir kuarsa dengan sisipan tipis konglomerat dan pada bagian atas terdapat sisipan batulanau putih keabuan, maka satuan ini dinamakan Satuan Batupasir-kuarsa Lemat. Satuan ini tidak tersingkap secara luas dan berbatasan langsung dengan Satuan Metabatupasir Mentulu.

Satuan ini didominasi oleh litologi batupasir kuarsa dengan sisipan tipis konglomerat dan pada bagian atas terdapat sisipan batulanau putih keabuan.

- Batupasir kuarsa memiliki warna segar putih keabuan, warna lapuk abu-abu tua, pasir halus (0,125-0,25 mm), komposisi kuarsa dan semen silika dengan struktur sedimen *ripple mark*, perlapisan sejajar, masif, *scour*. Ciri litologi batupasir kuarsa pada Satuan Batupasir Lemat secara mikroskopis menggunakan sayatan tipis yaitu *Quartz Arenite*, warna kuning terang, bertekstur klastik, ukuran butir 0,5 mm - < 0,1 mm, didukung oleh butiran, bentuk butir menyudut tanggung - membundar, terpilah baik, butiran saling bersentuhan (*point contact-long contact*), disusun oleh kuarsa (90%), litik (2%), muskovit (4%), biotit (2%), zirkon (1%), material berukuran lempung (2%) (Gilbert, 1954; 1982)
- Sisipan batulanau putih keabuan memiliki warna segar putih keabuan, warna putih kemerahan, ukuran lanau (0,004-0,0625mm), komposisi kuarsa, tuf dan semen silika, berstruktur masif.
- Sisipan konglomerat; warna segar coklat keputihan, warna lapuk coklat kehitaman, berukuran berangkal (40-50 mm) – pasir sedang (0,125-0,25 mm), membundar tanggung, terpilah buruk, *point contact-float contact*, dominan matrik, kemas terbuka, dengan fragmen kuarsit, matrik berupa pasir sedang dengan semen silika, dan struktur sedimen imbrikasi.

Persebarannya pada batas sesar dan merupakan endapan *syn-rift* yang diendapkan pada lingkungan darat, sehingga sulit ditemukannya fosil dan penentuan umur didasarkan pada posisi stratigrafi satuan batuan. Menurut Hall (2011), dan Daly, dkk. (1989) proses pembentukan cekungan dan proses sedimentasi berlangsung pada Eosen Akhir-Oligosen. Berdasarkan kesamaan ciri litologi, dilakukan kesebandingan umur dengan Formasi Lemat yang diajukan oleh Kamal (2008) dan diinterpretasikan berumur Oligosen Bawah.

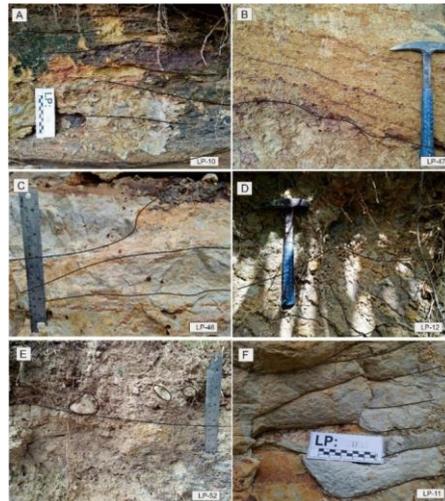
Berdasarkan ciri litologi dan struktur sedimen diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini diendapkan pada sistem sungai. Struktur sedimen yang dijumpai pada satuan ini adalah imbrikasi, *ripple lamination*, perlapisan sejajar, dan masif.

Hubungan stratigrafi antara Satuan Batupasir Lemat dengan Satuan Metabatupasir Mentulu adalah tidak selaras dengan jenis *nonconformity*. Satuan ini memiliki hubungan stratigrafi selaras dengan satuan konglomerat yang diendapkan diatas satuan batuan ini.

## 3. Satuan Konglomerat Lemat

Satuan ini didominasi oleh konglomerat berukuran kerikil, dan tidak mengandung tufan. Semakin keatas terdapat sisipan batupasir dan batulanau oksida. Berdasarkan dominasi tersebut maka satuan ini dinamakan

Satuan Konglomerat Lemat. Satuan ini menempati 27% luasan peta, tersebar pada desa Lubuk Lawas dan Lubuk Bernai, penyebaran berada pada bagian barat dan timur daerah penelitian terutama pada batas tepi lereng Satuan Metabatupasir Mentulu. Satuan ini didominasi oleh litologi konglomerat dengan sedikit sisipan batupasir dan batulanau.



**Gambar 6. Ciri litologi pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat :** (A) batupasir berstruktur planar cross-bedding; (B) kontak litologi batulanau dari satuan batupasir-kuarsa Lemat dengan satuan konglomerat; (C) batupasir kuarsa berstruktur ripple lamination dan scour; (D) batupasir kuarsa berstruktur sedimen ripple lamination; (E) sisipan konglomerat pada satuan batupasir Lemat; (F) batupasir dengan struktur massive.

- a. Konglomerat, secara megaskopis warna segar coklat kekuningan, warna lapuk coklat kemerahan, berukuran kerakal (15 mm) – pasir halus (0,125-0,25 mm), membundar tanggung, terpilah buruk, *point contact-long contact*, dominan butiran, kemas tertutup, dengan fragmen kuarsa, matrik berupa pasir halus (kuarsa), dengan semen oksida, dan struktur sedimen masif, *graded bedding, scour*. Pendeskripsian konglomerat secara mikroskopis warna kuning kecoklatan, bertekstur klastik, ukuran butir 4 mm - < 0,1 mm, didukung oleh butiran, bentuk butir menyudut tanggung, terpilah buruk, butiran saling mengambang pada masa dasar (*float contact*), disusun oleh kuarsa (75%), litik (5%), material berukuran lempung (12%), mineral oksida (3%)
- b. Sisipan batupasir; memiliki warna segar coklat kekuningan, warna lapuk coklat tua, berukuran pasir sangat kasar (1-2 mm) – pasir sedang (0,25 -0,5mm), membundar tanggung, terpilah baik, *point contact*, dominan butiran, kemas tertutup; komposisi fragmen kuarsa, matrik pasir kuarsa halus, semen silika, struktur sedimen, *scour*. Sisipan batulanau putih keabuan memiliki warna segar putih keabuan, warna putih kemerahan, ukuran lanau (0,004-0,0625mm), komposisi kuarsa, tuf dan semen silika oksida,, berstruktur masif.



**Gambar 7. Ciri litologi pada satuan konglomerat Lemat:**(A) litologi konglomerat berstruktur massive; (B) litologi konglomerat berstruktur masif; (C) singkapan konglomerat berstruktur graded bedding; (D) litologi konglomerat berstruktur scour dan masif

Satuan ini memiliki ciri litologi konglomerat dengan sisipan batupasir dan batulanau pada bagian atasnya, merupakan endapan *syn-rift* yang diendapkan pada lingkungan darat, sehingga sulit ditemukannya fosil dan penentuan umur didasarkan pada posisi stratigrafi satuan batuan yang tersebar pada lereng dan batas sesar

dengan batuan dasar. Menurut Hall (2011), dan Daly, dkk. (1989) proses pembentukan cekungan dan proses sedimentasi berlangsung pada Eosen Akhir-Oligosen. Berdasarkan kesamaan ciri litologi dilakukan kesebandingan umur dengan Formasi Lemat yang diajukan oleh Kamal (2008) dan diinterpretasikan berumur Oligosen Bawah. Berdasarkan ciri litologi, struktur sedimen, dan posisi litologi yang berada pada bagian lereng dari batuan dasar diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini diendapkan pada sistem kipas aluvial.

Hubungan stratigrafi antara Satuan Metabatupasir Mentulu dengan Satuan Konglomerat Lemat adalah tidak selaras dengan ketidakselarasan *nonconformity* sedangkan hubungannya dengan Satuan Batupasir-kuarsa Lemat adalah selaras.

#### 4. Satuan Batupasir-kerikilan Lemat

Satuan ini didominasi oleh litologi berupa batupasir kerikilan tufan dengan sisipan batulanau kerikilan oksida dan batupasir tufan pada bagian bawah dan pada bagian atas secara berangsur berubah menjadi batupasir kerikilan tufan dengan sisipan konglomerat tufan.

- Batupasir kerikilan tufan, warna segar putih kecoklatan, warna lapuk coklat terang, kerikil (3 mm) - pasir halus (0,125 -0,25mm), membundar tanggung, terpilah buruk, *point contact-float contact*, dominan matrik, kemas terbuka, komposisi fragmen kuarsa, matrik pasir halus dan tuf, semen oksida, struktur sedimen *massive*, *plannar cross bedding*, dab *graded bedding*.  
Pendesripsian batupasir kerikilan tufan pada sayatan tipis. *Pebbly arkosic wacke*, warna kuning keabuan, bertekstur klastik, ukuran butir 5 mm - < 0,1 mm, didukung oleh butiran, bentuk butir menyudut tanggung-membundar tanggung, terpilah buruk, butiran saling bersentuhan (*point contact-float contact*), disusun oleh kuarsa (55%), litik (30%), mineral lempung (12%), mineral oksida (3%).
- Sisipan batulanau kerikilan, warna segar putih kemerahan, warna lapuk coklat; ukuran lanau-kerikil, komposisi fragmen kuarsa, matrik tuf, semen silika, struktur *massive*.
- Sisipan batupasir, warna segar abu-abu keputihan, warna lapuk coklat keputihan, pasir sedang, membundar, terpilah baik, *point contact*, dominan butiran, kemas tertutup. komposisi fragmen kuarsa, sedikit litik tuf, pasir kuarsa sedang, semen silika, struktur sedimen berlapis bergelombang, masif, *scour*, dan lensa konglomerat.
- Sisipan konglomerat, warna segar coklat keputihan, warna lapuk coklat tua berukuran kerikilan (4 mm) - pasir sedang (0,125-0,25 mm), membundar tanggung, terpilah buruk, *point contact*, dominan butiran, kemas tertutup, komposisi fragmen kuarsa putih, kuarsa abu-abu, litik tuf, matrik pasir kuarsa halus dan tuf, semen silika, struktur sedimen berupa, *cross bedding* dan melensa.

Satuan ini memiliki ciri litologi kerikilan yang merupakan endapan *syn-rift* yang diendapkan pada lingkungan darat, sehingga sulit ditemukannya fosil. Penulis melakukan kesebandingan umur dengan Formasi Lemat yang diajukan oleh Kamal (2008) dan diinterpretasikan berumur Oligosen Bawah. Berdasarkan ciri litologi dan struktur sedimen diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini diendapkan pada sistem sungai dengan banyak dijumpai struktur sedimen *massive*, *scouring*, *graded bedding*, dan *cross bedding*.



Gambar 8. Ciri litologi pada Satuan Batupasir-kerikilan Lemat bagian bawah:(A) litologi batulanau kerikilan oksida berstruktur massive; (B) litologi batupasir kerikilan tufan berstruktur plannar cross bedding; (C) batupasir tufan berstruktur lensa konglomerat dan scour; (D) litologi batupasir berstruktur

**perlapisan bergelombang; (E) litologi konglomerat berstruktur masif, (F) litologi batupasir berstruktur planar cross bedding, scour dan lensa konglomerat.**

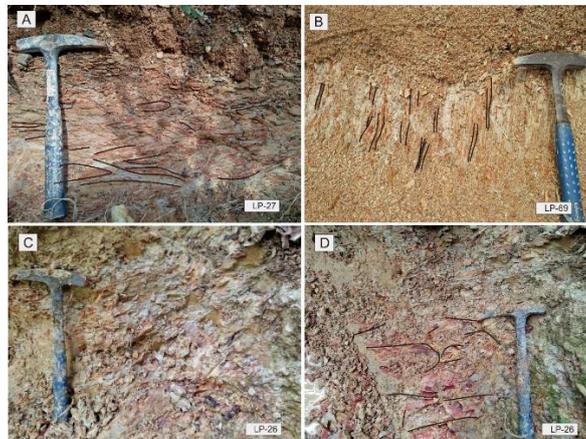
Hubungan stratigrafi antara Satuan Batupasir-kerikilan Lemat dengan satuan yang ada di atasnya yaitu Satuan Batulanau Benakat dan Satuan Batupasir Talangakar adalah selaras.

### 6. Satuan Batulanau Benakat

Satuan ini disusun oleh dominasi batu lanau dengan perselingan batupasir.

- Batulanau; warna segar putih kemerahan, warna lapuk merah; ukuran lanau (< 0,004-0,0625 mm), komposisi kuarsa, tuf, semen silika, dan oksida; struktur sedimen berupa *ripple lamination*. Batulanau tufan, warna kuning keabuan, bertekstur klastik, ukuran butir < 1 mm, disusun oleh kuarsa (5%), mineral lempung (75%), mineral oksida (20%), (Gilbert, 1982).
- Batupasir tufan; warna segar putih kekuningan, warna lapuk coklat kemerahan; pasir halus, komposisi kuarsa, tuf, semen silika, oksida dengan struktur sedimen *ripple lamination*.
- Batulempung, warna segar hitam, warna lapuk coklat, berukuran lempung (< 0,004mm), semen silika, perlapisan.

Satuan ini memiliki ciri litologi perselingan batulanau dan batupasir dan diinterpretasikan merupakan endapan darat, sehingga sulit ditemukannya fosil. Kesebandingan umur dengan Anggota Benakat Formasi Lemat yang diajukan oleh Kamal (2008) dan diinterpretasikan berumur Eosen Akhir-Oligosen Awal.



**Gambar 9. Ciri litologi pada Satuan Batulanau Benakat: (A) litologi perselingan batulanau dan batupasir oksida; (B) litologi perselingan batulanau dan batupasir oksida dengan struktur ripple lamination; (C) litologi batulanau oksida; (D) batulempung hitam dengan struktur masif, dan rekah kerut.**

Berdasarkan ciri litologi dan struktur sedimen dan analisa profil diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini diendapkan pada sistem sungai lingkungan *overbank* dicirikan dengan struktur sedimen *ripple lamination*, dan masif, rekah kerut.

Hubungan stratigrafi Satuan Batulanau Anggota Benakat dengan Satuan Batupasir-kerikilan Lemat dan Satuan Batupasir Talangakar adalah selaras.

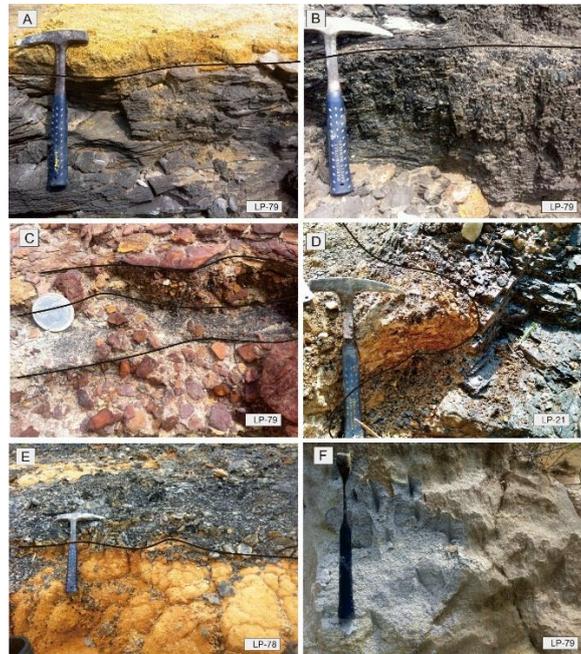
### 7. Satuan Batupasir Talangakar

Satuan ini didominasi oleh batupasir dengan perselingan batulempung dan batubara

- Batupasir, warna segar putih kekuningan, warna lapuk kuning kecoklatan, pasir kasar (0,5-0,1 mm)-pasir sedang (0,25-0,5 mm), membundar tanggung, terpilah baik, *point contact*, dominan butiran, kemas tertutup, komposisi fragmen kuarsa, litik tuf, matrik pasir kuarsa sedang dan tuf, semen silika, perlapisan.  
Pendesripsian batupasir tufan pada satuan batupasir *Lithic Wacke*, warna kuning keabuan, bertekstur klastik, ukuran butir 0,4 - < 0,1mm, menyudut tanggung-membundar tanggung, terpilah baik, didukung oleh matrik, butiran mengambang pada matrik (*float contact*) disusun oleh kuarsa (45%), litik (13%), muskovit (2%), mineral oksida (5%), material berukuran lempung (35%) (Gilbert, 1954; 1982)
- Konglomerat, warna segar kuning kecoklatan, warna lapuk coklat kehitaman, kerikil (3 mm) – pasir halus (0,125-0,25 mm), membundar tanggung, terpilah buruk, *float contact*, dominan matrik, kemas terbuka, komposisi fragmen kuarsa, matrik pasir kuarsa sedang dan tuf, semen oksida, struktur perlapisan.
- Batubara, warna hitam, *amorf*, monomineral karbon, dengan struktur sedimen perlapisan.

- d. Batulempung, warna segar hitam, warna lapuk coklat, berukuran lempung ( $<0,004\text{mm}$ ), semen silika, mengandung tuf, perlapisan. Umur satuan batuan ini mengacu pada Kamal (2008), yang diinterpretasikan berumur Oligosen Akhir. Berdasarkan ciri litologi dan struktur sedimen diinterpretasikan bahwa satuan batuan ini diendapkan pada sistem *fluvial-upper delta plain* (Horne,1978) dicirikan dengan struktur sedimen perlapisan sejajar, perlapisan bergelombang, perlapisan silang siur, dan hadirnya batubara masif, dengan tebal 40-1m, lempung hitam, konglomerat dan dominasi batupasir.

Hubungan stratigrafi antara Satuan Batupasir Talangakar dengan Satuan Batupasir-kerikilan Lemat dan Satuan Batulanau Anggota Benakat adalah selaras.



**Gambar 10. Ciri litologi pada satuan batupasir Talangakar: (A) singkapan litologi batupasir dan batulempung hitam dengan struktur sedimen perlapisan sejajar; (B) singkapan litologi batulempung hitam dan batubara; (C) singkapan litologi batupasir oksida dan batulempung hitam dengan struktur perlapisan bergelombang; (D) singkapan batubara dan batulempung tufan; (E) singkapan litologi konglomerat dan batubara; (F) singkapan batupasir tufan.**

## STRUKTUR GEOLOGI

Pola struktur yang berkembang pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 pola kelurusan berdasarkan interpretasi pola kelurusan dari citra SRTM yaitu:

1. Pola kelurusan yang berarah baratlaut-tenggara
2. Pola kelurusan yang berarah timurlaut-baratdaya
3. Pola kelurusan yang berarah barat-timur

Kekar yang dijumpai pada daerah penelitian merupakan kekar hasil dari aktivitas tektonik yang banyak dijumpai di sepanjang zona sesar. Tegasan utama kekar pada daerah penelitian yaitu baratlaut-tenggara dan sesar berarah timurlaut-barat daya.

Struktur sesar yang berkembang pada daerah telitian dapat dikelompokkan menjadi 3 pola berdasarkan arah umumnya yaitu sesar yang berarah baratlaut-tenggara dan sesar berarah timurlaut-barat daya, dan barat laut-timur tenggara.

## ANALISIS FASIES

### ANALISIS FASIES PADA SATUAN BATUPASIR-KUARSA LEMAT

#### 1. Analisis litofasies

Dijumpai 7 jenis litofasies pada satuan batupasir-kuarsa Lemat. Berikut ini adalah pembagian litofasies berdasarkan pendekatan Miall (1978c) pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat di daerah penelitian, yaitu:

##### a. Fasies Gmg

Fasies Gmg memiliki hubungan antar butir yang dominan adalah yang terdukung matriks. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 15cm. Fasies ini berkembang pada litologi konglomerat yang berada

pada bagian bawah satuan batuan batupasir. Fasies ini diinterpretasikan sebagai hasil dari aliran debris dengan energi rendah yang mempunyai tingkat kekentalan tinggi.

- b. Fasies Sr  
Fasies Sr memiliki ukuran butir pasir halus dengan struktur *ripple lamination*. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 15-84 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian bawah, atas dan tengah Satuan Batupasir Lemat.
- c. Fasies Sl  
Fasies Sl memiliki ukuran butir pasir halus- pasir sedang dengan struktur *cross bedding* dengan sudut <15°. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 15-76 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian bawah, dan tengah Satuan Batupasir Lemat.
- d. Fasies Sm  
Fasies Sm memiliki ukuran pasir sedang dengan struktur *massive*. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 45-51 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian bawah, tengah, dan atas Satuan Batupasir Lemat.
- e. Fasies Ss  
Fasies Ss memiliki ukuran butir pasir sedang dengan struktur *scour*. Fasies ini menandakan adanya pengisian channel. Seringkali dijumpai lensa-lensa batuan yang ada dibawahnya. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 20 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian atas Satuan Batupasir Lemat.
- f. Fasies Sh  
Fasies Sh memiliki ukuran pasir sedang-kasar dengan struktur perlapisan sejajar. Biasanya lapisan ini sejajar dengan arah arus. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 30 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian tengah Satuan Batupasir Lemat.
- g. Fasies Fsm  
Fasies Fsm memiliki ukuran lanau dengan struktur masif. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 93 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batulanau yang berada pada bagian atas Satuan Batupasir Lemat dan kontak dengan Satuan Batupasir kerikilan Lemat.

## 2. Elemen arsitektural

Pengelompokan elemen arsitektural didasarkan pada asosiasi fasies yang telah dianalisis. Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 3 jenis elemen arsitektural pada Satuan batupasir Lemat berdasarkan klasifikasi Miall (1985) yaitu:

- a. *Channel* (CH)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Gmg, Sr, Sl, dan Ss. Pada satuan batupasir-kuarsa Lemat dijumpai elemen Channel yaitu pada bagian bawah dan bagian atas satuan. Elemen *Channel* merupakan kombinasi dari beberapa elemen arsitektural, dengan menunjukkan pola menghalus keatas dan bagian dasar berupa *scouring* atau penggerusan.
- b. *Sand bedform* (SB)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Sm, Sr, dan Sh. Pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat dijumpai elemen sand bedform yaitu pada bagian tengah dan atas satuan.
- c. *Floodplain* (FF)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Fsm berupa batulanau masif pada Satuan Batupasir Lemat. Elemen ini mencirikan pengendapan pada sungai tertinggal atau rawa belakang.
- d. *Lateral accretion* (LA)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Sr, Sm, Ss berupa batupasir-kuarsa masif, batu pasir kuarsa dengan struktur perlapisan bergelombang pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat.

## 3. Interpretasi Lingkungan Pengendapan

Pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa *channel* (CH), *lateral accretion* (LA), *sand bedform* (SB). Berdasarkan kumpulan elemen arsitektural yang dijumpai pada Satuan Batupasir-kuarsa Lemat diinterpretasikan bahwa satuan ini diendapkan pada lingkungan *ephemeral sand bed meandering river* berdasarkan klasifikasi Miall (1985)

## ANALISIS FASIES PADA SATUAN KONGLOMERAT LEMAT

### 1. Analisis litofasies

Dijumpai 5 jenis litofasies pada satuan konglomerat Lemat. Berikut ini adalah pembagian litofasies berdasarkan pendekatan Miall (1978c) pada satuan konglomerat Lemat di daerah penelitian :

- a. Fasies Gmg dan Gmm  
Fasies Gmm memiliki hubungan antar butir yang dominan adalah yang terdukung matriks. Fasies ini berkembang pada litologi. Fasies ini diinterpretasikan sebagai hasil dari aliran debris dengan energi rendah yang mempunyai tingkat kekentalan tinggi.
- b. Fasies Gcm

Fasies Gcg merupakan fasies yang tersusun atas konglomerat berukuran kerikil hingga kerakal dengan hubungan butir terdukung *grain* dan mempunyai struktur sedimen berupa masif. Fasies ini mempunyai ketebalan 1 meter, berada pada bagian bawah dari Satuan batupasir kerikilan Lemat. Fasies ini diinterpretasikan diendapkan pada aliran debris energi tinggi yang kaya akan klastika.

- c. Fasies Gp  
Fasies Gp tersusun atas litologi konglomerat dengan struktur sedimen silang siur planar. Fasies ini berkembang pada bagian atas satuan konglomerat Lemat diinterpretasikan sebagai hasil dari proses pengisian *channel* yang bermigrasi.
- d. Fasies Sh  
Fasies Sh memiliki ukuran pasir sedang-kasar dengan struktur perlapisan sejajar. Biasanya lapisan ini sejajar dengan arah arus. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian atas Satuan Konglomerat Lemat.
- e. Fasies Sr  
Fasies Sr memiliki ukuran butir pasir halus dengan struktur *ripple lamination*. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian atas Satuan Konglomerat Lemat.

## 2. Elemen Arsitektural

Pengelompokan elemen arsitektural didasarkan pada asosiasi fasies yang telah dianalisis. Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 3 jenis elemen arsitektural pada Satuan Konglomerat Lemat berdasarkan klasifikasi Miall (1985) yaitu:

- a. *Sediment gravity flows* (SG)  
Berdasarkan hasil analisis fasies pada Satuan Konglomerat Lemat dijumpai fasies Gp, Gcm, Gmg pada elemen arsitektural SG berbentuk menyempit, membentuk *lobes* memanjang. Jenis ini dapat berasosiasi dengan elemen GB dan SB. *Grading* dan *Inverse grading* sering muncul, kerikil silang siur dengan sudut rendah dapat mengindikasikan sebuah perpindahan dari aliran debris flow menuju mekanisme transport sistem traksi.
- b. *Gravel bar* (GB)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Gmg, dan Gp. Pada satuan konglomerat Lemat dijumpai elemen *gravel bar* yang berasosiasi dengan *sand bedforms*, yaitu pada bagian atas satuan konglomerat Lemat.
- c. *Sand bedform* (SB)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Sr dan Sh dan berasosiasi dengan elemen *gravel bar* (GB) pada bagian atas satuan konglomerat Lemat.

## 3. Interpretasi Lingkungan Pengendapan

Pada satuan konglomerat Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa *sediment gravity flow* (SG), *gravel bar* (GB), *sand bedform* (SB). Berdasarkan kumpulan elemen arsitektural yang dijumpai pada satuan konglomerat Lemat diinterpretasikan bahwa satuan ini diendapkan pada lingkungan *debris flow dominated fan* (Stanistreet dan McCharty 1993) dan *gravel bed braided river* berdasarkan klasifikasi Miall (1985)

## ANALISIS FASIES PADA SATUAN BATUPASIR KERIKILAN LEMAT

### 1. Analisis litofasies

Berikut ini adalah pembagian litofasies berdasarkan pendekatan Miall (1978c) pada satuan batupasir kerikilan Lemat di daerah penelitian :

- a. Fasies Gmg  
Fasies Gmg memiliki hubungan antar butir yang dominan adalah yang terdukung matriks. Terdapat pada litologi batupasir kerikilan dan konglomerat berukuran kerikil hingga berangkal. Berkembang pada bagian tengah dan atas satuan batupasir kerikilan Lemat. Fasies ini diinterpretasikan sebagai hasil dari aliran debris dengan energi rendah yang mempunyai tingkat kekentalan tinggi.
- b. Fasies Gcm  
Fasies Gcm merupakan fasies yang tersusun atas konglomerat dengan hubungan butir didukung oleh *grain* dan mempunyai struktur sedimen berupa masif. Fasies ini mempunyai ketebalan 30 cm, berada pada bagian tengah dan tidak berkembang pada bagian bawah maupun atas dari satuan batupasir kerikilan Lemat. Fasies ini diinterpretasikan diendapkan pada aliran debris energi tinggi yang kaya akan klastika.
- c. Fasies S1  
Fasies ini tersusun atas litologi yang didominasi oleh material silisiklastik berukuran pasir sedang dan kerikil dengan struktur sedimen silang siur dengan bidang perpotongan kurang dari 15°. Berada pada bagian bawah dan tidak berkembang pada bagian tengah dan atas dijumpai pada LP-34. Fasies ini diinterpretasikan sebagai hasil dari proses pengisian *scour* dan *dune-antidune*.
- d. Fasies Ss

Fasies Ss memiliki ukuran butir pasir sedang-kerikil, dijumpai pada litologi batupasir dan konglomerat dengan struktur *scour*. Fasies ini menandakan adanya pengisian channel. Seringkali dijumpai lensa-lensa batuan yang ada dibawahnya. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 15-30 cm, terdapat pada LP-34,23,63,84 dan 68.

- e. Fasies Sm  
Fasies Sm memiliki ukuran pasir halus dengan struktur *massive*. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 75 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada pada bagian tengah satuan batupasir kerikilan Lemat terdapat pada LP-38.
- f. Fasies Fsm  
Fasies Fsm memiliki ukuran lanau dengan struktur masif. Tebal fasies ini pada Satuan batupasir kerikilan tufan adalah 63 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batulanau yang berada pada bagian bawah Satuan batupasir kerikilan tufan Lemat pada LP 65, 35, dan 32. Diinterpretasikan bahwa fasies ini merupakan endapan sungai tertinggal atau rawa belakang.
- g. Fasies Sh  
Fasies Sh terdapat pada litologi batupasir kerikilan dengan struktur perlapisan sejajar. Biasanya lapisan ini sejajar dengan arah arus. Tebal fasies ini pada satuan batupasir kerikilan tufan adalah 12 cm. Fasies ini terdapat pada LP 39 berada pada bagian tengah Satuan batupasir kerikilan tufan Lemat.
- h. Fasies Sr  
Fasies Sr memiliki ukuran butir pasir sedang-pasir kasar dengan struktur *ripple lamination*. Tebal fasies ini pada satuan batupasir adalah 18-45 cm. Fasies ini berkembang pada litologi batupasir yang berada LP 40, 68, dan 36 terdapat atas dan tengah Satuan batupasir kerikilan tufan Lemat.

## 2. Elemen Arsitektural

Pengelompokan Elemen arsitektural didasarkan pada asosiasi fasies yang telah dianalisis. Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 3 jenis elemen arsitektural pada Satuan batupasir kerikilan tufan Lemat berdasarkan klasifikasi Miall (1985) yaitu:

- a. Elemen arsitektural *channel* (CH)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Gmg, Gcm, Sh, Sr, Sl, dan Ss. Elemen *Channel* merupakan kombinasi dari beberapa elemen arsitektural, dengan menunjukkan pola menghalus keatas dan bagian dasar berupa *scouring* atau penggerusan. Semakin dangkal kedalaman *channel* maka semakin lebar *channel* tersebut dan sebaliknya.
- b. Elemen arsitektural *Floodplain* (FF)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Fsm, berupa batulanau masif pada satuan batupasir kerikilan Lemat. Elemen ini mencirikan pengendapan pada sungai tertinggal atau rawa belakang.
- c. *Lateral accretion* (LA)  
Pada elemen ini dijumpai fasies Gmg, Ss pada satuan batupasir-kerikilan Lemat berasosiasi dengan elemen *floodplain* (FF)

## 3. Interpretasi Lingkungan Pengendapan

Pada satuan batupasir-kerikilan Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa *channel* (CH), *lateral accretion* (LA), *flood plain* (FF). Berdasarkan kumpulan elemen arsitektural yang dijumpai pada satuan batupasir-kerikilan Lemat diinterpretasikan bahwa satuan ini diendapkan pada lingkungan *gravel-sand meandering river* berdasarkan klasifikasi Miall (1985)

### Analisis fasies pada satuan batulanau Anggota Benakat

#### 1. Analisis litofasies

Dijumpai 3 jenis litofasies pada satuan batulanau Anggota Benakat. Berikut ini adalah pembagian litofasies berdasarkan pendekatan Miall (1978c) pada Satuan batulanau Anggota Benakat di daerah penelitian.

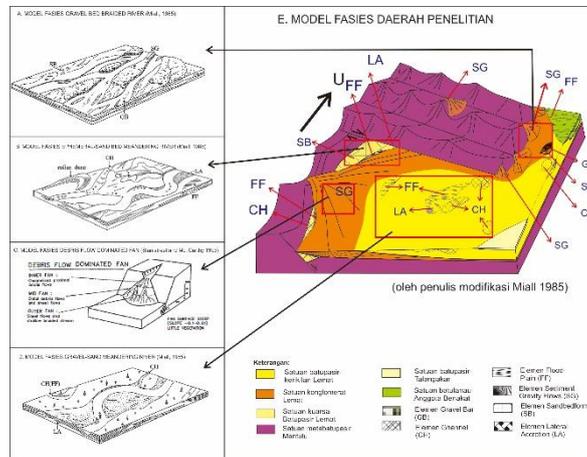
- a. Fasies Fm  
Fasies Fm terdapat pada batulempung dan batulanau struktur masif dengan rekah kerut pada permukaannya. Tebal fasies ini pada Satuan batupasir kerikilan tufan adalah 1,35 m. Fasies ini berkembang pada litologi batulanau dan batulempung yang berada pada bagian bawah Satuan batulanau Anggota Benakat pada LP 26. Diinterpretasikan bahwa fasies ini merupakan endapan sungai tertinggal.
- b. Fasies Fl  
Fasies Fl terdapat pada litologi perselingan batulanau dan batupasir dengan struktur *ripple lamination*. Terdapat pada bagian atas Satuan batulanau Anggota Benakat, pada LP-27,69, dan 70. Perselingan antara lempung, pasir dan lanau umumnya berada pada area *overbank* dan merepresentasikan endapan dari mekanisme pengendapan suspensi dan arus traksi yang lemah. Ripple yang sangat kecil hadir pada lapisan pasir dan lanau. Lapisan yang bergelombang, bioturbasi yang menyebar, retakan yang terawetkan, akar tumbuhan, cerat-cerat batubara, dan nodul pedogenic yang menyebar umum dijumpai.

**2. Elemen arsitektural**

Pengelompokan Elemen arsitektural didasarkan pada asosiasi fasies yang telah dianalisis. Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 1 jenis elemen arsitektural pada Satuan batulanau Anggota Benakat berdasarkan klasifikasi Miall (1985) yaitu:

- a. Elemen arsitektural *abandoned channel CH(FF)*

Elemen *abandoned channel* terdiri atas fasies Fm dan F1 terbentuk akibat terpotongnya sungai akibat perpindahan aktif channel, sehingga menghasilkan genangan.



Gambar 11. Model fasies daerah penelitian oleh penulis modifikasi Miall 1985

**POTENSI GEOLOGI**

Pada daerah telitian di temukan 2 jenis potensi geologi, yakni potensi positif dan potensi negatif. Potensi positif berupa bahan galian industri (tambang sirtu yang di tambang menggunakan alat berat. Sedangkan potensi negatif berupa gerakan tanah.

**KESIMPULAN**

1. Geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 5 satuan bentuk lahan, antara lain : Satuan bentuk lahan perbukitan sesar bergelombang (S1), perbukitan homoklin berlereng miring (S2), perbukitan homoklin berlereng landai (S3), tubuh sungai (F1), gosong tepi sungai (F2). Memiliki pola pengaliran berupa pola pengaliran ubahan Subparalel dan *Trellis*.
2. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi enam satuan batuan dari tua ke muda yaitu satuan metabatuap pasir Mentulu, satuan batupasir-kuarsa Lemat, satuan konglomerat Lemat, satuan batupasir-kerikilan Lemat, satuan batulanau Anggota Benakat, satuan batupasir Talangakar.
3. Struktur yang berkembang pada daerah telitian berupa kekar dan sesar. Kekar dengan tegasan baratlaut-tenggara dan timurlaut- baratdaya. Terdapat 3 pola sesar yaitu sesar yang berarah timurlaut-barat daya, sesar yang berarah timurlaut-baratdaya, sesar yang relatif berarah barat barat laut-timur tenggara.
4. Potensi pada daerah telitian , antara lain potensi negatif berupa gerakan massa potensi positif berupa tambang batubara dan batupasir kuarsa.
5. Berdasarkan hasil analisis fasies pada masing-masing satuan batuan Formasi Lemat didapatkan pada satuan batupasir-kuarsa Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa *channel* (CH), *sand bedform* (SB), *floodplain* (FF), *lateral accretion* (LA). Pada Satuan konglomerat dijumpai elemen arsitektural *sediment gravity flows* (SG) dan *gravel bar* (GB). Pada satuan batupasir-kerikilan Lemat dijumpai elemen *channel* (CH), *lateral accretion* (LA), dan *floodplain* (FF), sedangkan pada satuan batulanau Anggota Benakat dijumpai elemen *abandoned channel* FF(CH).

**DAFTAR PUSTAKA**

Barber, A.J., Crow, M.J., and Milsom, J.S. 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London: The Geological Society

Beicip, 2007. *Petroleum system analysis PT Medco E&P Indonesia*, South Sumatra, Indonesia, tidak dipublikasikan.

Clements, B., Burgess, P.M., Hall, R. & Cottam, M.A. 2011. Subsidence and uplift by slab related mantle dynamics: a driving mechanism for the Late Cretaceous and Cenozoic evolution of continental SE Asia. In: Hall, R., Wilson, M.E. & Cottam, MA. (eds) *The SE Asian Gateway: History and Tectonics of Australia-Asia Collision*. Geological Society, London, Special Publications, 355, 37-51.

- Daly, M.C., Hoopers, B.G.D., Smith, D.G., 1987. Tertiary plate tectonic and basin evolution in Indonesia. *Proc. Of the 16th IPA Annual Convention*.
- Gafoer, S., Amin, T.C., and Pardede, R., 1994. *Geologi lembar Muara Bungo, Sumatra, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- IAGI. 1996. *Sandi Stratigrafi Indonesia*. Komisi Sandi Stratigrafi Ikatan Ahli Geologi Indonesia 1996.
- Kamal A., Argakoesoemah R.M.I., Solichin. 2008. A proposed basin-scale lithostratigraphy for South Sumatra Basin. *Indonesian Association of Geologist: Sumatra Stratigraphy Workshop*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, p. 85-97.
- Miall, A.D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits : Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer, New York.
- Metcalf, I., 2011b. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland. *Gondwana Research* 19, 3–21.
- Pulonggono, A., 1984. Sumatran microplates, their characteristics and their role in the evolution of the Central and South Sumatra Basin. *Proc. Of the 13th IPA Annual Convention, Jakarta, May*.
- Pulonggono, A., 1986. Tertiary Structural Features Related To Extensional and Compressive Tectonics In The Palembang Basin, South Sumatra, *Proc 15th Indonesian Petroleum Association Annual Convention*. p. 187-213.
- Pulonggono, A., Haryo, S.A., and Kosuma, C.G., 1992. Pre-Tertiary and Tertiary Fault System as A Framework of The South Sumatra Basin; Studi of SARMap, *Proc 21st Indonesian Petroleum Association Annual Convention*. p. 339-360.
- Rickard, M. (1972). Fault Classification Discussion. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 2545 - 2546.
- Reading, H. G. (Ed.) (1986a) *Sedimentary environments and facies (2nd Ed)*: Oxford: Blackwell Scientific Publishing.
- Ryacudu, R. 2008. Tinjauan Stratigrafi Paleogen Cekungan Sumatra Selatan. *Indonesian Association of Geologist: Sumatra Stratigraphy Workshop*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, p. 99-114.
- Selley, R.C., 1985. *Ancient sedimentary environments and their sub-surface diagnosis third edition*, Chapman and Hall Ltd., London, p. 18-37, 146-210.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia, Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague.
- Van Zuidam, R. A., 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. ITC. 292h.
- William, H., Turner, F. J., Gilbert, C. M., 1954. *Petrography An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*. W.H. Freeman and Company Inc., San Fransisco.
- William, H., Turner, F. J., Gilbert, C. M., 1982. *Petrography. An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*. W.H. Freeman and Company Inc., San Fransisco.

## **FASIES FORMASI LEMAT DAERAH BELALANGAN DAN SEKITARNYA, KECAMATAN BATANG ASAM, KABUPATEN TANJUNG JABUNG BARAT, PROVINSI JAMBI**

Bambang Triwibowo<sup>1)</sup>, Daryono S.K<sup>1)</sup>., Sagara B<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Dosen Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral

<sup>2)</sup> Mahasiswa Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia  
Fax/Phone : 0274-486403; 0274-486403

**Sari** – Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat (UTM – WGS84 zona 48S) 269400-272500 mT dan 9868800-9872000 mU. Sedangkan secara administratif daerah penelitian masuk ke dalam wilayah Kecamatan Batang Asam, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi.

Satuan bentuk lahan daerah penelitian, antara lain Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Bergelombang Berlereng Sedang (S1), Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Sesar Bergelombang (S2), Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin Berlereng Miring (S3) dan Satuan Bentuk Lahan Tubuh Sungai (F1).

Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi lima satuan batuan dari tua ke muda, antara lain Satuan Metapsamit Mentulu berumur Perm, Satuan Konglomerat Lemat berumur Oligosen Atas, Satuan Batupasirkerikilan – vulkanik Lemat berumur Oligosen Atas, Satuan Batulempung – vulkanik Benakat berumur Oligosen Atas – Miosen Bawah dan Satuan Batupasir – vulkanik Benakat berumur Oligosen Atas – Miosen Bawah. Struktur geologi yang berkembang berupa kekar, sesar dengan arah relatif Timurlaut – Baratdaya dan Tenggara – Baratlaut.

Hasil analisis fasies yang dilakukan pada tiap satuan batuan, antara lain Satuan Konglomerat Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa SG (*Sediment gravity flow deposits*) dan SB (*Sand bedforms*). Satuan Batupasirkerikilan-vulkanik Lemat dijumpai elemen arsitektural berupa CH (*Channel*), SG (*Sediment gravity flow deposits*), SB (*Sand bedforms*), FF (*Floodplain fines*) dan GB (*Gravel bedforms*). Satuan Batulempung-vulkanik Benakat dijumpai elemen arsitektural berupa FF (*Floodplain fines*). Satuan Batupasir-vulkanik Benakat dijumpai elemen arsitektural berupa FF (*Floodplain fines*), SB (*Sand bedforms*), GB (*Gravel bedforms*) dan CS (*Crevasse splay*).

**Kata-kata Kunci** : fasies, elemen arsitektural, Formasi Lemat.

### **PENDAHULUAN**

Cekungan Sumatra Selatan telah dikenal sebagai penghasil minyak dan gas bumi. Namun masih terdapat banyak permasalahan yang ditemukan oleh peneliti sebelumnya mengenai evolusi stratigrafi sedimen Paleogen di Cekungan Sumatra Selatan. Hal ini disebabkan karena batuan Paleogen di cekungan tersebut pada umumnya didominasi oleh endapan darat sehingga sulit mengetahui umur, perkembangan dan perubahan, penyebaran dan asal/sumber dari masing-masing unit litologinya. Formasi Lemat merupakan salah satu Formasi yang mempunyai peranan penting dalam sistem petroleum pada Cekungan Sumatra Selatan. Oleh karenanya sudah banyak penelitian yang dilakukan pada Formasi Lemat, namun penelitian secara detail mengenai analisis fasies, proses sedimentasi dan interpretasi lingkungan pengendapan belum banyak dilakukan. Penelitian ini pada dasarnya berkaitan dengan stratigrafi dari batuan sedimen Paleogen, Subcekungan Jambi utamanya dari sampel permukaan. Berdasarkan hal tersebut di atas, peneliti merasa tertarik untuk meneliti analisis fasies Formasi Lemat untuk dapat mengetahui proses-proses geologi yang terjadi pada batuan yang dapat diketahui dari deskripsi litofasies Formasi Lemat. Hasil penelitian ini nantinya akan memberikan penjelasan serta gambaran mengenai kondisi lingkungan pengendapan yang terjadi selama pembentukan Formasi Lemat yang tercermin dari ciri litologi dan fasiesnya.

### **Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi daerah penelitian berdasarkan data petrografi maupun data permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui kondisi geologi daerah penelitian meliputi persebaran setiap unit stratigrafi, hubungan antara satuan batuan, lingkungan pengendapan satuan batuan, struktur geologi yang berkembang, bentuk geomorfologi, sejarah geologi dan potensi geologi daerah penelitian.
- b. Mengetahui perubahan fasies-fasies sedimen dan menginterpretasi lingkungan pengendapan dari Formasi Lemat berdasarkan data permukaan.

### **METODE PENELITIAN**

Metode pengambilan data di lapangan dilakukan dengan menggunakan metode pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling*, yaitu teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu yang dianggap mewakili populasi yang ada serta pengukuran profil. Kegiatan yang dilakukan pada

proses ini adalah pengambilan data-data lapangan, baik data primer maupun data sekunder dengan tujuan untuk mendapatkan data lapangan secara deskriptif dan sistematis. Untuk mengetahui perubahan fasies dan lingkungan pengendapan dilakukan korelasi profil secara lateral dan vertikal dalam konteks ruang dan waktu.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Geomorfologi Daerah Penelitian

Morfologi daerah Belalangan dan sekitarnya berdasarkan aspek litologi, topografi, stadia erosi dan struktur geologi daerah telitian dibagi menjadi 4 satuan bentuk lahan geomorfologi, antara lain Satuan Perbukitan Bergelombang Berlereng Sedang, Satuan Perbukitan Sesar Bergelombang, Satuan Perbukitan Homoklin Berlereng Miring dan Satuan Tubuh Sungai.

#### 1. Perbukitan Bergelombang Berlereng Sedang



Gambar 1. Kenampakan Bentuk Lahan Perbukitan Bergelombang Berlereng Sedang

Satuan ini tersebar 28% dari seluruh luas daerah telitian. Dalam peta geomorfologi ditandai dengan warna ungu tua dengan simbol S1. Satuan ini disusun oleh litologi berupa metapsamit dan sedimen berbutir kasar. Satuan ini merupakan perbukitan dengan kelerengan miring hingga curam dengan elevasi 250 - 150 mdpl. Tingkat erosi vertikal dominan dengan lembah relatif berbentuk "V - U". Pola pengaliran yang berkembang pada satuan geomorfik ini adalah trellis dan subparalel.

#### 2. Perbukitan Sesar Bergelombang



Gambar 2. Kenampakan Bentuk Lahan Perbukitan Sesar Bergelombang

Satuan ini tersebar 20% dari seluruh luas daerah telitian. Dalam peta geomorfologi ditandai dengan warna ungu dengan simbol S2. Satuan ini disusun oleh litologi berupa metapsamit dan sedimen berbutir kasar. Satuan ini merupakan perbukitan dengan kelerengan agak curam hingga curam dengan elevasi 150 - 75 mdpl. Tingkat erosi vertikal dominan dengan lembah relatif berbentuk "V - U". Pola pengaliran yang berkembang pada satuan geomorfik ini adalah subparalel dan trellis.

#### 3. Perbukitan Homoklin Berlereng Miring



Gambar 3. Kenampakan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin Berlereng Miring

Satuan ini tersebar 46% dari seluruh luas daerah telitian. Dalam peta geomorfologi ditandai dengan warna ungu muda dengan simbol S3. Satuan ini disusun oleh litologi berupa batuan sedimen berbutir kasar - halus. Satuan ini merupakan perbukitan dengan kelerengan miring hingga agak curam dengan elevasi 75 - 25 mdpl. Tingkat erosi sedang dengan lembah relatif berbentuk "U - V". Pola pengaliran yang berkembang pada satuan geomorfik ini adalah subparalel.

**4. Tubuh Sungai**

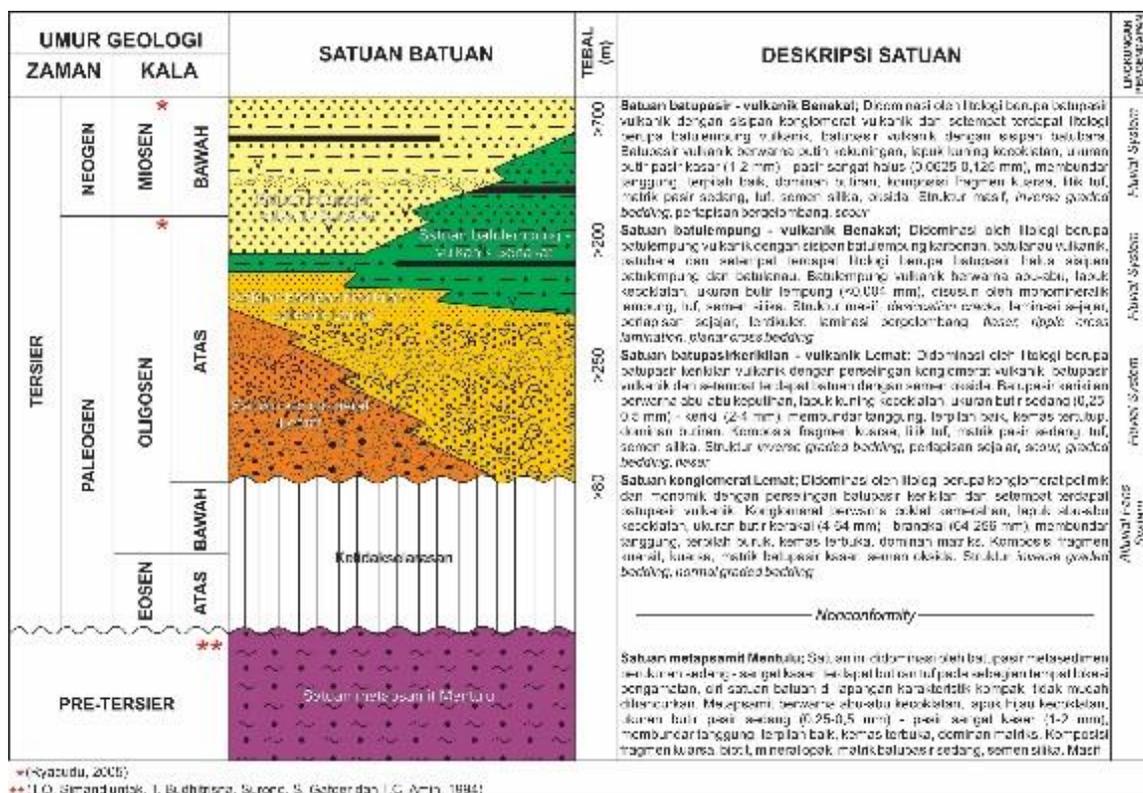


Gambar 4. Kenampakan Bentuk Lahan Tubuh Sungai

Satuan ini tersebar 6% dari seluruh luas daerah telitian. Dalam peta geomorfologi ditandai dengan warna hijau muda dengan simbol F1. Satuan ini disusun oleh litologi berupa endapan fluvial sungai dan material lepas. Satuan ini merupakan morfologi sungai dengan kemiringan lereng datar dengan elevasi 50 mdpl. Tingkat erosi tinggi dengan lembah relatif berbentuk "U". Pola pengaliran yang berkembang pada satuan geomorfik ini adalah trellis.

**Stratigrafi Daerah Penelitian**

Pembagian litostratigrafi daerah penelitian mengikuti tatanama litostratigrafi menurut kaidah Sandi Stratigrafi Indonesia (1996) dan mengacu pada peneliti terdahulu menurut Ryacudu (2005). Berdasarkan kesamaan ciri litologi dari analisis profil hasil pemetaan geologi permukaan dan dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu, maka stratigrafi daerah penelitiandi dari tua ke muda meliputi :



Gambar 5. Kolom stratigrafi daerah penelitian.

## 1. Satuan Metapsamit Mentulu

### 1.1 Ciri Litologi



Gambar 6. Satuan metapsamit Mentulu

Ciri litologi pada Satuan Metapsamit Mentulu secara pemerian lapangan yaitu batuan metamorf derajat rendah, metapsamit, memiliki sifat fisik keras dan kompak, warna hitam keabuan, struktur foliasi (tidak terlihat jelas)-filitik, tekstur kristaloblastik-granuloblastik. Secara pemerian petrografis analisis sayatan tipis pada satuan ini batuan metamorf; warna coklat, struktur nonfoliasi- *granulose* ; bertekstur palimpsest, ukuran butir <0,06- 1 mm ; disusun oleh mineral stress : mika halus (78%), mineral antistress : kuarsa (22%) yang sudah *interlocking*. Nama batuan Metapsamit menurut klasifikasi (Winkler, 1979).

### 1.2 Penyebaran

Satuan ini menempati 35 % luasan peta yang terletak di Dusun Durian Lantak Tumang. Terdapat pada bagian baratdaya peta dan menyebar kearah Utara-Timur. Satuan ini membentuk perbukitan dengan elevasi 250-70 m yang membentuk bentuk lahan perbukitan bergelombang berlereng sedang dan perbukitan sesar bergelombang, akibat adanya pengaruh struktur yang berkembang berupa sesar dan kekar. Ketebalan satuan inisulit untuk diidentifikasi karena berupa basement sehingga tidak ditemukan batas bawah dengan satuanbatuan dibawahnya pada lokasi penelitian.

### 1.3 Umur

Berdasarkan Barber (2005), Formasi Mentulu memiliki ciri litologi yang sama dengan Formasi Bahorok di Sumatra Utara, yang menunjukkan endapan *diamictite glacio-marine*. Formasi Bahorok memiliki umur Karbon Awal-Karbon Tengah berdasarkan data Sumur Cucut No.1 oleh Koning dan Darmono (1984) berdasarkan kandungan mikroflora dari matriks *pebbly mudstones*.

### 1.4 Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara Satuan Metapsamit Mentulu dengan Satuan Batupasirkerikilan-vulkanik Lemat dan Satuan Konglomerat Lemat di atasnya adalah Ketidakselarasan dengan jenis *Nonconformity*. Hal tersebut dibuktikan dengan ditemukannya bukti ketidakselarasan berupa konglomerat alas pada Satuan Metapsamit Mentulu dengan Satuan Batupasirkerikilan-vulkanik Lemat dan Satuan Konglomerat Lemat.

## 2. Satuan Konglomerat Lemat

### 2.1 Ciri Litologi



Gambar 7. Satuan Konglomerat Lemat

Ciri litologi Satuan konglomerat Lemat didominasi oleh konglomerat polimik dan terdapat batupasir kerikilan, batupasir kasar di atasnya dan setempat terdapat batupasir sangat halus sisipan batulanau. Konglomerat polimik, berukuran berangkal – pasir sedang, membundar tanggung, terpilah buruk, kemas terbuka, *matrix supported*, memiliki komposisi fragmen kuarsa, kuarsit dan litik dengan matriks plagioklas dan kuarsa, struktur sedimen yang umum dijumpai berupa *massive dan inverse graded bedding*, dan terdapat penjajaran fragmen kuarsit dengan arah relatif ke utara. Untuk matrik dari konglomerat secara pemerian petrografis sayatan tipis ini batuan sedimen silisiklastik, warna kuning kecoklatan, bertekstur

klastik, ukuran butir 3 mm - < 0,1 mm, didukung oleh matrik, bentuk butir menyudut tanggung – membulat tanggung, terpilah buruk, butiran saling bersentuhan dan mengambang pada masa dasar (*point contact - float contact*), disusun oleh: kuarsa 55%, litik 10%, material berukuran lempung 15%, debu halus 10%, mineral oksida 10%. Nama batuan *Sub-Feldspatic Wacke* menurut klasifikasi (Gilbert, 1954; 1982).

## 2.2 Penyebaran dan ketebalan

Satuan Konglomerat Lemat menempati 17% luasan peta, tersebar memanjang dari Utara-Selatan pada bagian barat peta di Dusun Durian Lantak Tumang. Secara umum persebaran satuan ini mengikuti bentuk lembah yang terbentuk dahulu akibat proses tektonik pada saat pengangkatan Formasi Mentulu yang membentuk lembah relatif Utara-Selatan sehingga ada zona cekungan yang terisi oleh konglomerat tersebut. Tebal lapisan pada satuan konglomerat Lemat ini sangat sulit ditentukan, karena data yang didapati di lapangan satuan ini tidak memiliki bidang perlapisan (masif) dan berdasarkan pengukuran penampang sayatan geologi tebal satuan ini diperkirakan > 80 meter.

## 2.3 Umur

Penulis tidak melakukan analisa fosil untuk mengetahui umur dari satuan batuan ini, namun berdasarkan posisi stratigrafi Satuan Konglomerat Lemat berada di atas Satuan Metapsamit Mentulu, sehingga Satuan Konglomerat Lemat berumur lebih muda dari Satuan Metapsamit Mentulu. Mengacu pada Ryacudu (2005), umur satuan batuan ini ditafsirkan berumur Oligosen Akhir berdasarkan posisi stratigrafi yang terletak di atas Formasi Kikim yang berumur Paleosen – Oligosen Awal (54 – 30 Ma) dan serta di bawah Formasi Talangakar yang berumur Miosen Awal.

## 2.4 Lingkungan Pengendapan

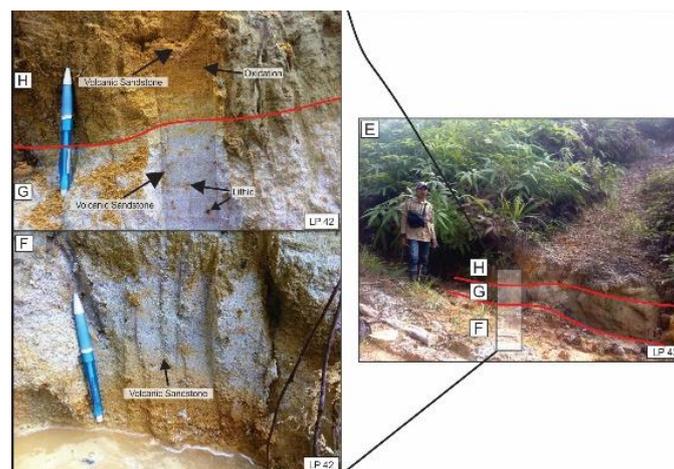
Hasil analisis lingkungan pengendapan berdasarkan fasies, elemen arsitektur dan posisi litologi yang berada pada bagian lereng dari batuan dasar diinterpretasikan bahwa satuan ini diendapkan pada sistem kipas *Alluvial* dengan ciri asosiasi fasies SG (*Sediment Gravity Flow Deposits*) dan SB (*Sand Bedforms*) serta sekuen penghalusan ke atas / *fining upward*.

## 2.5 Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara Satuan Konglomerat Lemat dengan satuan di bawahnya yaitu Satuan Metapsamit Mentulu berupa ketidakselarasan dengan jenis *Nonconformity*. Sedangkan hubungan stratigrafian antara Satuan Konglomerat Lemat dengan satuan di atasnya yaitu Satuan Batupasirkerikilan-vulkanik Lemat adalah selaras dengan jenis menjari, yang didasarkan pada pelamparan dan kemenerusan satuan ini dari hasil rekonstruksi kesebandingan litofasies.

## 3. Satuan Batupasirkerikilan – vulkanik Lemat

### 3.1 Ciri Litologi



Gambar 8. Satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat

Satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat didominasi oleh batupasir kerikilan vulkanik yang berselangseling dengan konglomerat dan batupasir vulkanik. Secara pemerian lapangan batupasir kerikilan vulkanik yang dijumpai umumnya berwarna abu-abu keputihan *fresh* akibat sifat vulkanik yang tinggi, kuning kecoklatan lapuk dan setempat berwarna kemerahan akibat pengaruh kadar oksidasi yang tinggi, dengan ukuran butir kerikil – pasir sedang dengan komposisi fragmen dominan kuarsa, litik dan semen silika – oksida. Struktur sedimen yang berkembang berupa *massive*, *graded bedding* dan *inverse graded*

*bedding*. Secara pemerian petrografis menggunakan analisis sayatan tipis pada satuan ini batuan sedimen silisiklastik, warna kuning keabuan, bertekstur klastik, ukuran butir 0,4 - < 0,1mm, menyudut tanggung-membundar tanggung, tepilah baik, didukung oleh matriks, butiran mengambang pada matriks (*float contact*) disusun oleh: kuarsa 50%, litik 8%, K-feldspar 2%, mineral berukuran lempung 35%, mineral opak 2% dan zirkon 3%. Nama batuan *Sub-Feldspatic Wacke* menurut klasifikasi (Gilbert, 1954; 1982).

### 3.2 Penyebaran dan ketebalan

Satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat menempati 15 % luasan peta, tersebar memanjang dari Tenggara menuju Barat laut mengikuti bentukan morfologi pada batas tepi lereng satuan metapsamit Mentulu. Secara umum satuan ini memiliki kemiringan relatif ke arah timur laut dengan rata-rata sudut 18°-39°. Berdasarkan pengukuran penampang sayatan geologi tebal satuan ini mencapai > 250 meter.

### 3.3 Umur

Penulis tidak melakukan analisa fosil untuk mengetahui umur dari satuan batuan ini. Mengacu pada Ryacudu (2005), umur satuan batuan ini ditafsirkan berumur Oligosen Akhir berdasarkan posisi stratigrafi yang terletak di atas Formasi Kikim yang berumur Paleosen – Oligosen Awal (54 – 30 Ma) dan serta di bawah Formasi Talangakar yang berumur Miosen Awal.

### 3.4 Lingkungan Pengendapan

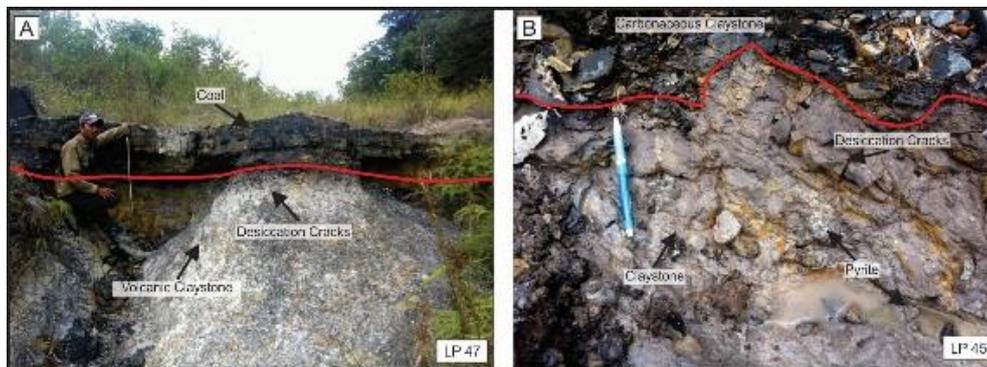
Hasil analisis lingkungan pengendapan berdasarkan analisis fasies dan elemen arsitektural menunjukkan bahwa satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat diendapkan pada lingkungan darat yakni pada *fluvial*, khususnya pada daerah *Channel* dengan ciri asosiasi fasies CH (*Channel*), SB (*Sand Bedforms*) dan GB (*Gravel Bedforms*) serta sekuensi penghalusan ke atas / *fining upward*.

### 3.5 Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara Satuan Batupasirkerikilan-vulkanik Lemat dengan satuan di bawahnya yaitu Satuan Metapsamit Mentulu adalah Ketidakselarasan dengan jenis *Nonconformity* dan dengan satuan konglomerat Lemat adalah Selaras dengan jenis Menjari. Sedangkan hubungan stratigrafis dengan satuan di atasnya yaitu Satuan Batulempung – vulkanik Benakat adalah Selaras dengan jenis Menjari yang didasarkan pada pelampiran dan kemenerusan satuan ini dari hasil rekonstruksi kesebandingan litofasies.

## 4. Satuan Batulempung-vulkanik Benakat

### 4.1 Ciri Litologi



Gambar 9. Satuan batulempung – vulkanik Benakat

Satuan Batulempung-vulkanik Benakat dicirikan dengan litologi berupa perselingan batulempung vulkanik, batulempung karbonan, batubara, batulempung fragmen *pyrite* dan batulanau vulkanik. Secara pemerian lapangan batulempung vulkanik berwarna abu-abu segar hingga abu-abu kecoklatan yang lapuk; ukuran butir lempung, komposisi disusun oleh monomineralik lempung dan tuf dengan semen silika. Sedangkan pada batulempung karbonan cirinya hampir sama, dibedakan dari warna yang kehitaman dan komposisi cerat karbon atau serpih yang dominan. Pada batubara berwarna hitam hingga hitam kecoklatan; sedikit berkilap dan kompak sedangkan untuk batulanau vulkanik berwarna abu-abu hingga abu-abu kecoklatan yang lapuk; ukuran butiran lanau, komposisi dominan kuarsa, tuf dengan semen silika. Pada beberapa tempat lokasi pengamatan terdapat batulempung dengan fragmen *pyrite* di dalamnya. Secara keseluruhan struktur sedimen yang umum dijumpai, yaitu *massive*, *desiccation cracks*, *parallel lamination* dan *lenticular*. Secara pemerian petrografis menggunakan analisis sayatan tipis pada satuan ini batuan sedimen klastik; warna coklat kehitaman; bertekstur klastik, ukuran butir <0,004- 0,1; didukung oleh *grain supported*; bentuk butir menyudut-menyudut tanggung; tepilah buruk; kontak butiran *point*

contact;disusun oleh: Clay mineral 65%, kuarsa 17%, karbon 11%, opaqa 7%. Nama batuan *Sandy Claystone* menurut klasifikasi (Gilbert, 1954; 1982).

#### 4.2 Penyebaran dan ketebalan

Satuan Batulempung-vulkanik Benakat tersebar dari Tenggara – Baratlaut pada sisi timurlaut peta dan menempati luasan 15%. Satuan ini memiliki kemiringan yangcukup landai, dengan kedudukan umum relatif ke arah timurlaut, namun dibeberapa tempat sulit untuk menentukan kedudukan umum sebenarnya dengan rata-rata sudut 18° – 31°. Berdasarkan pengukuran penampang sayatan geologi tebal satuan ini diperkirakan > 200 meter.

#### 4.3 Umur

Penulis tidak melakukan analisa fosil untuk mengetahui umur dari satuan batuan ini. Mengacu pada Ryacudu (2005), umur satuan batuan ini ditentukan dari analisis palinologi dan diperkirakan Oligosen Akhir – Miosen Awal. Fosil palinomorf yang berkembang yaitu *Proxapertites operculatus*, *Salaginella vaginata*, *Verrucasporites usmensis*, *Dicolpopollis sp*, *Laevigatosporites sp*, *Acrostichum sp* dan *Meyerippollis naharkotensis*.

#### 4.4 Lingkungan Pengendapan

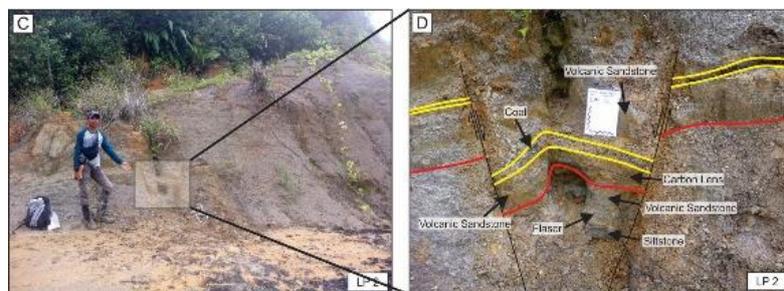
Hasil analisis lingkungan pengendapan berdasarkan analisis fasies dan elemen arsitektur menunjukkan bahwa satuan batulempung – vulkanik Benakat diendapkan pada lingkungan darat yakni pada *fluvial*, khususnya pada daerah *Overbank* dengan ciri litofasies Fsm, C, Fm dan asosiasi fasies FF (*Floodplain Fines*).

#### 4.5 Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara satuan batulempung – vulkanik Benakat dengan satuan di bawahnyayaitu satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat adalah Selaras dengan jenis Menjari dan hubungan stratigrafi dengan satuan di atasnya yaitu satuan batupasir – vulkanik Benakat adalah Selaras dengan jenis Menjari yang didasarkan pada pelamparan dan kemenerusansatuan ini dari hasil rekonstruksi kesebandingan litofasies.

## 5. Satuan Batupasir-vulkanik Benakat

### 5.1 Ciri Litologi



Gambar 10. Satuan batupasir – vulkanik Benakat

Satuan batupasir – vulkanik Benakatdidominasi oleh batupasir vulkanik dengan terdapat konglomerat vulkanik yang dijumpai sebagai sisipan. Secara pemerian lapangan batupasir vulkanik berwarna segar kuning kecoklatan hingga kuning kemerahan dalam kondisi lapuk, ukuran butir pasir sedang – sangat halus, membundar tanggung, terpilah baik, komposisi fragmen dominan kuarsa, litik, tuf dan pada beberapa lokasi pengamatan dijumpai *silicified wood* dan amber, semen silika – oksida. Struktur sedimen yang umum dijumpai seperti *massive* dan *scouring*. Secara pemerian petrografis menggunakan analisis sayatan tipis pada satuan ini batuan sedimen silisiklastik, warna kuning keabuan, bertekstur klastik, ukuran butir 0,4 - < 0,1mm, menyudut tanggung-membundar tanggung, terpilah baik, didukung oleh matriks, butiran mengambang pada matriks (*float contact*) disusun oleh: kuarsa 53%, litik 5%, muskovit 2%, mineral berukuran lempung 20%, oksida besi 5% dan biotit 15%. Nama batuan *Lithic Wacke* menurut klasifikasi (Gilbert, 1954; 1982).

#### 5.2 Penyebaran dan ketebalan

Satuan batupasir – vulkanik Benakat tersebar pada sisi Timurlaut peta dan menempati luasan 18%. Satuan ini memiliki kemiringan yangcukup landai, dengan kedudukan umum relatif ke arah timurlaut, namun dibeberapa tempat sulit untuk menentukan kedudukan umum sebenarnya dengan rata-rata sudut 10°. Berdasarkan pengukuran penampang sayatan geologi tebal satuan ini diperkirakan > 700 meter.

5.3 Umur

Penulis tidak melakukan analisa fosil untuk mengetahui umur dari satuan batuan ini. Mengacu pada Ryacudu (2005), umur satuan batuan ini ditentukan dari analisis palinologi dan diperkirakan Oligosen Akhir – Miosen Awal. Fosil palinomorf yang berkembang yaitu *Proxapertites operculatus*, *Salaginella vaginata*, *Verrucaspores usmensis*, *Dicolpopollis sp*, *Laevigatosporites sp*, *Acrostichum sp* dan *Meyeripollis naharkotensis*.

5.4 Lingkungan Pengendapan

Hasil analisis lingkungan pengendapan berdasarkan analisis fasies dan elemen arsitektural menunjukkan bahwa satuan batupasir – vulkanik Benakat diendapkan pada lingkungan darat yakni pada *fluvial*, khususnya pada daerah *Channel* dan *Overbank* dengan ciri asosiasi fasies SB (*Sand Bedforms*), GB (*Gravel Bedforms*), CS (*Crevasse Splay*) serta sekuen penghalusan ke atas / *fining upward*.

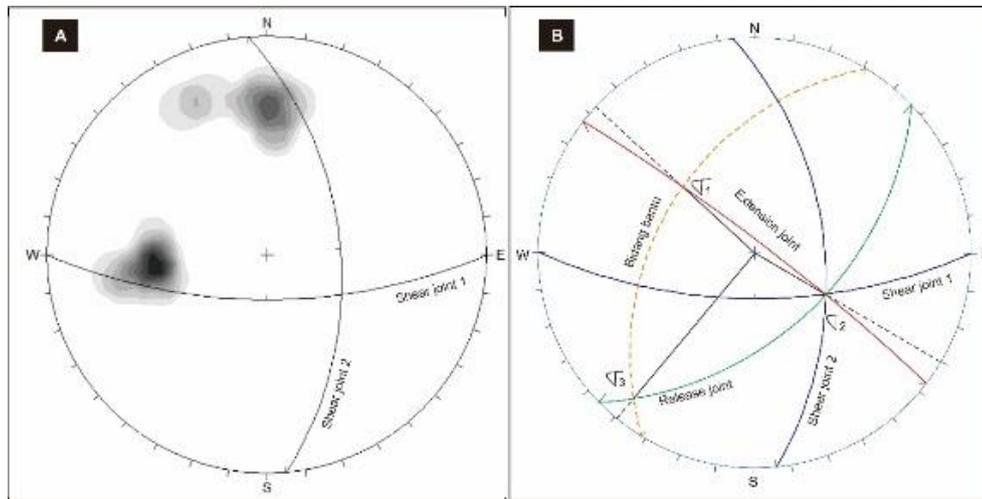
5.5 Hubungan Stratigrafi

Hubungan stratigrafi antara satuan batupasir – vulkanik Benakat dengan satuan dibawahnyayaitu satuan batulempung – vulkanik Benakat adalah Selaras dengan jenis Menjari yang didasarkan pada pelamparan dan kemenerusansatuan ini dari hasil rekonstruksi kesebandingan litofasies.

**Struktur Geologi Daerah Penelitian**

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian yaitu kekar dan sesar.

1. Kekar LP 28

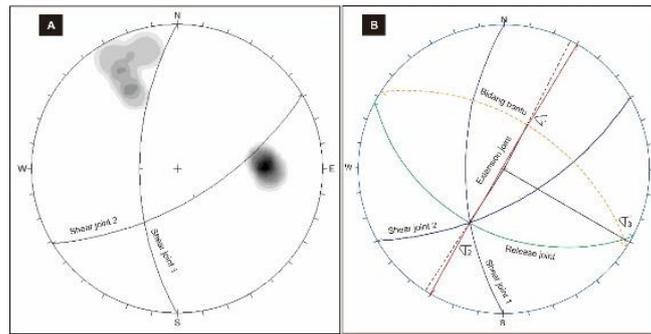


Gambar 11.(A) Arah umum kekar gerus / shear joint; (B) Analisis stereografis tegasan purba daerah penelitian

Tabel 1. Hasil analisis kekar pada LP 28

Shear Joint 1	N090°E/61 °
Shear Joint 2	N 354°E/66°
Extension Join	N 307°E/83°
Release Joint	N 047°E/50°
τ1	40°, N 312°E
T2	48°, N120°E
T3	08°, N 220°E

2. Kekar LP 83



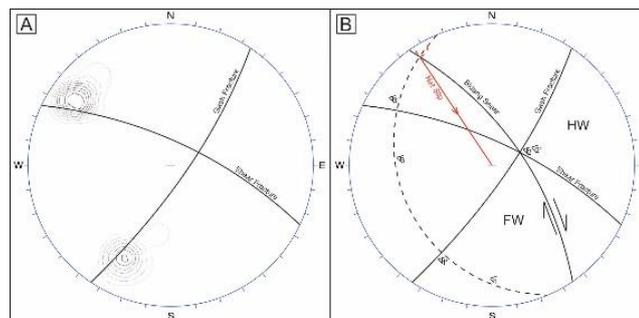
Gambar 12.(A) Arah umum kekar gerus / shear joint; (B) Analisis stereografis tegasan purba daerah penelitian

Tabel 2. Hasil analisis kekar pada LP 83

Shear Joint 1	N180°E/60°
Shear Joint 2	N060°E/64°
Extension Join	N 206°E/88°
Release Joint	N116°E/42°
$\tau_1$	52°, N028°E
T2	42°, N212°E
T3	03°, N120°E

3. Sesar Pinang

Sesar ini merupakan sesar-sesar mendatar kanan yang memotong satuan metapsamit Mentulu, satuan konglomerat Lemat dan sedikit memotong satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat pada daerah penelitian. Berdasarkan Pulunggono dan Martodjojo (1992) arah sesar ini sesuai dengan pola sesar Sumatera yaitu berarah Baratlaut-Tenggara. Sesar ini berada pada LP 36 yang dinamakan Sesar Pinang.



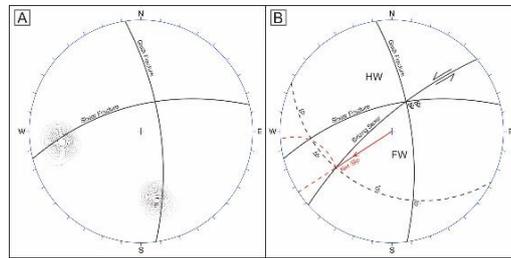
Gambar 13. Analisis sesar pada LP 36 : (A) Arah umum kekar penyerta sesar; (B) Analisis stereografis Sesar Pinang

Tabel 3. Hasil analisis Sesar Pinang pada LP 36

Shear Fracture	N 295° E / 71°
Gash Fracture	N 034° E / 77°
Bidang Sesar	N 324° E / 65°
Net Slip	N 326° E
Rake	06°
$\sigma_1$	09°, N 179° E
$\sigma_1'$	19°, N 208° E
$\sigma_2$	65°, N 065° E
$\sigma_2'$	65°, N 065° E
$\sigma_3$	21°, N 274° E
$\sigma_3'$	14°, N 304° E
Nama	Right Slip Fault (Rickard, 1972)

4. Sesar Karet

Sesar ini merupakan sesar-sesar mendatar kiri yang memotong satuan metapsamit Mentulu, satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat, satuan batulempung – vulkanik Benakat dan satuan batupasir – vulkanik Benakat pada daerah penelitian. Berdasarkan Pulunggono dan Martodjojo (1992) kelompok sesar ini sejajar terhadap struktur Pola Jambi yaitu berarah Baratdaya-Timurlaut. Sesar ini berada pada LP 58 yang dinamakan Sesar Karet.



Gambar 14. Analisis sesar pada LP 58 : (A) Arah umum kekar penyerta sesar; (B) Analisis stereografis Sesar Karet

Tabel 4. Hasil analisis Sesar Karet pada LP 58

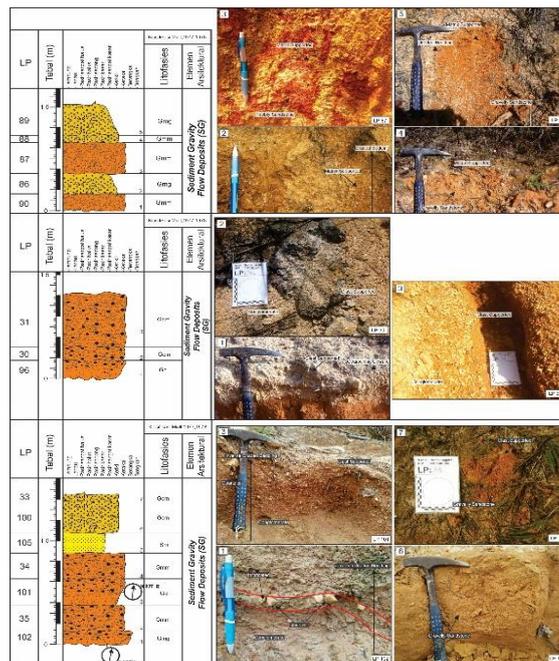
Shear Fracture	N 256° E / 63°
Gash Fracture	N 352° E / 70°
Bidang Sesar	N 229° E / 74°
Net Slip	N 238° E
Rake	29°
1	32°, N 194° E
1'	24°, N 162° E
2	57°, N 025° E
2'	57°, N 025° E
3	08°, N 282° E
3'	20°, N 253° E
Nama	Normal Left Slip Fault (Rickard, 1972)

Analisis Fasies Formasi Lemat

1. Analisis fasies Satuan Konglomerat Lemat

Dijumpai 5 jenis litofasies pada satuan konglomerat Lemat berdasarkan pendekatan Miall (1985), antara lain fasies Gcm (*Clast supported, massive gravel*), Gmm (*Matrix supported, massive gravel*), Gci (*Clast Supported, inverse grading gravel*), Gmg (*Matrix Supported, normal grading*), Sm (*Massive sandstone*).

Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 2 jenis elemen arsitektural pada satuan konglomerat Lemat berdasarkan klasifikasi Miall (1985), antara lain *Sediment Gravity Flow Deposits (SG)* dan *Sand Bedforms (SB)*.

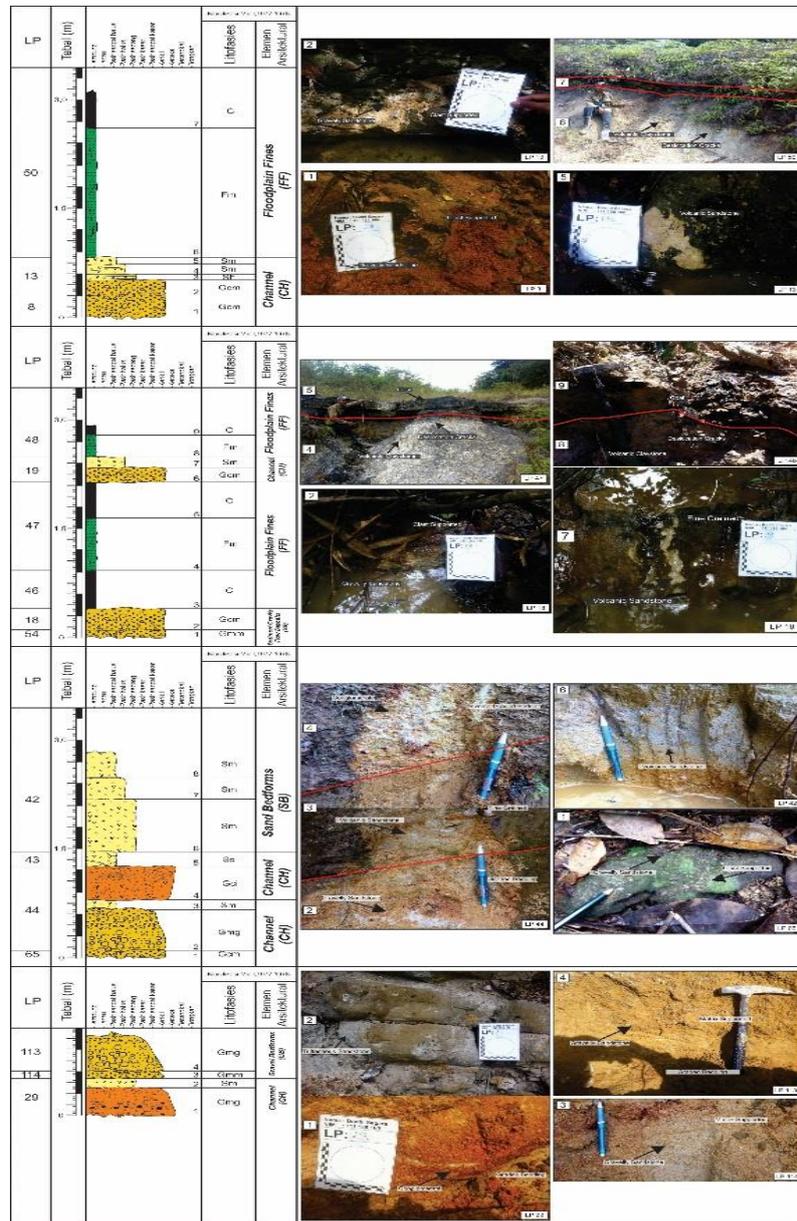


Gambar 15. Litofasies pada satuan konglomerat Lemat

**2. Analisis fasies satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat**

Dijumpai 9 jenis litofasies pada satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat berdasarkan pendekatan Miall (1985), antara lain Fasies Gmg (*Matrix Supported, normal grading*), Gmm (*Matrix Supported, massive gravel*), Gci (*Clast Supported, inverse grading gravel*), Gcm (*Clast supported, massive gravel*), Sm (*Massive sandstone*), Ss (*Scours sandstone*), C (*Carbonaceous mud*), Fm (*Massive fine sandstone silt mud*), Sh (*Horizontally bedded sandstone*).

Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 5 jenis elemen arsitektural pada satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat berdasarkan klasifikasi Miall (1985), antara lain *Channel (CH)*, *Sediment Gravity Flow Deposits (SG)*, *Sand Bedforms (SB)*, *Floodplain Fines (FF)* dan *Gravel Bedforms (GB)*.

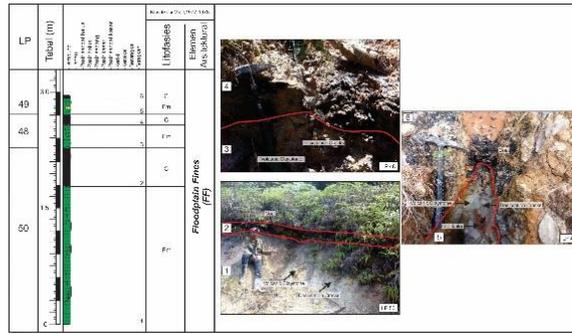


Gambar 16. Litofasies pada satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat

**3. Analisis fasies satuan batulempung – vulkanik Benakat**

Dijumpai 4 jenis litofasies pada satuan batulempung – vulkanik Benakat berdasarkan pendekatan Miall (1985), antara lain Fasies Fl (*Fine lamination silt mud*), Fm (*Massive fine sandstone silt mud*), C (*Carbonaceous mud*), Fsm (*Massive fine silt mud*).

Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 1 jenis elemen arsitektural pada satuan batulempung – vulkanik Benakat berdasarkan klasifikasi Miall (1985), antara lain *Floodplain Fines (FF)*.

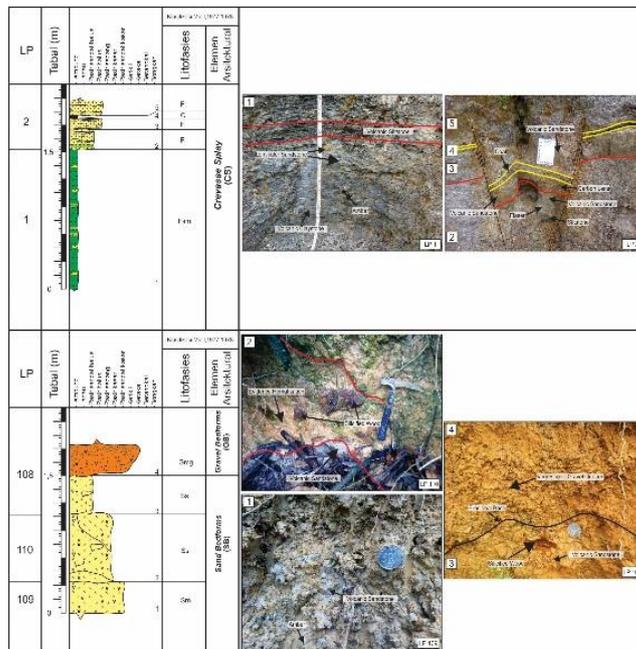


Gambar 17. Litofasies pada satuan batulempung – vulkanik Benakat

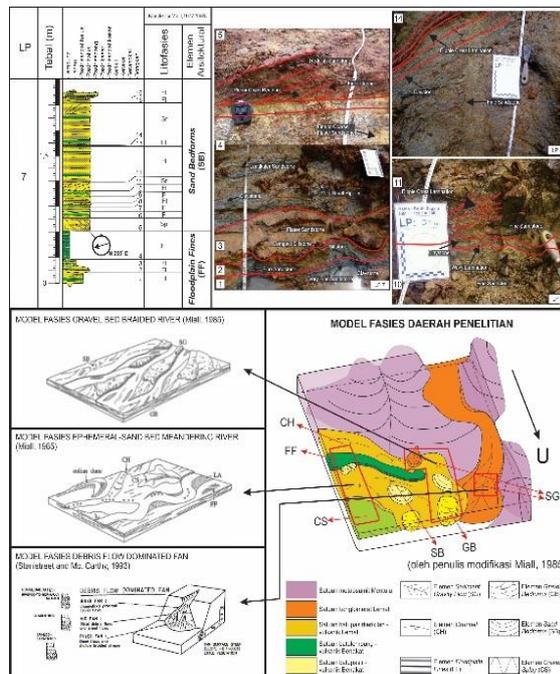
**4. Analisis fasies satuan batupasir – vulkanik Benakat**

Dijumpai 8 jenis litofasies pada satuan batupasir – vulkanik Benakat berdasarkan pendekatan Miall (1985), antara lain Fasies Fsm (*Massive fine silt mud*), Fl (*Fine lamination silt mud*), C (*Carbonaceous mud*), Sm (*Massive sandstone*), Ss (*Scours sandstone*), Gmg (*Matrix Supported, Normal grading gravel*), Sr (*Ripple cross lamination sandstone*), Sp (*Planar cross bedding sandstone*).

Berdasarkan asosiasi fasiesnya didapatkan 4 jenis elemen arsitektural pada satuan batupasir – vulkanik Benakat berdasarkan klasifikasi Miall (1985), antara lain *Floodplain Fines* (FF), *Sand Bedforms* (SB), *Gravel Bedforms* (GB) dan *Crevasse Splay* (CS).



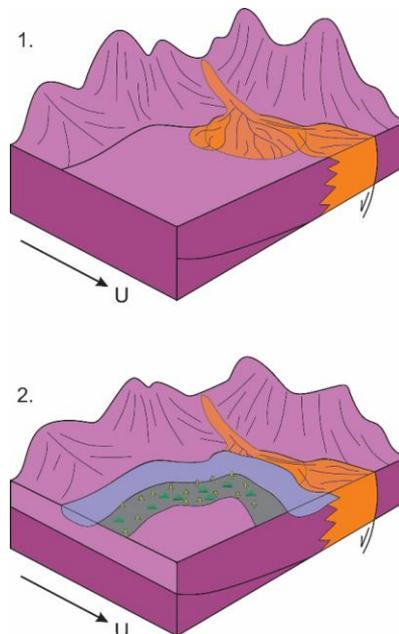
Gambar 18. Litofasies pada satuan batupasir – vulkanik Benakat



Gambar 19. Model fasies daerah penelitian (oleh Penulis modifikasi Miall, 1985)

**Sejarah Geologi**

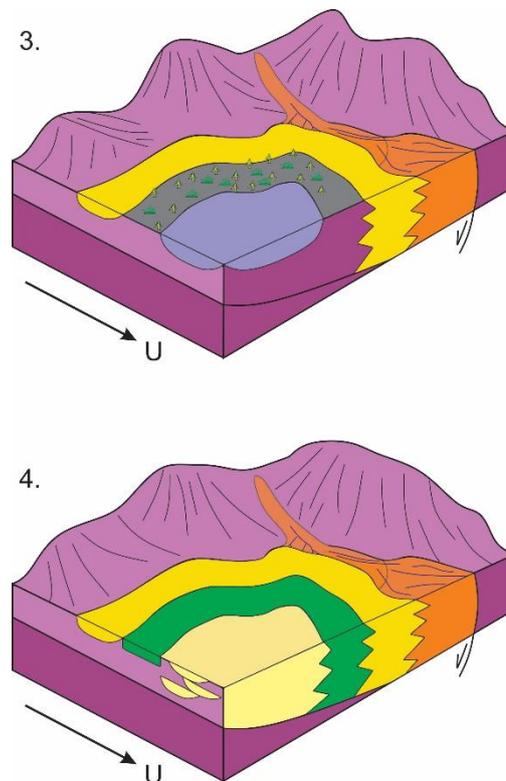
Pada umur Perm terjadi pengendapan Formasi Mentulu yang didominasi oleh *Pebbly Mudstone*, kemudian pada umur Jura – Kapur terjadi tumbukan antara Lempeng Sibumasu dengan Lempeng Sumatera Barat yang menyebabkan terangkatnya Bukit Tigapuluh, sehingga *Pebbly Mudstone* mengalami deformasi dan material penyusunnya berubah menjadi Metapsamit. Rentang waktu dari Paleogen hingga Oligosen Awal tidak terjadi pengendapan pada daerah penelitian.



Gambar 20. Pengendapan satuan konglomerat Lemat pada sistem kipas *Alluvial* dan proses *fluvial* membentuk sungai teranyam

1. Kala Eosen Akhir – Oligosen, terjadi aktifitas *rifting* atau yang dikenal dengan “Periode *Syn-rift*” dan terbentuknya suatu cekungan sedimentasi yang mengendapkan satuan konglomerat Lemat pada Oligosen Akhir. Pengendapan satuan ini terjadi pada lingkungan pengendapan sedimen darat berupa kipas *Alluvial*.
2. Pada kala yang sama Oligosen Akhir, proses *fluvial* membentuk sungai teranyam dengan karakteristik endapan – endapan sungai yang terdapat pada satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat. Saat material

*Alluvial Fans* diendapkan lalu digerus oleh material pada sungai teranyam, pengendapan keduanya masih terus berlanjut sehingga menghasilkan hubungan selaras dengan jenis menjari antar kedua satuan batuan ini. Berdasarkan asosiasi fasies dan elemen arsitektural Miall (1985), mentafsirkan lingkungan pengendapan satuan ini diendapkan pada lingkungan darat berupa *fluvial*, khususnya pada daerah *Channel*.



Gambar 21. Pengendapan satuan batulempung – vulkanik Benakat dan satuan batupasir – vulkanik Benakat

3. Kala Oligosen Akhir – Miosen Awal, aktifitas pengendapan masih terus berlanjut mengendapkan satuan batulempung – vulkanik Benakat yang terbentuk karena hasil luapan dari proses pengisian *Channel* satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat yang menghasilkan hubungan selaras dengan jenis menjari. Pada satuan ini didominasi oleh litologi batulempung vulkanik, batulempung karbonan dan batubara. Berdasarkan asosiasi fasies dan elemen arsitektural Miall (1985), mentafsirkan lingkungan pengendapan satuan ini diendapkan pada lingkungan darat berupa *fluvial*, khususnya pada daerah *Overbank*.
4. Pada saat yang sama juga terendapkan satuan batupasir – vulkanik Benakat, didominasi material berukuran pasir halus yang mengisi *Channel*. Pada beberapa tempat dijumpai sisipan tipis batubara, pada satuan ini diinterpretasikan serta dikaitkan dengan asosiasi fasies dan elemen arsitektural Miall (1985), mentafsirkan lingkungan pengendapan satuan ini diendapkan pada lingkungan darat berupa *fluvial*, khususnya pada daerah *Channel* dan *Overbank*. Hubungan satuan ini dengan satuan dibawahnya yaitu satuan batulempung – vulkanik Benakat adalah selaras dengan jenis menjari.

#### KESIMPULAN

1. Pola pengaliran daerah penelitian dapat dibagi menjadi dua, antara lain pola pengaliran Trellis dan pola pengaliran Sub-Parallel.
2. Bentuk asal daerah penelitian dibagi menjadi empat satuan bentuk lahan, antara lain Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Bergelombang Berlereng Sedang (S1), Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Sesar Bergelombang (S2), Satuan Bentuk Lahan Perbukitan Homoklin Berlereng Miring (S3) dan Satuan Bentuk Lahan Tubuh Sungai (F1) dengan stadia erosi muda hingga stadia erosi dewasa. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi lima satuan batuan dari tua ke muda, antara lain Satuan metapsamit Mentulu berumur Perm, Satuan konglomerat Lemat berumur Oligosen Atas, Satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat berumur Oligosen Atas, Satuan batulempung – vulkanik

3. Benakat berumur Oligosen Atas – Miosen Bawah dan Satuan batupasir – vulkanik Benakat berumur Oligosen Atas – Miosen Bawah.
4. Struktur geologi yang berkembang berupa kekar, sesar dengan arah relatif Timurlaut – Baratdaya dan Tenggara – Baratlaut.
5. Interpretasi lingkungan pengendapan berdasarkan analisis litofasies dan elemen arsitektural pada daerah penelitian, yaitu : Satuan konglomerat Lemat diendapkan pada *Alluvial fans system* dengan ciri asosiasi fasies SG (*Sediment gravity flow deposits*) dan SB (*Sand bedforms*). Satuan batupasirkerikilan – vulkanik Lemat diendapkan pada lingkungan darat berupa *Fluvial*, khususnya pada daerah *Channel* dengan ciri asosiasi fasies CH (*Channel*), SG (*Sediment gravity flow deposits*), SB (*Sand bedforms*), FF (*Floodplain fines*) dan GB (*Gravel Bedforms*). Satuan batulempung – vulkanik Benakat diendapkan pada lingkungan darat berupa *Fluvial*, khususnya pada daerah *Overbank* dengan ciri asosiasi fasies FF (*Floodplain fines*). Sedangkan Satuan batupasir – vulkanik Benakat diendapkan pada lingkungan darat berupa *Fluvial*, khususnya pada daerah *Channel* dan *Overbank* dengan ciri asosiasi fasies SB (*Sand bedforms*), FF (*Floodplain Fines*), GB (*Gravel Bedforms*) dan CS (*Crevasse Splay*).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barber, A. J., Crow M. J., dan Milsom J. S., 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*, Geological Society Memoir No. 31, London: The Geological Society.
- Bemmelen, R. W. Van., 1949. *The Geology of Indonesia. Vol IA. General Geology*, The Hague, Martinus Nijhof.
- Gafoer, S., Amin, T. C., Simandjuntak, T. O., Suroño., dan Budhitrisna, T., 1994. *Geologi Lembar Muara Bungo, Sumatra, Skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Howard, A. D., 1967. *Drainage Analysis In Geologic Interpretation: A Summation*, AAPG Bulletin, Vol. 51 No. 11 November 1967, p 2246 – 2259.
- Kamal, A., Argakoesoemah, R. M. I., Solichin., 2008. *A Proposed Basin Scale Lithostratigraphy for South Sumatra Basin*, Indonesian Association of Geologists, Paper Presented At The Sumatra Stratigraphy Workshop, Duri – Riau Province.
- Miall, A. D., 1978. *Lithofacies type and vertical profile models in braided river deposits: a summary*. In: Miall AD (ed) *Fluvial sedimentology*. Canada Society Petroleum Geology Memoirs 5 : 597 – 604.
- Miall, A. D., 1985. *Architectural Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits* dalam *Recognition of Fluvial Depositional Systems and Their Resources Potential*. Society of Economics Paleontologists and Mineralogists Short Course no. 19.
- Miall, A. D., 2006. *The Geology of Fluvial Deposits, Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer – Verlag, Germany.
- Pulunggono, A., Cameron, N. R., 1984. *Sumatran Microplates, Their Characteristics And Their Role In Evolution Of The Central And South Sumatra Basin*, Proceedings PIT XII IAGI, IAGI, Jakarta.
- Rickard, M. J., 1972. *Classification of Translational Fault Slip*: Geological Society of America.
- Ryacudu, R., 2005. *Tinjauan Stratigrafi Paleogen Cekungan Sumatera Selatan*, Disertasi Doktor ITB, Tidak Dipublikasi, Institut Teknologi Bandung.
- Sandi Stratigrafi Indonesia (SSI). (1996). *Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
- Walker, R. G., James, N. P., 1992. *Facies Models Response To Sea Level Change* : Geological Association of Canada, 1, 409p.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C. M., 1954. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section*. W. H. Freeman and Company Inc, New York.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C. M., 1982. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Section, second edition*. W. H. Freeman and Company Inc, New York.
- Winkler, H. G. F., 1979. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer, Berlin – Heidelberg – New York.
- Zuidam, R. A. Van., 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. International For Aerospace Surface and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.

