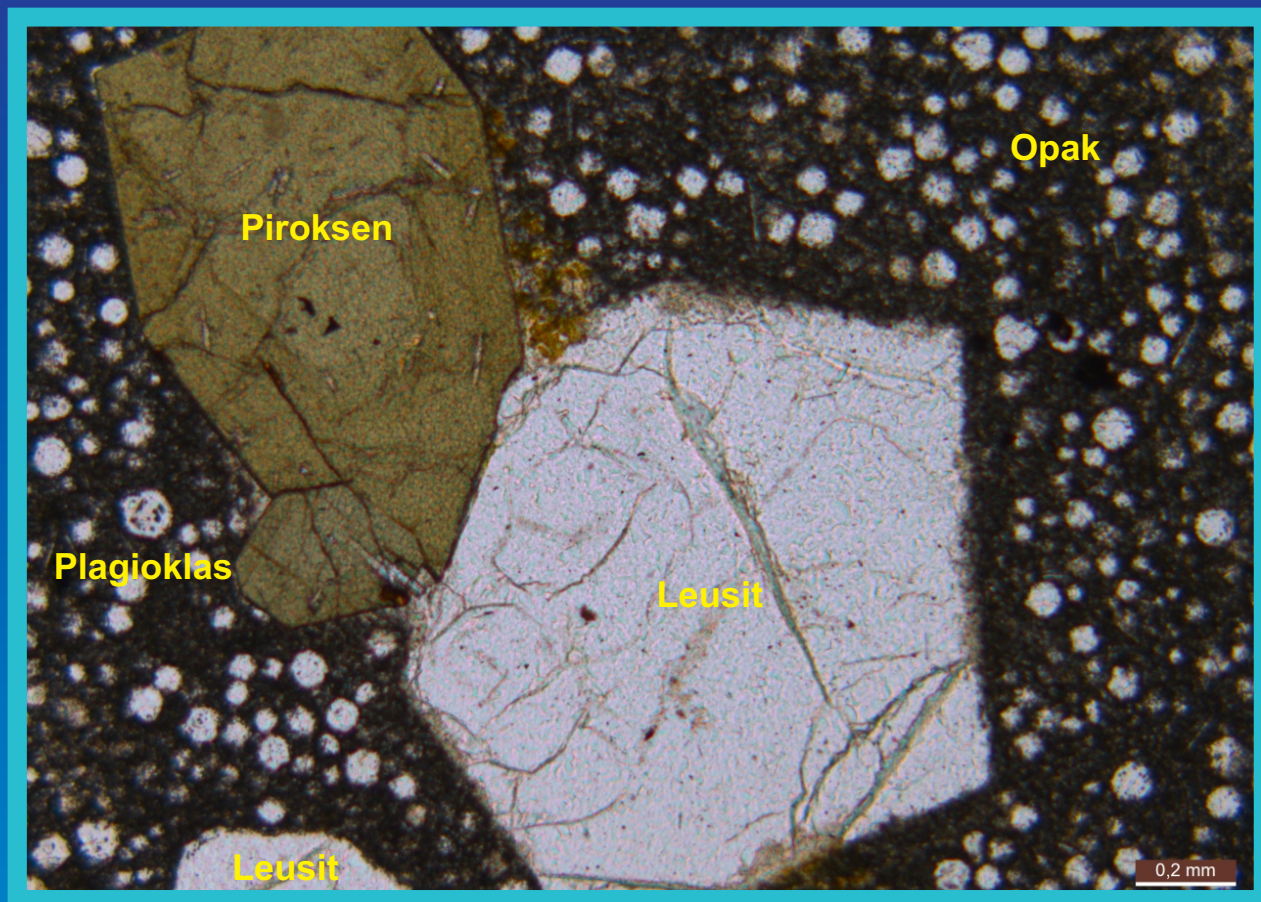


buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 14 No. 1, Mei 2019



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 14	No. 1	Halaman 1 - 78	Bandung Mei 2019	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018
--------------------------------	---------	-------	-------------------	---------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Fotomikrograf sayatan tipis batuan pembawa kalium berupa mineral leusit dan plagioklas di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah. (Irwan Muksin, 2018)

Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan jurnal ilmiah terakreditasi Kemenristekdikti bidang mineral, energi fosil, dan panas bumi yang berkaitan dengan kajian sumber daya. Majalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

Editor In Chief	Ir. Denni Widhiyatna, M.T
Managing Editor	Dra. Ella Dewi Laraswati Eko Suryanto, S.Kom Resmi Novianti, S.T Rijal Ahmad Taufik, S.T Ernawati, A.Md
Editorial Board	Sumardi, S.T., M.M. Qomariah, S.Kom., M.T Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi Ir. Asep Suryana Ir. Sri Widodo Ir. Teuku Ishlah Ir. Bambang Pardiarto Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T., M.Sc Ir. Rina Wahyuningsih Fatimah, S.T., M.Sc. Indra Sukmayana, S.T
Peer-Reviewer	Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Bagian Tata Usaha
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com
OJS : <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

PENGANTAR REDAKSI

Buletin Sumber Daya Geologi kembali kami hadirkan kepada masyarakat pada Bulan Mei sebagai edisi perdana di tahun 2019. Ditinjau dari ragam bahasan, edisi buletin ini cukup lengkap karena berisi lima artikel yang mengkaji tentang mineral logam, mineral bukan logam dan batuan, batubara dan panas bumi dengan menggunakan berbagai macam metode.

Artikel tentang mineral bukan logam dan batuan berupa kajian keterdapatan batuan pembawa unsur kalium di daerah Jepara yang dapat dijadikan sebagai salah satu jenis unsur hara makro untuk bahan pembuatan pupuk majemuk, sehingga hal tersebut dapat menyokong program ketahanan pangan nasional.

Selanjutnya terdapat 2 artikel yang membahas tentang mineral logam, yaitu artikel tentang mineral emas pada zona oksidasi yang ditinjau pada sisi alterasi dan mineralisasinya. Artikel lainnya berupa tinjauan geokimia bijih dan konsentrat cebakan tembaga emas porfiri di Grasberg, Papua yang membahas peluang pemanfaatan unsur-unsur ikutan lainnya selain Au, Cu dan Ag yang sudah terbukti ekonomis.

Artikel tentang panas bumi berupa pemodelan isothermal 3 dimensi untuk memahami kondisi temperatur bawah permukaan pada suatu daerah. Metode ini difokuskan pada pengolahan data geokimia untuk mengetahui karakteristik dan peringkat batubara serta material organik pembentuknya.

Artikel terakhir berupa kajian tentang batubara pada Formasi Dahor dengan metode petrografi dan geokimia, sehingga dapat diketahui karakteristik dan peringkatnya serta material organik pembentuk batubara tersebut.

Pada kesempatan ini, Dewan Redaksi mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada para Penulis, Editor dan Mitra Bestari atas partisipasinya dalam menghadirkan edisi ini. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi dan pihak manajemen yang telah memfasilitasi pengelolaan Buletin Sumber Daya Geologi sehingga dapat hadir diantara para pembaca hingga tahun ke empat belas. Semoga kehadiran Buletin ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan untuk para pembaca dalam bidang ilmu kebumihan.

Salam hangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 1 - 20 **KARAKTERISTIK BATUAN PEMBAWA KALIUM DI KECAMATAN CLUWAK, KABUPATEN PATI, PROVINSI JAWA TENGAH**
CHARACTERISTICS OF POTASSIUM-BEARING ROCK IN CLUWAK SUB-DISTRICT, PATI REGENCY, CENTRAL JAVA PROVINCE
Oleh : Herry Rodiana Eddy dan Irwan Muksin
- 21 - 33 **KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI EMAS PADA ZONA OKSIDASI DI DAERAH PANGAPIT, KABUPATEN SAMBAS, PROVINSI KALIMANTAN BARAT**
CHARACTERISTICS OF ALTERATION AND GOLD MINERALIZATION IN OXIDATION ZONE IN PANGAPIT, SAMBAS REGENCY, WEST KALIMANTAN PROVINCE
Oleh : Reza Fahmi, Hartaja Muhammad Hatta W., dan Bambang Priadi
- 35 - 48 **PEMODELAN ISOTERMAL SECARA TIGA DIMENSI (3D) BERDASARKAN MANIFESTASI PERMUKAAN PADA DAERAH SIPOHOLON, KABUPATEN TAPANULI UTARA, PROVINSI SUMATERA UTARA**
THREE DIMENSIONAL (3D) ISOTHERMAL MODELING BASED ON SURFACE MANIFESTATION IN SIPOHOLON AREA, NORTH TAPANULI REGENCY, NORTH SUMATERA PROVINCE
Oleh : Lano Adhitya Permana, Dudi Hermawan, dan Santia Ardi Mustofa
- 49 - 64 **GEOKIMIA BIJIH DAN KONSENTRAT DARI CEBAKAN TEMBAGA-EMAS PORFIRI GRASBERG, TEMBAGAPURA**
ORE AND CONCENTRATE GEOCHEMISTRY OF GRASBERG PORPHYRY COPPER-GOLD DEPOSIT, TEMBAGAPURA
Oleh : Ernowo, Bambang Pardiarto, dan Dwi Nugroho Sunuhadi
- 65 - 78 **PETROGRAFI DAN GEOKIMIA BATUBARA DI DAERAH PAHIRANGAN DAN SEKITARNYA, KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**
PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY PROPERTIES OF PAHIRANGAN COAL, EAST KOTAWARINGIN REGENCY, CENTRAL KALIMANTAN PROVINCE
Oleh : Sigit A. Wibisono, Eska P. Dwitama, dan Iudhi O. Prahesthi

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**KARAKTERISTIK BATUAN PEMBAWA KALIUM DI KECAMATAN CLUWAK,
KABUPATEN PATI, PROVINSI JAWA TENGAH****CHARACTERISTICS OF POTASSIUM-BEARING ROCK IN CLUWAK SUB-DISTRICT,
PATI REGENCY, CENTRAL JAVA PROVINCE****Herry Rodiana Eddy dan Irwan Muksin**Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
herry.eddy@esdm.go.id**ABSTRAK**

Peningkatan kebutuhan kalium untuk industri pupuk dalam negeri dapat terpenuhi dengan melakukan eksplorasi batuan pembawa kalium secara terus menerus sehingga ditemukan daerah potensi baru di Indonesia. Batuan pembawa kalium di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu daerah prospek dari beberapa daerah di Kabupaten Jepara, Kabupaten Pati dan Kabupaten Kudus, karena batas toleransi minimal yang dipersyaratkan sebagai pupuk NPK padat mempunyai kandungan kalium sebagai K_2O minimal 8%.

Metode yang digunakan berupa kegiatan pemetaan geologi, pengamatan lapangan pada formasi batuan yang terindikasi ketersediaan batuan pembawa kalium, pengeboran sebanyak tiga titik bor, analisis kimia *major elements*, berat jenis, petrografi batuan, dan *raman spectroscopy* terhadap conto permukaan dan bawah permukaan.

Stratigrafi daerah Kecamatan Cluwak tersusun atas Satuan Batuan Gunung Muria, yang terdiri dari lava, breksi dan tuf, yang melampar hampir di keseluruhan daerah penyelidikan, dan Satuan Batugamping yang merupakan batuan pembawa kalium yang terdiri dari lava, breksi dan tuf ini tersingkap di bagian utara. Lava di daerah ini sebagian telah mengalami pelapukan dan memperlihatkan pelapukan mengulit bawang.

Batuan pembawa kalium dapat dibagi ke dalam tiga blok sebaran, yaitu Blok Karang Sari, Blok Sentul, dan Blok Medani. Jenis batumannya berupa batuan alkali, dan beberapa conto batuan yang masuk jenis batuan sub-alkali pada batuan basal. Selain itu menunjukkan adanya jenis batuan seri alkalin yang mengandung silika rendah dan alkalin yang tinggi, terbagi menjadi *absarokite* dan *shoshonite*, juga termasuk pada golongan Seri Kalium (*Potassic Series*) sampai Seri Kalium Tinggi (*High-K-Series*).

Berdasarkan parameter tanah K_2O , HCl 25% menghasilkan lima kategori dengan prosentase 9,1% termasuk kriteria sangat rendah, 13,6% rendah, 8,2% sedang, 16,4% tinggi dan 51,8% sangat tinggi. Sedangkan dengan parameter tanah Asam sitrat 2% Bray didapatkan hasil 100% termasuk kriteria sangat tinggi.

Kata kunci: batuan pembawa kalium, kalium oksida, leusit, Cluwak, Pati

ABSTRACT

Increasing potassium needs for the domestic fertilizer industry can be fulfilled by carrying out exploration of potassium-carrying rocks continuously so that new potential areas are found in Indonesia. Cluwak Sub-district, Pati Regency, Central Java Province is a prospect area to find Potassium-bearing rock from several observation regions, including Jepara Regency, Pati Regency and Kudus Regency. The Potassium-bearing rock found in Cluwak Sub-district meets

the requirement of minimum tolerance limit solid NPK fertilizer which has a minimum potassium content of K_2O of 8%.

The methods used include geological mapping activities, field observations on rock formations which indicated the presence of potassium-bearing rocks, drilling of three drill points, chemical analysis of major elements, specific gravity, petrographic rocks, and raman spectroscopy for surface and subsurface samples.

The Stratigraphy of Cluwak Sub-district is composed of the Muria Mountain Rock Unit, which consist of lava, breccia and tuff extend almost in the entire investigation area, and the Limestone Unit which revealed in the northern area of investigation. Potassium-bearing rock in Cluwak Sub-district, Pati Regency consists of lava, breccia and tuff. A spheroidal weathering occurred in some lava. In Cluwak Sub-district, Pati Regency, potassium-bearing rocks can be divided into three distribution blocks, namely Karang Sari Block, Sentul Block, and Medani Block. The type of rock found is an alkaline rock, and some other rock samples are sub-alkali rock types in basalt rock. In addition, it also shows the types of alkaline serie rocks containing low silica and high alkalinity, which are divided into absarokite and shoshonite, which also included in the Potassium Series group to the High Potassium Series.

Based on K_2O soil parameters using 25% HCl it categorizes into five categories; very low (9.1%), low (13.6%), moderate (8.2%), high (16.4%) and very high (51.8%). Whereas with soil parameters using Citric Acid 2% Bray obtained 100% results, which categorizes as very high criteria.

Keywords: *potassium of bearing rock, potassium oxide, leucite, Cluwak, Pati*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mengandalkan sektor agraris sebagai salah satu penggerak perekonomian. Luasnya lahan dan kesuburan tanah yang dimiliki tentu menjadi anugerah tersendiri. Besarnya peranan sektor agraris di Indonesia tidak terlepas dari industri pupuk. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan, hasil sektor pertanian, kebutuhan pupuk pun semakin meningkat. Pemerintah memutuskan untuk mengambil alih pengelolaan industri pupuk dikarenakan industri pupuk merupakan sektor strategis guna menyokong ketahanan pangan nasional (Lasindrang dan Fauzi, 2018).

Berbagai kebijakan dalam pengembangan industri pupuk nasional telah diberlakukan pemerintah. Terkait dengan kebijakan strategis pengembangan industri pupuk nasional, pemerintah menerbitkan Instruksi Presiden RI Nomor 2 Tahun 2010 tentang Revitalisasi Industri Pupuk Nasional, dan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 141/2010 tentang Rencana Induk

Pengembangan Industri Pupuk Majemuk/NPK. Dalam Peraturan ini disajikan rencana nasional mengenai sasaran, arah, strategi, dan kebijakan

pengembangan industri pupuk majemuk/NPK dalam mendukung program ketahanan pangan. Pupuk majemuk yang dimaksud merupakan pupuk yang mengandung lebih dari satu jenis unsur hara makro, seperti nitrogen, fosfat, dan kalium (Suryana, dkk., 2016).

Tema dalam Rencana Kerja Pemerintah Tahun 2019 ini yaitu Pemerataan Pembangunan untuk Pertumbuhan Berkualitas. Pupuk bersubsidi untuk sektor pertanian sebagaimana diamanatkan Peraturan Presiden Nomor 15 Tahun 2011 harus memperhatikan prinsip 6 tepat, yaitu tepat jenis, jumlah, waktu, tempat, harga, dan mutu (Anonim, 2018). Tujuan subsidi pupuk yang paling penting yaitu ketersediaan pupuk, peningkatan produksi pangan, peningkatan pendapatan petani dan penyerapan tenaga kerja. Jenis subsidi pupuk yang menjadi prioritas yaitu pupuk

anorganik selanjutnya pupuk organik (Hendrawan, dkk., 2011).

PT. Pupuk Kaltim sebagai salah satu produsen pupuk di tanah air mengkhawatirkan adanya serbuan pupuk impor dengan mudah dan murah. Petani akan beralih menggunakan pupuk impor karena harganya terjangkau (murah)

dibanding pupuk produksi dalam negeri. Selain itu pupuk mudah didapat, terutama pupuk dari Tiongkok dan Amerika Serikat.

Pupuk Kalium yang banyak digunakan di Indonesia yaitu kalium klorida (KCl), namun akhir-akhir ini berkembang dengan menggunakan kalium sulfat (K_2SO_4). Hasil penelitian menunjukkan telah terbukti K_2SO_4 mampu memperbaiki kualitas karakteristik beberapa produk sayuran (Gunadi, 2007 dalam Syakir dan Gusmaini, 2012). Kalium merupakan salah satu unsur hara yang terdapat di tanah dan menjadi satu-satunya *kation monovalent* yang sangat penting bagi tanaman, karena kalium memiliki fungsi sebagai aktivator berbagai enzim yang terdapat di dalam tanaman. Ketersediaan kalium di tanah menyebabkan ketegaran tanaman menjadi lebih terjamin, merangsang pertumbuhan kualitas bulir, mampu mengurangi pengaruh kematangan yang dipercepat oleh fosfor dan dapat mengatasi kekurangan air pada waktu dan tingkat tertentu (Ariawan, dkk, 2016 dalam Khoirunisa, 2017).

Penulisan makalah ini dimaksudkan untuk mengetahui lebih detail kualitas dan sebaran batuan pembawa kalium di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah, meliputi jenis batuan berdasarkan *Raman Spectroscopy* dan kandungan SiO_2 , K_2O serta Na_2O hasil analisis laboratorium terhadap conto permukaan maupun bawah permukaan yang dilakukan pengambilan melalui metode pengeboran, sehingga dapat memberikan informasi karakteristik batuan pembawa kalium guna menunjang kebutuhan industri pupuk di Indonesia.

Penyelidikan batuan pembawa kalium di Wilayah Gunung Muria, Jawa Tengah dilakukan di Kabupaten Jepara, Kabupaten Pati dan Kabupaten Kudus. Di Kabupaten Jepara kualitas batuan pembawa kalium mempunyai kandungan K_2O antara 0,89% s.d. 7,22%, terdapat pada batuan *sanidine*, *quartz* dan *monmorilonite* (Muksin, 2011 dan Muksin, 2015). Di Kabupaten Kudus kualitas batuan pembawa kalium mempunyai kandungan K_2O antara 1,08% s.d. 6,06%, terdapat pada batuan *anorthoclase*, *labradorite*, *diopside*, *andesine*, *analcime*, *siderite*, *calcium* dan *apatite* (Muksin, 2017). Di Kabupaten Pati mempunyai kandungan K_2O antara 1,92% s.d. 8,79%, terdapat pada batuan *leucite*, *augite*, *piroksen*, *quartz*, dan *sanidine* (Muksin, 2016).

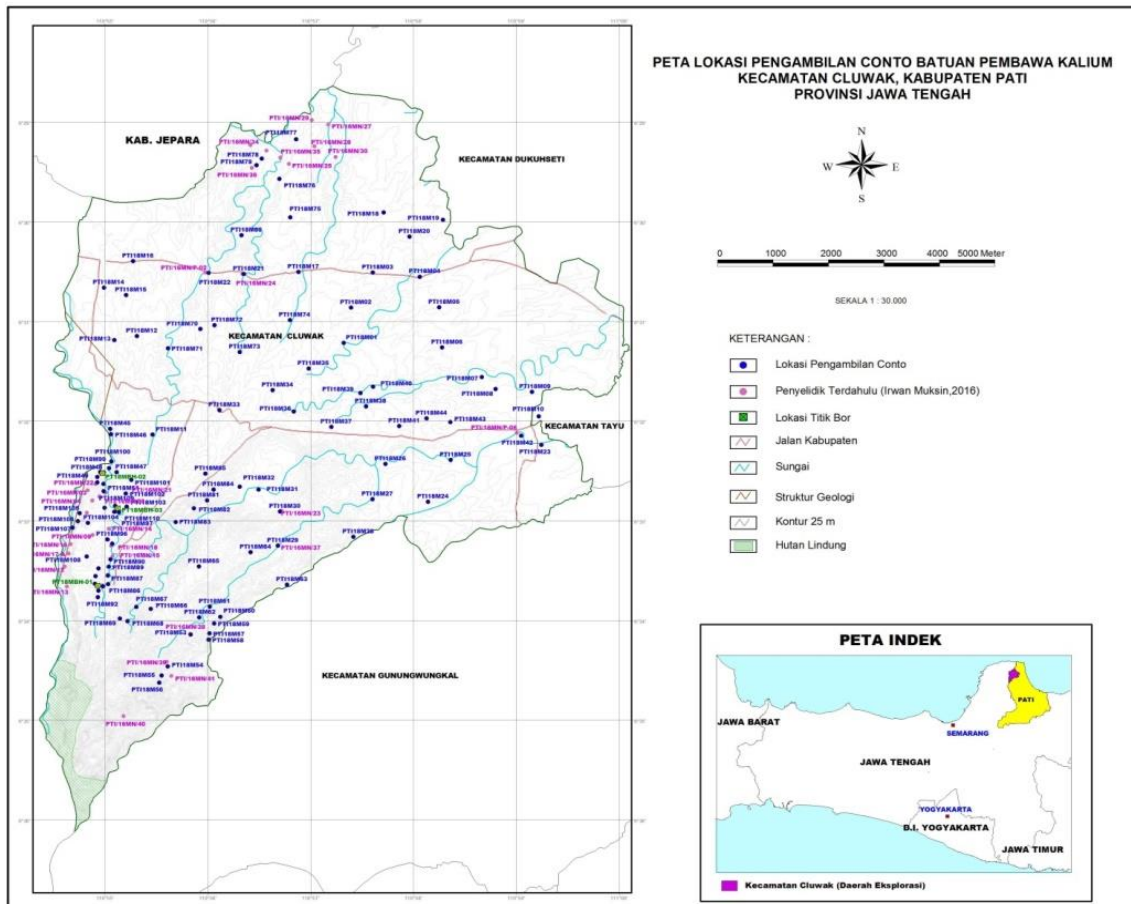
Berdasarkan hasil penyelidikan di tiga kabupaten tersebut, Kabupaten Pati merupakan daerah prospek karena memenuhi batas toleransi minimal yang dipersyaratkan sebagai pupuk NPK padat mempunyai kandungan kalium sebagai K_2O minimal 8% (SNI 2803:2010). Sehubungan dengan hal di atas, pada Tahun 2018 daerah di Kabupaten Pati ditindaklanjuti dengan metoda pengeboran khususnya untuk Blok Medani, Blok Sentul dan Blok Karang Sari (pengembangan dari Blok Mojo sebelumnya), dengan dasar ketiga blok tersebut mempunyai kandungan K_2O yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan blok lainnya. Ketiga blok di Kabupaten Pati yang dilakukan penyelidikan lanjutan secara administrasi termasuk Kecamatan Cluwak.

METODOLOGI

Metode yang digunakan antara lain kegiatan pemetaan geologi dan pengamatan lapangan di wilayah Kecamatan Cluwak melalui lintasan jalan dan sungai. Pemilihan lintasan berdasarkan hasil peta geologi pada formasi batuan yang terindikasi keterdapat batuan pembawa kalium. Pengamatan litologi di daerah penyelidikan dilakukan pada lembah dan perbukitan

yang batuan nya tersingkap. Pengambilan conto batuan dilakukan dengan cara *grab sampling* (Gambar 1). Dilakukan juga kegiatan pengeboran sebanyak tiga titik bor pada daerah yang dianggap mempunyai kualitas yang baik (Gambar 2). Untuk dapat mengetahui kualitas batuan pembawa kalium, maka dilakukan metode analisis

kimia *major elements*, berat jenis, petrografi batuan, dan *raman spectroscopy* terhadap conto permukaan dan bawah permukaan. Selanjutnya dilakukan pengolahan data lapangan dan data hasil analisis laboratorium untuk mengetahui karakteristik batuan pembawa kalium pada ketiga blok tersebut.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan contoh dan lokasi pengeboran di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati

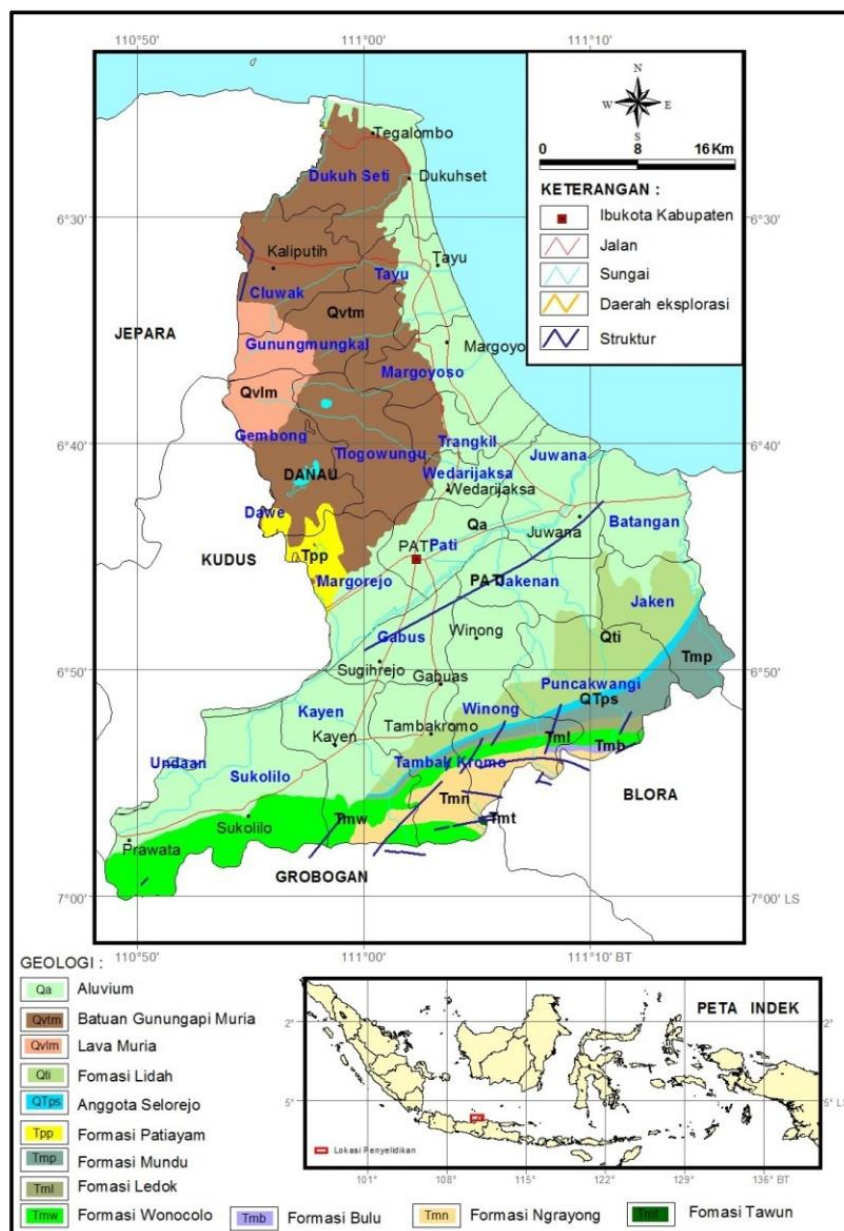


Gambar 2. Kegiatan pengeboran uji geologi menggunakan mesin jenis Sander SD-3C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan peta geologi yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Lembar Kudus (Suwarti dan Wikarno, 1992) dan Lembar Rembang (Kadar dan Sudijono, 1993), geologi Kabupaten Pati disusun oleh Formasi Tawun (Tmt), Formasi Ngrayong (Tmn), Formasi Bulu (Tmb), Formasi Wonocolo (Tmw), Formasi Ledok (Tml), Formasi Mundu (Tmpm), Formasi Patiayam (Tpp), Anggota Selorejo (QTps), Formasi Lidah

(QTpl), Lava Muria (Qvlm), Batuan Gunungapi Muria (Qvm), dan Aluvium (Qa). Peta geologi Kabupaten Pati dapat dilihat pada Gambar 3. Formasi batuan yang terdapat di Kecamatan Cluwak terdiri dari Lava Muria (Qvlm), merupakan lava basal atau andesit, leusit, tefrit, leusitit, trakhit dan sienit. Serta Batuan Gunungapi Muria (Qvm) tersusun dari hasil kegiatan Gunung Muria yang berupa tuf, lahar dan tuf pasiran. Lahar tersusun oleh fragmen leusit, basal, andesit, batugamping dan batuan metamorf.



Gambar 3. Peta Geologi Kabupaten Pati, Jawa Tengah (modifikasi: Suwarti dan Wikarno, 1992 serta Kadar dan Sudijono, 1993)

Struktur geologi yang terdapat di daerah ini adalah sesar, kelurusan dan kubah. Sesar normal dengan arah timurlaut hingga baratdaya. Kelurusan dijumpai baik pada batuan tua maupun muda. Kelurusan yang dijumpai di bagian utara Gunung Muria dan di Gunung Muria sendiri menunjukkan berbagai arah yang tak teratur. Struktur kubah dijumpai di daerah Patiayam, merupakan suatu diapir. Kegiatan gunungapi Kuartar yang bersumber pada Gunung Genuk dan Gunung Muria menghasilkan batuan Gunungapi Genuk dan Muria, serta diikuti dengan terjadinya retas-retas batuan beku. Retas-retas basal mengandung leusit, yang setempat berasosiasi dengan batugamping dan terjadi sewaktu kegiatan Gunungapi Muria masih berlangsung. Magma basal yang menerobos batugamping dan menyeret bongkahan batugamping kepermukaan, sempat berasimilasi dan menghasilkan retas sosit dengan *xenolite* batugamping. Singkapannya dijumpai di daerah Semliro, sebelah selatan Gunung Muria.

Contoh permukaan dan bawah permukaan dianalisis dengan beberapa metode analisis laboratorium, seperti analisis kimia *major element* ditambah dengan berat jenis (BJ), analisis petrografi, analisis *Raman spectroscopy* dan analisis kimia tanah. Jumlah contoh yang dianalisis berikut

parameter analisis laboratorium seperti terlihat pada Tabel 1.

Berdasarkan ciri-ciri litologi yang teramati di lapangan dan dari pola morfologi, terdapat Satuan Batuan Gunung Muria dan Satuan Batugamping, dengan deskripsi lapangan dari masing-masing satuan batuan tersebut yaitu:

Satuan Batuan Gunung Muria, terdiri dari lava, breksi dan tuf, satuan ini melampar hampir di keseluruhan daerah penyelidikan, lava, berwarna abu kehitaman, keras, struktur mengulit bawang, setempat dijumpai mineral leusit berwarna putih (Gambar 4.). Breksi gunungapi, berwarna abu-abu tua, kompak dengan komponen basal, basal leusit dan andesit, serta masa dasar batupasir tufaan. Setempat komponen breksi mengalami pelapukan mengulit bawang (Gambar 5.). Tuf berwarna kecoklatan, terdapat bintik-bintik putih, berlapis kurang baik, berbutir halus sampai kasar, sebagian telah mengalami pelapukan dan rapuh (Gambar 6.).

Satuan Batugamping, satuan ini tersingkap di bagian utara daerah penyelidikan, batugamping terumbu berwarna krem, berbutir halus, keras, masih terdapat cangkang fosil, bereaksi dengan HCl.

Tabel 1. Jenis dan jumlah contoh analisis laboratorium

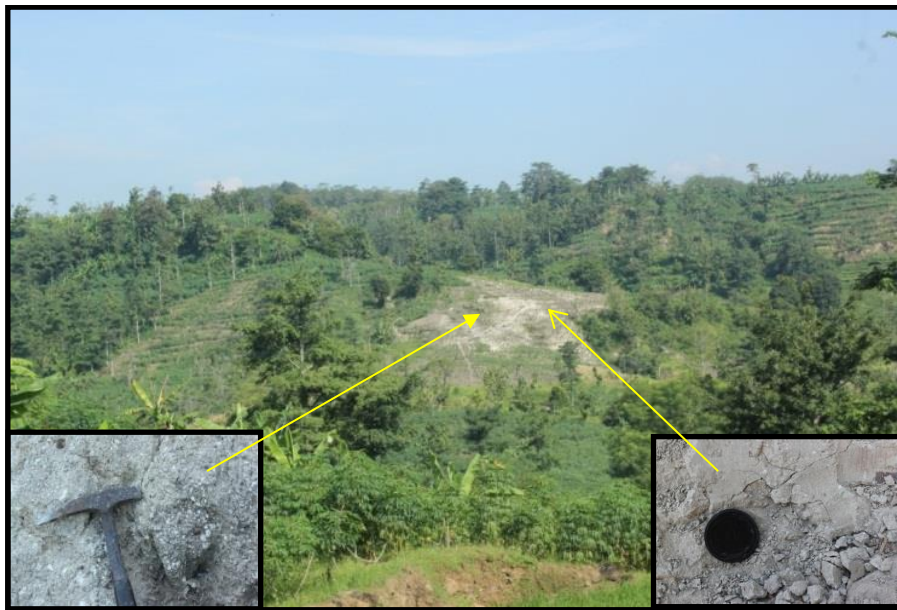
No	Jenis Contoh	Jenis Analisis	Jumlah
1	Batuan (Singkapan)	Kimia (<i>major element</i> dan BJ)	113
2	Batuan (Singkapan)	Petrografi	4
3	Batuan (Singkapan)	<i>Raman Spectroscopy</i>	6
4	Batuan (Singkapan)	Kimia Tanah	70
5	Inti Bor	Kimia (<i>major element</i> dan BJ)	68
6	Inti Bor	Petrografi	6
7	Inti Bor	<i>Raman Spectroscopy</i>	9
8	Inti Bor	Kimia Tanah	40
Total			316



Gambar 4. Singkapan lava di Kecamatan Cluwak, Pati



Gambar 5. Singkapan breksi di Kecamatan Cluwak, Pati



Gambar 6. Singkapan tuf di daerah Mojo, Kecamatan Cluwak, Pati

Berdasarkan hasil penyelidikan sebelumnya, Blok Medani mempunyai kandungan K_2O berkisar antara 1,92% s.d. 8,77% yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan blok lainnya. Pada Blok Medani ini dilakukan pengeboran sebanyak tiga titik bor dengan kedalaman 30 m dan 35 m. Pada titik bor pertama (BH 01), kedalaman 3,00 m sampai 17,90 m didominasi basal berwarna abu-abu terang dan masif. Kemudian pada kedalaman 17,90 m sampai 30,00 m terdiri atas breksi laharik warna abu-abu kecoklatan, semi lapuk, fragmen batuan beku warna abu-abu, setempat dijumpai batuan leusitik diantaranya pada kedalaman 28,15 m seperti terlihat pada Gambar 7. Di titik bor kedua (BH 02), kedalaman 7,00 m sampai 35,00 m terdiri atas breksi laharik warna abu-abu kecoklatan, semi lapuk, fragmen batuan beku warna abu-abu, setempat dijumpai leusit. Sedangkan titik bor ketiga (BH 03), pada kedalaman 6,00 m sampai 35,00 m terdiri atas breksi laharik warna abu-abu kecoklatan, semi lapuk, fragmen batuan beku warna abu-abu, setempat dijumpai leusit. Breksi laharik kedalaman 30 sampai 35 m seperti terlihat pada Gambar 8.

Hasil rekonstruksi pada ketiga titik bor, tidak dapat dikorelasikan secara horizontal, dikarenakan ketiga titik bor tersebut berada

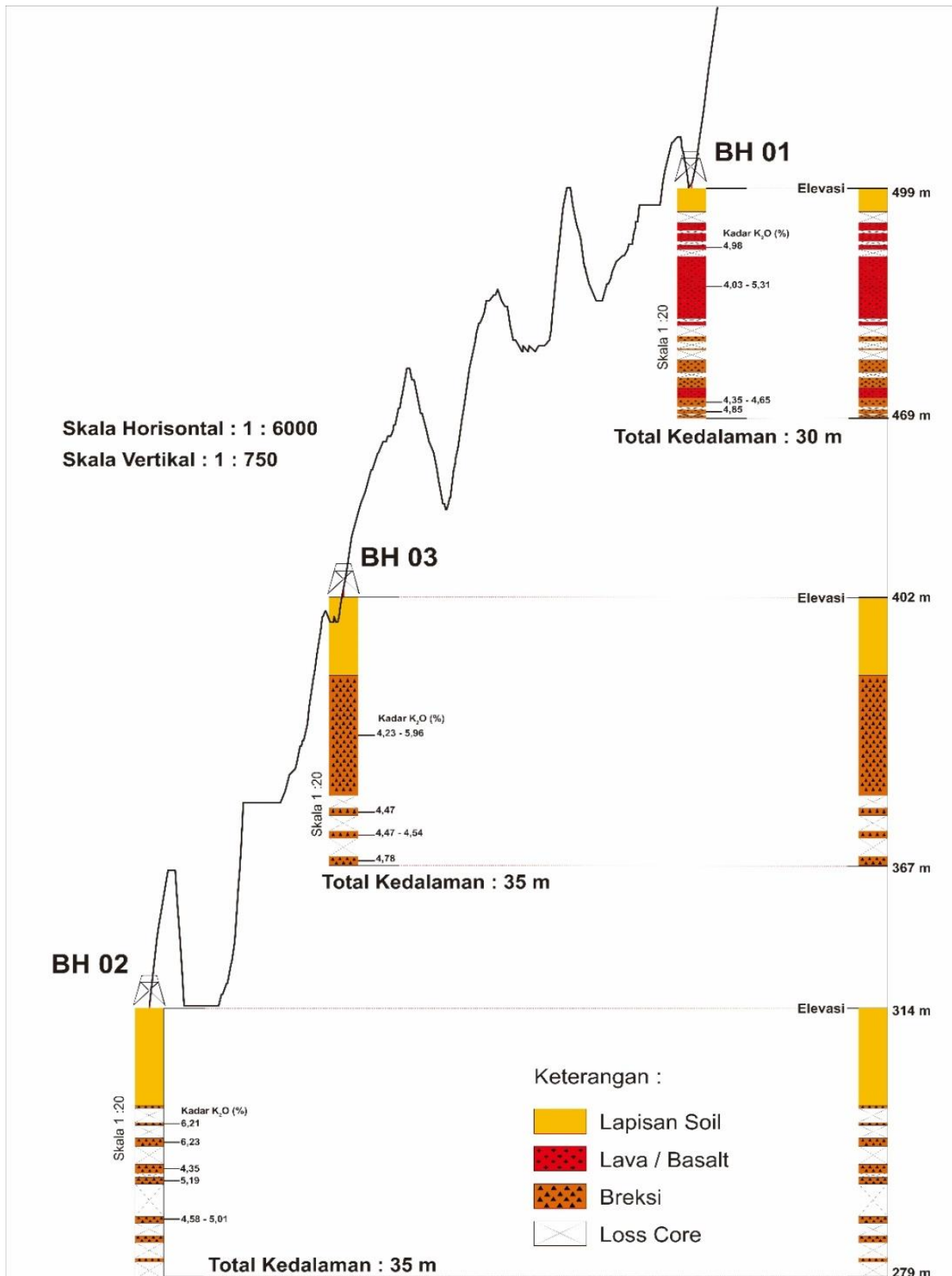
pada elevasi ketinggian yang berbeda. Lokasi titik bor berdasarkan elevasi beserta kadar K_2O di atas 4% pada masing-masing lapisan batuan seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 7. Inti bor breksi laharik di BH 01 pada kedalaman 28,15 m



Gambar 8. Inti bor Breksi laharik kedalaman 30 m s.d. 35 m pada inti bor di BH 03



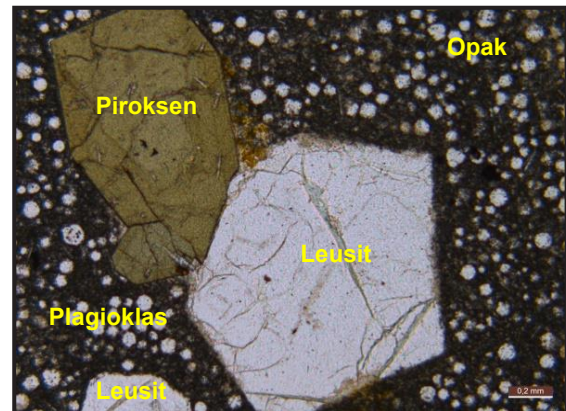
Gambar 9. Lokasi titik bor berdasarkan elevasi di Blok Medani, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Jawa Tengah

Berdasarkan pengamatan di lapangan dan inti bor, susunan batuan pembawa kalium di Kecamatan Cluwak terdiri dari; bagian atas lava dan bagian bawah breksi. Batuan lava sebagian telah mengalami pelapukan mengulit bawang sedangkan potensinya ditemukan di Blok Karang Sari, Blok Sentul, dan Blok Medani.

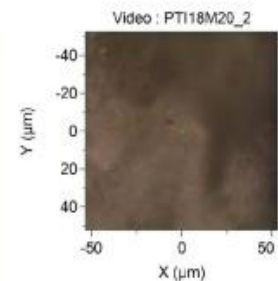
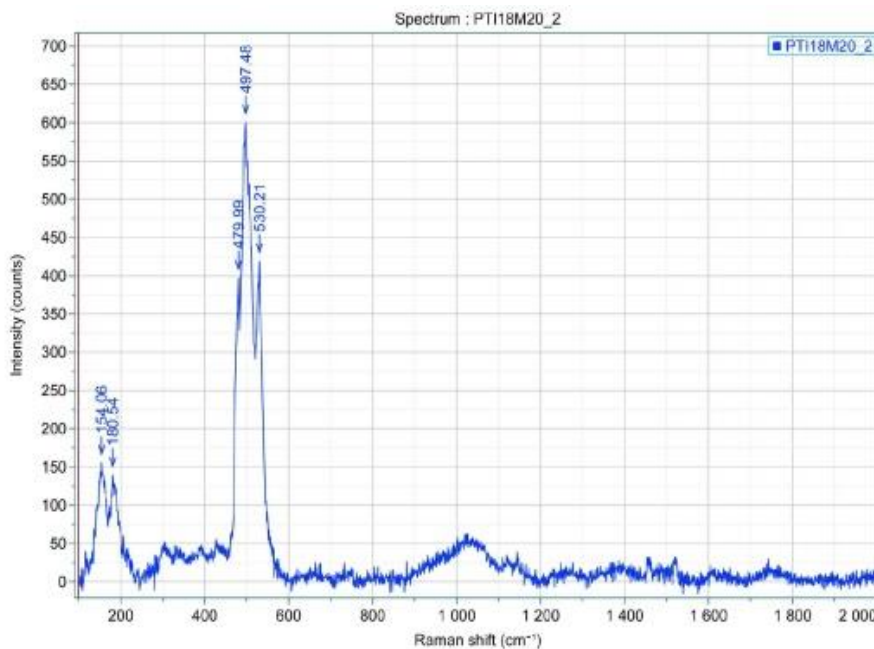
Blok Karang Sari

Blok Karang Sari memiliki luas sebaran 3,091 Ha, berat jenis rata-rata 2,83 diperoleh sumber daya tertunjuk sebesar 8.129.281.000 ton. Hasil analisis kimia *major element* terhadap 54 contoh permukaan, kandungan K_2O berkisar antara 1,94% s.d. 6,93%. Kandungan K_2O pada batuan lava berkisar antara 1,94% s.d 6,93%, dengan rata-rata 5,17%, sedangkan pada batuan breksi laharik berkisar antara 2,21% s.d 5,85%, dengan rata-rata 4,23%. Hasil analisis petrografi di Blok Karang Sari disusun oleh mineral leusit dan plagioklas, di dalam massa dasar yang disusun oleh mineral leusit, mikrolit

plagioklas, dan opak. Dengan komposisi mineral leusit (63%), plagioklas (22%), piroksen (7%), opak (5%), dan klorit (3%), tekstur porfiritik, berukuran butir halus hingga 1,58 mm, bentuk kristal euhedral hingga anhedral, terdapat urat halus yang terisi oleh klorit (Gambar 10). Hasil analisis *raman spectroscopy* mengandung mineral leusit (72,23%), anorthoklas (90,82%), augit (62,19%), labradorit, hydroxylapatit, diopsid, dan andesin (Gambar 11).



Gambar 10. Fotomikrograf sayatan tipis, berupa mineral leusit dan plagioklas



Kode sampel : PT118M20
Leucite dengan Hit Quality Index (HQI) 72.23%.

Instrument	XploRA Plus	Acq. time (s)	2	Accumulations	7	Laser (nm)	532
Spectro (cm ⁻¹)		Hole (µm)	500	Slit (µm)	200	Grating	2400 gr/mm
Filter	100%	Objective	x50LWD	ICS correction	Off	Range (cm ⁻¹)	

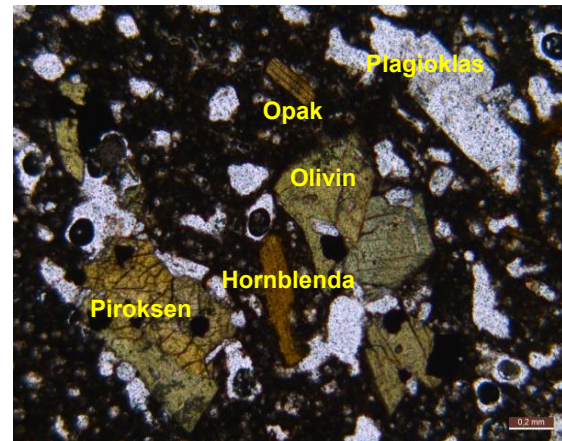


Gambar 11. Mineral leusit hasil analisis *raman spectroscopy*

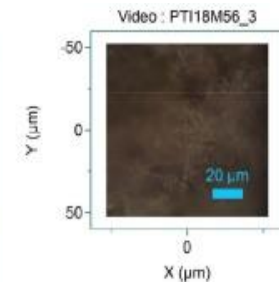
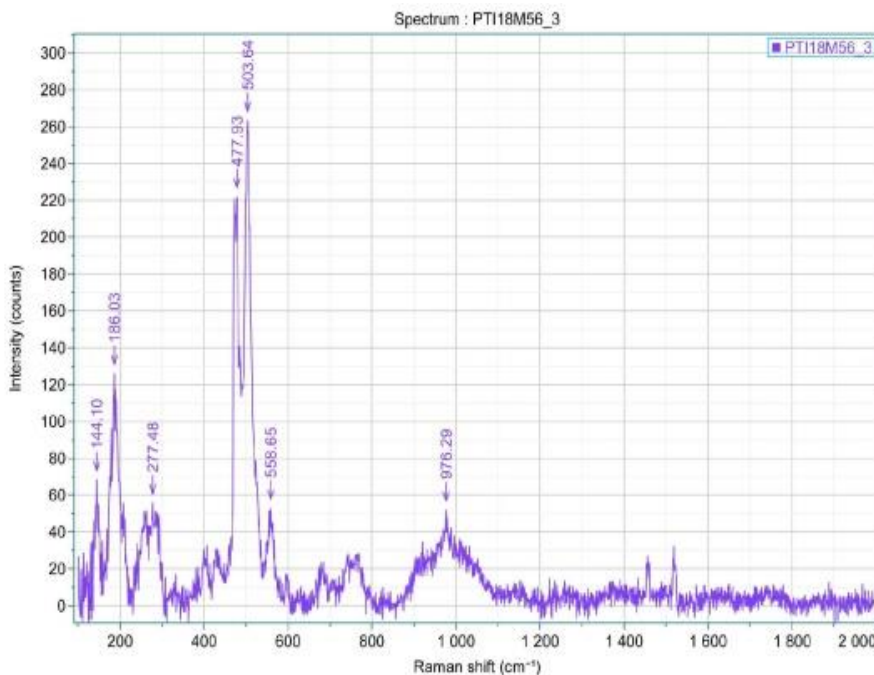
Blok Sentul

Blok Sentul memiliki luas sebaran sekitar 1.071 Ha, berat jenis rata-rata 2,85 diperoleh sumber daya tertunjuk 4.793.905.000 ton. Hasil analisis kimia *major element* terhadap 27 conto permukaan mempunyai kandungan K₂O berkisar 0,55% s.d. 7,95%. Kandungan K₂O pada batuan lava berkisar antara 0,55% s.d 7,99%, dengan rata-rata 4,81%, sedangkan pada batuan breksi berkisar antara 2,41% s.d. 6,92%, dengan rata-rata 5,10%. Hasil analisis petrografi di Blok Sentul disusun oleh mineral opak dan piroksen, di dalam massa dasar yang disusun oleh mineral mikrogranular piroksen, dan opak. Komposisi mineral opak (42%), piroksen (37%), plagioklas (15%), hornblenda (4%), dan olivin (2%). Di dalam sayatan tipis batuan ini menunjukkan struktur skoria, tekstur porfiritik, hipokristalin, berukuran halus

hingga 1,78 mm, bentuk kristal euhedral hingga anhedral, terdapat banyak rongga-rongga halus (Gambar 12). Hasil analisis *raman spectroscopy* mengandung mineral labradorit (69,35%), diopsid (64,49%), augit (54,28%), dan pollucit (44,46%) (Gambar 13).



Gambar 12. Fotomikrograf sayatan tipis, berupa mineral opak dan piroksen



Kode Sampel: PT118M56
Labradorite dengan Hit Quality Index 69.35%

Instrument	XploRA Plus	Acq. time (s)	2	Accumulations	7	Laser (nm)	532
Spectro (cm ⁻¹)		Hole (μm)	500	Slit (μm)	200	Grating	2400 gr/mm
Filter	100%	Objective	x50LWD	ICS correction	Off	Range (cm ⁻¹)	

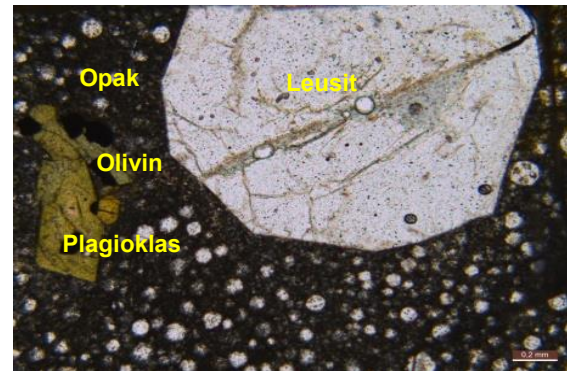


Gambar 13. Mineral labradorit hasil analisis *raman spectroscopy*

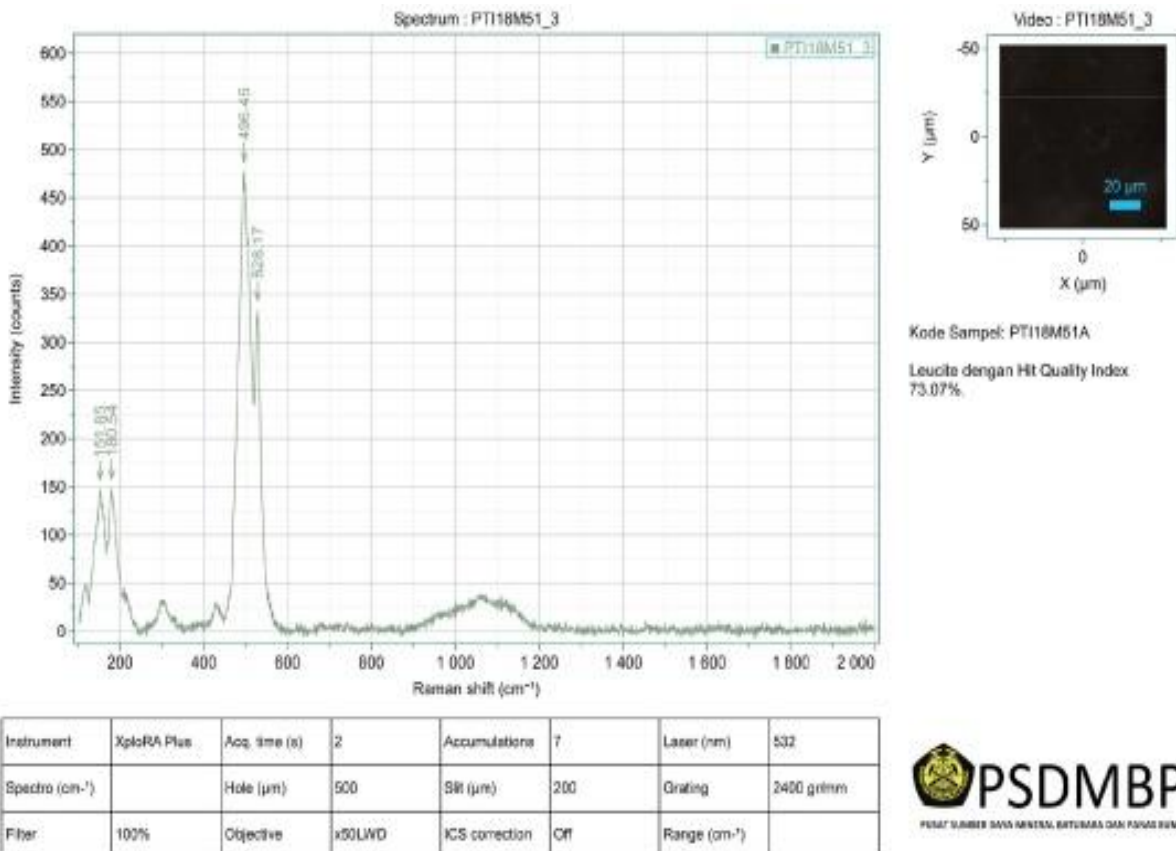
Blok Medani

Blok Medani memiliki luas sebaran sekitar 345,20 Ha dengan berat jenis rata-rata 2,86, diperoleh sumber daya terukur 1.407.983.000 ton. Berdasarkan hasil analisis kimia *major element* terhadap 30 conto permukaan mempunyai kandungan K₂O berkisar 0,23% s.d. 8,61%. Kandungan K₂O pada batuan lava berkisar antara 0,2% s.d. 8,61%, dengan rata-rata 3,71%, sedangkan pada batuan breksi berkisar antara 0,5% s.d. 6,25%, dengan rata-rata 4,15%. Hasil analisis petrografi di Blok Medani disusun oleh mineral leusit dan plagioklas, di dalam massa dasar yang disusun oleh mineral leusit, mikrolit plagioklas dan opak, dengan komposisi mineral leusit (55%), plagioklas (30%), opak (5%), olivin (5%), piroksen (2%), biotit (1%), muskovit (1%), dan epidot (1%). Di dalam sayatan tipis batuan ini

menunjukkan tekstur porfiritik, hipokristalin, berukuran butir halus hingga 1,16 mm, bentuk kristal euhedral hingga anhedral (Gambar 14.). Hasil analisis *raman spectroscopy* mengandung mineral leusit (73,07%), anorthoklas (84,40%), andesin (84,30%), labradorit (71,64%), augit, dan sanidin (Gambar 15.).



Gambar 14. Fotomikrograf sayatan tipis, berupa mineral leusit dan plagioklas

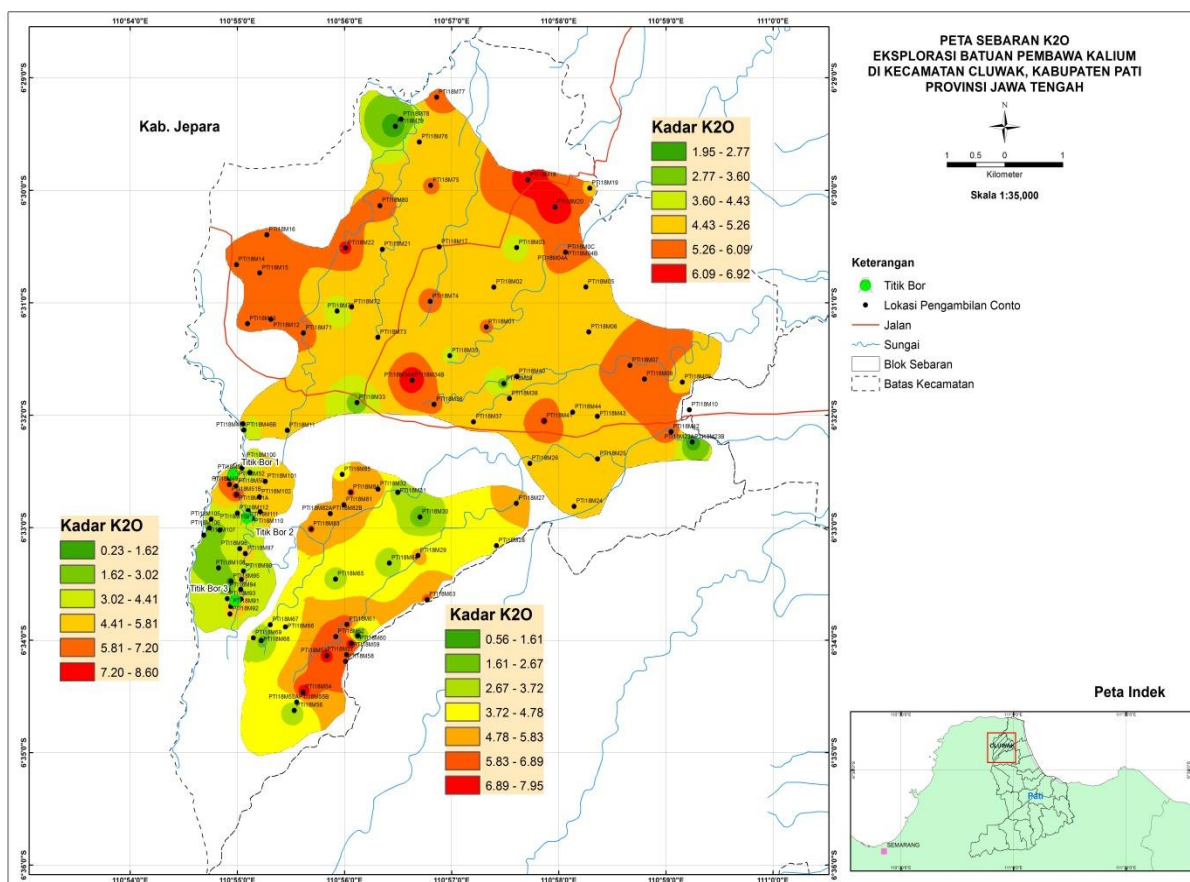


Gambar 15. Mineral leusit hasil analisis *raman spectroscopy*

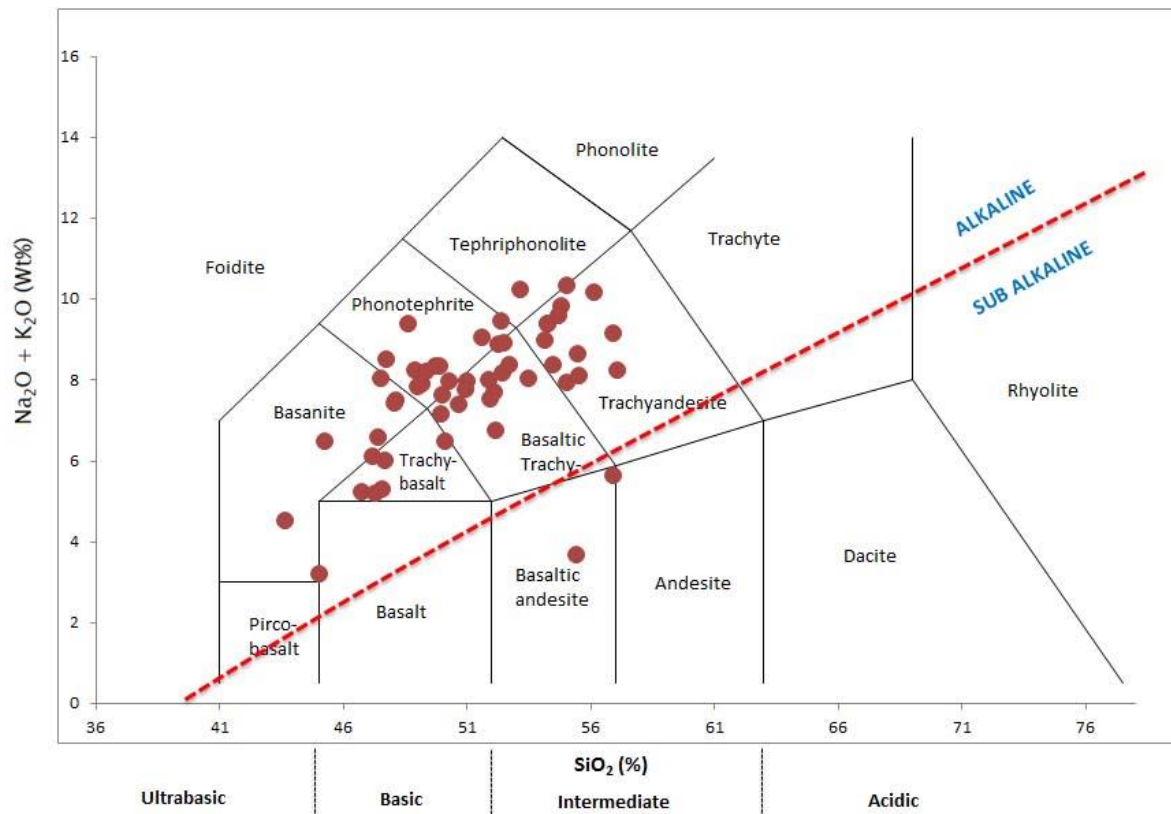
Hasil analisis kimia *major element* terhadap conto permukaan di Kecamatan Cluwak sebanyak 113 conto ini, kemudian dilakukan pengolahan data untuk menentukan zonasi sebaran K_2O pada ketiga blok. Blok Karang Sari dibagi menjadi enam kisaran kadar K_2O , Blok Medani dibagi menjadi sembilan kisaran kadar K_2O , sedangkan Blok Sentul dibagi menjadi delapan kisaran kadar K_2O . Masing-masing kisaran kadar K_2O di ketiga blok tersebut dapat diketahui luas sebarannya. Peta sebaran K_2O di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah dapat dilihat pada Gambar 16.

Berdasarkan hasil analisis XRF (*X-Ray Fluorescent*) yang dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Bandung, terhadap conto permukaan di ketiga blok

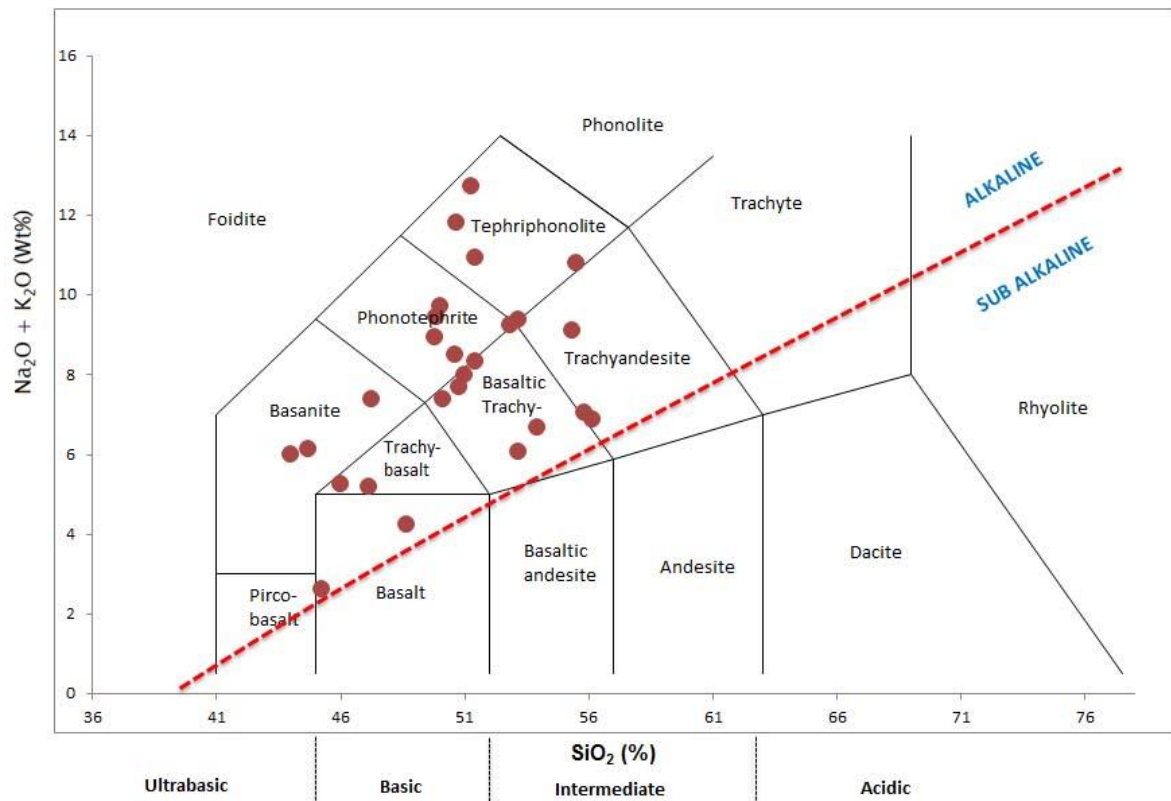
sebaran dan conto bawah permukaan dari ketiga titik bor menghasilkan kandungan prosentase unsur kimia oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO_3 , P_2O_5 , SO_3 , HD , H_2O dan BJ . Nilai prosentase unsur kimia oksida SiO_2 , Na_2O , dan K_2O pada ketiga blok sebaran dan ketiga titik bor dimasukkan ke dalam diagram Total Alkali Silika (TAS) untuk mengetahui jenis batuan. Blok Karang Sari sebanyak 54 conto, Blok Sentul sebanyak 27 conto, Blok Medani sebanyak 30 conto, Titik Bor 1 (BH 01) sebanyak 21 conto, Titik Bor 2 (BH 02) sebanyak 19 conto, dan Titik Bor 3 (BH 03) sebanyak 26 conto. Hasil diagram TAS untuk batuan vulkanik (Le Bas et al, 1986 dalam Andriane Machado et al, 2008) pada masing-masing blok dan titik bor, terlihat pada Gambar 17 sampai dengan Gambar 22.



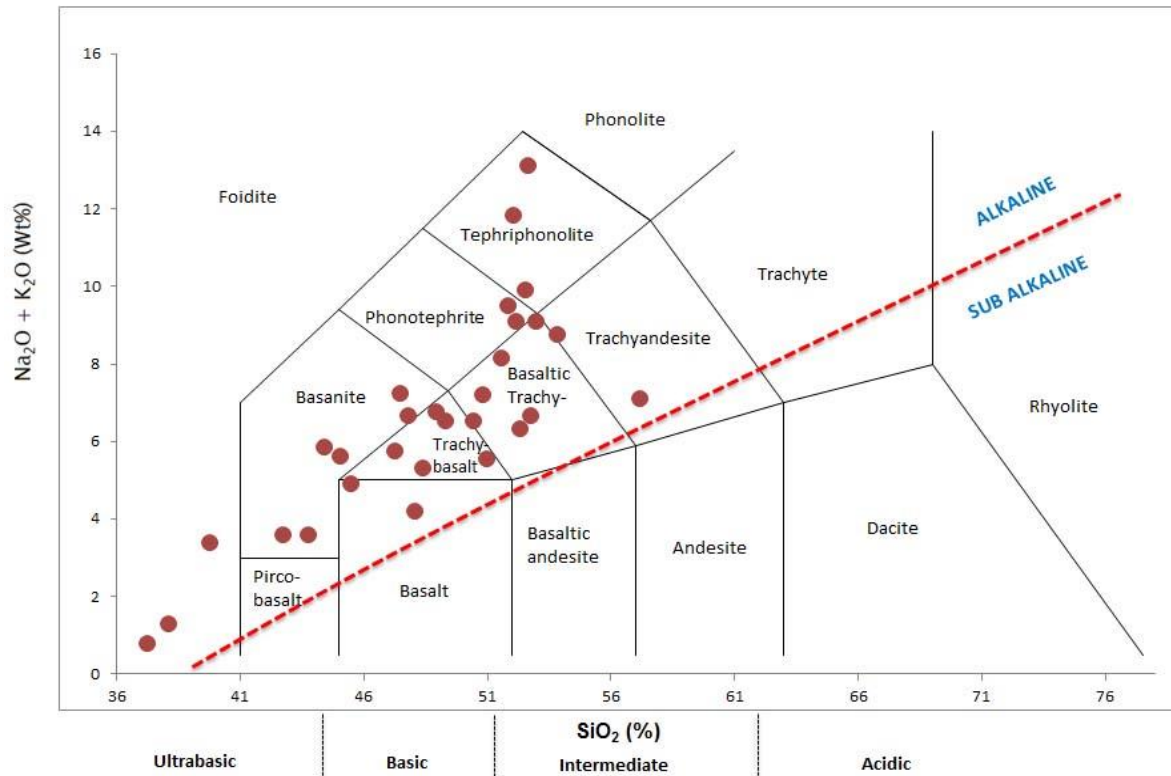
Gambar 16. Peta sebaran kandungan K_2O di Kecamatan Cluwak, Pati, Jawa Tengah



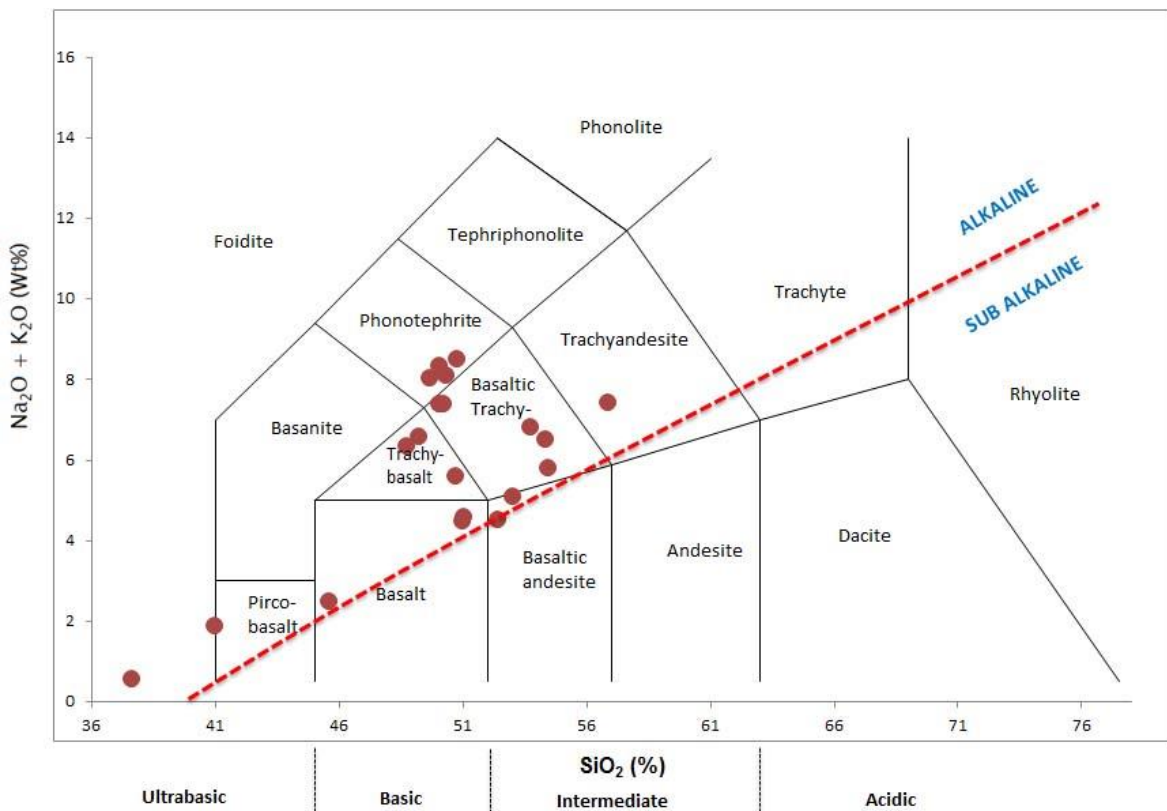
Gambar 17. Diagram TAS Blok Karang Sari



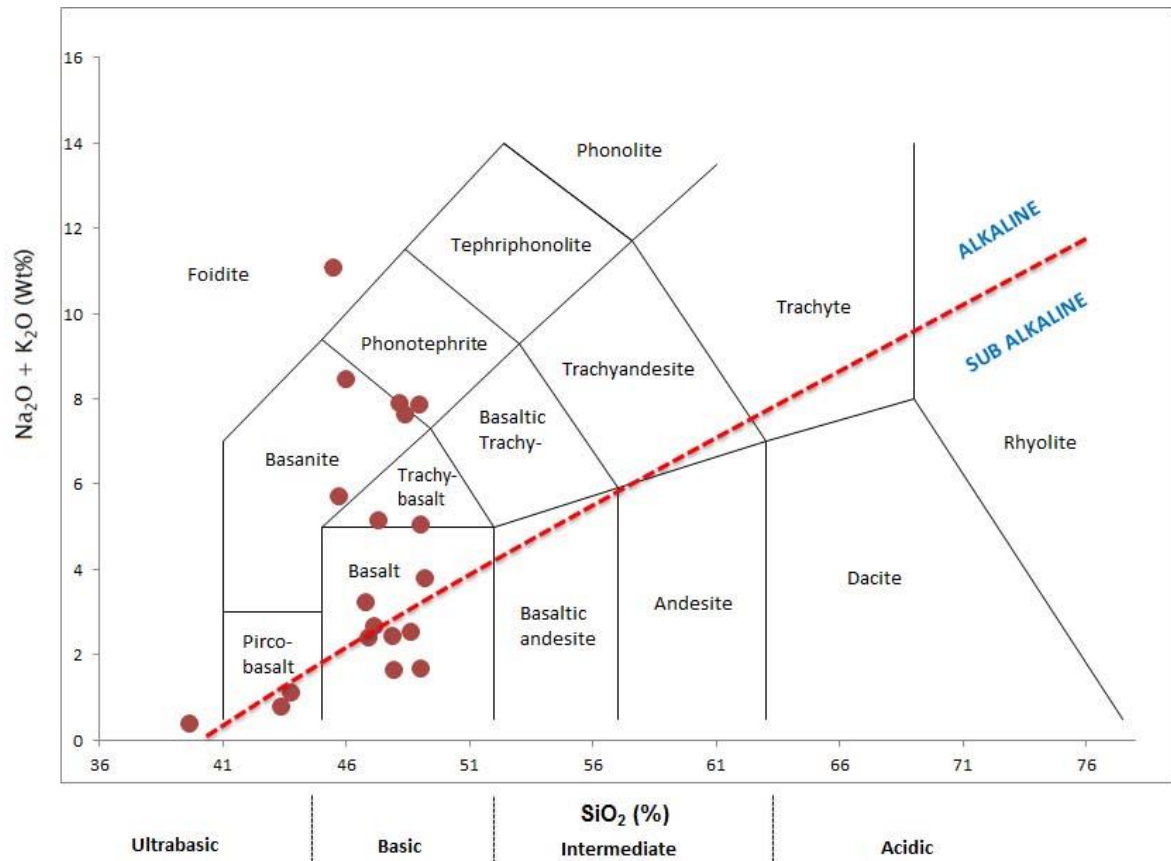
Gambar 18. Diagram TAS Blok Sentul



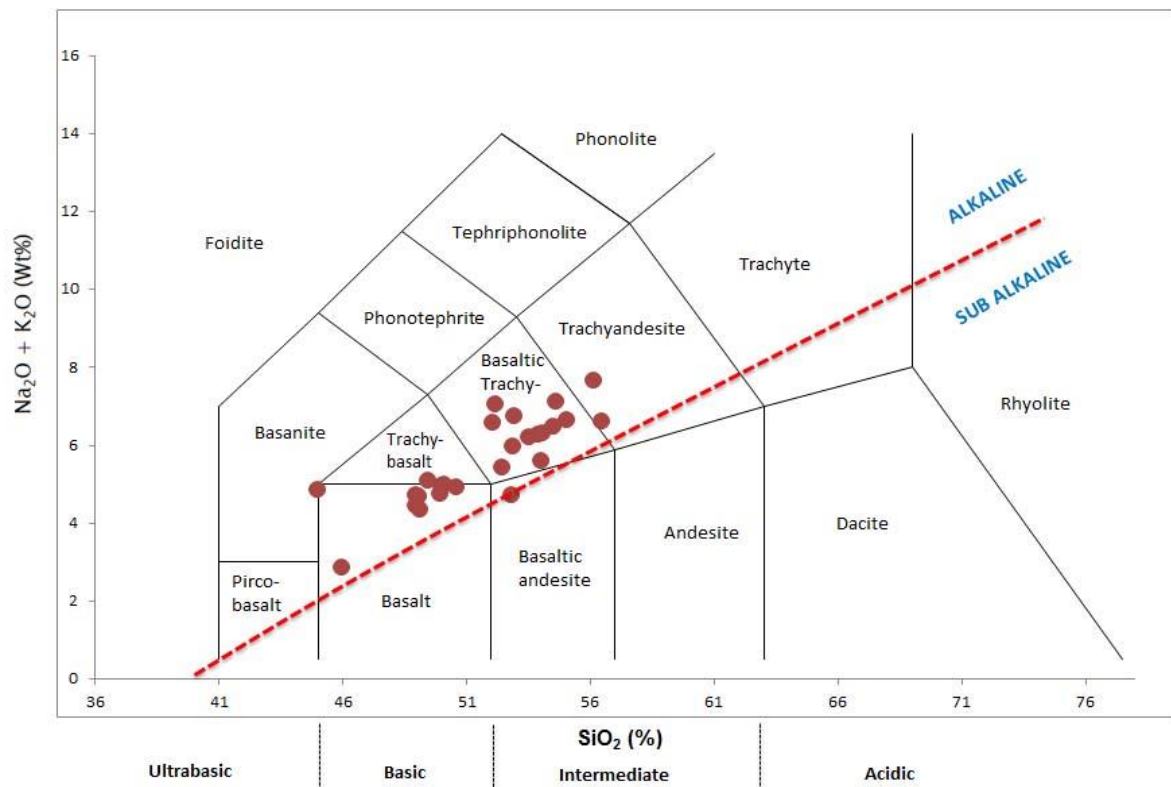
Gambar 19. Diagram TAS Blok Medani



Gambar 20. Diagram TAS Titik Bor 01



Gambar 21. Diagram TAS Titik Bor 02



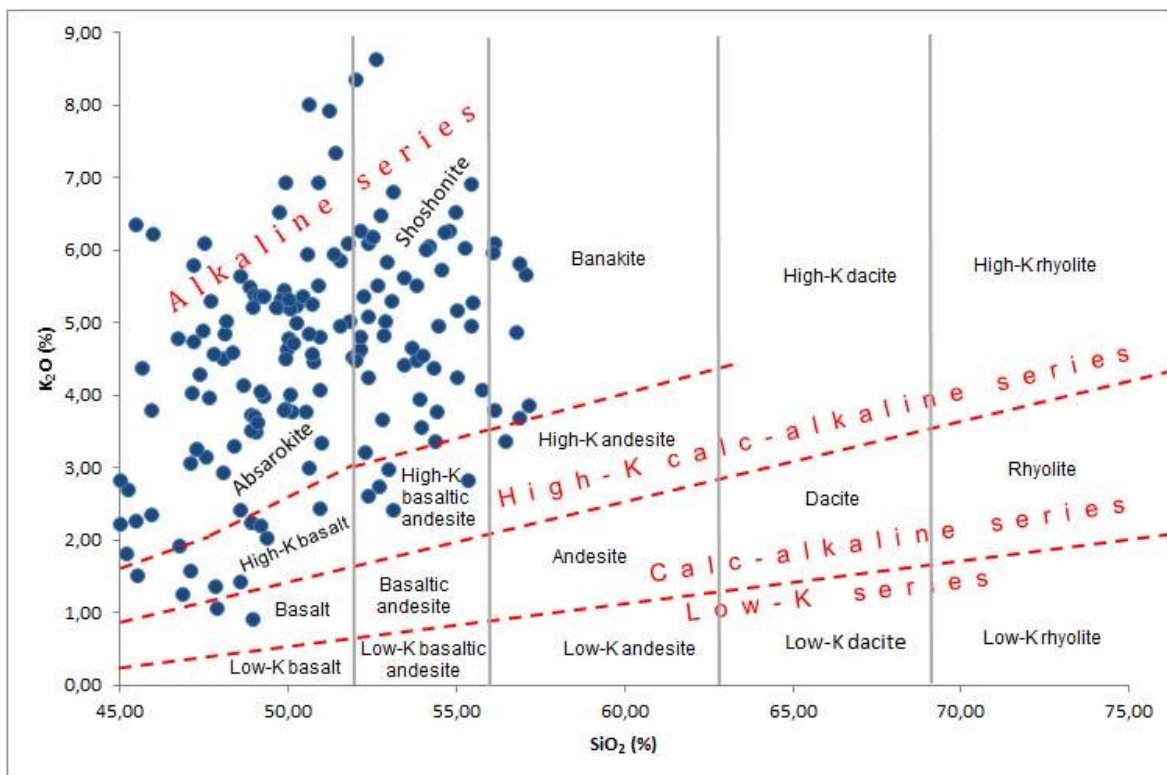
Gambar 22. Diagram TAS Titik Bor 03

Berdasarkan keenam diagram di atas, pada umumnya jenis batuan di ketiga blok dan ketiga titik bor merupakan jenis batuan alkali, ada beberapa contoh batuan di Titik Bor 02 yang masuk jenis batuan sub alkali pada batuan basal. Hal tersebut terdapat kesesuaian dengan hasil analisis petrografi yang menyatakan jenis batuan dengan komposisi mineral leusit (55% s.d. 63%), opak (5% s.d. 42%), piroksen (37%), dan plagioklas (15% s.d. 30%). Demikian juga sesuai dengan hasil analisis *raman spectroscopy* yang menyatakan bahwa batuan mengandung mineral anorthoklas (84,40% s.d. 90,82%), andesin (84,30%), leusit (72,23% s.d. 73,07%), labradorit (69,35% s.d. 71,64%), diopsid (64,49%), augit (54,28% s.d. 62,19%), dan pollusit (44,46%).

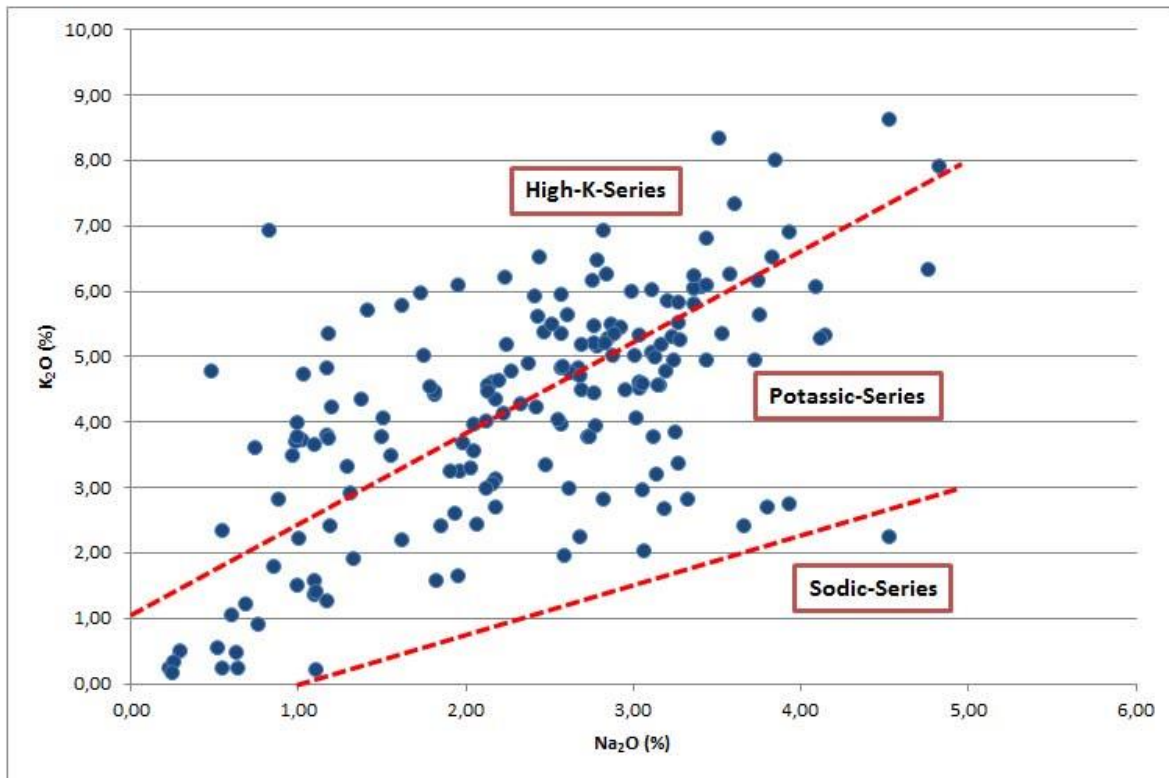
Selanjutnya, dari keseluruhan hasil analisis conto permukaan dan bawah permukaan sebanyak 177 conto di Kecamatan Cluwak, Pati, khususnya unsur oksida, prosentase unsur oksida SiO₂ dibandingkan dengan unsur oksida K₂O (Peccerillo & Taylor, 2976 dalam Soviati dkk., 2017) dan unsur oksida Na₂O dibandingkan dengan unsur

oksida K₂O (Middlemost, 1975 dalam Machado et al, 2008). Hasil kedua diagram tersebut seperti terlihat pada Gambar 23 dan Gambar 24.

Diagram SiO₂ dan K₂O pada umumnya menunjukkan jenis batuan seri alkalin yang mengandung silika rendah dan alkalin yang tinggi, terbagi menjadi *absarokite* dan *shoshonite* (Gambar 23.). *Shoshonite* merupakan jenis batuan beku, varietas kalium kaya *trachyandesite* basaltik, terdiri dari olivin, augit dan fenokris plagioklas dalam suatu masa dasar dengan plagioklas dan sanidin kalsik dan beberapa gelas vulkanik berwarna gelap. *Shoshonite* memberikan namanya pada seri *shoshonite* dan memberikan nilai menjadi *absarokite* dengan hilangnya fenokris plagioklas dan menjadi *bannakite* dengan peningkatan sanidin. Demikian juga hasil pengeplotan diagram Na₂O dan K₂O, pada umumnya termasuk pada golongan Seri Kalium (*Potassic Series*) sampai Seri Kalium Tinggi (*High-K-Series*) seperti terlihat pada Gambar 24.



Gambar 23. Diagram SiO₂ vs K₂O



Gambar 24. Diagram Na₂O vs K₂O

Mineral-mineral yang umumnya dianggap sebagai sumber asli dari kalium, diantaranya adalah leusit [K(AlSi₂O₆)], biotit [K(Mg, Fe)₃AlSi₃O₁₀], kalium felspar ortoklas dan mikrolin (KAISi₃O₈) (Kusdarto, dkk., 2008). Penambahan mineral leusit menunjukkan hasil yang relatif sama dengan standar NPK (*Relative Agronomic Effectiveness/RAE* 123%) (Hartati, et al, 2018).

Pemanfaatan batuan pembawa kalium di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati sebagai bahan baku pupuk alami telah dilakukan analisis laboratorium dengan parameter tanah K₂O, HCl 25% dan Asam sitrat 2% Bray sebanyak 110 conto di

Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor. Hasil analisis tersebut di plot dalam kurva kriteria penilaian hasil analisis tanah seperti terlihat pada Tabel 2.

Untuk parameter tanah K₂O, HCl 25% menghasilkan lima kategori dengan prosentase 9,1% termasuk kriteria sangat rendah, 13,6% rendah, 8,2% sedang, 16,4% tinggi dan 51,8% sangat tinggi (> 60). Sedangkan dengan parameter tanah Asam sitrat 2% Bray didapatkan hasil 100% termasuk kriteria sangat tinggi (> 15).

Tabel 2. Kriteria Penilaian Hasil Analisis Tanah

Parameter Tanah	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
K ₂ O, HCl 25 % (mg/100 g)	< 10	10 - 20	21 - 40	41 - 60	> 60
P ₂ O ₅ Bray (ppm)	< 4	5 - 7	8 - 10	11 - 15	> 15

Sumber : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian 2012
 Catatan : P₂O₅ Bray setara dengan Asam sitrat 2 %

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Martua Raja P., Ir. Ganjar Labaik, John Mauritz F. P., ST., dan Nining Widaningsih, S.Si. dari Bidang Mineral, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi yang telah membantu dan memberikan masukannya sehingga makalah ini dapat diselesaikan dengan lancar. Kepada Dewan Redaksi, penulis mengucapkan terima kasih atas masukan dan penyempurnaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2018, Analisis Ringkas Cepat; Alternatif Kebijakan Subsidi Pupuk Dalam Rangka Meningkatkan Produksi Pangan dan Pemerataan Kesejahteraan Petani, Pusat Kajian Anggaran Badan Keahlian, Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia.

Hendrawan, D. S., Daryanto, A., Sanim, B., dan Siregar, H., 2011, Analisis Kebijakan Subsidi Pupuk: Penentuan Pola Subsidi dan Sistem Distribusi Pupuk di Indonesia, Jurnal Manajemen Agribisnis Volume 8 Nomor 2, Oktober 2011.

Hartati, S., Minardi, S., Hartatik, W., and Haniati, I., L., 2018, *The Effects of Inorganic Fertilizer and Mineral Leucite Residues on K uptake and Maize Yields (Zie Mays L.) in Oxisols, Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 15 (2), 2018, 115-122.

Kadar, D., dan Sudijono, 1993, Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa sekala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Khoirunisa, 2017, Pengaruh Pemberian Mineral Leusit dan Mikroba Pelarut Kalium Terhadap Ketersediaan dan Serapan Hara Kalium Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) Pada Tanah Inceptisol, Skripsi, Program Studi Agrotektologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

Kusdarto, Labaik, G., Karang, C., dan Sayekti, B., 2008, Eksplorasi Umum Agromineral di Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur. Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Bandung.

Lasindrang, R. Z. Y., dan Fauzi, A., 2018, Hubungan Distribusi Terhadap Penjualan (Studi pada distribusi pupuk NPK non subsidi area pemasaran Kalimantan di PT Pupuk Kalimantan Timur), Jurnal Administrasi Bisnis (JAB) Volume 54 No. 1, Januari 2018.

Machado, A., Azevedo, J. M. M., Almeida, D. P. M., and Chemale, F., 2008, *Geochemistry of Volcanic Rocks from Faial Island (Azores). Geotic-Sociedade Geologica de Portugal*, Volume 5, No. 1 : 2008, 1 - 14.

Muksin, I., Kusdarto, Sayekti, B., dan Zulfikar, 2011, Penelitian Agromineral di Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan, Nomor 6 ISSN : 0261-0811.

Muksin, I., Raja, M., dan Karang, C., 2015, Eksplorasi Umum Agromineral di Kecamatan Donorojo Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah, Pusat Sumber Daya Geologi, Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan, Nomor 10 ISSN : 0261-0811.

Muksin, I., dan Karang, C., 2016, Prospeksi Batuan Pembawa Kalium Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan, Nomor 11 ISSN : 0261-0811.

Muksin, I., Raja, M., dan Mauritz, J., 2017, Prospeksi Batuan Pembawa Kalium Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan, Nomor 12 ISSN : 0261-0811.

Muksin, I., Raja, M., dan Mauritz, J., 2018, Eksplorasi Batuan Pembawa Kalium Dengan Cara Pengeboran di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah.

Soviati, A., E., Syafri, I., dan Patonah, A., 2017, Petrogenesis Batuan Andesit Bukit Cangkring, Daerah Jelekong, Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal* Vol. 1, No. 2, Oktober 2017, 98 – 105.

Suryana, A., Agustian, A., dan Yofa, R. D., 2016, Alternatif Kebijakan Penyaluran Subsidi Pupuk Bagi Petani Pangan, *Analisis Kebijakan Pertanian*, Volume 14 No. 1, Juni 2016 : 35 – 54.

Suwarti, T. dan Wikarno, R., 1992., *Peta Geologi Lembar Kudus, Jawa skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Syakir, M., dan Gusmaini, 2012, Pengaruh Penggunaan Sumber Pupuk Kalium Terhadap Produksi dan Mutu Minyak Tanaman Nilam, *Jurnal Littri* Volume 18 No 2, Juni 2012 : 60 – 65.

Diterima	: 28 Mei 2018
Direvisi	: 6 Februari 2019
Disetujui	: 27 Maret 2019

**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI EMAS PADA ZONA OKSIDASI
DI DAERAH PANGAPIT, KABUPATEN SAMBAS, PROVINSI KALIMANTAN BARAT**

**CHARACTERISTICS OF ALTERATION AND GOLD MINERALIZATION IN OXIDATION ZONE IN
PANGAPIT, SAMBAS REGENCY, WEST KALIMANTAN PROVINCE**

Reza Fahmi¹, Hartaja Muhamad Hatta W.², dan Bambang Priadi¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,
Institut Teknologi Bandung

² Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi
rezafahmi14010@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian dilakukan di Dusun Pangapit, Desa Madak, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat. Daerah tersebut memiliki tambang emas yang dikelola oleh masyarakat sekitar. Daerah di sekitar tambang telah mengalami oksidasi intensif yang ditandai oleh kondisi lapangan yang berwarna kemerahan dan banyaknya mineral oksida besi. Penelitian dilakukan guna mengetahui karakter dari alterasi dan mineralisasi di sekitar tambang dengan menggunakan metode analisis petrografi, mineragrafi, spektra dan geokimia.

Zona alterasi di daerah penelitian terdiri dari tiga zona, yaitu kaolinit, serisit-ilit dan klorit-epidot-kalsit. Alterasi di daerah penelitian terjadi dalam dua tahap, tahap pertama terjadi setelah Eosen dan sebelum Pliosen, sementara tahap kedua terjadi setelah Pliosen-Pleistosen. Alterasi pertama ter-*overprint* sebagian oleh alterasi kedua.

Mineralisasi emas di daerah penelitian berupa urat dengan arah umum barat-laut-tenggara yang terdiri dari mineral kuarsa, hematit, goetit, pirolusit, pirit, dan kalkopirit. Emas pada mineralisasi primer berasosiasi sedang dengan unsur Pb. Mineralisasi primer terpusat pada daerah tambang rakyat Pangapit di barat-laut Bukit Batubelah dengan *hostrock* tuf dan batulempung. Mineralisasi primer terjadi bersamaan dengan terjadinya alterasi pertama.

Kata kunci: Mineralisasi, Emas, Alterasi, Geokimia, Zona Oksida

ABSTRACT

Pangapit is located at Sambas Regency, West Kalimantan. This district has a gold mine that managed by local residents. Area around mine is an oxidized zone. Research was held to find out the characteristics of alteration and mineralization around the mine by using petrographic, mineragraphy, spectra and geochemistry analysis.

Research area has three kind of alteration zones: kaolinite, serisite-illite, and chlorite-epidote-calcite. There are at least two stage of alteration occurred in research area. First one occurred after Eocene and before Pliocene, mean while second alteration occurred after Pliocene-Pleistocene. Second alteration was superimposed on first alteration.

Gold mineralization in research area occurred in the form of vein with north-west trend that consist of quartz, hematite, goethite, pyrolusite, pyrite, chalcopyrite. Gold in primary mineralization is moderately associated with Pb. This mineralization occurred in Pangapit mine, northwest of Batubelah Hill with tuff hostrock. Primary mineralization happened in the same time as the first alteration.

Keywords: Mineralization, Gold, Alteration, Geochemistry, Oxide Zone

PENDAHULUAN

Kalimantan Barat terkenal sebagai daerah penghasil emas sejak abad ke 18 (Gunter, 2011). Salah satu daerah yang banyak memiliki tambang emas di Kalimantan Barat adalah Kabupaten Sambas. Proses penambangan emas di Sambas umumnya dilakukan oleh warga sekitar dalam skala kecil dengan cara tradisional (Anonim, 2014). Banyaknya kegiatan penambangan emas dalam skala kecil oleh rakyat di daerah Sambas belum dilakukan pendataan oleh pemerintah maupun dilakukan penelitian mengenai karakteristiknya. Oleh karena itu dibutuhkan adanya penelitian mengenai karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi emas pada zona oksidasi di salah satu daerah di Sambas yaitu Pangapit untuk mengetahui karakteristik yang sesungguhnya dari cebakan mineral logam emas di tambang rakyat tersebut.

Penelitian dilakukan di daerah Pangapit yang terletak di Desa Madak, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat, pada koordinat 109°19'35,6" BT-109°22'59,8" BT dan 1°11'57,40" LU-1°15'09,11 LU. Area kerja terletak kurang lebih 100 km di utara Pontianak dan dapat dicapai melalui jalur darat dengan waktu tempuh kurang lebih enam jam. Penelitian dikhususkan pada zona oksidasi yang terpusat di sekitar tambang rakyat Pangapit. Zona ini dicirikan oleh warna kemerahan, kondisi lapuk, dan kehadiran mineral oksida besi yang melimpah.

GEOLOGI REGIONAL DAERAH PENELITIAN

Daerah Sambas memiliki enam satuan fisiografi (Thorp dkk, 1990 dalam Rusmana dan Pieters, 1993) yaitu zona pantai, dataran aluvial, undak pasir putih, perbukitan bergelombang lemah, perbukitan terjal terisolasi dan perbukitan bergelombang kuat. Daerah penelitian termasuk dalam zona perbukitan bergelombang lemah yang dicirikan oleh perbukitan dengan ketinggian yang tidak

terlalu tinggi (sekitar 100 m dpl) dan lereng yang tidak terlalu curam.

Stratigrafi regional daerah penelitian dibagi menjadi sembilan satuan (Rusmana dan Pieters, 1993), yaitu Formasi Seminis, Batuan Gunung Api Sekadau, Kelompok Bengkayang, Kelompok Serabang, Formasi Pedawan, Intrusi Granit Pueh, Batupasir Kayan, Intrusi Sintang dan Batuan Gunung Api Niut. Menurut peta geologi regional oleh Rusmana dan Pieters (1993), di daerah penelitian terdapat dua satuan geologi yaitu Formasi Seminis dan Intrusi Sintang. Formasi Seminis terdiri dari meta sedimen berumur Permian sedangkan Intrusi Sintang terdiri dari intrusi intermediet berumur Oligosen-Miosen.

Struktur regional di daerah Sambas secara umum memiliki tiga arah utama, yaitu baratlaut, timurlaut dan utara-timurlaut (Rusmana dan Pieters, 1993), khusus di daerah penelitian berarah baratlaut. Menurut Rusmana dan Pieters (1993), struktur dengan arah baratlaut ini terbentuk pada Zaman Kapur akibat aktivitas Subduksi Lupa yang terletak di Kalimantan Utara.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Secara umum daerah penelitian memiliki topografi bergelombang lemah yang dicirikan oleh kemiringan lereng berkisar antara 2% s.d. 7% (Van Zuidam, 1983). Daerah penelitian berupa dataran denudasional struktur lipatan menurut klasifikasi Brahmantyo dan Bandono (2006). Terdapat dua punggung homoklin di daerah utara dan selatan daerah penelitian dengan kelurusan berarah baratlaut yang diinterpretasi terbentuk akibat kontrol struktur regional. Selain itu terdapat satu bukit lava di daerah penelitian. Aliran sungai di daerah penelitian memiliki pola dendritik dan rektangular yang mengindikasikan bahwa daerah penelitian memiliki litologi homogen dan dikontrol oleh struktur sesar.

Daerah penelitian memiliki tiga satuan batuan, yaitu Satuan Batulempung yang

berumur Permian-Trias, Satuan Tuf yang berumur Eosen Akhir dan Satuan Basal yang berumur Pliosen-Pleistosen.

Terdapat dua struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian yaitu antiklin dan sesar mendatar mengiri. Antiklin di daerah penelitian memiliki sumbu lipatan berarah barat-timur yang diinterpretasikan berumur Kapur. Sesar mendatar mengiri memiliki arah utara-selatan yang diinterpretasikan berumur Eosen.

METODE

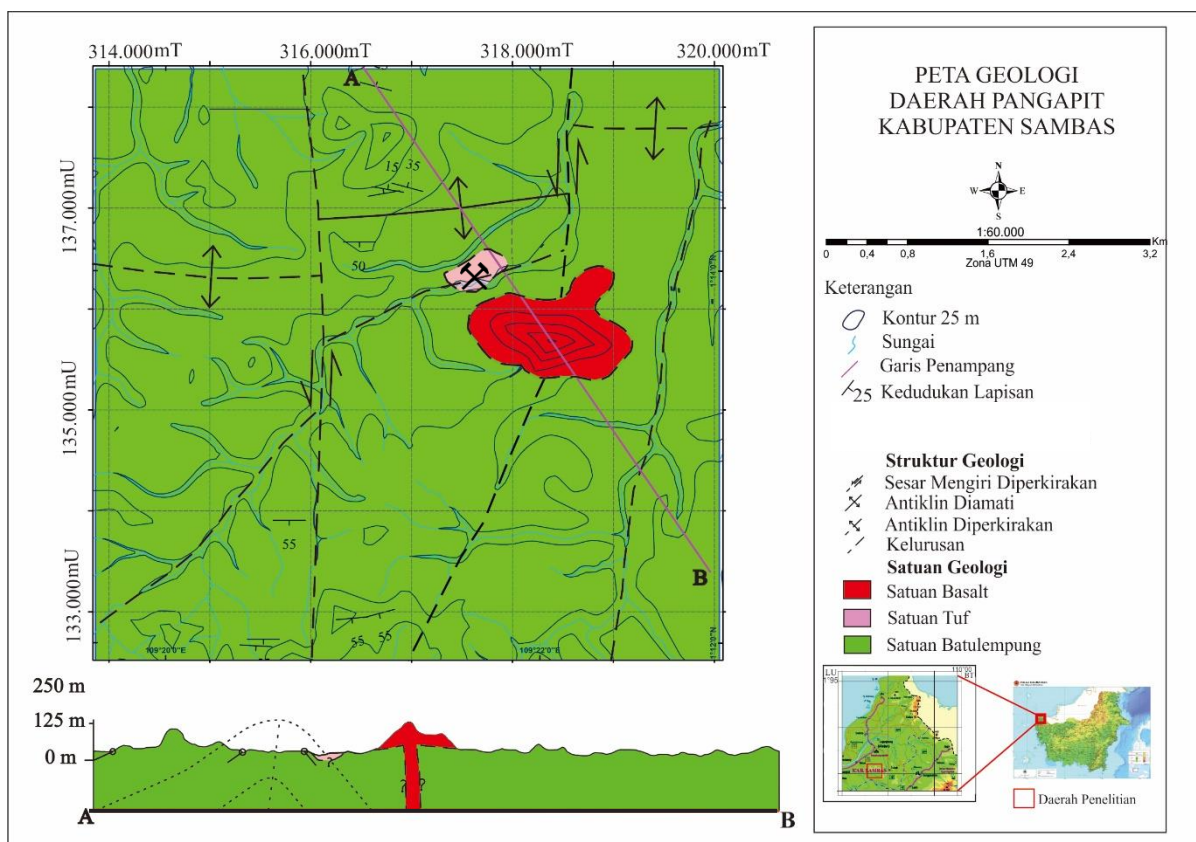
Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pemetaan geologi, pengambilan contoh batuan, analisis petrografi, analisis mineragrafi, analisis spektra dan analisis geokimia.

Pemetaan geologi dilakukan dengan memetakan singkapan batuan dan mem-

plotnya kedalam peta. Aspek utama yang diperhatikan dalam pemetaan geologi yaitu penyebaran litologi dan struktur geologi. Pada saat pemetaan juga dilakukan pengambilan contoh batuan untuk kemudian di analisis di laboratorium.

Analisis petrografi dilakukan dengan mengamati sayatan tipis dari contoh batuan di bawah mikroskop polarisasi. Analisis ini dilakukan guna mengidentifikasi jenis batuan, jenis alterasi dan paragenesa alterasi. Analisis petrografi dilakukan pada 10 contoh batuan.

Analisis mineragrafi dilakukan dengan mengamati sayatan poles dari contoh batuan dibawah mikroskop pantul. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral logam pada urat serta paragenesisnya. Analisis mineragrafi dilakukan terhadap tujuh contoh urat logam oksida dan urat kuarsa yang mengandung mineral opak.



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian

Analisis spektra dilakukan dengan bantuan alat PIMA (*Portable Infrared Mineral Analyzer*) di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. Contoh batuan dipaparkan sinar inframerah, kemudian panjang gelombang hasil pantulannya dibaca untuk menentukan jenis mineral lempung yang dikandung oleh contoh batuan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui jenis mineral lempung yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis alterasi di daerah penelitian. Analisis spektra dilakukan terhadap 70 contoh batuan.

Data geokimia yang digunakan didapatkan dengan melakukan uji AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) terhadap 76 contoh batuan yang menghasilkan kadar unsur Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As dan Sb. Uji AAS dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi. Data geokimia yang berasal dari contoh batuan ini kemudian diolah dengan metode statistik dengan tujuan mengetahui unsur apa saja yang berasosiasi dengan emas pada mineralisasi primer di daerah penelitian. Penentuan asosiasi unsur dilakukan dengan menggunakan metode statistik Spearman (Weir, 2018).

HASIL DAN ANALISIS ALTERASI DAERAH PENELITIAN

Analisis petrografi dan spektra menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki tiga jenis zona alterasi, yaitu zona kaolinit, zona serisit-ilit dan zona epidot-klorit-kalsit.

Zona kaolinit tersebar di seluruh daerah penelitian. Di lapangan, zona ini dicirikan oleh kondisi batuan yang lunak dan berwarna putih hingga keunguan (Gambar 2). Mineral sekunder yang hadir pada zona ini didominasi oleh kaolinit dengan sedikit diaspor, montmorilonit dan dikit. Kehadiran mineral-mineral tersebut menandakan bahwa zona ini terbentuk pada kondisi cenderung asam dan suhu rendah (Corbett dan Leach, 1998). Suhu pembentukan zona alterasi dapat diketahui dengan melihat tabel suhu pembentukan mineral (Tabel 1) oleh Morrison (1997). Zona ini

terbentuk pada suhu sekitar 140°C hingga 230°C.

Zona kaolinit telah mengubah batuan asalnya dengan intensitas tinggi sehingga batuan asalnya sulit untuk diidentifikasi. Pengamatan petrografi menunjukkan bahwa mineral lempung telah mengganti lebih dari 75% mineral asli batuan. Dari pengamatan sebaran litologi daerah penelitian diketahui bahwa zona ini mengubah Satuan Batulempung dan Satuan Tuf.



Gambar 2. Singkapan batuan teralterasi kaolinit di tepi jalan di selatan daerah penelitian

Zona klorit-epidot-kalsit secara umum terpusat di Bukit Batubelah, dan sebagian kecil juga ditemukan dalam jumlah sedikit di tempat lain. Zona ini mengubah batuan asal berupa basal dengan intensitas sedang yang ditandai oleh kadar mineral sekunder yang terdiri dari klorit, epidot dan kalsit berkisar antara 25% s.d. 75% (Morrison, 1997). Zona ini dicirikan oleh kenampakan batuan yang berwarna kehijauan. Kehadiran kumpulan mineral klorit, epidot dan kalsit menunjukkan bahwa zona ini terbentuk pada kondisi netral (Corbett dan Leach, 1998). Suhu pembentukan zona alterasi dapat diketahui dengan melihat tabel suhu pembentukan mineral (Tabel 2) oleh Morrison (1997). Diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu > 200°C.

Zona serisit-ilit tersebar secara tidak merata pada daerah penelitian dan terpusat di beberapa titik, yaitu di tambang rakyat Pangapit, Bukit Kanyi dan Bukit

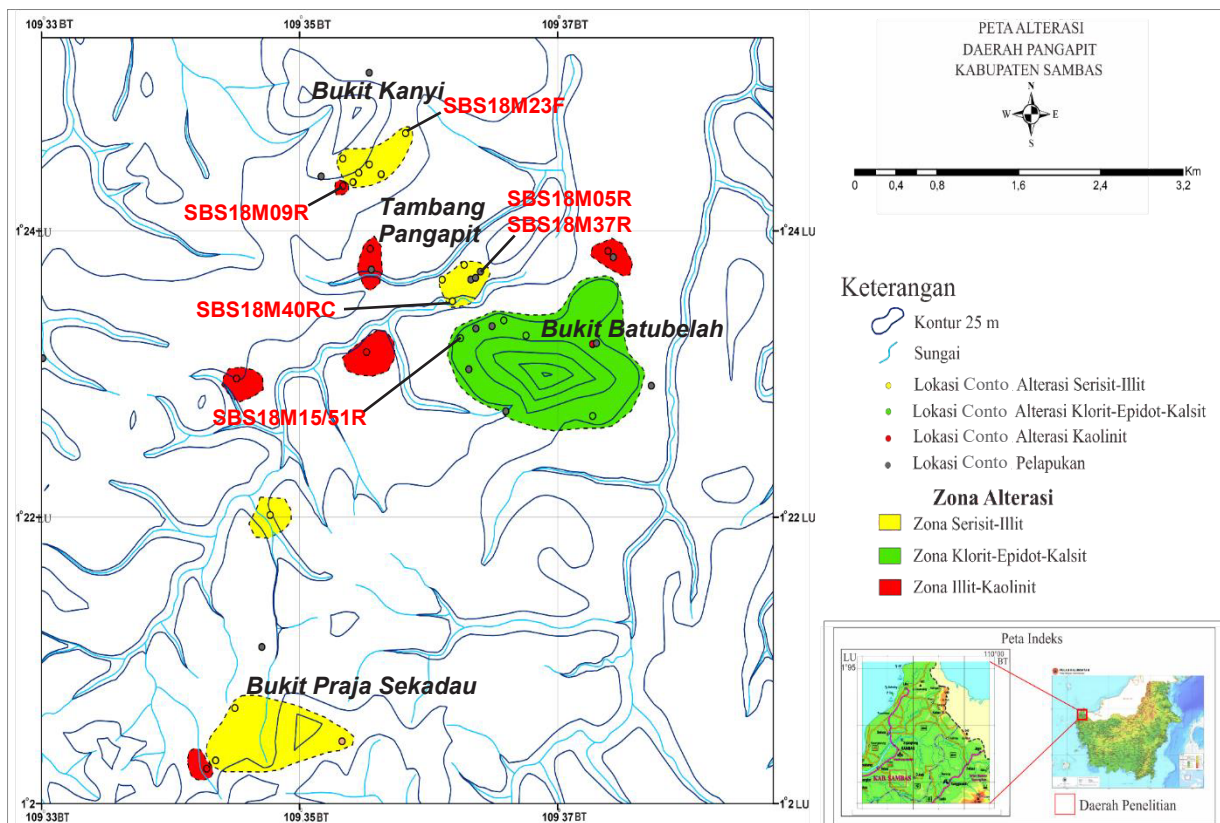
Praja Sekadau sehingga diduga penyebaran zona ini tidak dikontrol oleh struktur utama daerah penelitian. Kemungkinan zona ini dikontrol oleh struktur minor yang tidak terpetakan, sehingga tersebar dalam bentuk jendela-jendela kecil. Kehadiran mineral serisit dan illit menandakan bahwa zona ini terbentuk pada kondisi netral (Corbett dan Leach, 1998). Suhu pembentukan zona alterasi dapat diketahui dengan melihat tabel suhu pembentukan mineral (Tabel 3) oleh Morisson (1997). Diperkirakan zona ini terbentuk pada suhu 260°C hingga 320°C. Berdasarkan pengamatan batuan sekitar dan letak zona serisit-illit menunjukkan bahwa batuan asal yang diubah oleh zona ini adalah batulempung dan tuf.

Zona oksidasi yang terpusat di sekitar tambang rakyat Pangapit secara umum

mengalami alterasi kaolinit dan serisit-illit. Batuan pada zona ini telah berubah menjadi lempung dengan warna kemerahan hingga keunguan. Warna tersebut disebabkan oleh oksidasi intensif.



Gambar 3. Contoh batuan basal yang teralterasi klorit-epidot-kalsit



Gambar 4. Peta alterasi daerah penelitian

Tabel 1. Suhu pembentukan Zona Alterasi Kaolinit (Morrison, 1997)

Mineral	Suhu		
	100	200	300
Kaolinit	-----		
Diaspor	-----		
Dikit		-----	
Halloysit	-----		

Tabel 2. Suhu pembentukan Zona Alterasi Klorit-Epidot-Kalsit Morrison, 1997)

Mineral	Suhu		
	100	200	300
Klorit	-----		
Epidot		-----	
Kalsit	-----		

Tabel 3. Suhu pembentukan Zona Serisit-Iilit (Morrison, 1997)

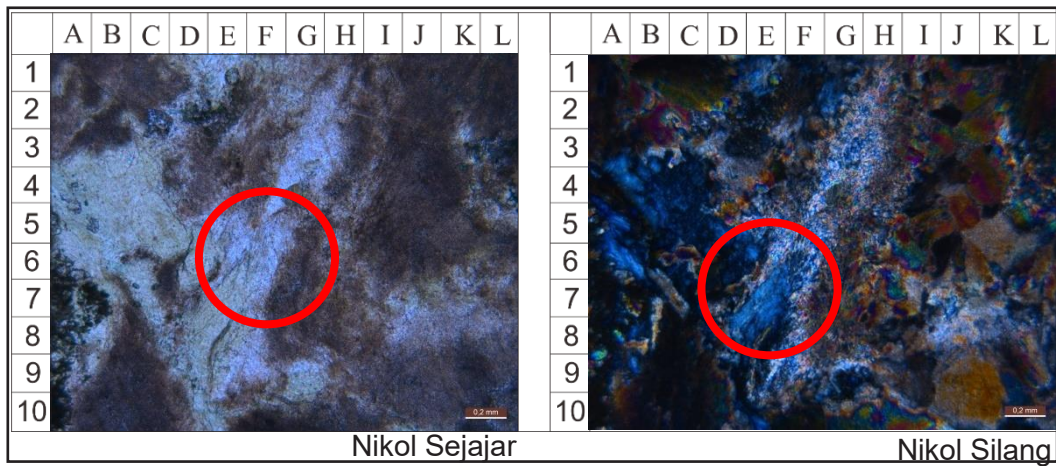
Mineral	Suhu		
	100	200	300
Serisit			-----
Iilit		-----	
Kaolinit	-----		



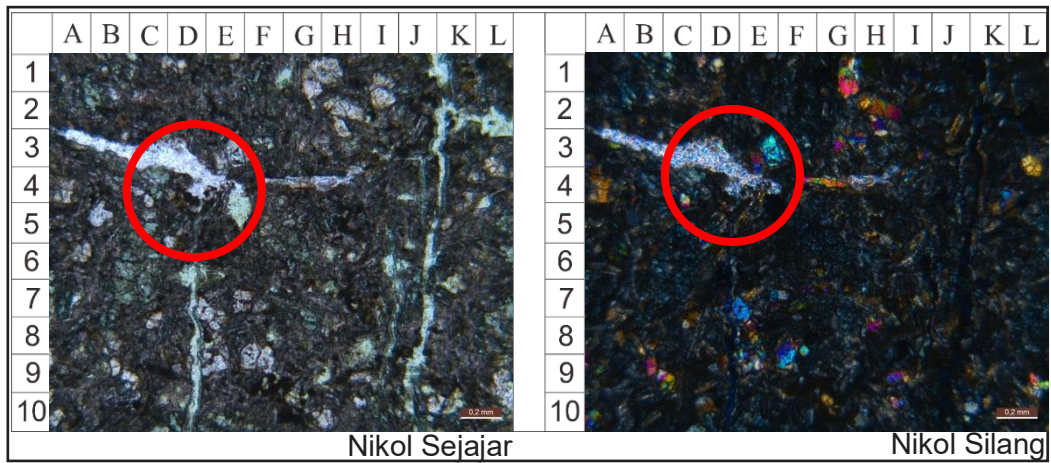
Gambar 5. Kenampakan zona oksidasi di tambang rakyat Pangapit

Paragenesa zona alterasi dapat diketahui dengan mengamati hubungan antar mineral sekunder pada sayatan tipis. Pengamatan terhadap sayatan tipis menunjukkan bahwa setiap zona alterasi saling mengganti satu sama lain. Sebagai contoh pada Gambar 6 tampak bahwa zona alterasi klorit-epidot-kalsit yang

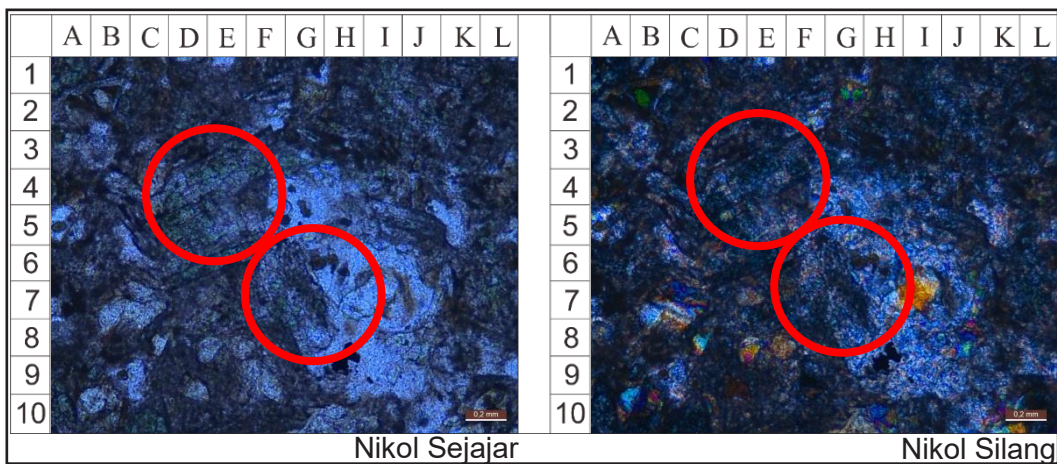
diwakili oleh mineral klorit mengubah zona serisit-ilit yang diwakili oleh mineral serisit sedangkan pada Gambar 7 tampak dari pengamatan petrografi bahwa zona serisit-ilit yang diwakili oleh mineral serisit mengubah zona klorit-epidot-kalsit yang diwakili oleh klorit. Pengamatan petrografi juga menunjukkan bahwa zona serisit-ilit dan kaolinit saling mengubah satu sama lain. Gambar 8 merupakan pengamatan petrografi yang menunjukkan adanya mineral lempung yang mewakili zona kaolinit mengubah mineral serisit yang mewakili zona serisit-ilit, sementara Gambar 9 menunjukkan hal yang sebaliknya, ada mineral serisit yang mengubah mineral lempung. Zona alterasi klorit-epidot-kalsit juga diketahui memiliki hubungan saling mengubah dengan zona alterasi kaolinit. Gambar 9 menunjukkan adanya klorit yang mengubah mineral lempung.



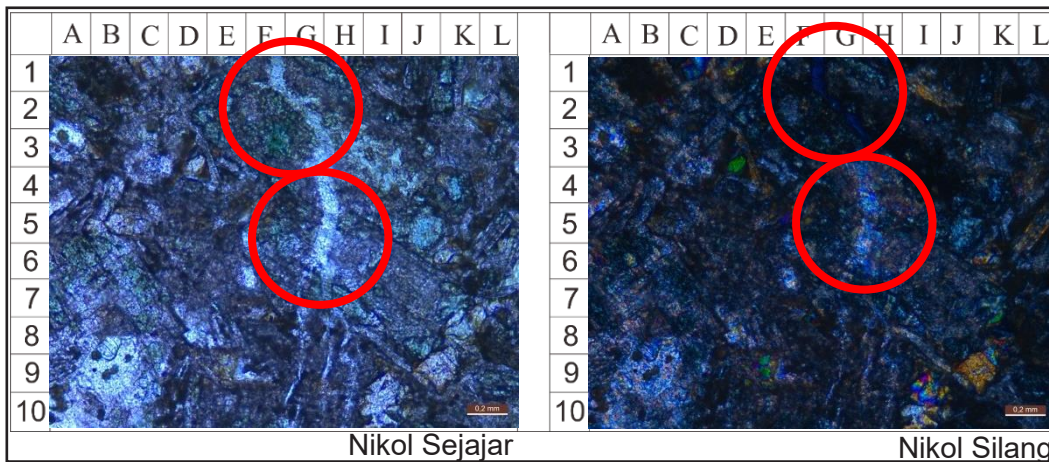
Gambar 6. Klorit memotong serisit (E6) pada sayatan tipis conto SBS18M051R



Gambar 7. Urat serisit memotong urat klorit (D4) pada sayatan tipis conto SBS18M051R



Gambar 8. Serisit memotong klorit (E5) dan mineral lempung memotong serisit (G7) pada sayatan tipis conto SBS18M051R



Gambar 9. Serisit memotong mineral lempung (G6) dan klorit memotong mineral lempung (G3) pada sayatan tipis contoh SBS18M051R

Adanya hubungan saling memotong antar semua zona alterasi menunjukkan bahwa kemungkinan alterasi terjadi dalam beberapa tahap. Penyelidikan di lapangan menemukan bahwa ada batuan teralterasi yang mengalami mineralisasi yang ditandai oleh hadirnya banyak pirit (contohnya di Tambang Pangapit) dan ada juga batuan teralterasi yang tidak mengalami mineralisasi (contohnya di Bukit Batubelah.) Kemungkinan alterasi terjadi dalam dua tahap dan setiap tahap terdiri dari zona alterasi kaolinit, zona serisit-illit dan klorit-epidot-kalsit.

Waktu pembentukan zona alterasi dapat diketahui secara relatif dengan cara melihat satuan batuan yang diubah oleh zona alterasi. Zona kaolinit diketahui mengubah Satuan Batulempung dan Satuan Tuf sehingga dapat diinterpretasi zona ini terbentuk setelah kedua satuan ini terbentuk yaitu setelah Eosen. Zona serisit juga mengubah Satuan Tuf dan Satuan Batulempung sehingga dapat diinterpretasi bahwa zona ini terbentuk pada waktu yang relatif sama. Zona klorit-epidot-kalsit mengubah satuan basal sehingga dapat diinterpretasi zona ini terbentuk setelah Pliosen-Pleistosen. Dengan melihat umur relatif dari batuan yang teralterasi, diketahui bahwa alterasi tahap pertama yang terdiri dari zona kaolinit, zona serisit-illit dan zona klorit-epidot-kalsit terjadi pasca-Eosen dan alterasi tahap kedua yang juga terdiri dari zona kaolinit, zona

serisit-illit dan zona klorit-epidot-kalsit terjadi pasca-Pleistosen. Di mana batuan yang teralterasi setelah Eosen mengalami mineralisasi sedangkan batuan yang tidak teralterasi terjadi setelah Pleistosen.

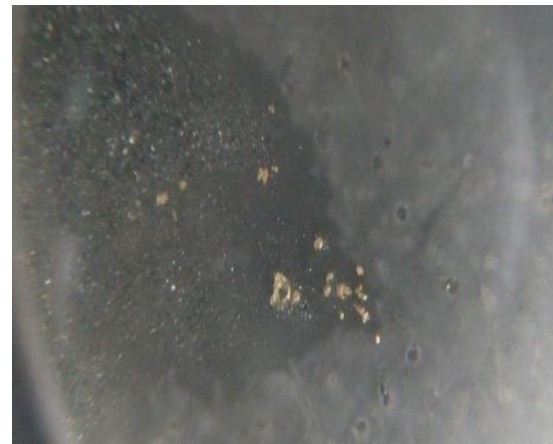
MINERALISASI DAERAH PENELITIAN

Mineralisasi emas di daerah penelitian terpusat di tambang rakyat Pangapit, barat laut dari Bukit Batubelah. Mineralisasi emas ditemukan berasosiasi dengan urat kuarsa dan mineral oksida di dalam batuan induk tuf dan batulempung. Di lapangan mineralisasi emas ini dibuktikan dengan hasil pendulangan dari batuan yang ditumbuk (Gambar 10).

Urat kuarsa memiliki tekstur sisir (*comb*) yang terbentuk akibat proses pengisian rongga kosong. Secara umum urat memiliki arah barat laut seperti yang ditunjukkan oleh diagram mawar pada Gambar 11c. Pengamatan megaskopis menunjukkan bahwa mineral oksida pada urat merupakan hematit yang dicirikan oleh warna hitam kemerahan, kilap *submetallic-dull*, kekerasan < 6,5, gores berwarna merah kecoklatan.

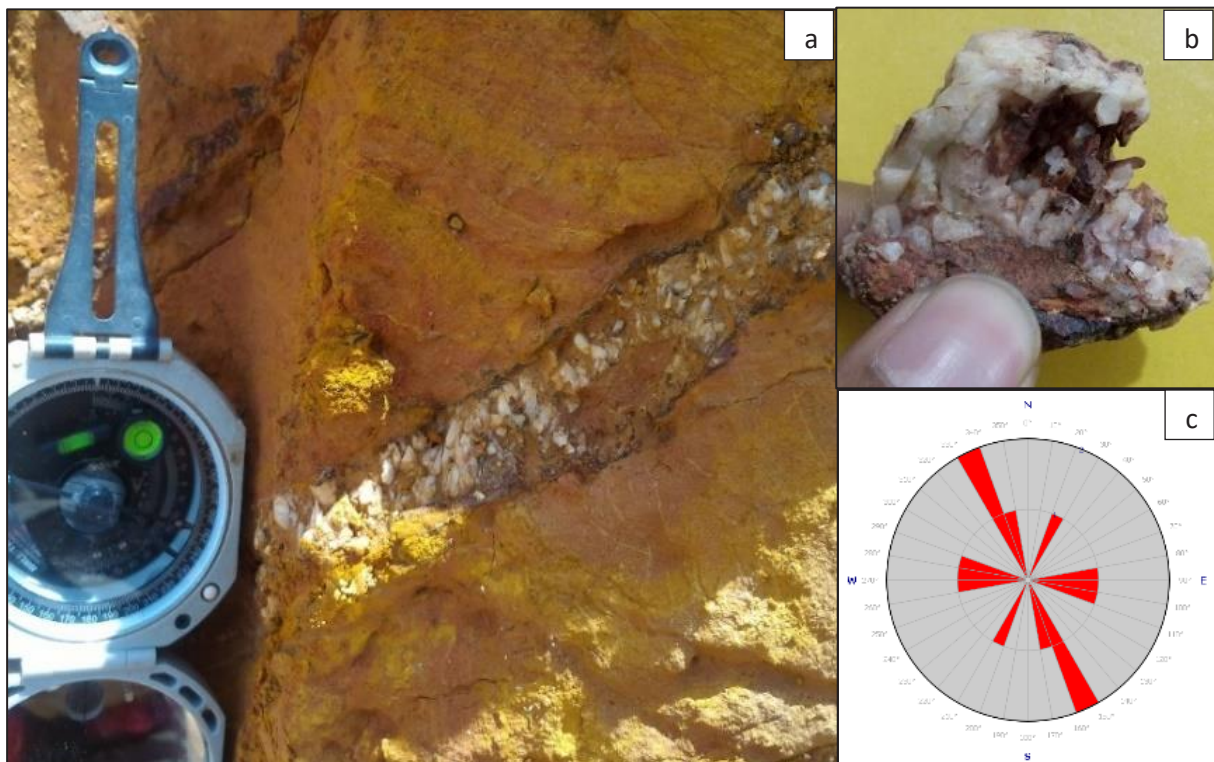
Pengamatan mineragrafi yang dilakukan terhadap tujuh conto urat menunjukkan bahwa urat mengandung mineral oksida hematit, goetit, pirolusit dengan sedikit mineral sulfida pirit dan kalkopirit seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4. Secara

umum mineral opak pada urat didominasi oleh mineral oksida seperti hematit, goetit dan pirolusit. Mineral sulfida berupa pirit dan kalkopirit pada urat hanya ditemukan dalam jumlah yang sedikit dengan ukuran kecil dan bentuk tidak beraturan. Dan yang perlu dicatat dari hasil pengamatan sayatan poles, tidak ditemui adanya emas di urat kuarsa yang didapat dari daerah penelitian. Selain itu data geokimia juga menunjukkan bahwa kadar emas dari contoh urat kuarsa tidak tinggi. Contoh yang memiliki kadar emas tinggi berupa batuan samping di sekitar urat kuarsa. Sehingga diinterpretasikan bahwa emas sudah didistribusikan ke batuan samping. Ini dibuktikan dari hasil dulang (Gambar 10) dari batuan disekitar urat yang menunjukkan kehadiran butir emas, tetapi yang cukup menarik hasil data geokimia untuk unsur emas pada batuan samping tersebut tidak berkorelasi positif dengan keterdapatan butir emas.



Gambar 10. Butiran emas hasil dulang (*panning concentrate*)

Tambang rakyat Pangapit telah mengalami proses pelapukan dan oksidasi yang intensif. Kemungkinan mineral sulfida yang ada di urat telah berubah menjadi mineral oksida karena proses oksidasi sehingga mineral sulfida hanya tersisa sedikit di daerah penelitian.



Gambar 11. (a) Urat kuarsa dan mineral oksida di tambang rakyat Pangapit. (b) Tekstur *comb* pada urat kuarsa. (c) Diagram mawar yang menunjukkan arah umum urat

GEOKIMIA DAERAH PENELITIAN

Data geokimia berupa kadar unsur Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As dan Sb didapat dari uji AAS terhadap conto batuan dan urat kuarsa yang diambil dari daerah penelitian. Data selanjutnya diolah secara statistik untuk mengetahui conto mana saja yang memiliki nilai anomali emas. Selanjutnya letak conto dengan kadar emas tinggi di plot kedalam peta seperti yang dapat dilihat pada

Gambar 12. Selain penentuan conto dengan kadar emas tinggi, dilakukan juga analisis statistik dengan metode Spearman (Weir, 2018) untuk mengetahui asosiasi unsurnya. Unsur yang dijadikan acuan yaitu emas. Hasil analisis Spearman menunjukkan bahwa unsur emas hanya berasosiasi dengan unsur Pb dengan kekuatan sedang seperti yang dapat dilihat di Tabel 6.

Tabel 4. Mineral opak yang teridentifikasi dari hasil analisis mineragrafi urat kuarsa

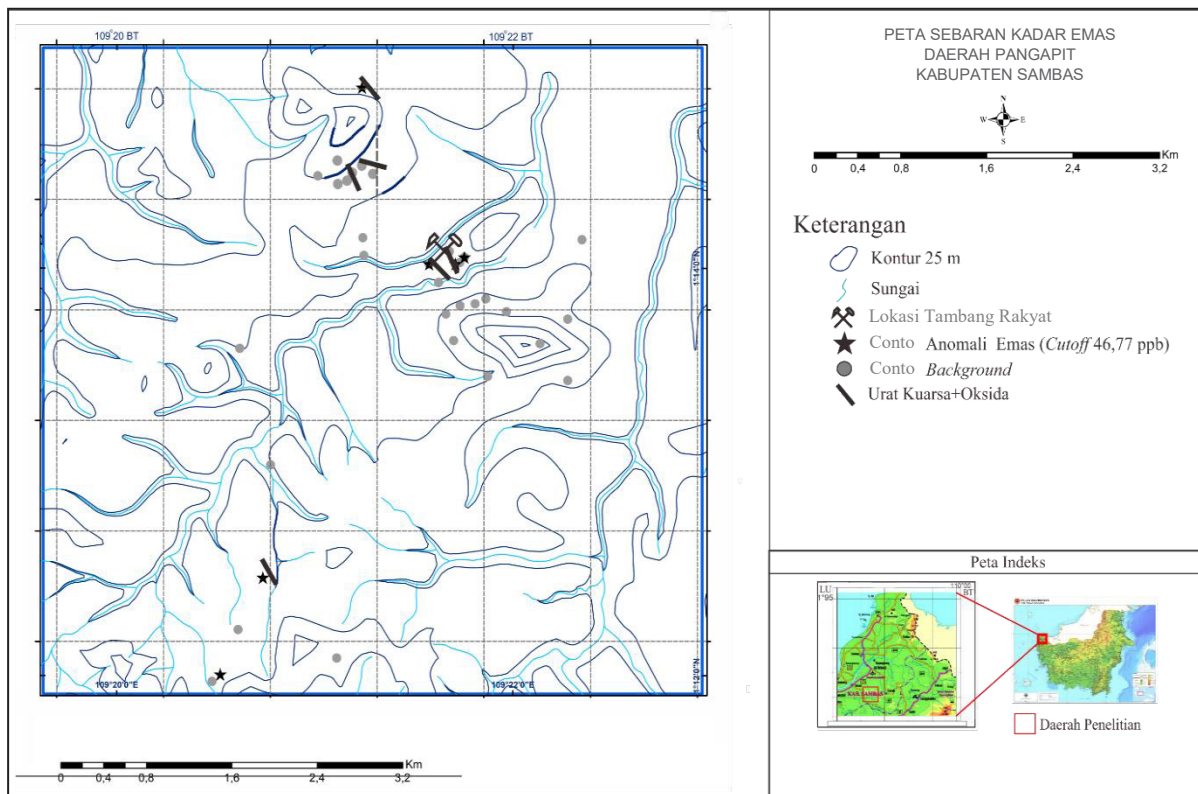
Kode Conto	Mineral				
	Pirit	Kalkopirit	Hematit	Goetit	Pirolusit
SBS18M005RC9					
SBS18M009R					
SBS18M023F					
SBS18M029RC7					
SBS18M030R					
SBS18M037R					
SBS18M040RC4					

Tabel 5. Paragenesis mineral logam di daerah penelitian

Mineral	Tahap Pembentukan
Pirit	_____
Kalkopirit	_____
Hematit	_____
Goetit	_____
Pirolusit	_____

Tabel 6. Koefisien korelasi Spearman antar unsur di daerah penelitian

	Korelasi Spearman							
	Au	Cu	Ag	Pb	Zn	As	Sb	
Au	1	0,01	0,07	0,45	-0,01	0,33	-0,3	Positif Kuat
Cu		1	0,15	0,07	0,43	0,16	0,08	Positif Sedang
Ag			1	0,23	0,38	0,08	0,16	Positif Lemah
Pb				1	0,35	0,22	-0,3	Positif Sangat Lemah
Zn					1	0,15	0,01	Negatif Sangat Lemah
As						1	0	Negatif Lemah
Sb							1	Negatif Sedang
								Negatif Kuat
								Negatif Sangat Kuat



Gambar 12. Peta sebaran conto dengan nilai kadar emas tinggi

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

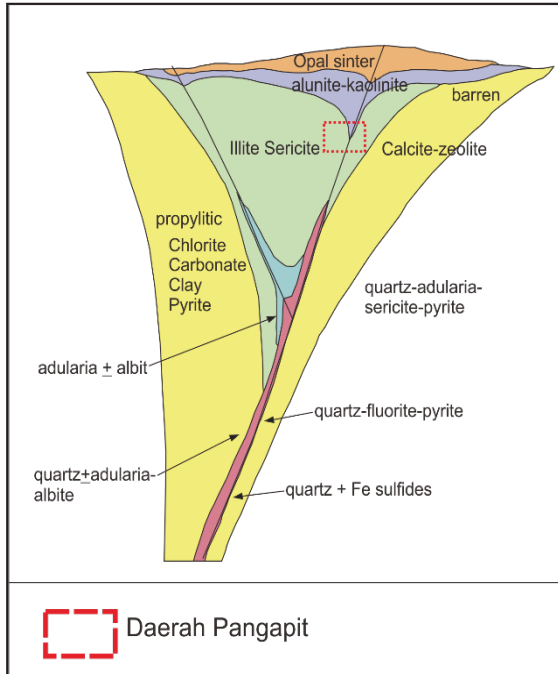
Hasil analisis data geokimia menunjukkan bahwa conto dengan nilai kadar emas tinggi ditemukan terpusat di tambang rakyat Pangapit. Conto ini berupa batuan sampling di sekitar urat kuarsa dan logam oksida yang memiliki tekstur *comb* sehingga disimpulkan bahwa Mineralisasi emas di daerah penelitian hadir berasosiasi dengan urat kuarsa dan logam oksida yang memiliki tekstur sisir. Unikny, kadar emas di conto urat kuarsa dan logam oksida justru lebih rendah dibanding dengan kadar emas di batuan sampling. Hal ini menunjukkan bahwa mineralisasi emas yang terjadi di tambang Pangapit juga dipengaruhi oleh proses pengayaan sekunder yang menyebabkan emas terkonsentrasi di batuan sampling.

Hasil pemetaan alterasi menunjukkan bahwa daerah ini berasosiasi dengan zona serisit-illit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mineralisasi yang terjadi merupakan tipe epitermal sulfida rendah. Selanjutnya

dilakukan studi literatur dengan membandingkan kondisi mineralisasi daerah penelitian dengan kondisi mineralisasi emas di daerah sekitarnya. Menurut Carlille dan Mitchel (1994) mineralisasi emas di daerah Kalimantan Barat dengan karakteristik tekstur, *hostrock*, dan mineralogi yang mirip dengan daerah penelitian diindikasikan merupakan tipe epitermal sulfida rendah. Tetapi masih diperlukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui tipe mineralisasi sesungguhnya.

Mineralisasi emas terpusat di tambang rakyat Pangapit yang terletak di barat laut Bukit Batubelah. Daerah ini mengalami alterasi serisit-illit secara intensif. Untuk mempermudah pemahaman mengenai hubungan antara persebaran mineralisasi dengan zona alterasi digunakan model tipe mineralisasi epitermal sulfida rendah oleh Buchanan (1981). Menurut model ini zona alterasi di sekitar jalur fluida merupakan zona serisit-illit yang ditindih oleh zona alunit-kaolinit dan sinter opal. Tidak

ditemukannya alunit dan sinter opal di daerah penelitian diduga diakibatkan telah terjadinya erosi secara intensif.



Gambar 13. Model tipe endapan epitermal sulfida rendah (modifikasi dari Buchanan, 1981)

Terdapat beberapa lokasi di daerah penelitian yang mengalami alterasi serisit-illit secara intensif, seperti di tambang-tambang Pangapit, kaki Bukit Kanyi dan kaki Bukit Praja Sekadau. Akan tetapi mineralisasi emas hanya dijumpai di tambang Pangapit. Hal ini mengindikasikan bahwa alterasi di daerah penelitian terjadi dalam beberapa tahap (minimal dua tahap) dan salah satunya terjadi bersamaan dengan mineralisasi emas. Dugaan ini semakin diperkuat oleh hasil pengamatan petrografi yang juga menunjukkan bahwa alterasi terjadi dalam dua tahap

Kondisi Satuan Basal yang tidak mengalami mineralisasi menandakan bahwa mineralisasi tidak terjadi bersamaan dengan alterasi klorit-kalsit-epidot tahap kedua, melainkan terjadi bersamaan dengan alterasi tahap pertama yaitu pasca Eosen. Dugaan ini diperkuat oleh data arah umum urat yaitu baratlaut. Apabila urat dianggap terbentuk akibat adanya fluida yang mengisi ruang yang timbul akibat

rekahan regangan, maka bisa dianggap tegasan utama yang menghasilkan struktur urat adalah tegasan dengan arah utama baratlaut-tenggara. Arah ini sesuai dengan arah gerak Lempeng Lukonia pada Eosen hingga Miosen (Soeria-Atmadja dkk, 1999), waktu alterasi tahap pertama diduga terjadi.

Unsur emas di daerah penelitian hanya berasosiasi dengan unsur Pb dengan kekuatan sedang. Hal ini diinterpretasi dipengaruhi oleh kondisi daerah penelitian. Daerah penelitian telah mengalami oksidasi secara intensif yang ditunjukkan oleh kenampakan lapangan yang berwarna kemerahan dan banyaknya mineral logam oksida. Hadirnya banyak mineral lempung kaolinit menandakan bahwa daerah penelitian memiliki pH asam yang mendekati netral (Corbett dan Leach, 1998). Menurut Rose dkk (1979), pada kondisi permukaan oksidasi dan pH cenderung asam, unsur emas dan Pb sama-sama memiliki sifat susah bergerak (*immobile*). Kesamaan sifat mobilitas tersebutlah yang diduga menjadi penyebab mengapa emas hanya berasosiasi dengan unsur Pb.

KESIMPULAN

Daerah penelitian mengalami alterasi yang terjadi dalam dua tahap. Alterasi tahap pertama terdiri dari alterasi kaolinit, serisit-illit dan klorit-epidot-kalsit yang terjadi setelah Eosen dan sebelum Pliosen sedangkan alterasi tahap kedua terdiri dari alterasi kaolinit, serisit-illit dan klorit-epidot-kalsit yang terjadi setelah Pleistosen. Alterasi pertama terjadi bersamaan dengan terjadinya mineralisasi emas di tambang rakyat Pangapit. Mineralisasi emas hadir berasosiasi dengan urat kuarsa dan mineral oksida yang memiliki tekstur *comb*. Berdasarkan data yang ada mineralisasi merupakan tipe epitermal sulfida rendah dengan asosiasi unsur Au-Pb. Tetapi masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik urat kuarsa yang ada dengan metode fluida inklusi untuk mengetahui lebih jelas mengenai kondisi mineralisasi di daerah penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Kepala Bidang Mineral, Kepala Subbidang Mineral Logam, Sekretaris Desa Madak, Kepala Dusun Pangapit serta semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2014, Laporan Penelitian Mineral Ikutan dan Unsur Tanah Jarang Daerah Bekas Tambang di Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Bandonu dan Brahmantyo, Budi, 2006, Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (*Landform*) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1 : 25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang, GEOAPLIKA.

Buchanan, L.J., 1981, *Precious Metal Deposits Associated with Volcanic Environments in the Southwest, Arizona Geological Society Digest*, 14.

Carlille, J. C. dan Mitchell, A. H. G., 1994, *Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia, Journal of Geochemical Exploration* 50, Melbourne.

Corbett, G. J. dan Leach, T. M., 1998, *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization: SEG Special Publication no. 6.*

Rusmana, E. dan Pieters, P. E., 1993, Peta Geologi Lembar Sambar/Siluas, Kalimantan, Sekala 1 : 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Gunter, B, 2011, *The Exploration History, Geology, and Exploitation of the Buduk Gold Mine, West Kalimantan: an Example of a Small Gold Mine Operation in Kalimantan*, Majalah Geologi Indonesia, 26, 173-190.

Morrison, K., 1997, *Important Hydrothermal Minerals and their Significance. Geothermal and Minerals Service Division Limited.*

Rose, A. W., Hawkes, H. E., dan Webb, J. S., 1979, *Geochemistry in Mineral Exploration 2nd Edition*, Academic Press, London.

Soeria-Atmadja, R., Noeradi, D., dan Priadi, B., 1999, *Cenozoic Magmatism in Kalimantan and its Related Geodynamic Evolution. Journal of Asia Earth Science* 17:25-45.

Van Zuidam, R. A., 1983, *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping, Enshede*, The Netherland.

Wicaksono, H. M. dkk., 2018, Laporan Akhir Eksplorasi Umum Emas daerah Pangapit dan sekitarnya Kabupaten Sambas Provinsi Kalimantan Barat, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Bandung.

Weir, L., 2018, Spearman's Rank Correlation - Introduction di <http://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/spearmans.pdf>, (diakses 16 Agustus 2018, 19.00).

Diterima	: 26 Desember 2018
Direvisi	: 9 Januari 2019
Disetujui	: 20 Mei 2019

**PEMODELAN ISOTERMAL SECARA TIGA DIMENSI (3D)
BERDASARKAN MANIFESTASI PERMUKAAN PADA DAERAH SIPOHOLON,
KABUPATEN TAPANULI UTARA, PROVINSI SUMATERA UTARA**

***THREE DIMENSIONAL (3D) ISOTHERMAL MODELING
BASED ON SURFACE MANIFESTATION IN SIPOHOLON AREA,
NORTH TAPANULI REGENCY, NORTH SUMATERA PROVINCE***

Lano Adhitya Permana, Dudi Hermawan, dan Santia Ardi Mustofa
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
lano.adhitya@esdm.go.id

ABSTRAK

Pemodelan isothermal secara tiga dimensi (3D) pada daerah Sipoholon dilakukan untuk memberikan visualisasi yang lebih baik sehingga mempermudah dalam memahami kondisi temperatur bawah permukaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini difokuskan pada pengolahan data geokimia berupa mata air panas yang didukung oleh data geologi dan geofisika, untuk kemudian dilakukan pemodelan 3D isothermal sehingga dapat dilakukan analisis dan interpretasi kondisi temperatur bawah permukaan di daerah penelitian. Hasil pemodelan 3D isothermal menunjukkan bahwa pola isothermal di daerah penelitian dipengaruhi oleh keberadaan sumber panas, struktur geologi dan pola resistivitas. Mengingat keterbatasan data yang dimiliki, hasil pemodelan ini masih merupakan proses awal pemodelan pada sistem panas bumi daerah Sipoholon dan masih memungkinkan untuk dilakukan pembaharuan data dan model lebih lanjut.

Kata kunci: Sipoholon, pemodelan, tiga dimensi (3D), isothermal, mata air panas

ABSTRACT

Three-dimensional (3D) isothermal modeling in the Sipoholon area is carried out to provide better visualization so that it is easier to understand the conditions of subsurface temperatures. The method used in this study is focused on the processing of hot springs geochemical data that are supported by geological and geophysical data, and then 3D isothermal modeling can be carried out so that analysis and interpretation of subsurface temperature conditions can be carried out in the study area. The isothermal 3D modeling results show that the isothermal patterns in the study area are influenced by the presence of heat sources, geological structures, and resistivity patterns. Because of the limited data, the results of this modeling are still an initial process of modeling the geothermal system of the Sipoholon area and it is still possible to do further data and model updates.

Keywords: Sipoholon, modeling, three dimensional (3D), isothermal, hot spring

PENDAHULUAN

Untuk mengurangi resiko pada tahap awal eksplorasi diperlukan adanya data dan informasi kebumihan yang lengkap. Namun demikian, ketersediaan data terutama yang terkait dengan data bawah permukaan, seperti distribusi temperatur bawah

permukaan masih sangat terbatas keberadaannya.

Isothermal merupakan salah satu data yang biasa digunakan pada tahap awal eksplorasi panas bumi yang berguna untuk memperoleh gambaran temperatur sekaligus kondisi bawah permukaan

terutama reservoir panas bumi yang menjadi target utama dalam kegiatan eksplorasi panas bumi. Umumnya, penggunaan isothermal pada tahap awal eksplorasi dilakukan dengan penggambaran dua dimensi (2D) melalui peta dan penampang. Namun, informasi tentang kondisi temperatur bawah permukaan yang diperoleh dari visualisasi dua dimensi tersebut ternyata masih terbatas dan kurang lengkap, sehingga mengalami kendala untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan secara menyeluruh. Model 3D isothermal merupakan salah satu cara untuk memvisualisasikan kondisi temperatur bawah permukaan. Beberapa penelitian tentang pembuatan model isothermal secara tiga dimensi pernah dilakukan oleh Pratama, A.B. dkk (2015) di daerah Gunung Galunggung dan Saputra, M.P. dkk (2016) pada Lapangan Panas Bumi Montelago, Filipina.

Daerah penelitian pada makalah ini dilakukan di daerah Sipoholon yang secara administratif termasuk dalam Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Lapangan Panas Bumi Sipoholon telah memiliki kelengkapan data berupa data geologi, geokimia dan geofisika.

Anonim (2018) menyebutkan bahwa kontrol struktur geologi, kondisi manifestasi permukaan dan anomali tahanan jenis merupakan faktor-faktor yang dapat digunakan sebagai petunjuk pola isothermal. Keterkaitan antara data geologi, geokimia dan geofisika diduga memberikan pengaruh terhadap pembuatan model 3D isothermal pada sistem panas bumi daerah Sipoholon. Tujuan penulisan makalah ini yaitu melakukan pemodelan isothermal melalui visualisasi secara tiga dimensi (3D), sehingga geometri pola temperatur bawah permukaan pada sistem panas bumi Sipoholon dapat diketahui lebih jelas.

METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini difokuskan pada pengolahan data geokimia yang didukung oleh data geologi

dan geofisika. Data geokimia yang digunakan berasal dari data manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Sedangkan, data geologi yang digunakan meliputi data litologi dan struktur geologi yang diperoleh dari hasil pemetaan geologi. Sementara itu, data geofisika yang digunakan berupa data magnetotelurik yang memuat informasi tentang adanya reservoir panas bumi.

Penentuan kedalaman reservoir merupakan langkah awal dalam pembuatan model 3D isothermal yang diikuti oleh konversi kedalaman reservoir dalam bentuk elevasi, untuk kemudian dihitung nilai sebaran temperatur bawah permukaan.

Selanjutnya, dilakukan pembuatan grid dalam bentuk volume pixel grid (*voxel grid*) agar dapat dilakukan pemodelan 3D isothermal dengan menggunakan perangkat lunak Encom Discover PA 2013, untuk kemudian dilakukan analisis dan interpretasi kondisi temperatur bawah permukaan berdasarkan pemodelan secara tiga dimensi (Gambar 1).

TINJAUAN GEOSAINS

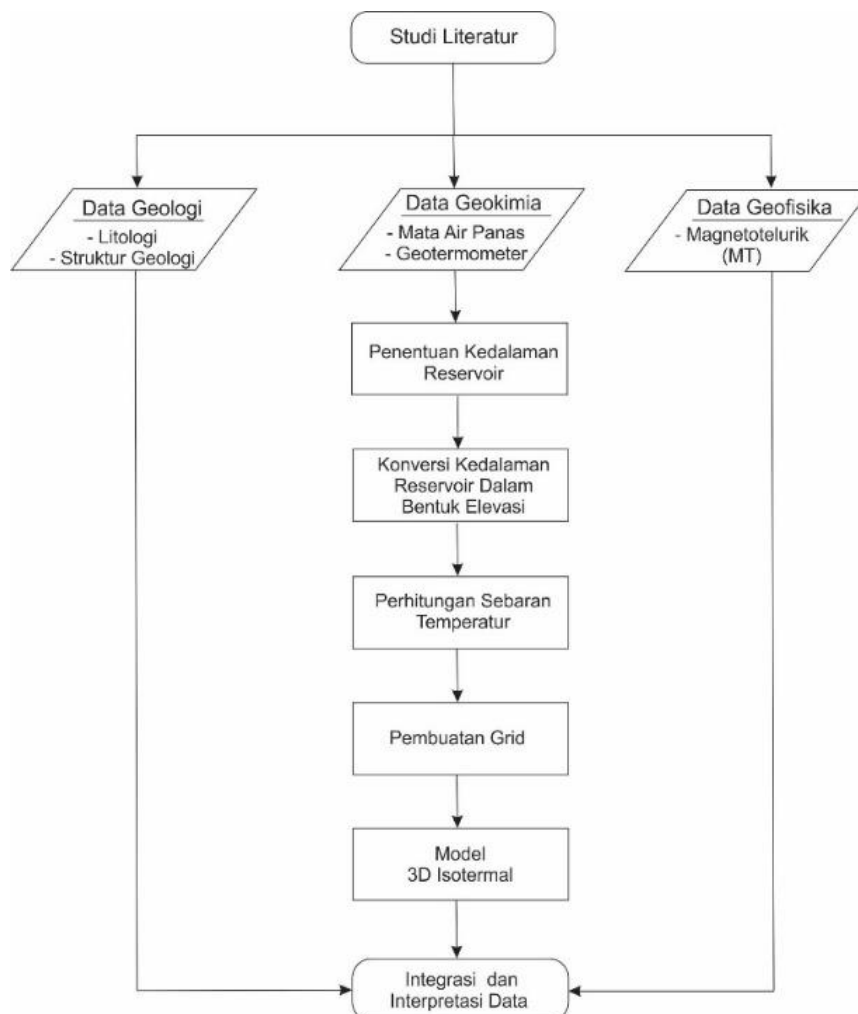
Pulau Sumatera merupakan pulau yang terbentuk akibat subduksi Lempeng Indo-Australia yang bergerak dari selatan ke arah utara dan menyusup di bawah Lempeng Eurasia di sepanjang zona subduksi Sumatera (Sieh dan Natawidjaya, 2000). McCaffrey (2009) menjelaskan bahwa subduksi yang terjadi di Pulau Sumatera menghasilkan sesar mendatar. Sedangkan, Muraoka dkk (2010) menyebutkan bahwa selain terbentuknya jalur sesar di bagian barat dari Pulau Sumatera, hasil subduksi Lempeng Indo - Australia dan Lempeng Eurasia menghasilkan gugusan gunung api yang berpotensi menghasilkan daerah prospek panas bumi, salah satunya yaitu daerah Sipoholon (Gambar 2).

Litologi yang terdapat di daerah Sipoholon terdiri dari batuan vulkanik, endapan sinter karbonat dan endapan alluvial yang

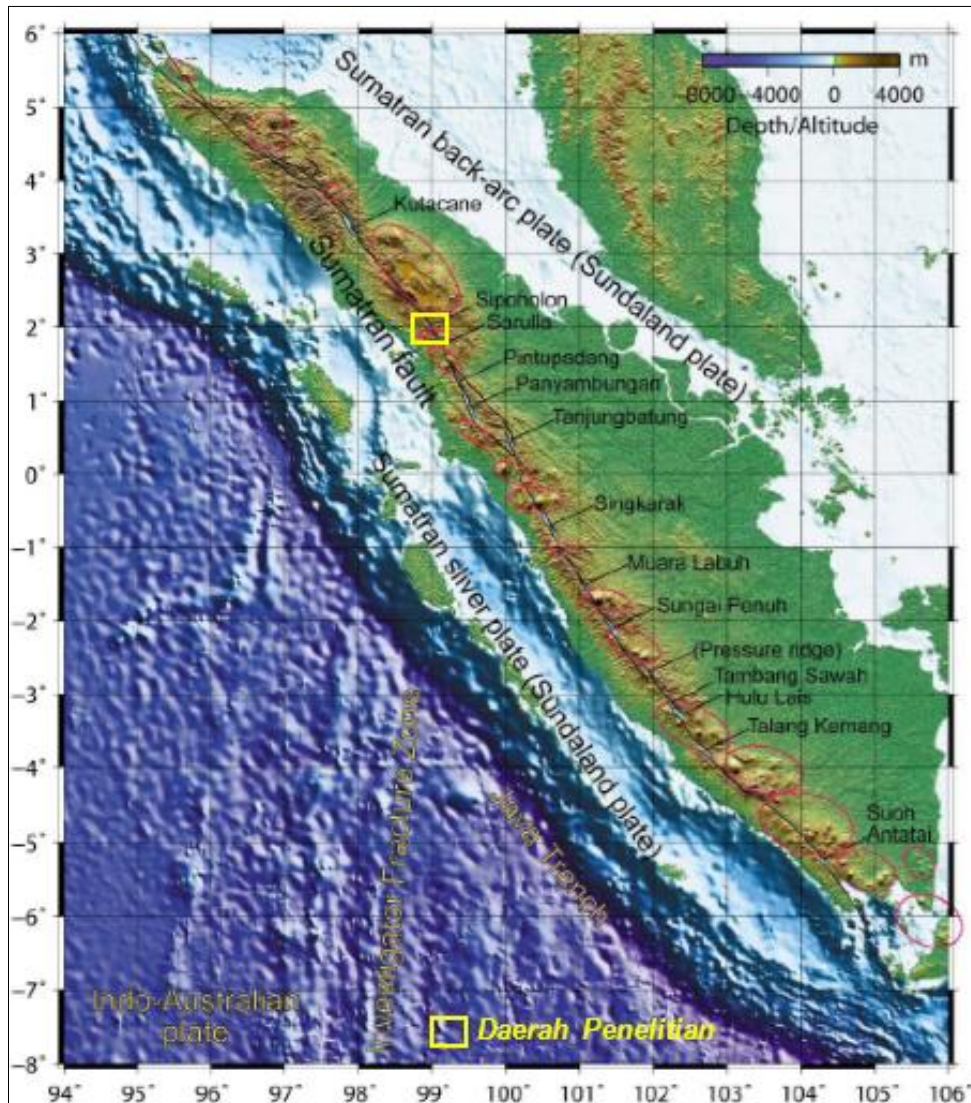
berumur Tersier hingga Kuartar (Anonim, 2005). Batuan vulkanik di daerah penelitian diperkirakan berasal dari lima buah pusat erupsi yang berbeda, yaitu Dolok Martimbang, Dolok Palangka Gading, Gunung Api Tua Toba, Dolok Siborboron dan Dolok Jorbing. Secara umum, jenis batuan vulkanik yang terdapat di daerah Sipoholon terdiri dari aliran lava, kubah lava dan jatuhan piroklastik. Aliran lava memiliki komposisi andesitik, bertekstur pofiritik dan di beberapa tempat telah berubah dan mengalami pelapukan. Sedangkan, keberadaan kubah lava dicirikan oleh tekstur afanitik hingga porfiritik, berkomposisi andesitik serta terdapat vesikuler dapat dijumpai pada Gunung Martimbang yang diduga dapat menjadi salah satu sumber panas pada sistem panas bumi daerah Sipoholon. Sementara itu, jatuhan piroklastik

mendominasi penyebaran litologi daerah penelitian dengan komponen yang terdiri dari fragmen litik, gelas vulkanik dan batu apung.

Pada daerah penelitian dijumpai adanya sintor karbonat dengan dimensi cukup luas yang merupakan hasil endapan dari fluida panas bumi yang membawa larutan karbonat (CaCO_3), sedangkan endapan permukaan yang dijumpai di daerah penelitian berupa alluvial yang tersebar di sepanjang Depresi Tarutung. Struktur geologi daerah Sipoholon berupa kelurusan dan sesar – sesar berarah timurlaut-baratdaya, utara-selatan, barat-timur dan baratlaut-tenggara. Secara umum, sesar berarah baratlaut-tenggara merupakan sesar yang diduga paling berpengaruh terhadap pembentukan zona Depresi Tarutung (Anonim, 2005).



Gambar 1. Diagram alir pembuatan isotermal secara tiga dimensi

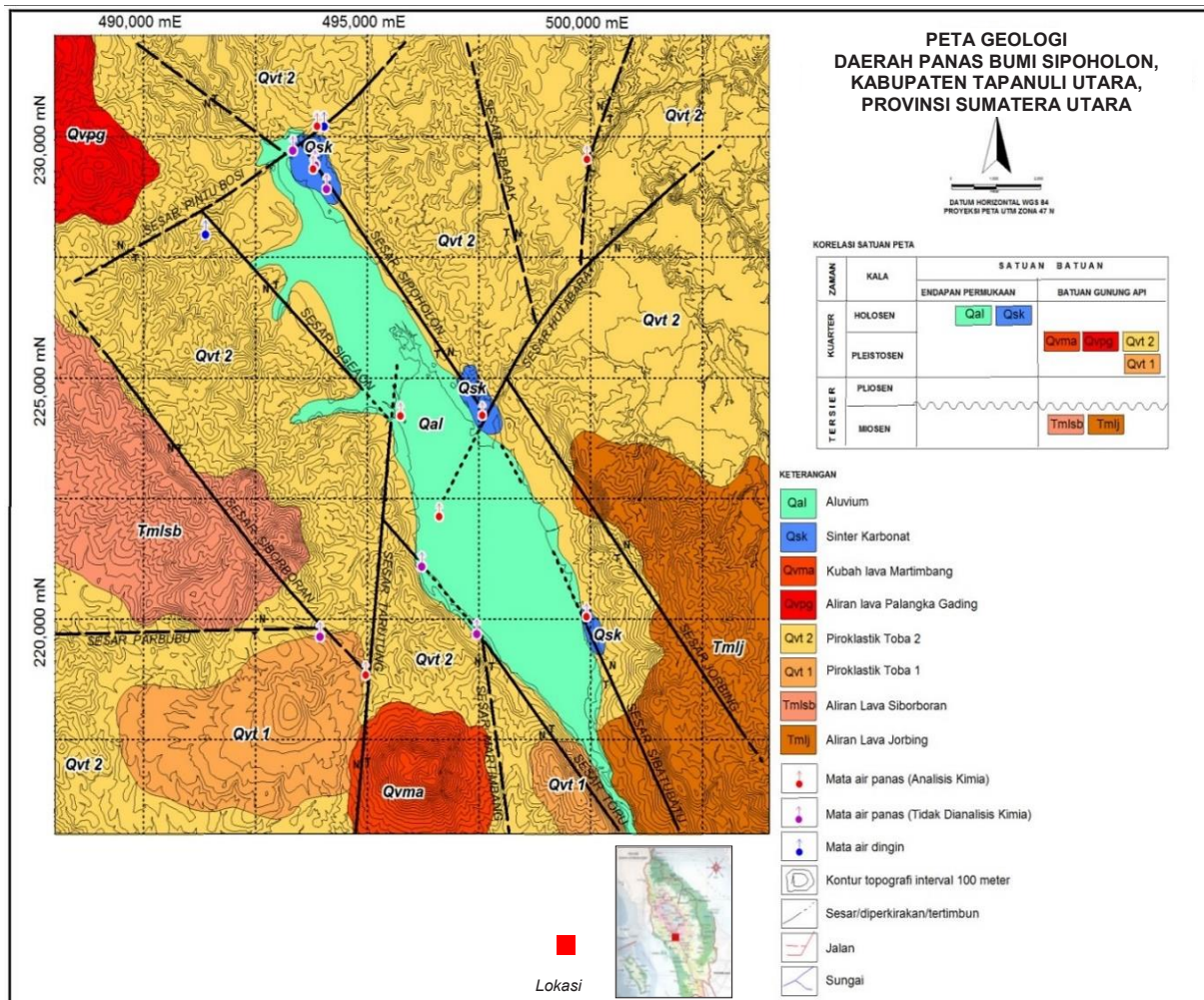


Gambar 2. Peta regional topografi, segmen sesar, *pull a part* basin dan gugusan gunung api sepanjang Sesar Sumatera (Modifikasi dari Muraoka dkk., 2010)

Muksin dkk (2013) menyebutkan bahwa keberadaan Depresi Tarutung di daerah penelitian dikontrol oleh sistem Sesar Sumatera dan busur vulkanik muda. Kehadiran struktur geologi di daerah penelitian diduga sebagai pengontrol terbentuknya manifestasi panas bumi. Secara lengkap, penyebaran batuan dan struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Anonim (2005) menyebutkan bahwa di daerah panas bumi Sipoholon terdapat manifestasi berupa mata air panas dan batuan ubahan yang sebagian besar muncul di sekitar Depresi Tarutung. Selanjutnya, Anonim (2005) menjelaskan

bahwa di daerah penelitian ini terdapat tiga lokasi mata air dingin dan 14 lokasi mata air panas (Anonim, 2005), namun hanya delapan mata air panas yang dianalisis kimia fluida (Tabel 1). Hasil analisis kimia fluida yang direpresentasikan dalam bentuk diagram Cl-SO₄-HCO₃ (Gambar 4), menunjukkan bahwa mata air panas Panabungan dan Hutabarat bertipe air sulfat yang dicirikan oleh kandungan SO₄ yang tinggi. Kehadiran ion sulfat yang cukup dominan kemungkinan diakibatkan oleh oksidasi gas H₂S di dekat permukaan, sehingga mengindikasikan bahwa jenis fluida tersebut terbentuk di bagian paling dangkal pada sistem panas bumi.



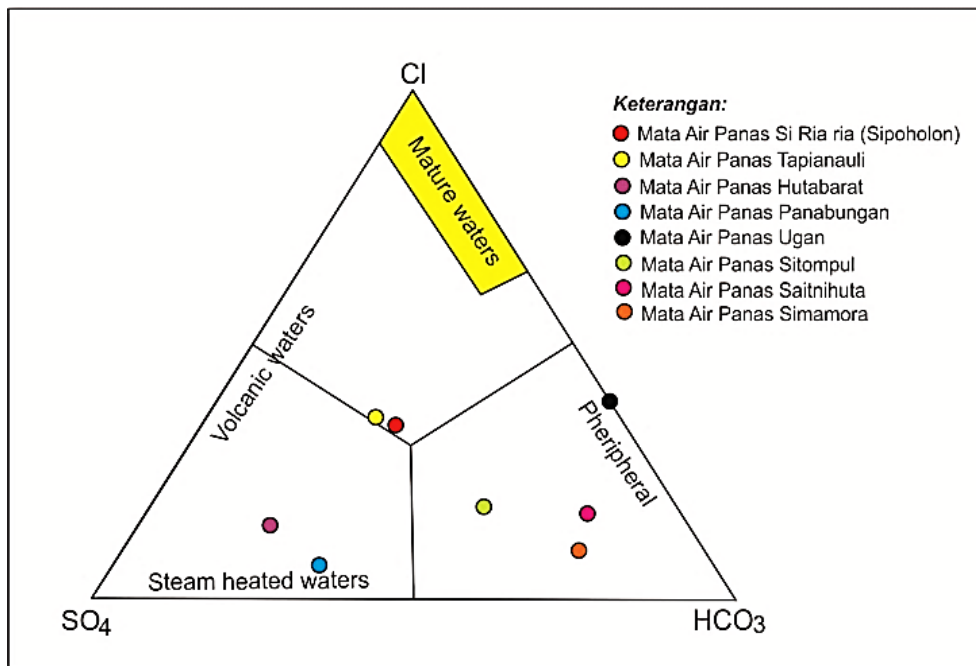
Gambar 3. Peta geologi Daerah Sipoholon (Modifikasi dari Anonim, 2005)

Tabel 1. Karakteristik manifestasi mata air panas dan mata air dingin di Daerah Sipoholon (Modifikasi dari Anonim, 2005 dan Anonim, 2017)

No.	Manifestasi	Kode	Koordinat (UTM)		Elevasi (meter)	T. Udara (°C)	T. Air (°C)	pH	Debit (L/detik)	Daya Hantar Listrik (µS/cm)	T Reservoir (°C)
			X	Y							
Bagian Timur Depresi Tarutung											
1	Si Ria Ria-1 (Sipoholon)	APSRI-1**	493804	229379	990	30	64.2	6.6	25	1785	180
2	Si Ria Ria-2 (Sipoholon)	APSRI-2	493844	229453	1011	35	58.6	6.6	25	1775	-
3	Tapian Nauli	APTPN**	493893	230267	988.06	27	62.5	6.4	0.5	>199.9	180
4	Hutabarat	APHBT**	497584	224269	984	28	50	6.5	13.3	>199.9	180
5	Sait-Nihuta	APSHT**	496628	222182	949.02	27	43.2	6.3	0.05	570	190
6	Sitompul	APSTPL**	499916	220098	967	30	42	6.8	0.33	>199.9	180
7	Panabungan	APPBN**	499928	229580	1086	22	48.7	6.2	>50	1760	190
8	Sibahu	APSB	494102	228964	1010	28	55.1	6.7	0.5	1897	-
9	Lehu	APLH	493348	229757	976.05	33.2	44.7	6.5	300	1325	-
10	Sidari (Air Dingin)	APDSDR	491397	228010	1044.5	27	22.4	5.3	150	371	-
11	Tapian Nauli (Air Dingin)	APDTPN	494047	230254	1002	26	22.2	3.8	>50	>199.9	-
12	Sungai Tapian (Air Dingin)	ADSTPN	493893	230267	987	27	26.3	7.7	>50	153	-
Bagian Barat Depresi Tarutung											
13	Simamora	APSM**	495752	224258	942.5	28	47.4	6.7	0.08	1006	190
14	Air Soda-Perbubu	APSDPBU	496229	221138	950	25	31.1	5.9	>50	323	-
15	Perbubu Tangga	APPTG	497470	219733	975	27	41.3	6.3	45	556	-
16	Ugan	APUGN**	494975	218892	1095	23	39.2	7.2	1	163	190
17	Aek-Nasia	APANS	493964	219678	1094	21	35.3	6.1	6	635	-

Keterangan :

** : Mata Air Panas Yang Dianalisis Kimia Fluida



Gambar 4. Diagram segitiga kandungan Cl, SO₄ dan HCO₃ (Modifikasi dari Anonim, 2005)

Terdapat dua mata air panas di daerah Sipoholon yang merupakan tipe air klorida namun telah mengalami pencampuran dengan air bikarbonat (HCO₃) dan air sulfat (SO₄), yaitu mata air panas Tapian Nauli dan mata air panas Si Ria-Ria atau yang dikenal dengan mata air panas Sipoholon. Sementara itu, mata air panas Sitompul, Saitnihuta, Ugan dan Simamora termasuk dalam tipe air bikarbonat dengan kandungan HCO₃ dominan yang diduga terbentuk akibat pengaruh gas CO₂ sebagai hasil kondensasi gas atau uap ke dalam air tanah atau air permukaan.

Karakteristik mata air panas Sipoholon dan Panabungan yang memiliki komposisi klorida dan sulfat yang cukup tinggi memungkinkan adanya asosiasi kemunculan bualan-bualan gas yang diperkirakan berasal dari aktivitas magmatik yang terbentuk di kedalaman, sehingga diindikasikan merupakan daerah *upflow* pada sistem panas bumi daerah Sipoholon. Keberadaan zona *upflow* di sekitar mata air panas Sipoholon dan Panabungan sekaligus menunjukkan adanya kemungkinan sumber fluida reservoir yang berasal dari kedua mata air panas tersebut.

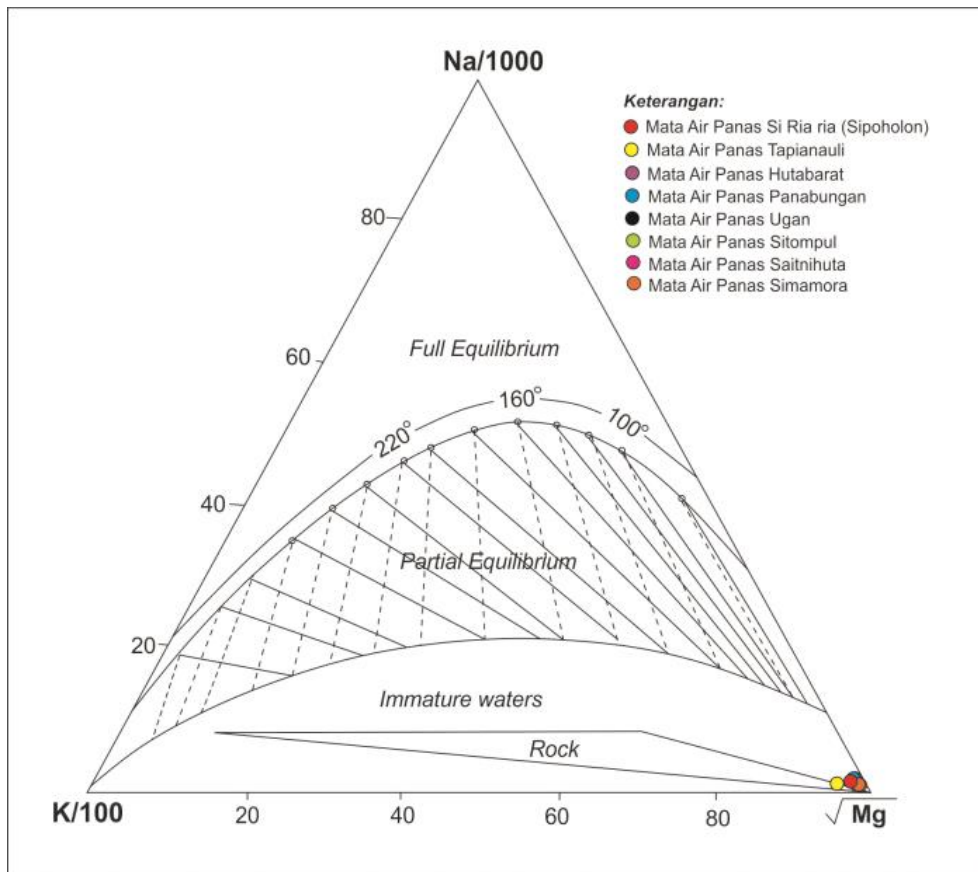
Kehadiran endapan sinter karbonat dengan dimensi yang luas di bagian timur Depresi Tarutung, diduga berasal dari kandungan Ca yang tinggi sebagai akibat pengaruh dari batuan yang bersifat gampingan di bawah permukaan.

Kandungan Mg yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan K dan Na mengakibatkan seluruh air panas berada pada zona *immature waters* (Gambar 5). Hal ini mengindikasikan bahwa mata air panas di daerah penelitian dipengaruhi oleh pencampuran atau kontaminasi dengan air permukaan yang cukup dominan. Pengaruh air permukaan sebenarnya juga terlihat dari tipe air panas di daerah Sipoholon yang didominasi oleh tipe air bikarbonat. Sementara itu, perkiraan temperatur bawah permukaan di daerah Sipoholon dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *mixing model* yang menghasilkan kisaran temperatur antara 180°C s.d. 190°C (Anonim, 2017).

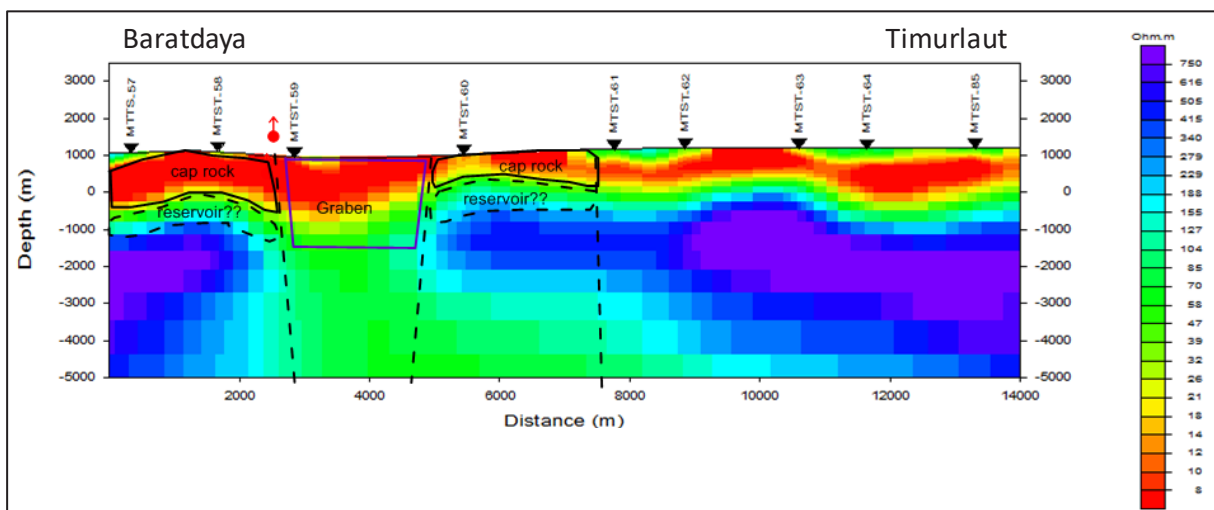
Hasil survei magnetotelurik yang dilakukan oleh Kholid dkk (2010) menyebutkan bahwa terdapat sebaran tahanan jenis rendah di sekitar mata air panas Sipoholon dengan penyebaran ke arah timur (mata air

panas Panabungan), sedangkan Rahadinata (2017) menjelaskan bahwa di daerah Sipoholon, terdapat puncak reservoir dengan kedalaman yang bervariasi dan yang paling dalam muncul pada kedalaman 1.250 m (Gambar 6).

Hal tersebut menunjukkan bahwa pada bagian timur Depresi Tarutung terdapat anomali tahanan jenis yang mengindikasikan keberadaan batuan penudung dan reservoir sekaligus zona prospek pada sistem panas bumi daerah Sipoholon.



Gambar 5. Diagram segitiga kandungan K, Na dan Mg (Modifikasi dari Anonim, 2005)



Gambar 6. Model penampang tahanan jenis magnetotelurik (Rahadinata, 2017)

HASIL DAN ANALISIS

Pembuatan model isothermal pada Lapangan Panas Bumi Sipoholon dilakukan melalui pengolahan data manifestasi panas bumi yang berasal dari delapan mata air panas yang telah dianalisis kimia fluida, yaitu Si Ria-Ria (Sipoholon), Tapian Nauli, Simamora, Hutabarat, Saitnihuta, Sitompul, Ugan dan Panabungan.

Proses pembuatan 3D isothermal diawali dengan penentuan temperatur reservoir berdasarkan data geotermometer yang dilanjutkan dengan penentuan kedalaman reservoir berdasarkan temperatur reservoir dengan menggunakan grafik regresi linear (Gambar 7), seperti yang dikembangkan oleh Hochstein dan Sudarman (2008) (dalam Saputra, M. P. dkk, 2016) melalui formulasi:

$$H_{res} = 8,2T_{res} - 390 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, H_{res} = Kedalaman reservoir (m)
 T_{res} = Temperatur reservoir (°C)

Berdasarkan formulasi tersebut, diperoleh kedalaman reservoir di Lapangan Panas Bumi Sipoholon sekitar 1.168 m, sedangkan data magnetotelurik menjelaskan bahwa puncak reservoir diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 1.250 meter (Rahadinata, 2017). Dengan demikian, diperkirakan kedalaman zona reservoir di daerah Sipoholon sekitar 1.168 m s.d. 1.250 m (Gambar 7). Selanjutnya, kedalaman reservoir tersebut dikonversi dalam bentuk elevasi melalui persamaan berikut ini:

$$Z_{res} = Z_m - H_{res} \dots\dots\dots(2)$$

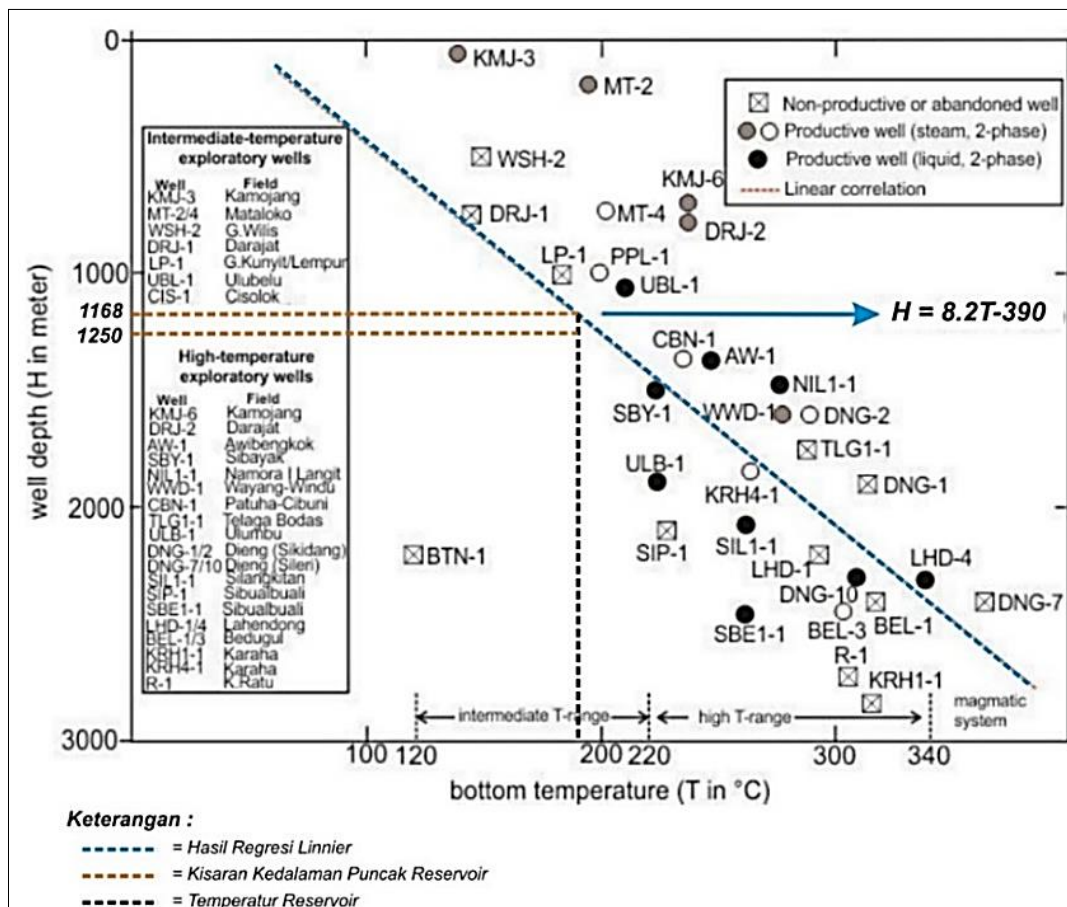
Dimana, Z_{res} = Elevasi puncak reservoir (m)
 H_{res} = Kedalaman reservoir (m)
 Z_m = Elevasi manifestasi permukaan (m)

Setelah nilai elevasi dari puncak reservoir (Z_{res}) diperoleh, maka dilanjutkan dengan perhitungan sebaran temperatur (T) untuk interval kedalaman dari manifestasi permukaan hingga puncak reservoir dengan menggunakan interpolasi linier di bawah ini:

$$T = T_m + \frac{(T_{Res}-T_m)}{(Z_{Res}-Z_m)} (Z - Z_m) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana, T = Temperatur (°C)
 T_m = Temperatur manifestasi permukaan (°C)
 T_{Res} = Temperatur puncak reservoir (°C)
 Z = Elevasi (m)
 Z_m = Elevasi manifestasi permukaan (m)
 Z_{Res} = Elevasi puncak reservoir (m)

Penerapan formulasi untuk menghitung sebaran temperatur di atas reservoir menggunakan asumsi bahwa interval temperatur bersifat konduktif dan didominasi oleh kehadiran lapisan penudung, sehingga gradiennya dianggap linier (Saputra, M.P. dkk, 2016). Hal tersebut sesuai dengan karakteristik daerah penelitian yang sebagian besar terdapat lapisan penudung. Hasil perhitungan untuk model sebaran temperatur bawah permukaan di daerah penelitian terangkum pada Tabel 2.



Gambar 7. Korelasi antara temperatur reservoir dengan kedalaman reservoir (Modifikasi dari Hochstein dan Sudarman (2008) dalam Saputra, M. P. dkk, 2016)

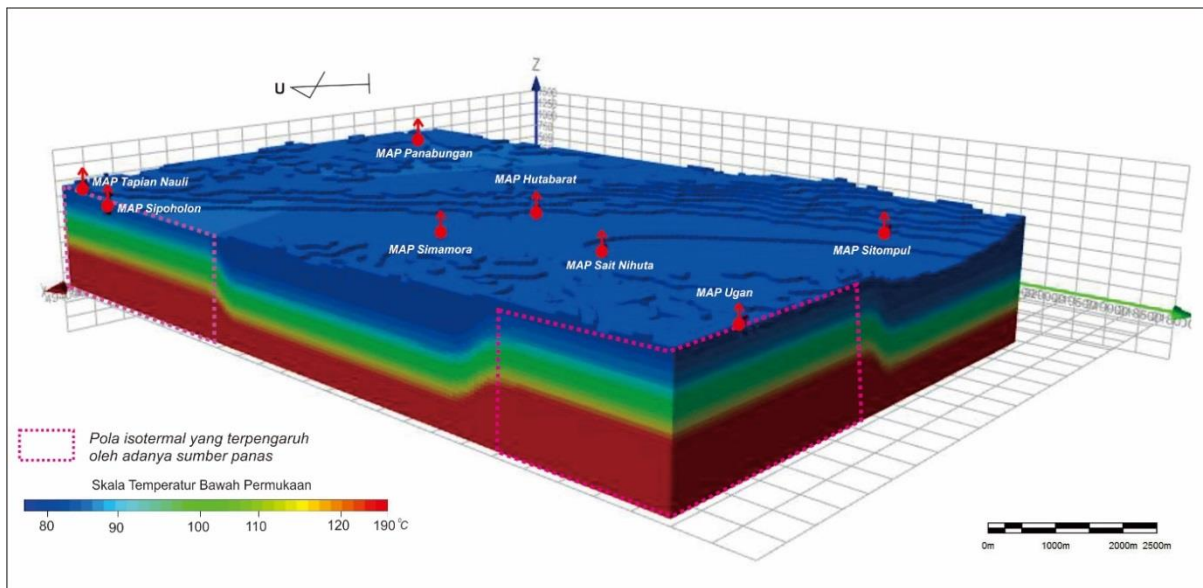
Tabel 2. Perhitungan elevasi dari manifestasi permukaan hingga puncak reservoir

No.	Nama/Lokasi	Kode	Koordinat (UTM)		Tm (°C)	Tres (°C)	Zm (m)	Zres (m)	Hres (m)
			X (m)	Y (m)					
1	Air Panas Si Ria Ria -Sipaholon	APSR-1	493804	229379	64,2	180	990	-96	1086
2	Air Panas Tapian Nauli	APTPN	493893	230267	62,5	180	988	-98	1086
3	Air Panas Simamora	APDSM	495752	224258	47,4	190	942	-226	1168
4	Air Panas Hutabarat	APHBT	497584	224269	50	180	984	-102	1086
5	Air Panas Sait Nihuta	APSHT	496628	222182	43,2	190	949	-219	1168
6	Air Panas Ugan	APUGN	494975	218892	39,2	190	1095	-73	1168
7	Air Panas Sitompul	APSTPL	499916	220098	42	180	967	-119	1086
8	Air Panas Panabungan	APPBN	499928	229580	48,7	190	1086	-82	1168

Seluruh hasil perhitungan elevasi dari manifestasi permukaan hingga puncak reservoir dibuat model 3D isothermal dengan jumlah voxel grid 13 x 24 x 4 dan hanya melibatkan data dari manifestasi permukaan hingga puncak reservoir berdasarkan interpolasi linier.

Hasil pemodelan 3D dari data temperatur bawah permukaan menghasilkan sebaran temperatur pada elevasi tertentu

(Gambar 8), sedangkan keberadaan puncak reservoir yang terdapat di daerah penelitian diperkirakan memiliki pola isothermal seperti yang tampak pada Gambar 9. Anonim (2017) menyebutkan bahwa terdapat sumber panas diantara mata air panas Sipaholon dan Panabungan serta di sekitar mata air panas Ugan yang diduga memberikan pengaruh terhadap geometri pola isothermal di daerah penelitian (Gambar 8).



Gambar 8. Model 3D isothermal daerah penelitian

Hasil pemodelan 3D isothermal (Gambar 9), menunjukkan kisaran temperatur 180°C s.d. 190°C yang merupakan temperatur reservoir, mulai teridentifikasi pada elevasi -73 m di bagian selatan dari daerah penelitian tepatnya di sekitar mata air panas Ugan, sedangkan pada bagian tengah daerah penelitian temperatur reservoir mulai hadir pada elevasi -102 m.

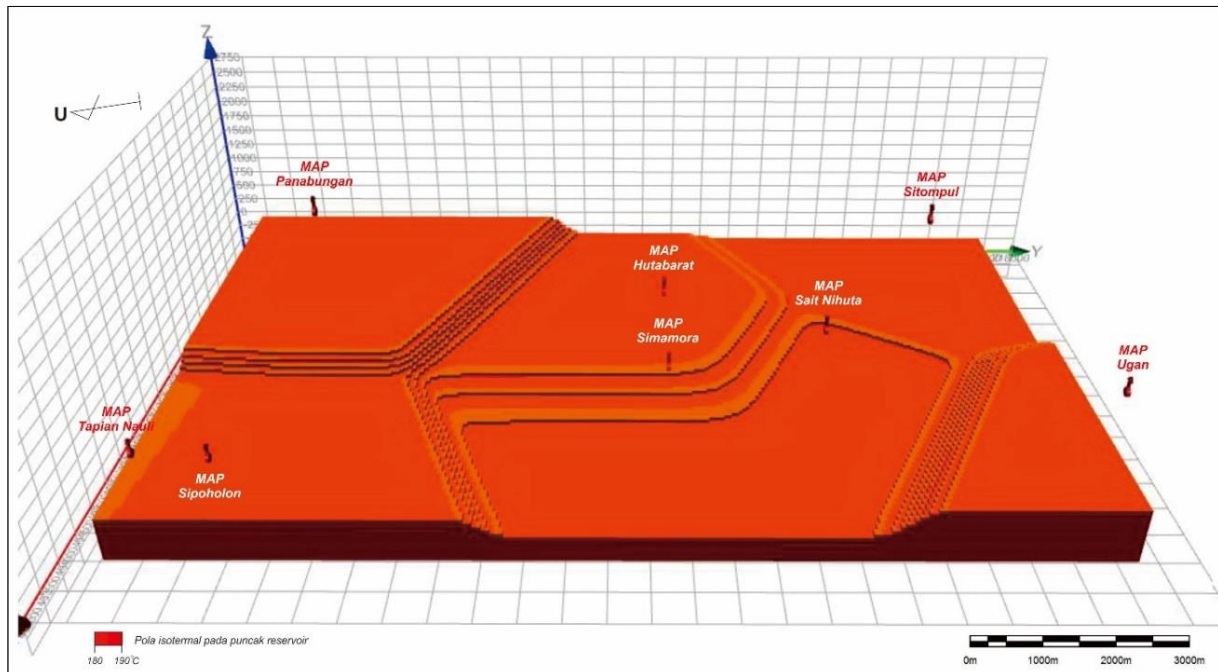
PEMBAHASAN

Keberadaan reservoir di daerah Sipoholon didukung oleh hasil pemodelan data magnetotelurik (Gambar 10) yang memperlihatkan adanya zona konduktif (<10 Ohm.m) yang diduga sebagai lapisan penudung (Rahadinata, 2017). Pada daerah penelitian diantara mata air panas Panabungan dan mata air panas Sipoholon terdapat pola lapisan konduktif yang semakin menebal ke arah bagian barat dari daerah penelitian. Pola zona konduktif tersebut diinterpretasikan sebagai adanya struktur graben yang memanjang dengan arah baratlaut-tenggara yang terisi oleh endapan piroklastik Toba yang cukup tebal terutama di sekitar mata air panas Sipoholon dan Tapian Nauli, sehingga diduga keberadaan puncak reservoir yang terletak di bawah endapan piroklastik Toba menjadi lebih dalam. Hal tersebut sesuai dengan hasil pemodelan 3D isothermal yang

menunjukkan adanya perubahan pola temperatur dari mata air panas Panabungan menuju mata air panas Sipoholon dan Tapian Nauli yang mengindikasikan adanya keberadaan puncak reservoir yang semakin dalam (Gambar 10).

Meskipun pola lapisan konduktif semakin menebal ke arah mata air panas Sipoholon, namun di sebelah barat mata air panas Sipoholon terdapat penipisan lapisan konduktif dengan disertai adanya bentukan pola menyerupai kubah (*doming*) yang diduga sebagai reservoir.

Pola kubah ini diperkirakan terbentuk karena adanya transfer panas dari sumber panas yang berinteraksi dengan fluida di kedalaman, sehingga memperkuat dugaan bahwa terdapat zona *upflow* di sekitar mata air panas Sipoholon. Hal tersebut didukung oleh karakteristik mata air panas Sipoholon yang memiliki komposisi klorida dan sulfat yang cukup tinggi disertai adanya bualan-bualan gas yang diperkirakan berasal dari aktivitas magmatik di kedalaman. Keberadaan pola kubah tidak hanya terdapat di mata air panas Sipoholon, namun dapat dijumpai di sekitar mata air panas Panabungan, seperti yang ditunjukkan oleh data magnetotelurik (Gambar 10).

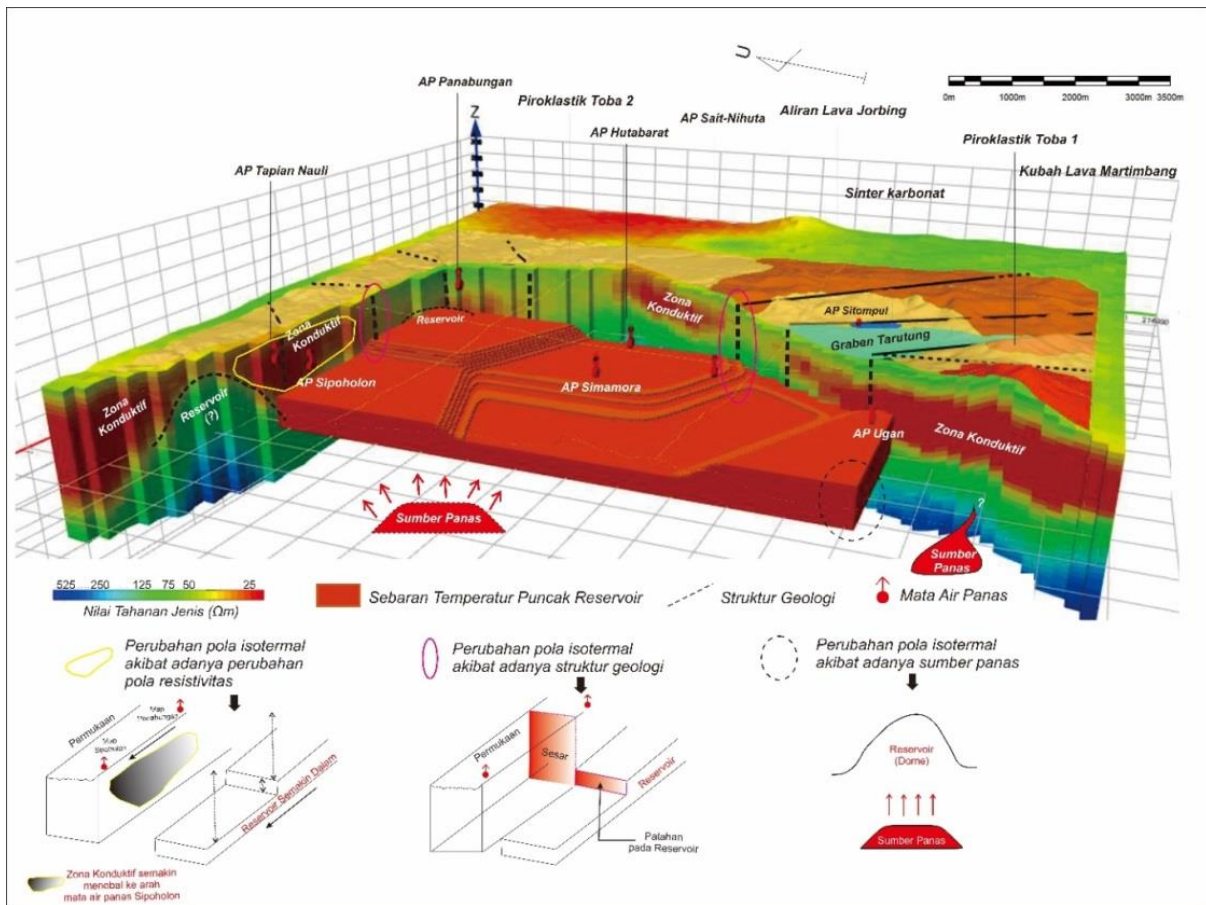


Gambar 9. Model 3D isothermal pada temperatur 180°C s.d. 190°C di daerah penelitian

Sumber panas di daerah penelitian diduga berasal dari dua wilayah, yaitu pada bagian selatan yang diperlihatkan oleh adanya Kubah Lava Martimbang, sedangkan Anonim (2017) menyebutkan bahwa pada bagian utara daerah Sipoholon tampak adanya pola densitas tinggi diantara kemunculan air panas Sipoholon dan Panabungan di kedalaman, namun tidak muncul di permukaan dikarenakan tertutup oleh endapan piroklastik Toba yang cukup tebal, diinterpretasikan bahwa diantara kemunculan air panas Sipoholon dan Panabungan terdapat *magma body* yang diduga merupakan salah satu sumber panas pada sistem panas bumi daerah Sipoholon. Adanya aktivitas magmatik di wilayah utara dan selatan daerah penelitian, diperkirakan memberikan geometri pola isothermal tersendiri yaitu menyerupai bentuk pola kubah, seperti yang tampak di sekitar mata air panas Ugan (Gambar 9). Keberadaan struktur geologi dapat berperan menjadi media bagi terbentuknya sirkulasi fluida untuk masuk mengisi reservoir panas bumi dan keluar ke permukaan sebagai manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Lingkaran

merah muda pada Gambar 10 menunjukkan adanya pola perubahan isothermal secara gradasional, diduga dipengaruhi oleh kehadiran struktur geologi yang secara umum memiliki arah barat-laut-tenggara dan diinterpretasikan merupakan bagian dari Sistem Sesar Sumatera.

Pengaruh aktivitas Sesar Sumatera semakin terlihat jelas pada pemodelan 3D isothermal yang menunjukkan bahwa pada bagian tengah daerah penelitian, puncak reservoir dijumpai pada elevasi yang lebih dalam sebagai akibat terbentuknya Depresi Tarutung. Lebih lanjut, pada Gambar 10 tampak adanya zona-zona konduktif di luar zona reservoir yang mengindikasikan adanya aktivitas hidrotermal. Hal tersebut, ditunjukkan oleh kehadiran batuan ubahan pada daerah penelitian yang berpotensi sebagai batuan penutup pada sistem panas bumi daerah Sipoholon. Namun demikian, mengingat keberadaan manifestasi panas bumi yang digunakan pada pemodelan ini terbatas, maka masih terdapat kemungkinan untuk dilakukan pembaharuan data dan pemodelan lebih lanjut.



Gambar 10. Integrasi data geologi, model 3D isothermal dan data magnetotelurik (Modifikasi dari Anonim, 2005 dan Anonim, 2017)

Pembaharuan data dilakukan sebagai bentuk adanya perubahan data terbaru (*update data*) terkait dengan adanya penambahan data yang digunakan dalam pemodelan 3D isothermal. Dalam hal ini, penambahan data yang diperlukan berupa data manifestasi panas bumi dan data pengeboran. Keberadaan kedua data tersebut sangat penting dan berpengaruh terhadap hasil pemodelan 3D isothermal di daerah penelitian.

Secara umum, hasil pemodelan 3D isothermal menunjukkan bahwa pola isothermal di daerah penelitian dipengaruhi oleh keberadaan sumber panas, struktur geologi, dan pola resistivitas. Model yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan visualisasi yang lebih baik sekaligus untuk mempermudah pemahaman tentang kondisi temperatur bawah permukaan di daerah penelitian.

KESIMPULAN

Hasil pemodelan 3D isothermal pada daerah penelitian dipengaruhi oleh adanya pola resistivitas, kontrol struktur geologi dan aktivitas magmatik. Hal tersebut tampak dari adanya kesesuaian antara hasil pemodelan 3D isothermal dengan pola resistivitas, struktur geologi dan aktivitas magmatik. Keberadaan pola resistivitas dan aktivitas magmatik di daerah penelitian memberikan geometri pola isothermal yang menyerupai bentuk kubah, sedangkan kehadiran struktur geologi berpengaruh terhadap perubahan pola isothermal secara gradasional.

Penggunaan pola isothermal pada daerah penelitian masih belum cukup untuk dapat menentukan daerah yang paling berprospek, sehingga masih perlu didukung oleh data geologi dan geofisika (magnetotelurik).

Hasil pemodelan 3D isothermal dapat memberikan visualisasi yang lebih baik untuk lebih memahami kondisi temperatur bawah permukaan, sehingga diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk memberikan rekomendasi bagi tahapan penyelidikan lebih lanjut, yaitu berupa tahapan pengeboran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Panas Bumi atas izin penggunaan data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Bidang Panas Bumi yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi, khususnya kepada Bapak Yadi Supriyadi yang telah membantu penyempurnaan gambar dalam makalah ini dan tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2005. Penyelidikan Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Sipoholon/Siriaria-Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Anonim, 2017. Penyiapan Data dan Informasi Sumber Daya Geologi untuk Pengusulan Wilayah Kerja Panas Bumi Tahun 2017. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi - Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2018. Modul of Short Term Training Scholarship on Geothermal Energy Project Management For Middle Level Managers. Foreign Affairs and Trade Aid Programme, New Zealand.
- Kholid, M., Zarkasy, A. dan Widodo, S., 2010. Survei Magnetotelurik Daerah Panas Bumi Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Proseding Hasil Kegiatan Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun Anggaran 2010, Buku 1: Bidang Energi. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- McCaffrey, R., 2009. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone, *Annual Review of Earth and Planetary Science.*, Vol. 37, h. 345–366.
- Muksin, U., Haberland, C., Bauer, K., dan Weber, M., 2013. Three-Dimensional Upper Crustal Structure of the Geothermal System in Tarutung (North Sumatra, Indonesia) Revealed by Seismic Attenuation Tomography. *Geophysical Journal International*, Vol. 195, h. 2037-2049. DOI: 10.1093/gji/ggt383
- Muraoka, H., Takahashi, M., Sundhoro, H., Dwipa, S., Soeda, Y., Momita, M., dan Shimada, K. 2010. Geothermal System Constrained by the Sumatran Fault and Its Pull-Apart Basin in Sumatera, Western Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, h. 1-9. Bali, Indonesia, 25 – 29 April 2010.
- Pratama, A.B., Srigutomo, W., dan Suryantini, 2015. 3D Conceptual Modeling Based on Geological Information for Targeting Geothermal Prospect Area in Hidden Geothermal System. *Proceedings Fortieth Woekshop on Geothermal reservoir Engineering*, h.1-12, Standford, California , 26 - 28 Januari 2015.
- Rahadinata, T., 2017. Survei Magnetotelurik (MT) dan *Time Domain Electromagnetic* (TDEM) Daerah Panas Bumi Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi - Badan Geologi, Bandung.

Saputra, M.P., Suryantini, Catigtig, D., Regandara, R., Asnin, S.N., dan Pratama, A.B., 2016. Geological, Isothermal and Isobaric 3-D Model Construction in Early Stage of Geothermal Exploration. *IOP Conference Series and Environmental Science 42 012009*. DOI : 10.1088/1755-1315/42/1/012009.

Sieh, K., dan Natawidjaya, D.H., 2000, Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, Vol.105, No. B12, h. 28,295-28,326, December 10, 2000.

Diterima	: 27 Februari 2019
Direvisi	: 8 Maret 2019
Disetujui	: 24 Mei 2019

**GEOKIMIA BIJIH DAN KONSENTRAT DARI CEBAKAN TEMBAGA-EMAS PORFIRI
GRASBERG, TEMBAGAPURA****ORE AND CONCENTRATE GEOCHEMISTRY OF GRASBERG PORPHYRY
COPPER-GOLD DEPOSIT, TEMBAGAPURA****Ernowo, Bambang Pardiarto, dan Dwi Nugroho Sunuhadi**

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

ernowo.1972@esdm.go.id

ABSTRAK

Cebakan porfiri merupakan salah satu tipe cebakan hidrotermal yang proses pembentukannya berkaitan dengan intrusi porfiritik dengan kontrol struktur geologi yang dominan. Mineralisasi utama terjadi pada zona ubahan potasik berupa mineral-mineral sulfida yang terendapkan secara tersebar atau dalam urat-urat *stockwork* dan breksi hidrotermal dengan Cu sebagai kandungan logam paling dominan. Selain Cu, Au, Mo dan Ag yang sudah umum diekstrak, cebakan tipe porfiri juga mengandung unsur-unsur ikutan yang dapat bernilai ekonomis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur logam dalam bijih dan konsentrat bijih dari cebakan porfiri Cu-Au Grasberg dengan tujuan mengetahui jenis unsur-unsur ikutan lainnya yang berpotensi untuk dimanfaatkan karena bernilai ekonomis.

Metode analisis kimia AAS, ICP-OES, XRF, kolorimetri, spektrofotometri, turbidimetri, volumetri dilakukan terhadap 12 conto bijih terdiri dari masing-masing 3 conto dari jenis bijih MGO, HGO, SGO dan CLO, 11 conto konsentrat serta 1 conto *tailing*. Spektrofotometri UV-Vis dilakukan terhadap 2 conto konsentrat untuk mengetahui kandungan U dan Th.

Kadar Cu, Au dan Ag terkait dengan kandungan mineral-mineral sulfida di dalam bijih dan sudah terbukti ekonomis. Kadar Te dan Se di dalam bijih masing-masing 2,7 ppm dan 6,4 ppm. Di dalam konsentrat bijih, kadar kedua unsur tersebut meningkat menjadi 16 ppm Te dan 174 ppm Se. Data peneliti lain menunjukkan kandungan *platinum group elements* (PGE) yaitu Pd dan Pt di dalam konsentrat bijih masing-masing 1700 ppb dan 650 ppb. Data tersebut menunjukkan unsur-unsur ikutan Te, Se, Pt dan Pd dari cebakan porfiri Cu-Au Grasberg bisa diambil dari lumpur anoda sebagai produk ikutan dari proses pemurnian bijih tembaga.

Kata kunci: Porfiri, Grasberg, konsentrat, PGE, selenium, telurium

ABSTRACT

Porphyry ore deposit is a hydrothermal deposit type which related to porphyritic intrusion and dominantly controlled by geological structures. The main mineralization occurs in potassic alteration zones as disseminated sulphide minerals or in stockwork veins and hydrothermal breccias with Cu as the dominant metal. In addition to Cu, Au, Mo and Ag which are commonly extracted, porphyry type deposits also contain critical elements which have economic value known as by-product. This study was conducted to determine the critical elements contain in ore and ore concentrate from Grasberg porphyry Cu-Au deposit in order to find which elements potentially have an economic value.

Chemical analysis methods of AAS, ICP-OES, XRF, colorimetry, spectrophotometry, turbidimetry, volumetry were carried out on 12 ore samples of each 3 samples of ore types MGO, HGO, SGO and CLO, 11 concentrate samples and 1 tailing sample. To determine the grade of U and Th, 2 concentrate samples were analyzed using UV-Vis spectrophotometry.

The grade of Cu, Au and Ag is related to the content of sulfide minerals inside the ore which economically proven. The grades of Te and Se from the ore are 2.7 ppm and 6.4 ppm, respectively. In the ore concentrate these elements are enriched to 16 ppm Te and 174 ppm. Another data shown the platinum group elements (PGE) of Pd and Pt content in ore concentrates are 1700 ppb and 650 ppb, respectively. These values indicate that Te, Se, Pt and Pd from Grasberg Cu-Au porphyry deposit can be recovered from anode slime as by-product during the refinery process of copper ore.

Keywords: Porphyry, Grasberg, concentrate, PGE, selenium, telurium

PENDAHULUAN

Cebakan bijih tipe porfiri terbentuk berasosiasi dengan intrusi porfiritik felsik – *intermediate* dengan kontrol struktur geologi yang dominan (Lowell, 1968; Kirkham, 1972; Sillitoe, 1973; Tittley and Beane, 1981; Seedorff dr., 2005). Sistem cebakan porfiri pada zona penunjaman berkaitan dengan batuan intrusi monsonit kuarsa, granodiorit, dan diorit yang pada umumnya memiliki afinitas magma kalk-alkalin, meskipun ada sedikit cebakan yang berasosiasi dengan afinitas magma *high K-calcalkaline* dan alkalin (Cooke dr., 2005).

Mineralisasi dibawa oleh kompleks batuan terobosan multifase (Cooke dr., 2014) yang mengendapkan mineral-mineral sulfida pembawa unsur tembaga (Cu), molibdenum (Mo), emas (Au) dan unsur-unsur ikutan lainnya secara tersebar akibat proses penggantian mineral penyusun batuan samping maupun dalam urat-urat *stockwork* dan breksi hidrotermal (Lowell dan Gilbert, 1970; 1990; Seedorff dr., 2005).

Cebakan porfiri paling banyak ditemukan yang mengandung Cu sebagai komoditas utamanya (porfiri Cu-Au). Bijih Cu kadar tinggi pada umumnya terkonsentrasi pada urat-urat *stockwork* yang berada dekat pusat kompleks batuan terobosan (Tittley, 1990). Beberapa cebakan tipe porfiri memiliki kadar Au sampai 1 ppm yang menjadi kandungan sekunder dari bijih porfiri Cu-Au dengan beberapa zona ubahan berdasarkan kehadiran satu atau kombinasi beberapa mineral yaitu potasik, sodik-kalsik, filik, klorit-serisit, argilik, dan propilitik (Ridley, 2013).

Zona potasik sebagai inti terbentuk mengawali evolusi cebakan porfiri dengan komposisi mineral-mineral ubahan berupa kuarsa, K-felspar dan biotit merupakan pembawa mineralisasi utama (Garwin, 2002; Ridley, 2013; Cooke dr., 2014) dengan urat-urat yang mengelilingi pusat batuan intrusi dengan pola radial dan/atau konsentrik di sekeliling pusat intrusi (Cannell dr., 2005; Heidrick dan Tittley, 1982).

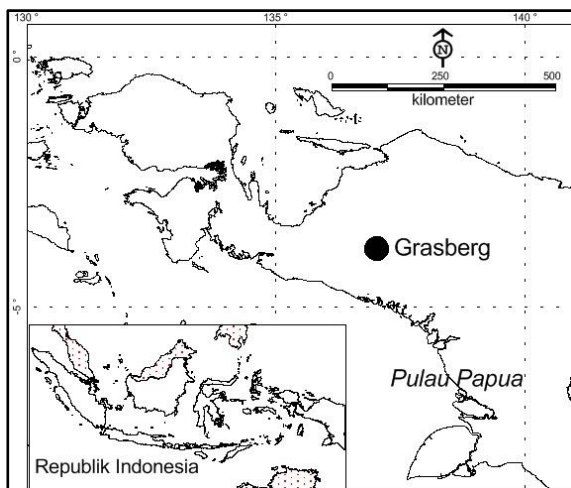
Cebakan tipe porfiri menghasilkan Cu dan Mo masing-masing sekitar 65% dan 95% dari produksi dunia, serta jumlah signifikan dari Au dengan produk ikutan berupa perak (Ag) dan rhenium (Re) (Sinclair, 2007; Sillitoe, 2010; Ridley, 2013).

Perkembangan teknologi saat ini membawa industri penambangan untuk tidak hanya mengambil bahan-bahan tambang utama seperti tembaga, emas, besi, timbal, seng, nikel, timah dan sejenisnya, namun juga komoditas lain yang disebut sebagai "*minor metals*" yang merupakan unsur-unsur ikutan dari sebuah cebakan mineral.

Cebakan tipe porfiri juga mengandung unsur-unsur ikutan bernilai ekonomis berupa arsenik (As), bismuth (Bi), galena (Pb), indium (In), seng (Zn), selenium (Se), telurium (Te), paladium (Pd) dan platinum (Pt) (Watterson dr., 1977; Tarkian dan Stribrny 1999; Economou-Eliopoulos dan Eliopoulos 2000; Ayres dr., 2002; Sinclair 2007; Jowett dr., 2013; McLemore, 2018). Dalam kadar kecil juga dijumpai timah (Sn), wolfram (W), thorium (T) uranium (U) dan Logam Tanah Jarang (LTJ) dalam cebakan tipe porfiri (Melfos dan Voudouris, 2012; John dan Taylor, 2016; McLemore, 2018).

Unsur-unsur logam tersebut mendukung dalam pengembangan teknologi modern dan dapat dikatakan sangat mendesak (*critical*) diperlukan. Keberadaan logam ikutan tersebut dapat diperhitungkan di dalam produk setengah jadi seperti konsentrat.

Penelitian dilakukan di tambang Grasberg yang merupakan cebakan Cu-Au porfiri di Tembagapura, Kabupaten Mimika, Papua dan dikelola oleh PT Freeport Indonesia. (PT FI) (Gambar 1). Tujuannya untuk mengetahui pengayaan unsur-unsur logam dalam bijih maupun konsentrat tembaga dan kandungan unsur-unsur ikutan dari proses pemurnian tembaga yang kemungkinan memiliki nilai ekonomis.



Gambar 1. Peta lokasi Grasberg, Tembagapura

GEOLOGI, MINERALISASI, DAN PENAMBANGAN CEBAKAN TEMBAGA-EMAS PORFIRI GRASBERG

Cebakan Cu-Au porfiri Grasberg di Tembagapura, Papua, Indonesia ditemukan pada tahun 1988 dan mulai ditambang pada tahun 1989. Grasberg merupakan salah satu cebakan bijih paling kaya di dunia yang mengandung lebih dari 2 milyar ton bijih dengan kandungan 1% tembaga dan 1 ppm emas, berada di dalam Komplek Intrusi Grasberg yang menerobos batuan silisik klastik dari Formasi Kambelangan berumur Kapur dan Grup Batugamping Papua Nugini berumur Tersier

(Dow dr., 1988; MacDonald dan Arnold, 1994). Komplek Intrusi Grasberg terdiri atas tiga tubuh konsentris yang terbentuk dalam lingkungan subvolkanik yang kemungkinan berhubungan dengan vulkanisme maar (Gambar 2). Batuan paling dominan di dalam Kompleks Intrusi Grasberg adalah diatrema Dalam dengan komposisi batuan vulkanik dan intrusif Dalam yang terbreksikan dan mengalami ubahan dalam beberapa tahap yang diterobos oleh urutan batuan diorit sampai monzodiorit yaitu diorit Dalam, intrusi utama Grasberg dan intrusi Kali (MacDonald dan Arnold, 1994; Pennington dan Kavalieris, 1997; Pollard dan Taylor, 2002). Diorit Dalam berukuran halus dan merupakan fase akhir dari intrusi Dalam. Intrusi utama Grasberg merupakan batuan monzodiorit porfiri berukuran butir sedang-kasar. Intrusi Kali dibedakan menjadi 3 tipe yaitu: yang paling dominan retas Kali I dengan tekstur porfiritik berukuran halus dengan 40-40% berupa fenokris yang mengandung plagioklas, amfibol, biotit, klinopiroksen, magnetit dan sedikit kuarsa; retas Kali II yang muncul dalam skala meter, tekstur *seriate* sampai porfiritik lemah, ukuran butir sedang, 10 sampai 15% komposisi batuan terdiri dari amfibole, biotit dan magnetit; retas Kali III berupa granit aplitik dalam skala sentimeter – desimeter yang memotong retas Kali I dan Kali II (Pollard dan Taylor, 2002). Kompleks intrusi tersebut menerobos Formasi Kais dari Grup Batugamping Papua Nugini.

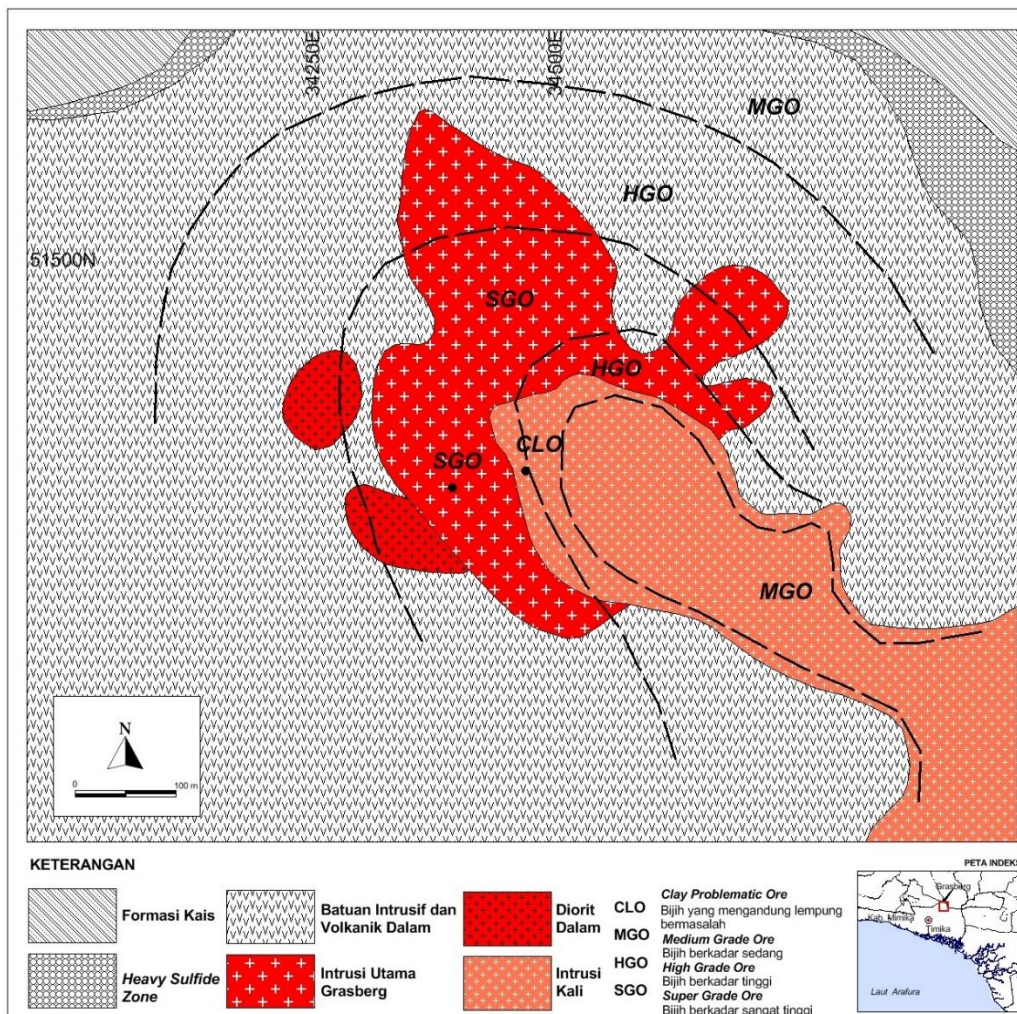
Semua tipe ubahan hidrotermal seperti halnya yang umum terdapat pada cebakan tipe porfiri di dunia meliputi potasik, propilitik, pilik dan argilik muncul pada masing-masing fase batuan terobosan di Grasberg.

Mineralisasi Cu-Au-Ag di Grasberg merupakan hasil dari tiga fase utama yang saling terpisah (MacDonald dan Arnold, 1994). Fase mineralisasi pertama terkait dengan diatrema Dalam yang menghasilkan mineralisasi Cu-Au tipe tersebar yang kuat, dengan zona *stockwork* yang kurang berkembang dengan kadar rata-rata Cu dan Au masing-masing 1,2% dan 0,4 ppm). Fase mineralisasi kedua mengikuti

terbentuknya intrusi utama Grasberg. Pada intrusi utama Grasberg ini terbentuk zona urat-urat *stockwork* kuarsa-magnetit-sulfida yang menempati 10% sampai 70% volume batuan. Kandungan Cu dan Au pada zona ini masing-masing bisa mencapai 2,5% dan 5,5 ppm. Fase mineralisasi ketiga terkait dengan retas-retas Kali. Pada fase paling lemah ini menghasilkan rata-rata 1% Cu dan 1 ppm Au. Kisaran umur minimum dari batuan intrusi diindikasikan dari sejumlah penarikan radioaktif K-Ar yang memberikan kisaran 0,6 juta tahun dengan pusat pada 3 juta tahun yang lalu kemungkinan mencerminkan periode mineralisasi paling muda (McDowell drr., 1994; MacDonald and Arnold, 1994).

Heavy Sulfide Zone merupakan zona masif yang kaya akan pirit berukuran halus

mengelilingi Kompleks Intrusi Grasberg. Pirit mengganti batuan intrusi yang mengalami ubahan karbonat dan silisifikasi, serisitisasi, feldspatisasi dan magnetit. Penamaan *Heavy Sulfide Zone* ini oleh Ahli Geologi yang melakukan eksplorasi, dimana pemboran pada zona itu memberikan inti bor yang berat (MacDonald and Arnold, 1994). Berdasarkan kadar Cu, Au dan Ag yang diekuivalenkan ke dalam kadar Cu, bijih di Grasberg dikelompokkan dalam empat kelas yaitu *Clay Problematic Ore* (CLO), merupakan bijih yang mengandung gangue mineral serisit diatas 10% dan pirit lebih dari 5%, *Medium Grade Ore* (MGO), *High Grade Ore* (HGO), dan *Super Grade Ore* (SGO) (Tabel 1; Gambar 2).



Gambar 2. Peta geologi daerah kompleks batuan terobosan Grasberg (modifikasi dari Pollard drr., 2005 dan PT FI Geology GeoEngineering Division, 2018)

Bijih hasil penambangan terbuka maupun bawah tanah Grasberg diangkut ke pabrik pengolahan untuk dihancurkan menjadi material berukuran pasir sangat halus. Material bijih tersebut kemudian diapungkan (*flotation*) menggunakan *reagent* berupa bahan yang berbasis alkohol dan kapur untuk memisahkan konsentrat yang mengandung mineral-mineral berharga dari pasir sangat halus yang dianggap tidak memiliki nilai ekonomi (*tailing*).

Tabel 1. Pembagian bijih di Grasberg berdasarkan kadar ekuivalen tembaga (EqCu) (PT FI Geology GeoEngineering Division, 2018)

Kategori	Kadar
CLO	EqCu \geq 0,25
MGO	0,25 \leq EqCu < 1
HGO	1 \leq EqCu < 2,5
SGO	EqCu \geq 2,5

Konsentrat tembaga hasil proses flotasi dari Tembapapura, oleh PT FI ada yang diekspor langsung dan ada yang dikirim ke pabrik pemurnian PT Smelting di Gresik. Pemurnian dilakukan melalui proses *pyrometallurgy* dan *electrolytic refinery* sehingga menghasilkan beberapa produk diantaranya *copper cathode* dan *anode slime* (lumpur anoda). Dalam lumpur anoda inilah unsur-unsur selain Cu yang merupakan unsur ikutan terkonsentrasi.

METODOLOGI

Sebanyak 12 conto bijih terdiri dari masing-masing 3 conto CLO, MGO, HGO dan SGO yang sudah dihancurkan menjadi pasir halus diambil dari *grinding ore process* di Tembapapura. Demikian juga sebanyak 11 conto konsentrat dan 1 conto *tailing* diambil dari hasil proses flotasi.

Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi terhadap semua conto dengan beberapa metode meliputi :

- AAS untuk analisis unsur Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Mn, Ag, Li, Fe, Bi, Ca, Cd, Mg, Cr, Au, Al.

- kolorimetri untuk analisis unsur V, Sb, Sn, As.
- ICP-OES untuk analisis unsur Sc, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Y, Er, Tm, Yb, Lu
- XRF untuk analisis unsur Se, Rb, Nb, Mo, Te, Ta, W
- spektrofotometri untuk analisis SiO₂, Ti, F
- turbidimetri untuk unsur S
- valometri untuk unsur Cl

Analisis kandungan unsur radioaktif U dan Th di Laboratorium Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional terhadap 2 conto konsentrat bijih dengan metode Spektrofotometri UV-Vis.

HASIL DAN ANALISIS

Karakteristik megaskopis masing-masing jenis bijih dari Grasberg diwakili oleh contoh-conto pada Gambar 3. Conto MGO diambil dari Intrusi Kali bagian selatan berupa diorit berwarna abu-abu yang memiliki tekstur porfiritik dan mengalami ubahan potasik menyebar. Komposisi mineral yang menyusun MGO adalah potasium (K)-feldspar, plagioklas dan kuarsa, dengan klorit setempat-setempat mengganti biotit-hornblenda. Kuarsa-anhidrit mengisi urat *stockwork*. Mineralisasi pada MGO terdiri dari pirit (\pm 2%), kalkopirit (1-2%), bornit dan kovelit (\pm 0,5%) (Gambar 3.a).

Conto HGO merupakan bagian dari Intrusi Utama Grasberg yang berupa batuan diorit berwarna abu-abu gelap, dengan tekstur porfiritik dan mengalami ubahan potasik menyebar. Komposisi mineral utamanya adalah K-feldspar, plagioklas, kuarsa, biotit, hornblenda dengan kuarsa-anhidrit-gypsum mengisi urat *stockwork*. Mineralisasi pada HGO berupa kalkopirit (4% s.d. 5%), bornit dan kovelit (2% s.d. 3%) serta pirit (<1%) baik mengisi urat maupun tersebar pada batuan (Gambar 3.b).

Conto SGO juga diambil dari diorit Intrusi Utama Grasberg yang berwarna abu-abu muda dan mengalami ubahan potasik menyebar. Mineral penyusun conto SGO terdiri dari K-feldspar, plagioklas, kuarsa, biotit dan hornblenda dengan mineralisasi

berupa kalkopirit (6% s.d. 7%), bornit-kovelit (3% s.d. 5%) serta pirit (<0,5%) yang mengisi urat maupun tersebar pada batuan (Gambar 3c).

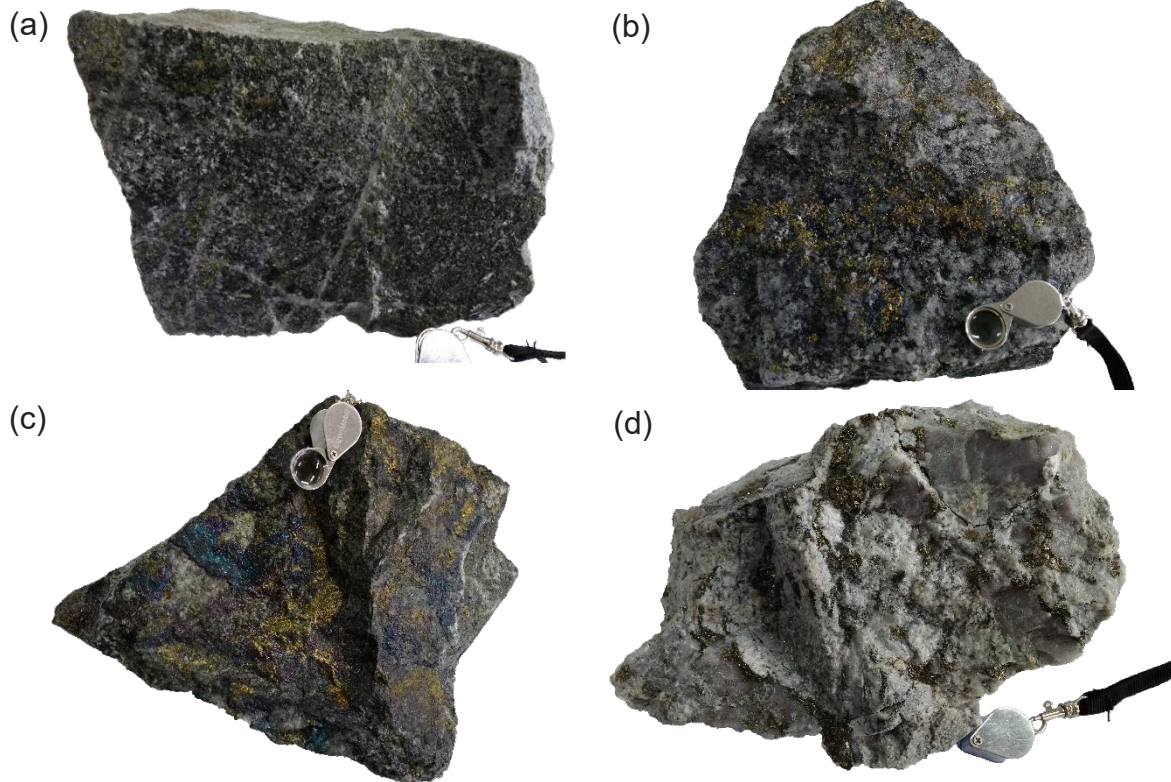
Pada semua jenis bijih dijumpai adanya CLO yang mengandung serisit lebih dari 10%. Contoh CLO dan diambil dari diorit Intrusi Kali bagian selatan, berwarna abu-abu yang mengalami ubahan seritisisasi *overprint* (menimpas) ubahan potasik. Komposisi mineral terdiri dari serisit, anhidrit dan gipsum baik sebagai masa dasar maupun urat, biotit sekunder dan feldspar. Mineralisasi didominasi oleh pirit ($\pm 7\%$), kalkopirit (2% s.d. 3%) dan bornit ($\pm 0,5\%$) (Gambar 3.d).

Sebagai unsur bijih utama, kadar Cu pada CLO berkisar antara 0,8% sampai 2,94% serta di dalam MGO, HGO dan SGO masing masing 0,24% s.d. 0,46%, 0,37% s.d. 0,52% dan 1,16% s.d. 2,46%. Sementara itu unsur yang merupakan produk samping dari bijih

tembaga yaitu Au menunjukkan hasil analisis yang variatif dalam CLO yaitu 0,85 ppm sampai kadar yang sangat tinggi 4,77 ppm dan kadar yang relatif seragam pada masing-masing tipe bijih MGO, HGO dan SGO yaitu 0,36 ppm s.d. 0,53 ppm, 0,57 ppm s.d. 0,79 ppm dan 2,21 ppm s.d. 3,31 ppm. Demikian pula kadar Ag dalam CLO, MGO, HGO, dan SGO masing-masing adalah 6 ppm s.d. 9 ppm, 3,2 ppm s.d. 3,8 ppm, 3,5 ppm s.d. 3,8 ppm dan 5,6 ppm s.d. 9,1 ppm.

Molibdenum pada bijih memiliki kadar 5,33 ppm s.d. 47,17 ppm dalam CLO, 5 ppm s.d. 13,73 ppm dalam MGO, 4,06 ppm s.d. 8,57 ppm pada HGO, dan 30,81 ppm s.d. 56,89 ppm pada SGO.

Kandungan unsur radioaktif dan unsur ikutan lain yang terkandung di dalam bijih terangkum dalam hasil analisis kimia yang ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Contoh jenis bijih dari cebakan tembaga-emas porfiri Grasberg berupa (a) MGO, (b) HGO, (c) SGO) dan (d) CLO

Tabel 2. Hasil analisis kimia conto bijih dari Grasberg

No. Conto	MGO_1	MGO_2	MGO_3	HGO_1	HGO_2	HGO_3	SGO_1	SGO_2	SGO_3	CLO_1	CLO_2	CLO_3
Cu (ppm)	3313	4643	2437	3745	5296	4995	24600	14800	11600	8013	9475	29400
Au (ppm)	0,536	0,409	0,364	0,785	0,578	0,797	2,918	3,111	2,214	1,433	0,855	4,776
Ag (ppm)	3,5	3,8	3,2	3,8	3,7	3,5	9,1	7,1	5,6	6,0	6,7	9,0
Pb (ppm)	25	39	40	37	26	22	30	22	20	33	75	27
Zn (ppm)	137	152	123	96	66	59	53	50	55	124	265	70
Co (ppm)	24	24	25	25	24	20	15	21	24	28	60	65
Ni (ppm)	10	11	5	13	13	9	36	11	7	21	18	17
Mn (ppm)	334	600	521	319	248	114	276	244	109	661	178	358
Li (ppm)	3	3	3	3	2	3	3	4	3	4	2	2
Fe (%)	2,90	2,92	3,20	4,64	5,51	4,77	1,52	4,61	4,40	4,69	7,72	14,36
Bi (ppm)	34	30	28	28	24	24	24	28	26	28	29	28
Ca (ppm)	34200	36000	30500	25400	19200	26300	25900	34800	28200	18100	5195	5157
Cd (ppm)	6	6	6	6	6	5	4	6	6	5	6	6
Mg (ppm)	6099	6131	5552	2614	4452	5019	4222	7377	7517	4657	3200	3866
Cr (ppm)	229	283	302	205	611	420	484	451	488	545	778	775
Al (%)	7,97	7,58	7,89	7,94	6,65	6,91	7,21	7,69	10,40	5,91	5,04	3,95
Ti (%)	0,22	0,28	0,24	0,25	0,22	0,20	0,26	0,29	0,18	0,20	0,19	0,14
SiO (%)	56,43	56,05	61,69	58,17	61,21	61,02	60,29	57,37	51,18	64,2	55,69	48,92
V (ppm)	20	30	30	50	150	40	100	80	70	80	40	40
Sb (ppm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sn (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
As (ppm)	bdl	4	bdl	bdl	bdl	4	40	bdl	bdl	4	bdl	bdl
Sc (ppm)	4,23	4,13	4,83	5,50	4,06	4,30	4,76	6,50	6,89	3,85	3,04	3,01
Zr (ppm)	30,29	13,05	18,53	9,27	3,74	6,38	1,25	2,79	3,73	48,44	14,21	10,61
Rb (ppm)	77,18	79,43	83,25	99,37	85,29	85,72	96,20	112,30	108,20	78,09	94,35	83,89
Nb (ppm)	5,87	6,44	6,66	6,23	3,79	4,88	5,70	6,30	6,50	4,21	3,52	2,63
Mo (ppm)	13,73	5,37	5,00	4,06	8,57	4,81	56,89	40,05	30,81	5,33	15,50	47,17
Te (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	2,59	bdl	1,50	1,30	bdl	bdl	5,45
Ta (ppm)	2,98	7,32	4,10	2,81	5,00	4,89	33,00	19,90	17,30	11,69	16,95	44,05
W (ppm)	10,75	11,16	7,15	12,77	14,33	11,55	17,55	14,73	11,71	14,81	21,58	30,53
Se (ppm)	2,68	2,40	bdl	1,90	4,36	4,40	9,60	8,60	7,30	4,70	8,22	16,17
S (%)	2,59	2,59	0,79	0,16	0,16	1,18	3,78	1,73	1,72	0,16	9,22	13,90
Cl (%)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
La (ppm)	22,66	20,22	20,78	12,92	8,51	11,13	14,46	13,80	13,79	14,51	6,51	6,00
Ce (ppm)	45,57	44,52	38,55	28,07	22,37	25,06	33,78	27,06	30,78	29,07	15,63	15,27
Pr (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Nd (ppm)	16,31	13,83	13,27	8,29	4,89	7,05	11,42	7,52	9,40	7,98	4,15	0,64
Sm (ppm)	8,94	8,18	7,79	8,03	5,32	7,16	7,51	7,97	7,35	8,00	6,19	6,56
Eu (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Gd (ppm)	6,86	6,94	6,39	6,96	7,90	7,02	4,38	7,46	7,90	7,65	9,86	13,32
Tb (ppm)	1,67	2,16	1,76	2,93	2,70	2,66	1,36	1,68	2,23	2,30	2,34	4,11
Dy (ppm)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
Ho (ppm)	1,62	1,17	0,92	1,19	1,02	1,18	1,37	1,69	0,93	1,05	1,17	1,05
Y (ppm)	9,77	10,60	9,25	8,94	4,85	5,58	7,52	8,07	9,76	5,96	2,61	1,61
Er (ppm)	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Tm (ppm)	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Yb (ppm)	0,06	0,10	0,17	0,21	0,03	0,02	bdl	0,17	0,41	0,16	bdl	0,12
Lu (ppm)	9,51	4,72	5,55	3,73	1,65	3,73	bdl	bdl	2,73	0,77	6,45	4,54

bdl = dibawah ambang anali na = tidak dianalisis

Lantanum (La) dan Cerium (Ce) merupakan dua unsur yang memiliki kandungan paling tinggi dibanding unsur-unsur Logam Tanah Jarang (LTJ) lainnya (Tabel 3).

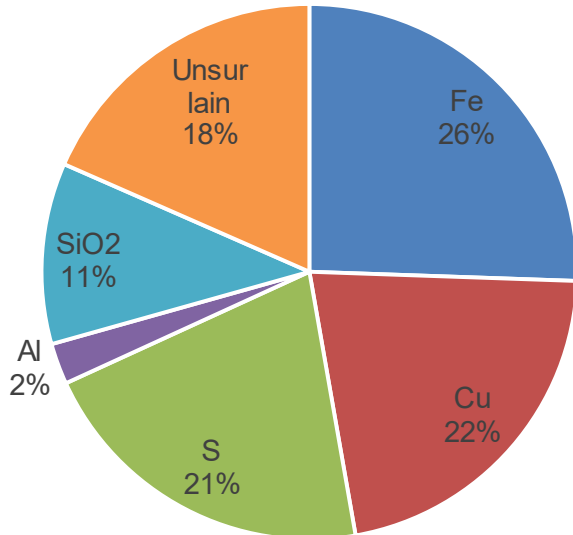
Tabel 3. Kandungan La dan Ce dalam bijih (ppm)

Unsur	CLO	MGO	HGO	SGO
La	6 – 14,51	20,22 – 22,66	8,51 – 12,92	13,79 – 14,46
Ce	15,27 – 29,07	38,55 – 45,57	22,37 – 28,07	27,06 – 33,78

Besi (Fe) merupakan kandungan terbesar di dalam konsentrat bijih dengan kadar rata-rata 26%. Kandungan lainnya terdiri dari 22% Cu, 21% sulfur (S), 11% silika (SiO₂), dan 2% alumina (Al). Sebanyak 18% sisanya terdiri dari unsur-unsur produk samping yaitu 11 ppm Au dan 66 ppm Ag serta unsur-unsur ikutan lainnya (Gambar 4).

Konsentrat bijih memiliki kadar rata-rata 0,12% Mo, 157 ppm As, 128 ppm Bi,

23 ppm Cd, 110 ppm Co, 39 ppm Ni, 931 ppm Pb, 0,37% Zn, 4 ppm Sb, 174 ppm Se, 16 ppm Te, dan 145 ppm W.



Gambar 4. Diagram sebaran kandungan unsur-unsur dalam konsentrat bijih dari Grasberg, Tembagapura

Ce, Pr dan Gd memiliki kadar rata-rata paling tinggi dibanding LTJ lainnya di dalam konsentrat bijih yaitu masing-masing 24 ppm, 29 ppm dan 37 ppm. LTJ lainnya memiliki kadar rata-rata \leq 20 ppm. Analisis kandungan unsur radioaktif dengan metode Spektrofotometri UV-Vis menunjukkan kandungan Th pada contoh konsentrat bijih nomer 04C dan 05C masing-masing 284,25 ppm dan 99,32 ppm. Uranium tidak terdeteksi di dalam pengukuran ini.

Komposisi *tailing* didominasi oleh 56,88% SiO₂, dengan kadar Cu, Au, Ag masing-masing 0,02%, 0,23 ppm dan 16,5 ppm. La dan Ce memiliki kadar paling tinggi diantara LTJ lainnya di dalam *tailing* masing-masing 25,07 ppm dan 42,47 ppm. Kandungan LTJ lainnya berkisar antara 6 ppm sampai 28 ppm.

Hasil analisis kimia konsentrat bijih dan *tailing* selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 4.

PEMBAHASAN

Kadar Cu, Au dan Ag menunjukkan *trend* yang meningkat dari MGO-HGO-SGO (Gambar 5). Kadar Cu di dalam bijih ditentukan oleh kandungan mineral-mineral sulfida-Cu seperti kalkopirit (CuFeS₂), bornit (Cu₅FeS₄), kalkosit (Cu₂S), dan kovelit (CuS). Demikian juga dengan kandungan Au dan Ag berasosiasi dengan mineral-mineral sulfida tersebut (Simon drr., 2000; Kesler drr., 2002; Gregory drr., 2013).

Kadar rata-rata Cu, Au dan Ag meningkat dari MGO-HGO-SGO (Gambar 5.a) sesuai deskripsi contoh tipe bijih yang mencerminkan kandungan mineral-mineral sulfida. Berbeda dengan CLO, meskipun memiliki kadar kandungan Cu, Au dan Ag yang tinggi, namun dipisahkan berdasar kandungan mineral lempung (>10%) dan pirit (>5%) yang memberikan kesulitan tersendiri di dalam proses flotasi menjadi konsentrat bijih.

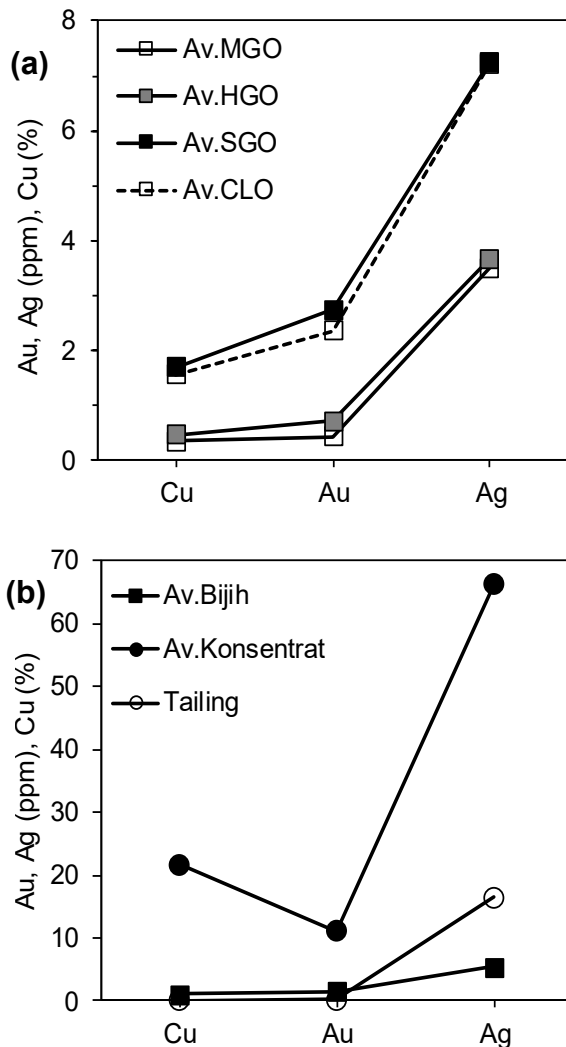
Pengolahan bijih melalui proses *flotasi* yang menghasilkan konsentrat meningkatkan kadar (pengayaan) tembaga 21,6 kali (dari rata-rata kadar bijih 1% menjadi 21,6% pada konsentrat), emas 9,5 kali (1,5 ppm menjadi 11,1 ppm) dan perak 60 kali (5 ppm menjadi 66 ppm) (Gambar 5b).

Hasil dari proses flotasi terhadap bijih tembaga porfiri hampir selalu diikuti oleh kandungan unsur-unsur pengotor di dalam konsentrat bijihnya. Kandungan unsur-unsur tertentu yang melebihi ambang yang ditetapkan bisa mengakibatkan denda yang akan mengurangi harga jual konsentrat. Sehingga proses flotasi tidak selalu memberikan peningkatan kadar dari unsur-unsur ikutan yang ada. Karena produk utamanya tembaga-emas-perak, maka unsur-unsur ikutan lain terutama yang dianggap sebagai pengotor seperti As, Sb, Bi, Cl, Pb, Zn, Ni, Co, Al, Mg, F, Hg dan Cd diupayakan untuk dibuang kandungannya ke dalam material *tailing*.

Tabel 4. Hasil analisis kimia conto konsentrat dan *tailing* dari Grasberg

No. Conto	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_10	K_11	Tailing
Cu (ppm)	189000	204400	248100	221400	197800	246300	189300	183400	275000	194000	237000	202
Pb (ppm)	1200	1190	90	625	1190	900	1260	1170	640	1160	815	54
Zn (ppm)	4080	4240	3730	2205	4200	2850	4020	3690	2355	7400	2760	200
Co (ppm)	131	123	104	110	110	85	106	112	104	123	104	19
Ni (ppm)	94	44	35	33	36	29	35	33	32	29	32	22
Mn (ppm)	403	398	345	227	394	253	364	340	229	318	229	621
Ag (ppm)	66,0	58,8	77,7	64,2	63,6	72,0	75,2	52,8	69,8	58,1	69,8	16,5
Li (ppm)	1	1	1	bdl	1	bdl	1	1	bdl	1	1	3
Fe (%)	24,03	24,1	25,67	27,3	25,53	27,75	25,76	23,88	26,7	24,81	25,51	3,38
Bi (ppm)	197	143	128	103	136	105	124	125	107	132	112	68
Ca (ppm)	1644	1429	1904	1708	1350	1571	1614	1416	1479	1335	1577	1297
Cd (ppm)	23	32	24	18	23	21	23	22	19	23	21	6
Mg (ppm)	4146	4114	2880	2534	4089	3273	4172	4042	2811	3959	3332	14900
Cr (ppm)	9	3	3	bdl	5	2	6	3	4	10	1	138
Au (ppm)	6,14	10,35	20,25	7,98	8,8	7,998	12,17	9,86	14,06	12,26	12,4	0,23
Al (%)	2,83	2,84	1,90	2,03	2,82	1,99	2,82	3,06	2,29	2,81	1,91	12,04
Ti (%)	0,20	0,20	0,20	0,18	0,18	0,17	0,18	0,26	0,20	0,22	0,20	0,30
SiO (%)	0,90	0,00	0,00	0,00	2,71	64,71	2,11	0,00	42,33	7,14	0,44	56,88
V (ppm)	20	20	20	20	20	20	30	20	20	20	20	80
Sb (ppm)	7	5	2	2	6	4	4	7	1	6	3	2
Sn (ppm)	120	bdl	bdl	30	70	20	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
As (ppm)	175,14	177,02	116,69	144,09	213,21	148,54	180,98	179,38	98,35	211,08	86,86	12,48
Sc (ppm)	15,88	15,39	16,18	15,67	15,42	15,93	15,16	15,40	15,93	15,66	15,99	17,40
Zr (ppm)	18	17	17	17	18	17	18	18	17	17	17	20
Rb (ppm)	39,60	38,12	24,96	30,28	38,16	27,10	38,94	39,43	26,14	39,02	25,84	112,26
Nb (ppm)	2,58	2,33	2,82	2,58	3,23	2,36	2,33	4,09	2,94	3,81	2,15	5,72
Mo (ppm)	1794,33	1751,05	699,76	689,45	1767,51	737,00	1768,01	1795,04	587,88	1824,37	635,32	10,62
Te (ppm)	23,98	6,96	13,55	7,93	14,78	37,38	4,51	11,95	9,20	25,21	19,86	bdl
Ta (ppm)	520,44	487,96	700,32	593,27	490,37	676,23	492,42	487,79	679,13	513,91	687,06	2,84
W (ppm)	143,62	153,44	156,64	142,25	141,34	158,89	125,86	119,67	152,90	146,46	157,13	17,15
Se (ppm)	170,31	161,20	193,67	176,33	164,49	164,97	167,92	179,88	186,85	167,84	181,94	bdl
S (%)	20,96	19,93	19,42	21,26	21,61	18,56	22,11	23,22	20,77	21,51	20,84	1,85
Cl (%)	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl	bdl
U (ppm)	na	na	bdl	bdl	na	na	na	na	na	na	na	na
Th (ppm)	na	na	284,25	99,32	na	na	na	na	na	na	na	na
La (ppm)	13,92	13,82	19,22	14,78	14,08	12,47	14,80	15,42	12,18	13,72	12,74	25,07
Ce (ppm)	21,02	24,97	33,12	26,60	23,44	18,68	23,66	24,75	20,45	21,64	20,51	42,47
Pr (ppm)	30,30	3,00	32,73	29,47	31,52	31,44	30,18	29,11	31,12	33,78	32,67	21,09
Nd (ppm)	19,61	19,88	24,43	20,16	22,00	17,30	19,61	20,66	18,42	20,38	19,50	28,30
Sm (ppm)	12,13	16,68	13,12	12,56	12,51	12,48	11,56	13,74	11,74	12,39	10,92	14,79
Eu (ppm)	19,34	19,29	19,22	19,07	19,25	19,06	18,95	19,21	19,02	19,19	19,00	19,66
Gd (ppm)	36,71	33,63	36,88	38,68	36,05	37,29	34,36	35,87	37,64	38,09	38,42	15,12
Tb (ppm)	17,21	16,58	17,36	15,92	16,68	16,46	16,36	15,66	16,82	16,62	16,40	13,26
Dy (ppm)	11,17	11,01	11,01	11,49	11,32	11,04	10,87	11,65	11,15	11,56	11,38	13,01
Ho (ppm)	13,62	13,47	12,88	13,38	14,15	13,09	13,09	13,02	12,93	13,08	13,57	12,96
Y (ppm)	11,88	11,66	11,90	11,40	11,45	11,08	11,57	11,56	11,21	11,76	12,13	18,53
Er (ppm)	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Tm (ppm)	9,69	9,48	9,17	9,50	9,72	9,46	9,85	9,36	9,27	9,56	9,79	8,94
Yb (ppm)	12,17	11,78	11,87	12,01	11,91	11,94	11,75	11,87	11,92	11,95	12,05	11,00
Lu (ppm)	20,18	10,51	15,85	12,14	16,18	10,29	8,36	11,93	12,29	12,33	10,32	6,02

bdl = dibawah ambang analisis *na* = tidak dianalisis



Gambar 5. Perbandingan kadar Cu, Au, dan Ag. (a) Dalam masing-masing tipe bijih, (b) dalam bijih, konsentrat dan *tailing*

Kadar unsur-unsur pengotor yang tinggi akan memberikan permasalahan terhadap lingkungan dan kesehatan. Selain itu denda atau penolakan dari konsumen (pabrik pemurnian/*smelter*) karena akan menambah biaya pengelolaan limbah, biaya modal pabrik pemurnian, biaya operasi keseluruhan, dan mengurangi kualitas katoda-Cu yang pada akhirnya akan mempengaruhi pendapatan.

Kandungan unsur-unsur pengotor dari konsentrat Grasberg masih di bawah batas kandungan unsur pengotor untuk *smelter* baik di Jepang maupun di Tiongkok (Tabel 5). Demikian juga dengan kadar alumina (Al), kadar 2% dari konsentrat Grasberg masih dibawah kadar maksimal pengotor sebesar 3% (Pardiarto, 2007).

Unsur-unsur radioaktif seperti uranium (U) dan thorium (Th) juga dianggap sebagai pengotor dan memberikan kesulitan di dalam pengelolaannya.

Dari 2 contoh konsentrat bijih yang dianalisis kandungan radioaktifnya, U tidak terdeteksi kadarnya, namun memiliki kandungan 99,32 ppm dan 284,25 ppm Th. Kadar Th dalam konsentrat bijih Grasberg tersebut jauh lebih kecil dibanding kadar dari bijih yang ditambang di Arax'a, Brazil yaitu 0,10% Th pada intrusi alkalin (Jordan dr., 2015).

Tabel 5. Kadar maksimal kandungan pengotor konsentrat untuk *smelter* di Jepang dan Cina (Fountain, 2013) dan kandungan unsur pengotor dari Grasberg

Unsur	Kadar maksimal		Rata-rata Grasberg (%)
	Jepang	Cina	
As	0,2 %	0,5 %	0,0157
Sb	0,1 %	-	0,0004
Bi	0,05 %	-	0,0128
Cl	0,05 %	-	Tidak terdeteksi
Pb	1 %	6 %	0,0931
Zn	3 %	-	0,3775
Ni+Co	0,5 %	-	0,0149
Al ₂ O ₃ + MgO	5 %	-	Tidak dianalisis
F	330 ppm	0,1 %	Tidak dianalisis
Hg	10 ppm	0,01 %	Tidak dianalisis
Cd	-	0,05 %	0,0022

Kadar Mo rata-rata pada bijih adalah 19,7 ppm. Proses flotasi mengakibatkan pengayaan kadar Mo pada konsentrat menjadi 0,1%, sementara *tailing* masih mengandung 10,6 ppm Mo. Kadar ini belum ekonomis, dimana kadar pada bijih atau bahkan pada konsentrat yang sudah mengalami pengayaan masih di bawah kadar tipe bijih yang ekonomis yaitu 0,3% (Ridley, 2013).

Hasil analisis kimia terhadap bijih dan konsentrat bijih menunjukkan kandungan Li masing-masing 2,9 ppm dan 1 ppm. Hal ini menunjukkan adanya pengurangan kadar Li akibat flotasi bijih dan terbuang ke *tailing* yang memiliki kadar 3 ppm. Kadar tersebut masih di bawah rata-rata kadar Li batuan beku 28 ppm s.d. 30 ppm dan pada batuan sedimen 53 ppm s.d. 60 ppm (Evans, 2014; Kunasz, 2006). Penambangan Li sebagian besar diambil dari *brines* dengan kadar Li_2O di atas 0,01% (Anonim, 2016). Penambangan Li dari batuan pegmatit salah satunya di Greenbushes, Australia memiliki kadar rata-rata Li_2O di atas 2% (Ingham drr, 2012). Kadar Li dari bijih penambangan Grasberg tersebut masih sangat jauh di bawah kadar ekonomis penambangan Li dari pegmatit.

Kadar V rata-rata pada bijih adalah 61 ppm dan di dalam konsentrat 21 ppm. Hal tersebut menunjukkan terjadi pembuangan V dalam proses flotasi dan terbawa ke dalam *tailing* yang memiliki kadar 80 ppm. Di dalam bijih porfiri keberadaan V tidak ekonomis karena pada umumnya merupakan *by-* atau *co-product* dari *vanadium-bearing slag* hasil pemrosesan besi atau uranium yang bisa mengandung 10-25% *vanadium pentoxide* (V_2O_5).

Contoh bijih dan konsentrat dari Grasberg masing-masing memiliki rata-rata kadar Sc sebesar 4,6 ppm dan 16 ppm. Kadar tersebut sangat rendah dibandingkan dengan kadar bijih dari produsen Sc terbesar di dunia (90%) Bayan Obo, Cina, Sc merupakan *by-product* LTJ dan terkandung dalam mineral aegirine dengan rata-rata kadar 210 ppm (Zhao, 1987).

Hasil analisis kimia terhadap bijih dan konsentrat menunjukkan kandungan Rb masing-masing 90 ppm dan 33 ppm. Kadar tersebut masih sangat rendah jika dibandingkan dengan kadar Rb yang sudah di produksi dari batuan pegmatit di *Pakeagama Lake* yang memiliki kadar berkisar antara 0,97% s.d. 1,2% di dalam K-feldspars (Butterman dan Reese Jr, 2003).

Bijih dan konsentrat masing-masing memiliki rata-rata kadar Nb sebesar 5,2 ppm dan 2,8 ppm. Proses flotasi menurunkan kadar Nb dalam konsentrat dan terbuang ke dalam *tailing* yang mengandung 5,7 ppm Nb. Ta pada bijih dan konsentrat bijih masing-masing memiliki rata-rata kadar Ta sebesar 14 ppm dan 575 ppm. Kadar Nb dan Ta tersebut masih dibawah kadar signifikan cebakan porfiri-Mo pada granit alkali yang mengandung 0,1% Nb_2O_5 dan 0,1% Ta_2O_5 (Long, 1992; Anonim, 2011).

Te dan Se merupakan unsur ikutan yang berpotensi memiliki nilai ekonomis di dalam konsentrat tembaga. Kadar Te rata-rata dari bijih dan konsentrat bijih masing-masing 2,7 ppm dan 16 ppm. Kadar dalam bijih tersebut masih dalam kisaran tipe kadar Te sebagai produk samping dalam cebakan tipe porfiri 1 ppm s.d. 10 ppm (John dan Taylor, 2016). Te pada umumnya diambil dari anoda *slime* yang memiliki kadar Te maksimum 5%. (Tomakchieva, 2002; Weerts, 2002; Goldfarb drr., 2017).

Kadar Se rata-rata pada bijih sebesar 6,4 ppm lebih tinggi dari kadar rata-rata pada batuan beku (0,05 ppm), batupasir (0 – 0,5 ppm), serpih (0 – 0,6 ppm), batugamping (0,08 ppm) dan soil (0,2 ppm) (Wang drr, 2016). Namun demikian kadar tersebut masih lebih rendah dari kadar kandungan Se yang diproduksi yaitu di atas 10 ppm (Wang drr, 2016). Proses konsentrasi telah meningkatkan kadar Se menjadi 174 ppm atau sekitar 27 kali dari kadar pada bijih. Seperti halnya Te, Se diproduksi dari lumpur anoda dalam pemurnian bijih tembaga (Butterman and Brown, 2004; George, 2012). Lumpur anoda ini rata-rata memiliki kadar sekitar 7 wt% Se, dan ada yang

mencapai 40% Se (Weerts, 2002; Moats drr., 2007; Goldfarb drr., 2017). Sumber utama produksi Te dan Se di dunia adalah dari produk samping proses pemurnian bijih tembaga tipe porfiri (Goldfarb drr., 2017).

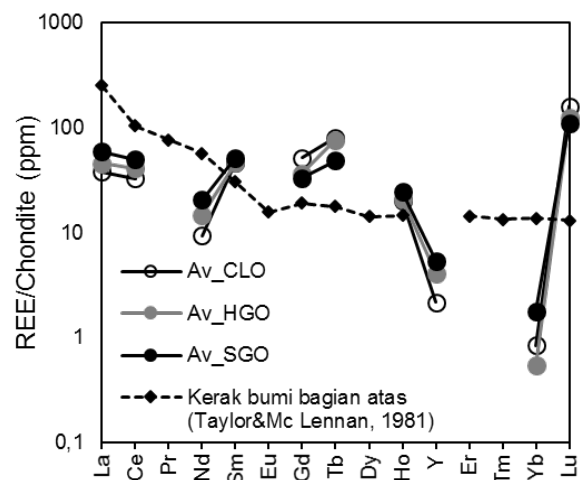
Dalam kajian ini tidak dilakukan analisis kimia terhadap kandungan unsur-unsur kelompok platina (PGE). Hutabarat (2017) menyebutkan konsentrat tembaga yang diambil dari Grasberg, Papua memiliki kandungan paladium (Pd) dan platinum (Pt) masing-masing 1700 ppb dan 650 ppb. Kandungan PGE tersebut lebih tinggi dibanding kompilasi dari konsentrat hasil proses flotasi beberapa cebakan tembaga porfiri di dunia yaitu 16 ppb - 760 ppb Pd dan Pt berkisar antara 8 ppb sampai 570 ppb (Tarkian drr., 1999), atau bahkan lebih tinggi dibanding konsentrat dari cebakan porfiri Cu-Au (Pd-Pt-Te) Skouries, Yunani yang memiliki kandungan rata-rata 1625 ppb Pd dan 33 ppb Pt (McFall drr, 2018). Cebakan porfiri-Cu yang kaya akan Au merupakan target yang menjanjikan untuk mencari Pd and Pt (John dan Taylor, 2016).

Diagram log dari hasil normalisasi kadar LTJ dari bijih Grasberg terhadap *chondrite* (McDonough dan Sun, 1995) menunjukkan pola yang berbeda dengan kandungan LTJ dari kerak bumi bagian atas (Taylor dan McLennan, 1981) (Gambar 6). Pola umum diagram log kadar LTJ pada batuan adalah menunjukkan pengayaan *Light Rare Earth Element* (LREE; La-Sm) dan berkurangnya *Heavy Rare Earth Element* (HREE; Gd-Yb). Pola diagram log yang berbeda tersebut menunjukkan adanya suatu "anomali" kandungan LTJ pada bijih, namun nilai kadarnya masih jauh sangat rendah untuk dikatakan ekonomis.

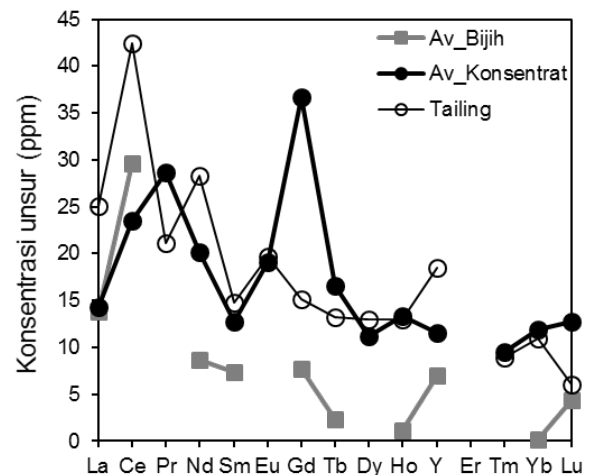
Proses flotasi secara umum mengakibatkan pengkayaan unsur LTJ pada konsentrat, kecuali Ce. Kadar La, Ce, Nd dan Y di dalam *tailing* lebih besar dibanding di dalam konsentrat, yang menunjukkan terbuangnya unsur-unsur tersebut akibat proses flotasi (Gambar 7).

Kadar pada bijih dan konsentrat tembaga Grasberg menunjukkan beberapa mineral

ikutian yang berpotensi untuk diambil dan memiliki nilai ekonomis selain Cu, Au dan Ag. Unsur-unsur ikutan berupa Se, Te, Pd dan Pt berpotensi untuk diambil sebagai unsur ikutan yang memiliki nilai ekonomis dari lumpur anoda. Hal ini didukung oleh hasil analisis kandungan lumpur anoda dari sisa pemurnian konsentrat Grasberg di PT Smelting (Saleh, 2012) yang mengandung 1% Au, 3,8% Ag, 2,7% Bi, 75 ppm Pd, 0,0015% Pt, 0,21% Te, 6,52% Se dan 55% Pb dan 7% komponen logam lain.



Gambar 6. Perbandingan kadar unsur LTJ beberapa contoh bijih dari Grasberg, Tembaga-pura terhadap kadar rata-rata kerak bumi bagian atas (Taylor dan Mc Lennan, 1981)



Gambar 7. Perbandingan konsentrasi unsur LTJ masing-masing contoh dari Grasberg, Tembaga-pura

KESIMPULAN DAN SARAN

Bijih tembaga tipe porfiri dari Grasberg mengandung beberapa unsur ikutan, yang potensi kandungannya baru bisa dievaluasi dari kadar bijih dan konsentrat yang dihasilkan dari proses flotasi dan dari lumpur anoda sisa pemurnian tembaga seperti platinum, palladium, telurium dan selenium.

Dikarenakan unsur-unsur tersebut muncul dalam kadar yang sedikit, maka nilai keekonomiannya juga ditentukan oleh besarnya volume bijih yang diproses dan teknologi pemisahannya dari lumpur anoda.

Untuk menindaklanjuti hasil penelitian ini, perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut terhadap lumpur anoda sisa pemurnian tembaga meliputi kadar unsur-unsur ikutan yang dikandungnya dan teknologi pemisahannya untuk mendapatkan nilai ekonomis dari unsur-unsur ikutan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kepala Pusat, Kepala Bidang Mineral, Kepala Sub Bidang Mineral Logam Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panasbumi atas kebijakan dan fasilitasnya sehingga kegiatan penelitian ini bisa terlaksana. Dukungan dan kerja sama dari Tim evaluasi mineral ikutan pada endapan tipe porfiri dan staf Laboratorium PSDMBP di dalam melaksanakan penelitian ini sangat berarti. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada management PT FI terutama Ir. Wahyu Sunyoto, M.Sc., Ir. Nur Wiwoho, Yulius Sirait, ST. beserta Ahli Geologi dan staf di penambangan Grasberg atas dukungan pengumpulan conto, data dan diskusinya sehingga tulisan ini dapat tersusun.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2011, Niobium-tantalum. *British Geological Survey*.
 Anonim, 2016, Lithium. *British Geological Survey*.

Anonim, 2018, *Uranium Resources as Co- and By-products of Polymetallic, Base, Rare Earth and Precious Metal Ore Deposits. International Atomic Energy Agency. Austria*.
 Anonim, <https://ptfi.co.id/id/how-do-we-operate> (PT. Freeport Indonesia, 2019) diakses 30 Januari 2019; 08.50.
 Anonim, http://www.ptsmelting.com/product_diagram.htm. diupload 2005. diakses 30 Januari 2019; 12.20.
 Austen, G. and Ballantyne, G., 2010, *Geology and geochemistry of deep molybdenum mineralization at the Bingham Canyon mine, Utah, USA*. Society of Economic Geologists Guidebook Series, 41, h. 35–49.
 Ayres, R.U., Ayres, L.W. and Råde, I., 2002, *The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products*. World Business Council for Sustainable Development.
 Buttermann, W.C. and Reese Jr. R.G., 2003, *Mineral Commodity Profiles – Rubidium. USGS*.
 Cannell, J., Cooke, D. R., Walshe, J. L. and Stein, H., 2005, *Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit*. Economic Geology, 100, h. 979-1003.
 Cooke, D. R., Hollings, P., Wilkinson, J. J. and Tosdal, R. M., 2014, *Geochemistry of porphyry deposits*.
 Cooke, D. R., Hollings, P. and Walshe, J. L., 2005, *Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls*. Economic geology, 100, h. 801-818.
 Dahlkamp, F. J., 2009, *Uranium deposits of the world, USA and Latin America*: Berlin, Springer-Verlag, v. 4, 516 h.
 Davis, A., Ruby, M. V., Bloom, M., Schoof, R., Freeman, G. and Bergstrom, P. D., 1996, *Mineralogical constraints on the bioavailability of arsenic in smelter-impacted soils. Environmental Science and Technology*, 30, h. 392–399.
 Evans, R. K., 2014, *Lithium*. Di dalam: Gunn, A.G. (Ed), 2014. *Critical Metals Handbook Chapter 10. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK*.

- Fountain, C., 2013, *The Whys and Wherefores of Penalty Elements in Copper Concentrates*. Metallurgical Plant Design and Operating Strategies Metplant 2013.
- Garwin, S. L., 2002. *The geologic setting of intrusion-related hydrothermal systems near the Batu Hijau porphyry copper-gold deposit, Sumbawa, Indonesia*. Society of Economic Geologists Special Publication 9, h. 333-366.
- Goldfarb, R. J., Berger, B. R., George, M. W. and Seal II. R.S., 2017, *Tellurium*. Di dalam: Schulz, K. J., DeYoung, Jr. J. H., Seal II, R. S. dan Bradley, D. C. (Ed.), 2017, *Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*. USGS.
- Heidrick, T. L. dan Tittley, S. R., 1982, *Fracture and dike patterns in Laramide plutons and their structural and tectonic implications*. University of Arizona Press, Tucson.
- Hutabarat, I. 2017, Karakterisasi konsentrat tembaga Indonesia untuk diklat peningkatan nilai tambah tembaga. *Geominerba* 1, h. 23-28.
- Ingham, P. D., White, I. R. and Jackson, S., 2012, *Greenbushes Lithium Operations*. Talison Lithium Ltd. Technical Report.
- John, D. A. dan Taylor, R. D., 2016, *By-Products of Porphyry Copper and Molybdenum Deposits*. Di dalam Verplanck, P. L. dan Hitzman, M.W., (Ed.), 2016, *Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits. Reviews in Economic Geology*, 18, h. 137-164.
- Jordan, B. W., Eggert, R. G., Dixon, B. W., and Carlsen, B. W., 2015, *Thorium: Crustal Abundance, Joint Production, and Economic Availability*. U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy.
- Gregory, M. J., Lang, J. R., Gilbert, S. and Hoal, K.O., 2013, *Geometallurgy of the Pebble porphyry copper-gold-molybdenum deposit, Alaska: Implications for gold distribution and paragenesis*. *Economic Geology* 108, h. 463–482.
- Kesler, S. E., Chryssoulis, S. L. and Simon, G., 2002, *Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate*. *Ore Geology Review* 21, h. 103–124
- Kunasz, I., 2006, *Lithium Resources*, in Kogel, J. E., Tridevi, N. C., Barker, J. M. and Krukowski, S.T. (Ed.), 2006, *Industrial Minerals and Rocks, 7th Edition*. h. 599-613, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc, Littleton, Colorado, USA.
- Kirkham, R. V., 1972, *Porphyry deposits. Report of Activities: Geological Survey of Canada, Paper, pp.72-1*.
- Long, K. R., 1992, *Reserves and production data for selected ore deposits in the United States found in the files of the Anaconda Copper Company: U.S. Geological Survey Open-File Report 92-002*. 21 p.
- Lowell, J. D. dan Guilbert, J. M., 1970, *Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits*. *Economic Geology*, 65, h. 373-408.
- Lynch, D. C, Agaki, S. dan Davenport, W. G., 1991, *Thermochemical nature of minor elements in copper smelting mattes*. *Metallurgical Transactions B*, 22B: h. 667–688.
- MacDonald, G. D dan Arnold, L. C., 1993, *Geological and Geochemical zoning of the Grasberg Igneous Complex, Irian Jaya, Indonesia*. *Journal of Geochemical Exploration* 50, h. 143-178.
- McDowell, F. W., McMahon, T. P., Warren, P. Q. and Cloos, M., 1994, *Intrusive and mineralization history of the Grasberg deposit, Irian Jaya, Indonesia*. A.I.M.E. Preprint Number 3-92, 10h.

- McFall, K. A., Naden, J., Roberts, S., Baker, T., Spratt, J. dan McDonald, I., 2018, *Platinum-group minerals in the Skouries Cu-Au (Pd, Pt, Te) porphyry deposit*. *Ore Geology Reviews*, 99, h. 344–364.
- McLemore, T., 2018, *Rare Earth Elements (REE) Deposits Associated with Great Plain Margin Deposits (Alkaline-Related), Southwestern United States and Eastern Mexico Virginia*. *Resources*, 7, h. 42-44.
- Melfos, V. and Voudouris, P.C., 2012, *Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece*. *Minerals*, 2, h. 300-317.
- Newell, J. M. dan Peatfield, G. R., 1995, *The Red-Chris porphyry copper-gold deposit, northwestern British Columbia*; Di dalam T. G. Schroeter (ed.), 1995, *Porphyry Deposits of the Northwestern Cordillera of North America, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*, 46, h. 674–688.
- Pardiarto, B., 2007, Ringkasan tentang PT Freeport Indonesia dan PT Newmont Nusa Tenggara
- Plant, J. A., Simpson, P. R., Smith, B. dan Windley, B. F., 1999, *Uranium ore deposits—products of the radioactive Echo Bay U-Ni-Ag-Cu deposits, North West Territories, Canada*. *Economic Geology*, 68, h. 635–656.
- Pollard, P. J. dan Taylor, R. G. 2005, *Ages of Intrusion, Alteration, and Mineralization at the Grasberg Cu-Au Deposit, Papua, Indonesia*. *Economic Geology*, 100, h.1005–1020.
- Ridley, J., 2013, *Ore deposit geology*. Cambridge University Press.
- Saleh, R., 2012, *Increase Potential in Value-Added of the Associated Metals from Copper Refining*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 8, h. 17-27.
- Sapiie, B. dan Cloos, M., 2013, *Strike-slip faulting and veining in the Grasberg giant porphyry Cu–Au deposit, Ertzberg (Gunung Bijih) mining district, Papua, Indonesia*. *International Geology Review*, 55, h. 1-42.
- Seedorff, E., 2005, *Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene Features*. Society of economist Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. Canada.
- Sillitoe, R. H., 2010, *Porphyry copper systems*. *Economic Geology*, 105, h. 3-41.
- Sillitoe, R., 1979, *Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits*. *Mineralium Deposita*, 14, h. 161-174.
- Sillitoe, R. H., 2002, *Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration*. *Mineralium Deposita*, 37, h. 4-13.
- Sillitoe, R. H., 1980, *Types of porphyry molybdenum deposits*. *Mining Magazine*, 142, h. 550-553.
- Sillitoe, R. H., 1995. *Exploration of porphyry copper lithocaps*. Di dalam *Pacrim Congress 1995 'Exploring the Rim'* (h. 527-532). Aust. Inst. Mining Metall.
- Simon. G., Kesler, S. E., Essene, E. J. and Chryssoulis, S. L., 2000, *Gold in porphyry copper deposits: experimental determination of the distribution of gold in the Cu–Fe–S system at 400° to 700°C*. *Economic Geology*, 95, h. 259–270.
- Sinclair, W. D., 2007, *Porphyry deposits. Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, h. 223-243.
- Tarkian, M. and Stribny, B., 1999, *Platinum-group elements in porphyry copper deposits: A reconnaissance study*. *Mineralogy and Petrology*, 65, h. 161–183.
- Taylor, R. D., Hammarstrom, J. M., Piatak, N. M. dan Seal II, R. R., 2012, *Arc-related porphyry molybdenum deposit model: Chapter D in Mineral deposit models for resource assessment* (No. 2010-5070-D). US Geological Survey.
- Tokmakchieva, M., 1999, *Bornite mineralization in the content of copper deposits in our country*. *Geology and Mineral Resources*, No. 8-9, h. 40–44.

- Tokmakchieva, M., 2002, *Valuable minor components in the composition of porphyry copper deposits. Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski," Sofia, Bulgaria, 45, pt. 1, h.71–75*
- Weerts, P., 2002, *Umicore streamlines precious recovery: Metal Bulletin Monthly/Copper Supplement, issue 374, February, 36h.*
- Wang, C., Li, S., Wang, H. dan Fu, J., 2016, *Selenium minerals and the recovery of selenium from copper refinery anode slimes. The Journal of The Southern Africa Institute of Mining and Metallurgy, 116, h. 593-600.*
- Watterson, J. R., Gott, G. B., Neuerburg, G. J., Lakin, H. W. dan Cathrall, J. B., 1977, *Tellurium, a guide to mineral deposits. Journal of Geochemical Exploration, 8, h. 31-48.*
- Zhao, C. 1987, *Bayan Obo scandium. Baogangkeji, 04, h. 1–4.*

Diterima	: 15 Februari 2019
Direvisi	: 22 Maret 2019
Disetujui	: 28 Mei 2019

**PETROGRAFI DAN GEOKIMIA BATUBARA
DI DAERAH PAHIRANGAN DAN SEKITARNYA,
KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

**PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY PROPERTIES OF PAHIRANGAN COAL,
EAST KOTAWARINGIN REGENCY, CENTRAL KALIMANTAN PROVINCE**

Sigit A. Wibisono, Eska P. Dwitama, dan Iudhi O. Prahesthi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

sigit.arso@esdm.go.id

ABSTRAK

Komposisi maseral dan mineral serta peringkat batubara merupakan beberapa parameter yang digunakan untuk penentuan karakteristik batubara. Penelitian di daerah Pahirangan dan sekitarnya bertujuan mengetahui karakteristik batubara Formasi Dahor berupa komposisi maseral dan mineral serta peringkat batubara. Komposisi maseral dan mineral dilakukan dengan analisis petrografi untuk mengetahui material organik pembentuk batubara, sementara identifikasi peringkat batubara dilakukan dengan analisis geokimia dan pengukuran reflektansi vitrinit. Analisis dilakukan terhadap 42 conto di Formasi Dahor. Komposisi kelompok maseral utama didominasi oleh huminit yang berkisar antara 64,40% s.d. 93,60% dan sebagian kecil inertinit (2,00% s.d. 20,40%) serta liptinit (0,00% s.d. 10,00%). Berdasarkan parameter hasil perhitungan, nilai reflektansi vitrinit, kandungan air, *Hardgrove Grindability Index*, unsur hidrogen, oksigen, dan karbon mengindikasikan batubara di daerah penelitian termasuk dalam peringkat lignit-subbituminus, sedangkan material organik pembentuk batubara berasal dari tumbuhan berkayu.

Kata kunci: geokimia, petrografi, reflektansi vitrinit, batubara, huminit

ABSTRACT

Maceral and mineral composition as well as coal rank are used to identify coal characteristics. The objective of coal research in Pahirangan area and its vicinity is to identify coal characteristics in Dahor Formation based on maceral and mineral composition as well as coal rank. Maceral and minerals compositions were determined by organic petrography analysis to identify organic material in coal, while the identification of coal rank was carried out by geochemical analysis and vitrinite reflectance measurement. 42 coal samples were subjected to these analyses. Laboratory analyses results indicate that main maceral group composition is dominated by huminite (64.40% to 93.60%), followed by inertinite (1.40% to 20.00%) and liptinite (0.00% to 7.40%). Assesment on the value of vitrinite reflectance, moisture content, hardgrove grindability index, hydrogen, oxygen, and carbon elements indicates that Pahirangan coals is lignite-subbituminous in which formed from woody plants.

Keywords: petrographic, geochemistry, vitrinite reflectance, coal, huminite

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen batubara di dunia dengan sumber daya dan cadangan batubara masing-masing sebesar 151,399 miliar ton dan 39,890 miliar ton (Anonim, 2018) yang

sebagian besar terdistribusi di Sumatera dan Kalimantan. Kalimantan Tengah memiliki jumlah sumber daya dan cadangan batubara masing-masing sebesar 10,100 miliar ton dan 2,698 miliar ton atau sekitar 6% dari total sumber daya dan cadangan batubara Indonesia.

Batubara di provinsi ini umumnya didominasi oleh peringkat batubara kalori sedang - sangat tinggi (Anonim, 2018).

Maseral merupakan komponen organik dalam batubara yang dapat terlihat di bawah mikroskop. Pengelompokan maseral berdasarkan bentuk morfologi, warna pantul, ukuran, relief, komposisi kimia, struktur dalam, tingkat pematubaraan, dan intensitas refleksi dibagi menjadi 3 kelompok utama, yaitu vitrinit, inertinit, dan liptinit (Stach dkk., 1982).

Perubahan peringkat batubara dapat terjadi pada saat proses diagenesis yang menyebabkan perubahan maseral dalam batubara oleh suhu, tekanan, dan waktu geologi. Proses ini secara tidak langsung menggambarkan, baik kedalaman dan gradien geotermal, maupun pengaruh panas dari intrusi batuan beku dan fluida hidrotermal yang terjadi pada saat proses pematubaraan (O'keefe dkk., 2013). Peringkat batubara berkaitan dengan tingkat kematangan batubara dan dipengaruhi oleh salah satu atau gabungan dari faktor tekanan, suhu, dan waktu geologi selama proses pematubaraan.

Secara umum, peringkat batubara dapat diidentifikasi melalui kandungan zat terbang, air, karbon tertambat, abu, nilai kalori, karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen. Selain itu, peringkat batubara dapat diidentifikasi berdasarkan nilai reflektansi vitrinit yang terkandung di dalamnya.

Analisis geokimia merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi peringkat batubara, terdiri atas analisis proksimat dan ultimat. Analisis proksimat merupakan salah satu metode dasar dalam penentuan peringkat batubara meliputi; penentuan kandungan zat terbang (*volatile matter*), kadar air (*moisture*), karbon tertambat (*fixed carbon*), dan abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat bertujuan untuk mengidentifikasi unsur-unsur kimia

yang terdapat dalam batubara meliputi karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen (Belkin dkk., 2010; Baihaqi dkk., 2017; Rautenbach dkk., 2018).

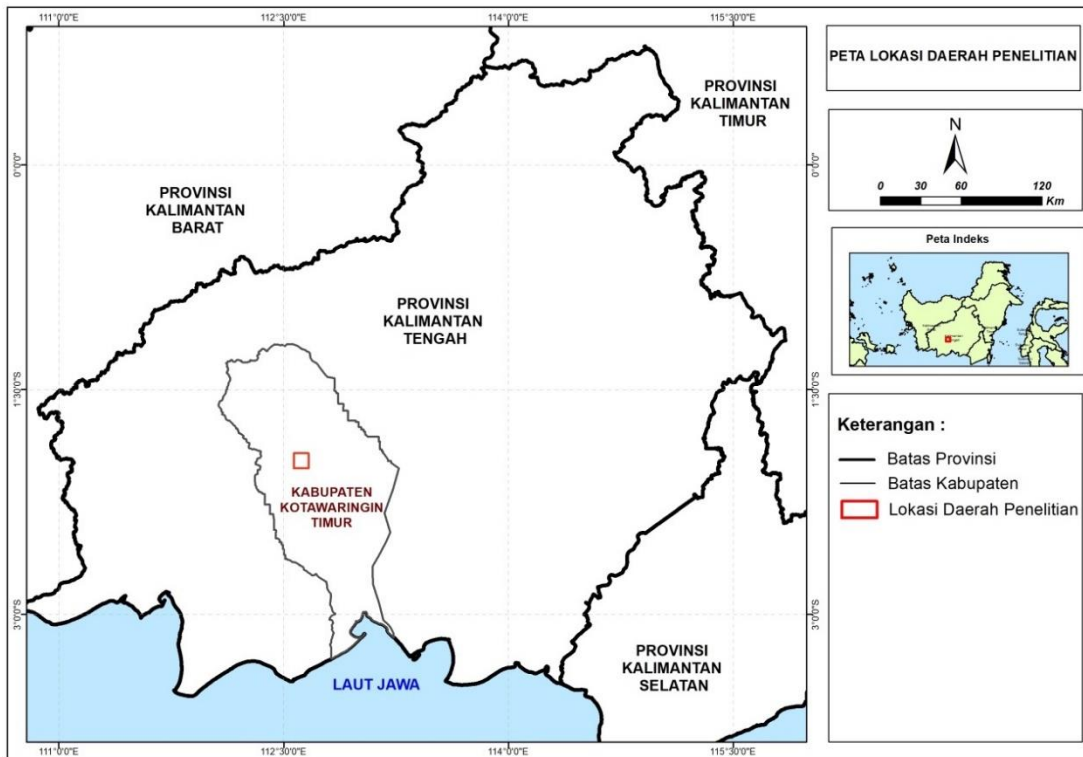
Selain analisis geokimia, penentuan peringkat batubara dapat dilakukan dengan menggunakan analisis petrografi organik. Analisis ini merupakan salah satu analisis yang digunakan untuk mengetahui tingkat kematangan (peringkat) dan komposisi maseral dalam batubara (Cook, 1982; Teichmuller, 1989; Diessel, 1992; Taylor dkk., 1998; Scott, 2002; Amijaya dan Littke, 2005; Baihaqi dkk., 2017).

Analisis geokimia dan petrografi dilakukan terhadap conto inti bor batubara untuk mengetahui karakteristik batubara Formasi Dahor berupa komposisi maseral dan mineral serta peringkat batubara di daerah tersebut. Conto batubara diambil dari daerah Pahirangan dan sekitarnya, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah. (Gambar 1).

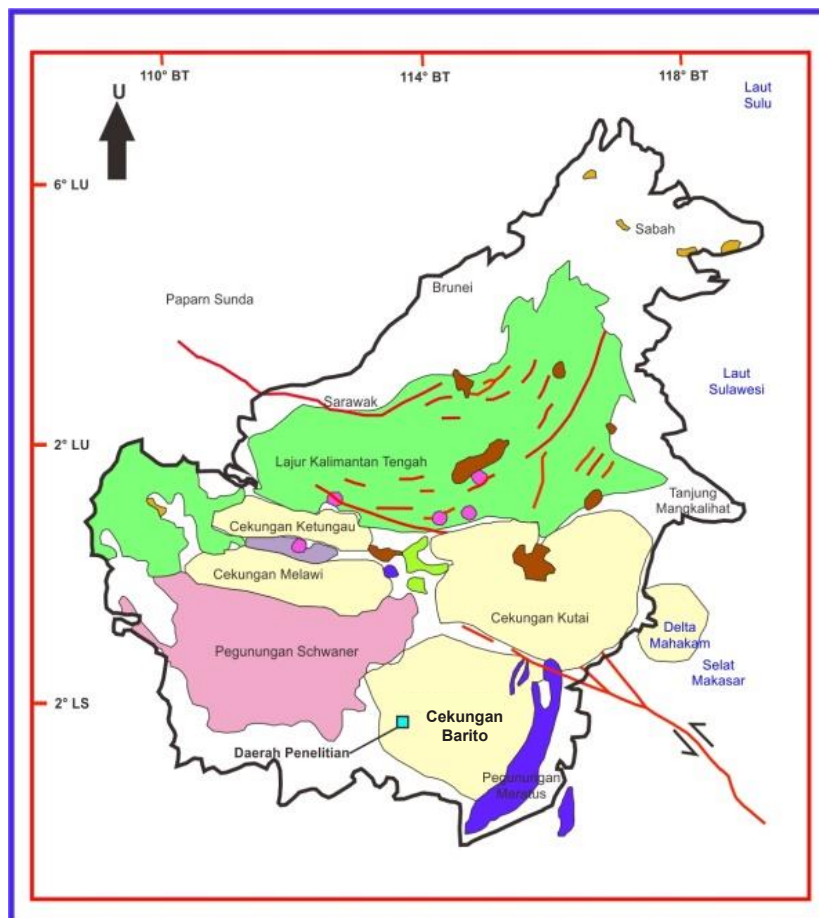
GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Daerah Pahirangan dan sekitarnya terletak di bagian barat dari Cekungan Barito yang merupakan salah satu cekungan sedimen yang memiliki potensi hidrokarbon dan batubara di Indonesia. Cekungan Barito dibatasi oleh Pegunungan Schwaner di bagian barat, Cekungan Kutai di bagian utara, dan Pegunungan Meratus di bagian timur (Gambar 2).

Proses sedimentasi di Cekungan Barito terdiri atas fase transgresif dan regresif (Siregar dan Sunaryo, 1980). Fase transgresif terjadi pada umur Eosen - Miosen Awal, bersamaan dengan pengendapan Formasi Tanjung dan Formasi Berai, sedangkan fase regresif berlangsung pada umur Miosen Tengah - Pliosen, bersamaan dengan pengendapan Formasi Warukin dan Formasi Dahor (Kusuma dan Nafi, 1986).



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan percontohan batubara.



Gambar 2. Tatanan tektonik Pulau Kalimantan (modifikasi dari Kusnama, 2008)

Stratigrafi daerah penelitian disusun oleh batuan berumur Tersier terdiri atas Satuan Batupasir - Batulempung (Formasi Dahor) dan Endapan Aluvial (Gambar 3).

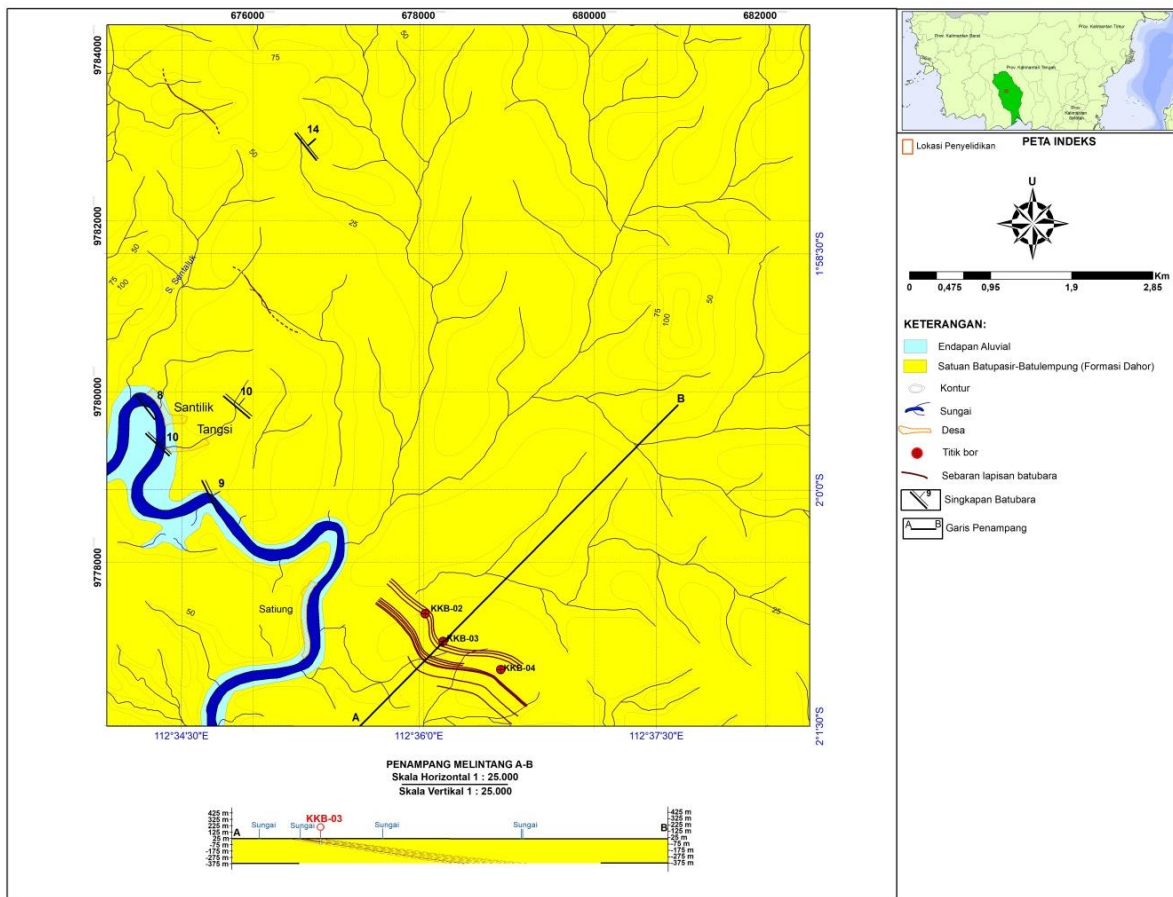
Formasi Dahor berumur Miosen Tengah - Plistosen sebagai formasi pembawa batubara di daerah penelitian, terdiri atas konglomerat berwarna coklat kehitaman, agak padat, komponen terdiri atas fragmen kuarsit dan basal, berukuran 1 cm sampai 3 cm, kemas terbuka dengan matriks berukuran pasir. Konglomerat ini berselingan dengan batupasir berwarna kekuningan sampai kelabu, berbutir sedang - kasar, setempat berstruktur

sedimen silang-siur. Batulempung warna kelabu, agak lunak, karbonan setempat mengandung lignit, tersingkap sebagai sisipan dalam batupasir dengan ketebalan 20 cm s.d. 60 cm (Nila dkk., 1995).

Kenampakan megaskopis (litotipe) batubara di Formasi Dahor berwarna hitam - kecoklatan, kilap kusam, segar - sedikit lapuk, agak kompak, kekerasan sedang - getas. Bagian atas batubara membentuk struktur menyerpih atau berlembar dan sebagian mudah hancur/retak, terdapat struktur *cleat*, sisipan batulempung kelabu - kecoklatan, dan banyak pengotor mineral lempung serta resin.

Tabel 1. Tabulasi titik pengeboran di daerah penelitian.

Kode Bor	Koordinat		Elevasi (m)	Kedalaman Bor (m)	Batubara yang ditembus (m)		
	X (B.T.)	Y (L.S.)			Dari	Sampai	Tebal
KKB-02	112°36'08,80"	2°00'57,70"	25,00	100	20,32	20,65	0,35
					25,20	25,40	0,20
					26,50	27,60	1,10
					30,10	31,25	1,15
					33,00	34,70	1,70
					36,65	37,80	1,15
					38,90	42,40	3,50
					5,70	7,90	2,20
					12,15	13,15	1,00
					21,00	24,15	3,15
KKB-03	112°36'00,90"	2°00'47,60"	24,90	100	37,05	37,50	0,45
					42,15	42,40	0,25
					43,65	43,95	0,30
					44,20	44,95	0,75
					48,35	50,00	1,65
					53,60	55,60	2,00
					60,65	61,70	1,05
					62,10	66,10	4,00
					75,55	75,75	0,20
					87,00	88,30	1,30
KKB-04	112°36'30,90"	2°01'08,80"	23,50	100	15,00	15,30	0,30
					22,30	23,70	1,40
					24,45	29,95	5,50
					30,35	32,80	2,45
					34,80	35,60	0,80
					56,75	57,45	0,70
					58,40	60,80	2,40
					75,50	75,70	0,20
					75,85	76,15	0,30
					76,35	76,55	0,20
84,25	84,60	0,35					
85,60	85,85	0,25					
86,80	87,90	1,10					



Gambar 3. Peta geologi dan sebaran batubara di daerah penelitian (modifikasi dari Nila dkk., 1995)

HASIL ANALISIS

Geologi

Analisis korelasi lapisan batubara menunjukkan bahwa endapan batubara membentuk pola homoklin dengan arah jurus relatif barat laut-tenggara dengan kemiringan relatif landai (8° s.d. 12°) ke arah timur laut, sehingga kompleksitas struktur daerah penelitian dianggap sederhana dan tidak banyak berpengaruh pada pelamparan lateral maupun vertikal lapisan batubara tersebut. Meskipun demikian, secara stratigrafis terdapat lapisan yang menunjukkan pola menebal, menipis atau menghilang dan mengikuti pelamparan jurus lapisan.

Interpretasi hasil korelasi lapisan batubara berdasarkan data profil litologi dari ketiga titik bor menghasilkan 10 lapisan yang mempunyai ketebalan bervariasi antara 1

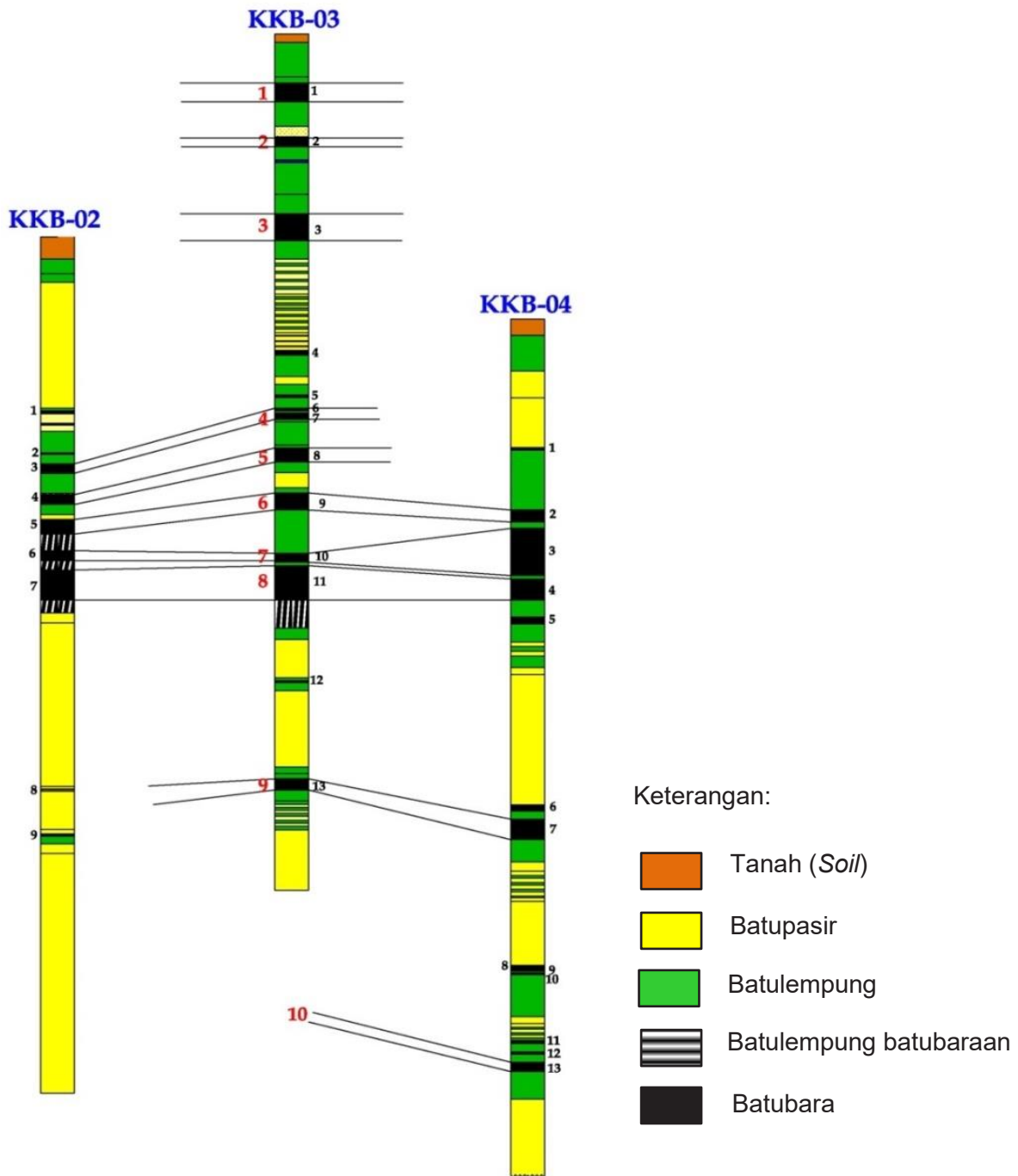
meter dan 5,5 meter, yang terdapat dalam Satuan Batupasir - Batulempung (Formasi Dahor) dan diberi notifikasi dari atas ke bawah, yaitu lapisan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 (Gambar 4).

Lapisan 1, 2, dan 3 merupakan lapisan batubara yang ditemukan pada titik bor KKB-03 dengan kedalaman lapisan bervariasi antara 5,7 meter dan 24,15 meter. Ketebalan ketiga lapisan batubara berkisar dari 1 meter sampai 3,15 meter dengan kisaran kemiringan lapisan relatif landai yaitu 10° s.d. 11° .

Lapisan 4 dan 5 merupakan lapisan batubara yang ditembus oleh titik bor KKB-02 dan KKB-03 dengan kedalaman lapisan bervariasi antara 26,5 meter dan 50 meter. Ketebalan kedua lapisan berkisar dari 1,1 meter sampai 1,15 meter dengan kemiringan lapisan sebesar 8° .

Lapisan 6, 7, dan 8 merupakan lapisan batubara yang ditemukan pada titik bor KKB-02, KKB-03, dan KKB-04 dengan kedalaman lapisan bervariasi antara 22,3 meter dan 66,1 meter dengan kemiringan lapisan berkisar berkisar dari 8° sampai 12°.

Lapisan 9 dan 10 merupakan lapisan batubara yang ditembus oleh titik bor KKB-03 dan KKB-04 dengan kedalaman lapisan bervariasi antara 58,4 meter dan 88,3 meter dengan kemiringan lapisan berkisar dari 11° sampai 12°.



Gambar 4. Korelasi lapisan batubara di daerah penelitian (tanpa skala)

Analisis Petrografi

Analisis petrografi organik yang dilakukan terhadap 42 conto batubara dari daerah Pahirangan terdiri dari pengukuran nilai reflektansi vitrinit dan komposisi maseral. Pengukuran nilai reflektansi vitrinit/huminit menunjukkan nilai Rvmax 0,27% s.d. 0,4% dengan nilai rata-rata 0,34%, sementara komposisi maseral didominasi kelompok maseral huminit (64,4% s.d. 93,6%), liptinit (0% s.d. 10%), dan inertinit (2% s.d. 20,4%). Selain ketiga kelompok maseral tersebut, analisis petrografi organik juga mengidentifikasi adanya pengotor dalam batubara yang meliputi; mineral lempung (0% s.d. 21,2%), oksida besi (0% s.d. 4,6%), dan pirit (0% - 7,6%) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Analisis Geokimia

- Proksimat

Hasil analisis proksimat terhadap 42 conto inti bor yang berasal dari 10 lapisan batubara di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil analisis dalam basis udara kering (*air dried basis/adb*) menunjukkan kandungan zat terbang

(*volatile matter/VM*) sebesar 29,19% s.d. 47,72%, air (*moisture/M*) sebesar 7,37% s.d. 13,74%, karbon tertambat (*fixed carbon/FC*) sebesar 24,85% s.d. 50,39%, abu (*ash*) sebesar 3,41% s.d. 38,6%.

Selain keempat parameter tersebut, penentuan nilai kalori (*calorific value/CV*) dilakukan dengan menggunakan analisis *combustion properties*, sedangkan nilai HGI dan densitas ditentukan dengan menggunakan analisis *physical properties*. Hasil analisis ketiga parameter tersebut dalam basis adb menunjukkan kisaran nilai kalori (3.539 kal/g s.d. 5.803 kal/g), densitas (1,4% s.d. 1,75%), dan HGI (38 s.d. 64).

- Ultimat

Hasil analisis ultimat dilakukan terhadap 42 conto inti bor yang berasal dari 10 lapisan batubara di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil analisis dalam basis daf menunjukkan kisaran unsur karbon (65,33% s.d. 72,25%), hidrogen (4,51% s.d. 5,63%), nitrogen (0,47% s.d. 1,03%), sulfur (0,12% s.d. 4,38%), dan oksigen (21,44% s.d. 27,15%).

Tabel 2. Tabulasi hasil analisis petrografi batubara di daerah penelitian

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	Reflektansi				Mineral Lempung	Oksida Besi	Pirit
			Vitrinit/Huminit (Rv/Ro)	Huminit	Inertinit	Liptinit			
			%	%	%	%	%	%	
KKB-02-1	-	20,32 - 20,65	0,40	81,60	14,00	4,40	0,00	0,00	0,00
KKB-02-2	-	25,20 - 25,40	0,34	81,20	12,00	0,00	6,00	0,60	0,20
KKB-02-3	4	26,50 - 27,60	0,32	83,00	9,40	0,00	5,60	0,00	2,00
KKB-02-4	5	30,10 - 31,25	0,39	89,80	9,40	0,80	0,00	0,00	0,00
KKB-02-5	6	33,00 - 34,70	0,34	85,80	6,20	0,00	6,20	1,00	0,80
KKB-02-6	7	36,65 - 37,80	0,32	72,80	7,20	1,40	7,40	3,60	7,60
KKB-02-7	8	38,90 - 40,00	0,38	73,20	18,20	0,00	5,80	1,40	1,40
KKB-02-8	8	40,00 - 41,00	0,33	93,60	4,40	0,00	1,40	0,00	0,60
KKB-02-9	8	41,00 - 42,40	0,36	83,60	8,60	0,40	5,40	0,60	1,40
KKB-03-1	1	5,70 - 7,00	0,32	76,60	13,20	1,60	8,20	0,00	0,40
KKB-03-2	1	7,00 - 7,90	0,35	75,40	15,80	0,00	8,00	0,40	0,40
KKB-03-3	2	12,15 - 13,15	0,37	76,80	6,40	0,40	11,00	4,60	0,80
KKB-03-4	3	21,00 - 22,00	0,39	79,60	9,80	1,60	7,00	1,40	0,60
KKB-03-5	3	22,00 - 23,00	0,29	81,20	13,20	2,00	2,60	0,20	0,80
KKB-03-6	3	23,00 - 24,00	0,33	86,80	5,60	1,80	3,80	0,00	2,00
KKB-03-7	-	37,05 - 37,50	0,31	81,80	9,00	1,60	5,00	0,80	1,80
KKB-03-8	4	44,20 - 44,95	0,34	64,80	8,60	0,60	21,20	3,80	1,00
KKB-03-9	5	48,35 - 49,20	0,36	84,80	8,60	3,20	2,40	0,00	1,00
KKB-03-10	5	49,20 - 50,00	0,35	93,20	3,20	1,80	0,80	0,40	0,60

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	Reflektansi	Huminit	Inertinit	Liptinit	Mineral Lempung	Oksida Besi	Pirit
			Vitrinit/Huminit (Rv/Ro) %						
KKB-03-11	6	53,60 - 54,60	0,34	79,20	14,20	2,60	2,40	0,00	1,60
KKB-03-12	6	54,60 - 55,60	0,34	74,20	8,20	4,80	7,40	2,80	2,60
KKB-03-13	7	60,65 - 61,70	0,30	75,00	6,00	2,40	10,60	0,60	5,40
KKB-03-14	8	62,10 - 63,00	0,28	80,80	6,60	3,20	2,80	0,80	5,80
KKB-03-15	8	63,00 - 64,00	0,34	72,60	2,80	1,80	19,20	1,20	2,40
KKB-03-16	8	64,00 - 65,00	0,37	90,00	4,20	3,00	1,80	0,00	1,00
KKB-03-17	8	65,00 - 66,10	0,35	88,20	6,00	2,40	2,40	0,80	0,20
KKB-03-18	9	87,00 - 88,00	0,39	88,60	5,40	1,40	2,80	0,40	1,40
KKB-03-19	9	88,00 - 88,30	0,38	91,00	2,00	4,40	0,20	1,20	1,20
KKB-04-1	-	15,00 - 15,30	0,27	84,80	7,00	7,40	0,00	0,00	0,60
KKB-04-2	6	22,30 - 23,70	0,37	72,00	11,20	6,60	3,20	0,80	6,20
KKB-04-3	7	24,45 - 25,45	0,37	74,80	17,20	5,60	0,40	0,20	1,80
KKB-04-4	7	25,45 - 26,45	0,38	66,80	20,00	6,00	3,00	0,30	4,00
KKB-04-5	7	26,45 - 27,45	0,39	67,00	19,00	9,60	0,80	0,20	3,40
KKB-04-6	7	27,45 - 28,45	0,32	84,80	8,20	2,60	3,40	0,20	0,80
KKB-04-7	7	28,45 - 29,45	0,32	76,40	5,40	9,20	1,60	0,60	6,80
KKB-04-8	8	30,35 - 31,35	0,34	64,40	20,40	10,00	2,60	0,20	2,40
KKB-04-9	8	31,35 - 32,80	0,33	77,80	11,40	8,40	1,20	0,20	1,00
KKB-04-10	-	34,80 - 35,60	0,36	83,40	8,80	3,20	3,60	0,40	0,60
KKB-04-11	-	56,75 - 57,45	0,35	88,20	5,20	3,20	2,00	0,40	1,00
KKB-04-12	9	58,40 - 59,60	0,38	88,80	6,20	2,00	1,40	0,00	1,60
KKB-04-13	9	59,60 - 60,80	0,37	86,20	7,40	1,80	2,00	0,60	2,00
KKB-04-14	10	86,80 - 87,90	0,31	76,60	12,40	1,80	2,20	2,80	4,20

Tabel 3. Tabulasi hasil analisis proksimat, *physical* dan *combustion properties* di daerah penelitian

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	FM	TM	M	VM	FC	Ash	TS	SI	HGI	SG	CV
			% (ar)			% (adb)				(adb)			kal/g
KKB-02-1	-	20,32 - 20,65	43,76	49,71	10,58	38,05	36,31	15,07	0,36	0	-	1,56	4.774
KKB-02-2	-	25,20 - 25,40	40,56	46,25	9,58	34,90	32,37	23,26	0,38	0	53	1,61	4.281
KKB-02-3	4	26,50 - 27,60	41,54	47,12	9,84	36,35	32,30	21,82	0,30	0	50	1,61	4.408
KKB-02-4	5	30,10 - 31,25	46,63	52,62	11,23	41,98	42,49	4,31	0,30	0	43	1,47	5.562
KKB-02-5	6	33,00 - 34,70	45,38	51,30	10,84	38,94	38,11	12,12	0,58	0	45	1,55	5.011
KKB-02-6	7	36,65 - 37,80	40,37	45,13	7,98	34,22	28,69	29,12	2,49	0	56	1,68	4.063
KKB-02-7	8	38,90 - 40,00	44,27	49,74	9,82	41,29	33,52	15,38	0,69	0	51	1,54	4.905
KKB-02-8	8	40,00 - 41,00	45,46	51,58	11,23	43,07	39,19	6,53	0,26	0	43	1,48	5.419
KKB-02-9	8	41,00 - 42,40	45,17	50,96	10,56	44,25	36,81	8,38	0,34	0	48	1,46	5.412
KKB-03-1	1	5,70 - 7,00	46,99	51,97	9,40	43,55	37,82	9,24	0,30	0	-	1,47	5.361
KKB-03-2	1	7,00 - 7,90	42,34	47,23	8,48	35,45	28,56	27,52	0,33	0	-	1,65	4.018
KKB-03-3	2	12,15 - 13,15	45,00	50,38	9,78	43,67	34,36	12,20	0,22	0	59	1,48	5.193
KKB-03-4	3	21,00 - 22,00	46,03	51,58	10,28	46,59	35,76	7,38	0,22	0	-	1,46	5.534
KKB-03-5	3	22,00 - 23,00	47,07	52,99	11,19	47,72	37,68	3,41	0,16	0	-	1,45	5.575
KKB-03-6	3	23,00 - 24,00	47,29	53,16	11,14	46,02	39,42	3,43	0,23	0	-	1,44	5.672
KKB-03-7	-	37,05 - 37,50	45,24	50,75	10,07	40,01	30,82	19,11	0,31	0	43	1,56	4.616
KKB-03-8	4	44,20 - 44,95	38,59	44,52	9,21	34,51	30,23	26,07	0,26	0	48	1,65	4.112
KKB-03-9	5	48,35 - 49,20	50,32	55,82	11,07	41,06	40,26	7,62	1,38	0	-	1,49	5.301
KKB-03-10	5	49,20 - 50,00	44,26	50,33	10,89	39,09	39,88	10,15	0,58	0	-	1,55	5.089
KKB-03-11	6	53,60 - 54,60	45,33	51,46	11,22	41,47	41,33	5,99	0,35	0	-	1,48	5.402
KKB-03-12	6	54,60 - 55,60	41,02	46,65	9,55	35,84	32,42	22,20	0,74	0	-	1,61	4.399
KKB-03-13	7	60,65 - 61,70	37,50	42,70	8,32	33,82	27,44	30,43	2,57	0	64	1,72	3.980
KKB-03-14	8	62,10 - 63,00	41,12	46,38	8,94	35,24	31,56	24,26	2,93	0	-	1,60	4.383

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	FM	TM	M	VM	FC	Ash	TS	SI	HGI	SG	CV
			% (ar)			% (adb)				(adb)			kal/g (adb)
KKB-03-15	8	63,00 - 64,00	36,86	41,51	7,37	29,19	24,85	38,60	0,94	0	-	1,75	3.539
KKB-03-16	8	64,00 - 65,00	44,61	50,74	11,06	40,08	40,56	8,31	0,61	0	-	1,45	5.362
KKB-03-17	8	65,00 - 66,10	43,68	49,52	10,37	35,97	35,59	18,08	0,40	0	-	1,53	4.656
KKB-03-18	9	87,00 - 88,00	46,90	52,80	11,11	41,42	41,92	5,57	0,63	0	-	1,42	5.555
KKB-03-19	9	88,00 - 88,30	46,18	53,57	13,74	38,39	43,33	4,55	0,22	0	-	1,44	5.331
KKB-04-1	-	15,00 - 15,30	50,01	55,51	11,01	40,20	41,16	7,63	0,18	0	-	1,44	5.358
KKB-04-2	6	22,30 - 23,70	42,03	47,38	9,23	39,87	34,20	16,71	0,32	0	45	1,51	4.838
KKB-04-3	7	24,45 - 25,45	44,02	49,25	9,35	36,52	50,39	3,74	0,14	0	58	1,41	5.803
KKB-04-4	7	25,45 - 26,45	45,00	50,40	9,82	45,36	40,75	4,08	0,14	0	-	1,40	5.695
KKB-04-5	7	26,45 - 27,45	44,05	49,48	9,71	45,36	40,76	4,18	0,10	0	-	1,41	5.705
KKB-04-6	7	27,45 - 28,45	45,65	51,16	10,13	45,45	40,19	4,24	0,14	0	-	1,40	5.685
KKB-04-7	7	28,45 - 29,45	44,66	49,74	9,18	40,75	34,75	15,33	0,16	0	51	1,49	4.940
KKB-04-8	8	30,35 - 31,35	45,32	50,80	10,02	44,49	39,39	6,11	0,16	0	-	1,41	5.589
KKB-04-9	8	31,35 - 32,80	42,47	47,77	9,21	38,68	32,73	19,40	0,19	0	-	1,53	4.611
KKB-04-10	-	34,80 - 35,60	42,89	48,60	10,00	42,33	35,56	12,12	0,14	0	-	1,46	5.211
KKB-04-11	-	56,75 - 57,45	44,36	51,21	12,31	37,96	39,69	10,05	0,22	0	-	1,47	4.969
KKB-04-12	9	58,40 - 59,60	44,65	50,90	11,29	42,86	41,62	4,23	0,20	0	38	1,42	5.684
KKB-04-13	9	59,60 - 60,80	43,38	49,46	10,73	41,24	36,20	11,84	0,18	0	-	1,46	5.158
KKB-04-14	10	86,80 - 87,90	39,59	45,18	9,25	37,73	31,26	21,76	0,28	0	47	1,53	4.587

Keterangan:

FM: Free Moisture
CV: Calorific Value

FC: Fixed Carbon
M : Moisture

SG: Specific Gravity
SI : Swelling Index

TM: Total Moisture
VM: Volatile Matter

TS : Total Sulphur
HGI: Hardgrove Grindability Index

Tabel 4. Tabulasi hasil analisis ultimat batubara di daerah penelitian

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	Karbon	Hidrogen	Nitrogen	Sulfur	Oksigen
			% (daf)				
KKB-02-1	-	20,32 - 20,65	68,72	4,92	0,97	0,49	24,90
KKB-02-2	-	25,20 - 25,40	67,91	5,12	0,92	0,57	25,48
KKB-02-3	4	26,50 - 27,60	68,01	5,15	0,91	0,43	25,49
KKB-02-4	5	30,10 - 31,25	70,36	4,76	0,89	0,36	23,63
KKB-02-5	6	33,00 - 34,70	69,39	4,84	0,84	0,75	24,18
KKB-02-6	7	36,65 - 37,80	66,07	5,40	0,75	3,97	23,82
KKB-02-7	8	38,90 - 40,00	68,86	5,00	0,92	0,92	24,29
KKB-02-8	8	40,00 - 41,00	69,97	4,86	0,95	0,31	23,91
KKB-02-9	8	41,00 - 42,40	70,19	5,13	0,86	0,42	23,40
KKB-03-1	1	5,70 - 7,00	69,11	5,09	0,98	0,37	24,45
KKB-03-2	1	7,00 - 7,90	66,14	5,33	0,87	0,51	27,15
KKB-03-3	2	12,15 - 13,15	69,41	5,17	0,79	0,29	24,34
KKB-03-4	3	21,00 - 22,00	69,92	5,23	0,98	0,27	23,59
KKB-03-5	3	22,00 - 23,00	70,09	5,14	0,93	0,19	23,66
KKB-03-6	3	23,00 - 24,00	69,91	4,93	0,98	0,27	23,90
KKB-03-7	-	37,05 - 37,50	68,06	5,26	0,92	0,44	25,32
KKB-03-8	4	44,20 - 44,95	66,58	5,38	0,82	0,41	26,81
KKB-03-9	5	48,35 - 49,20	69,23	4,92	0,95	1,70	23,20
KKB-03-10	5	49,20 - 50,00	68,47	4,83	0,92	0,73	25,04
KKB-03-11	6	53,60 - 54,60	69,42	4,82	0,91	0,43	24,42
KKB-03-12	6	54,60 - 55,60	68,19	5,12	0,85	1,08	24,77
KKB-03-13	7	60,65 - 61,70	65,33	5,52	0,67	4,19	24,29
KKB-03-14	8	62,10 - 63,00	66,89	5,22	0,72	4,38	22,79
KKB-03-15	8	63,00 - 64,00	68,10	5,51	0,76	1,74	23,89
KKB-03-16	8	64,00 - 65,00	70,06	4,89	0,91	0,76	23,39
KKB-03-17	8	65,00 - 66,10	68,59	4,89	0,87	0,56	25,09

Kode Conto	Lapisan Batubara	Kedalaman Conto (m)	Karbon	Hidrogen	Nitrogen % (daf)	Sulfur	Oksigen
KKB-03-18	9	87,00 - 88,00	70,19	4,86	0,98	0,75	23,22
KKB-03-19	9	88,00 - 88,30	69,67	4,51	0,80	0,27	24,75
KKB-04-1	-	15,00 - 15,30	69,17	4,77	0,47	0,22	25,37
KKB-04-2	6	22,30 - 23,70	67,90	5,22	0,80	0,43	25,65
KKB-04-3	7	24,45 - 25,45	69,57	5,09	0,91	0,16	24,28
KKB-04-4	7	25,45 - 26,45	69,36	5,01	0,93	0,16	24,55
KKB-04-5	7	26,45 - 27,45	69,30	4,99	0,86	0,12	24,73
KKB-04-6	7	27,45 - 28,45	71,90	5,14	0,85	0,16	21,96
KKB-04-7	7	28,45 - 29,45	70,97	5,32	0,86	0,21	22,64
KKB-04-8	8	30,35 - 31,35	72,25	5,21	0,89	0,19	21,45
KKB-04-9	8	31,35 - 32,80	70,01	5,36	0,87	0,27	23,48
KKB-04-10	-	34,80 - 35,60	72,17	5,38	0,82	0,19	21,44
KKB-04-11	-	56,75 - 57,45	70,75	4,81	1,03	0,29	23,12
KKB-04-12	9	58,40 - 59,60	72,25	5,00	0,96	0,24	21,55
KKB-04-13	9	59,60 - 60,80	71,69	5,27	0,92	0,23	21,90
KKB-04-14	10	86,80 - 87,90	71,41	5,63	0,78	0,41	21,77

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis geologi, jumlah lapisan batubara di daerah Pahirangan adalah 10 lapisan dengan ketebalan bervariasi antara 1 meter dan 5,5 meter dan kedalaman bervariasi antara 5,7 meter s.d. 87,9 meter berada pada satuan batupasir - batulempung Formasi Dahor.

Komposisi kelompok maseral utama seluruh conto batubara di daerah penelitian didominasi oleh huminit (64,4% s.d. 96,3%) yang mengindikasikan bahwa material organik pembentuk batubara berasal dari tumbuhan tingkat tinggi yang mengandung serat kayu (akar, batang, dahan, dan serat daun), sementara komposisi liptinit yang relatif rendah (0% s.d. 10%) mengindikasikan bahwa material organik penyusun dan pembentuk batubara umumnya tidak berasal dari tumbuhan tingkat rendah (alga, spora, dan kutikula). Selain itu, komposisi inertinit yang relatif rendah (1,4% s.d. 20%) mengindikasikan batubara terendapkan pada lingkungan yang basah, tingkat oksidasi rendah, dan tergenang oleh air yang menghalangi proses oksidasi dan pembusukan (Stach dkk., 1982).

Pengukuran nilai reflektansi vitrinit/huminit merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan tingkat kematangan batuan induk. Hasil

pengukuran nilai reflektansi vitrinit seluruh conto batubara berkisar antara 0,27% dan 0,4% yang mengindikasikan tingkat kematangan batuan induk mengalami tahapan proses diagenesis (Flores, 2014) dan termasuk kategori belum matang ($R_o < 0,6\%$) (Waples, 1985).

Komposisi mineral seluruh conto batubara didominasi oleh mineral lempung (0% s.d. 21,2%), serta sebagian kecil pirit (0% s.d. 7,6%) dan oksida besi (0% s.d. 4,6%). Komposisi mineral lempung sebagai pengotor dalam batubara yang relatif tinggi umumnya menyebabkan penurunan peringkat batubara.

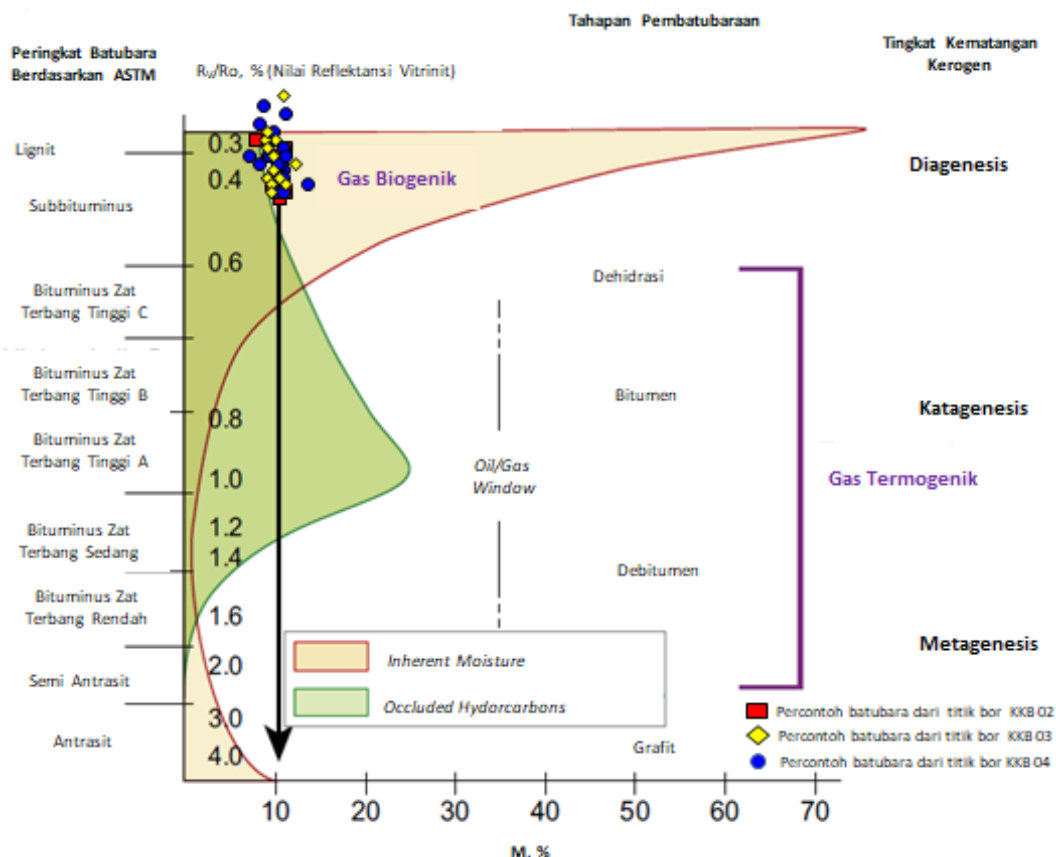
Parameter kandungan kelembaban (*moisture*) dalam analisis proksimat dan nilai reflektansi vitrinit dalam analisis petrografi dapat digunakan untuk mengidentifikasi peringkat batubara di daerah penelitian. Berdasarkan hasil interpretasi dari parameter kandungan *moisture* (*M*) dan R_v pada Tabel 2 dan 3, batubara di daerah penelitian termasuk dalam peringkat lignit-subbituminus dan produk hidrokarbon yang dihasilkan berupa gas biogenik (Flores, 2014) (Gambar 5).

Penentuan peringkat batubara dapat pula ditentukan berdasarkan indeks *Hardgrove Grindability Index* (HGI) yaitu indeks yang menggambarkan tingkat kemudahgerusan batubara oleh alat penggerus yang proses

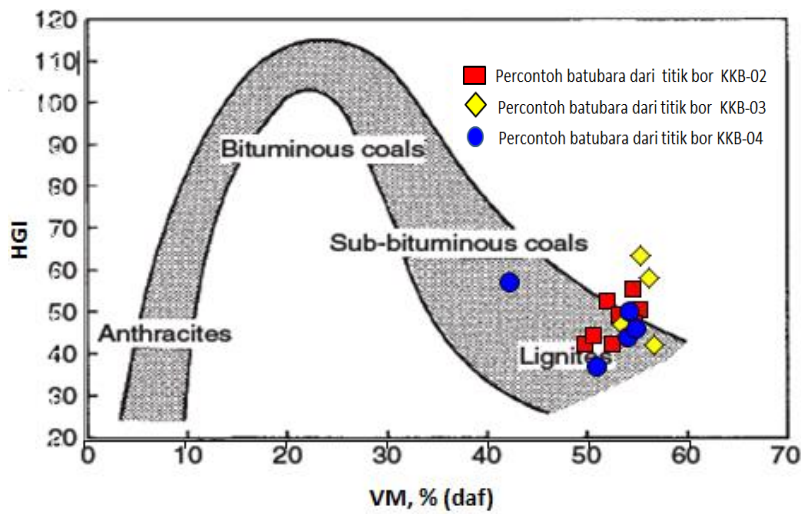
pembakaran batubaranya menggunakan partikel halus (*pulverized fuel*). Semakin tinggi nilai peringkat suatu batubara (kecuali antrasit), semakin tinggi juga nilai HGI-nya (Berkowitz, 1979). Hubungan nilai HGI juga dapat dipengaruhi faktor lainnya seperti kandungan abu batubara yang rendah dan nilai zat terbang (Rance, 1975). Kombinasi parameter nilai HGI dan kandungan zat terbang (*volatile matter/VM*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi peringkat batubara (Berkowitz, 1979). Berdasarkan nilai HGI dan VM pada Tabel 3, batubara di daerah penelitian termasuk dalam peringkat lignit-subbituminus (Gambar 6).

Penentuan peringkat batubara berdasarkan analisis ultimat dapat dilakukan dengan perbandingan antara

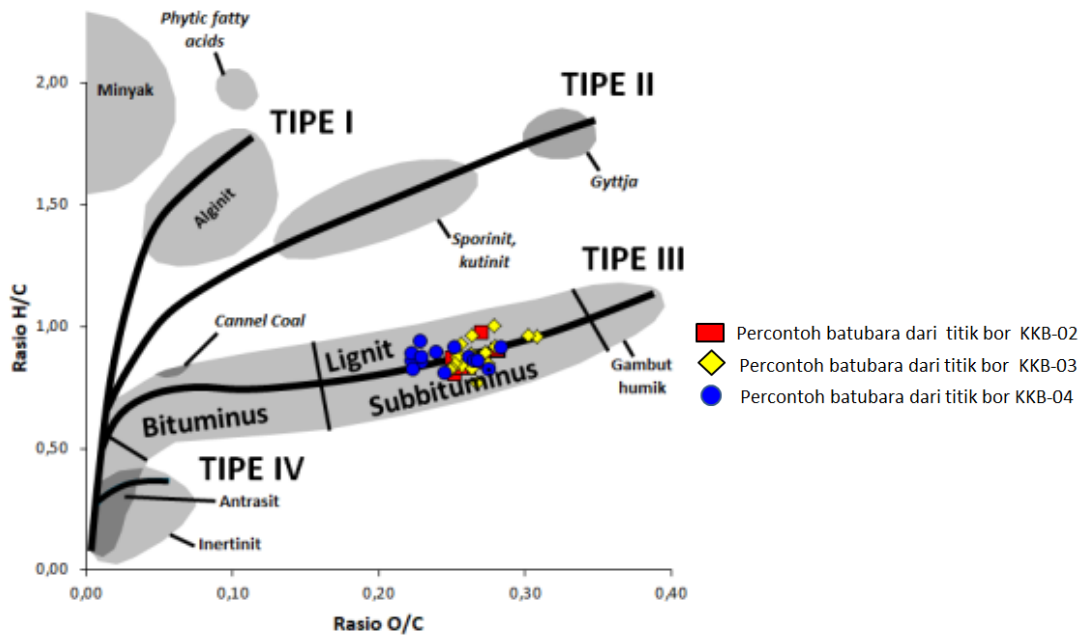
unsur hidrogen dengan karbon (H/C) dan oksigen dengan karbon (O/C) yang kemudian diplot dalam diagram van Krevelen yang telah dimodifikasi oleh Cornelius (1978). Berdasarkan hasil perhitungan H/C dan O/C yang kemudian dilakukan *plotting* dalam diagram van Krevelen tersebut mengindikasikan bahwa batubara di daerah penyelidikan termasuk dalam peringkat lignit-subbituminus dengan kerogen Tipe III (Gambar 7). Tipe III sebagian besar terdiri dari maseral huminit/vitrinit yang mengindikasikan material tumbuhan pembentuk dan penyusun batubara berasal dari tumbuhan yang mengandung serat kayu dan mempunyai kecenderungan untuk menghasilkan dan menyimpan gas dalam jumlah besar. (Tissot dan Welte, 1984).



Gambar 5. Plot silang antara kandungan *moisture* (M) dengan nilai reflektansi Vitrinit (Rv) (modifikasi dari Flores, 2014).



Gambar 6. Plot silang antara parameter VM terhadap HGI (modifikasi dari Berkowitz, 1979).



Gambar 7. Plot rasio H/C dan O/C (modifikasi dari Cornelius, 1978).

KESIMPULAN

Komposisi kelompok maseral batubara di daerah penelitian umumnya didominasi oleh huminit mengindikasikan bahwa material organik pembentuk batubara berasal dari tumbuhan yang mengandung serat kayu dan terendapkan pada lingkungan basah dengan tingkat oksidasi serta komposisi inertinit relatif rendah. Variasi nilai reflektansi vitrinit (0,27% s.d. 0,4%) mengindikasikan batubara sebagai batuan induk memiliki tingkat kematangan termal hidrokarbon “belum matang”

(<0,6%) dikarenakan masih dalam tahap diagenesis. Komposisi mineral didominasi oleh mineral lempung, sementara mineral lempung dapat bertindak sebagai pengotor dalam batubara yang dapat menyebabkan penurunan peringkat batubara.

Peringkat batubara di daerah penelitian yang relatif rendah (lignit-subbituminus) berdasarkan hasil analisis petrografi dan geokimia dapat disebabkan oleh komposisi mineral khususnya lempung yang relatif tinggi dan nilai reflektansi vitrinit yang relatif rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada unit Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah membantu pembiayaan dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amijaya, H. dan Littke, R. (2005): Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal, South Sumatra Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 61, 197 – 221.
- Anonim (2018): *Pemutakhiran data dan neraca sumber daya energi*, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung, Indonesia, (Tidak dipublikasikan).
- AS 2856.2 (1998): *Coal petrography part 2: Maceral analysis*, Standards Association of Australia, The Crescent, Homebush, NSW.
- ASTM D2798 (2011): *Standard test method for microscopical determination of the vitrinite reflectance of coal*, PA.
- ASTM D7582-12 (2012): *Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis*, PA.
- Baihaqi, A., Susilawati, R., Fauzielly, L., dan Muljana, B., I. (2017): Studi perbandingan karakteristik kimia dan petrografi batubara lapangan x, Cekungan Sumatera Selatan dan lapangan y Cekungan Sumatera Tengah, Indonesia, *Buletin Sumber Daya Geologi*, 12, 87-102.
- Belkin, H. E., Tewalt, S. J., Hower, J. C., Stucker, D. J., O’Keefe, J., M. K., Tatu, C., Buia, A. G. (2010): Petrography and geochemistry of Oligocene bituminous coal from the Jiu Valley, Petroşani basin (southern Carpathian Mountains), Romania, *International Journal of Coal Geology*, 82, 68-80.
- Berkowitz, N. (1979): *An introduction to coal technology*, Academic Press, New York, 345.
- Cook, A. C. (1982): *The origin and petrology of organic matter in coal, oil shales and petroleum source rocks*, University of Wollongong, Wollongong, New South Wales.
- Cornelius, C., D. (1978): *Muttergesteinfazies als parameter der erdolbildung*, Erdo I-Erdgas Zeitschrift 3, 90-94.
- Diessel, C. F. K. (1992): *Coal-bearing depositional systems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Flores, R. (2014): *Coal and coalbed gas fueling the future*, Elsevier Inc, Waltham, MA, USA.
- Kusnama (2008): Batubara Formasi Warukin di Daerah Sampit dan Sekitarnya, Kalimantan Tengah, Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Kusuma, M. I. dan Nafi, A. N. (1986): Prospek hidrokarbon Formasi Warukin di Cekungan Barito, Kalimantan, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV IAGI*, Jakarta, 105-124.
- Nila, E. S., Rustandi, E., dan Heryanto, R. (1995): Peta Geologi Lembar Palangkaraya, Kalimantan, Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- O’Keefe, J. M. K., Bechtel, A., Christianis, K., Dai, S., Dimichele, W. A., Eble, C. A., Esterle, J. S., Mastalerz, M., Raymond, A. L., Valentim, B. V., Wagner, N. J., Ward, C. R., dan Hower, J. C. (2013): On the fundamental difference between coal rank and coal type, *International Journal of Coal Geology*, 118, 58-87.
- Rance, H., C. (1975): *Coal Quality Parameters and their Influence in Coal Utilisation*, Shell International Petroleum Co. Ltd., Technical Reports on Coal.

- Rautenbach, R., Strydom, C. A., Bunt, J. R., Matjie, R. H., Campbell, Q. P., dan Van Alphen, C (2018): Mineralogical, chemical, and petrographic properties of selected South African power stations' feed coals and their corresponding density separated fractions using float-sink and reflux classification methods, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 1923-2702.
- Scott, A. (2002): Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead?, *International Journal of Coal Geology*, Elsevier Science Publishers B.v. 50, 119-134.
- Siregar, M. S. dan Sunaryo, R. (1980): Depositional environment and hydrocarbon prospects, Tanjung Formation, Barito Basin, Kalimantan. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 9th annual convention, 379-400.
- Stach, E., Malkowsky, M-Th., Teichmuller, M. Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmuller, R. Stach's textbook of coal petrology, 3rd (1982): Stach's textbook of coal petrology, 3rd edition, Gebruder Borntraeger, Berlin-Stuggart, 535.
- Taylor, G. H., Teichmuller, M., Davis A., Diessel, C. F. K., Littke R., dan Robert P. (1998): *Organic petrology*, Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Teichmuller, M. (1989): The genesis of coal form the viewpoint of coal petrology, *International Journal of Coal Geology*, Elsevier Science Publishers B.V., 12, 1-87.
- Tissot, B. P. dan Welte, D. H. (1984): *Petroleum formation and occurrence*. 2nd Edition. Berlin, Springer-Verlag, 699.
- Waples, D. (1985): *Geochemistry in Petroleum Exploration*, International Human Resources Co., Boston, 232.

Diterima	: 20 Februari 2019
Direvisi	: 25 Maret 2019
Disetujui	: 31 Mei 2019

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi dalam kesempatan ini mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasama yang baik dalam proses review lima buah artikel untuk edisi kesatu. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya untuk edisi ini, antara lain Prof. Dr. Binarko Santoso, Prof. Dr. Ir. Mega Fatimah Rosyana, M.Sc, Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T, M.Sc, Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, Dr. Ir. Agus Didit, M.T dan Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T, M.T dan Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T.

Kami juga mengucapkan terimakasih kepada semua unsur Dewan Redaksi atas usaha yang sangat baik dalam menyelesaikan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.14 Nomor.1 Tahun 2019. Kami berharap kehadiran Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat umum dalam bentuk cetakan maupun digital secara on line dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 14 Nomor 1 Tahun 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Bambang Pardiarto
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: b.pardiarto@yahoo.com

Bambang Priadi
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian,
Institut Teknologi Bandung
Email: bpriadi_gl79@yahoo.com

Dwi Nugroho Sunuhadi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: dwisunuhadi@yahoo.com

Dudi Hermawan
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: dudi.hermawan@esdm.go.id

Ernowo
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: ernowo.1972@esdm.go.id

Eska P. Dwitama
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: epd.0973@gmail.com

Hartaja Muhamad Hatta Wicaksono
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: hartajawicaksono@gmail.com

Herry Rodiana Eddy
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: herry.eddy@esdm.go.id

Irwan Muksin
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: irwan_dim@yahoo.com

Iudhi O. Prahesthi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email:

Lano Adhitya Permana
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: lano.adhitya@esdm.go.id

Reza Fahmi
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian,
Institut Teknologi Bandung
Email: rezafahmi14010@gmail.com

Santia Ardi Mustofa
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: santia.ardi@gmail.com

Sigit A. Wibisono
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: sigit.arso@esdm.go.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 14 Nomor 1 Tahun 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- Alterasi 21-26, 28, 31, 32
Batuan pembawa kalium 1, 3-5, 7, 9-11, 13, 15, 17-19
Batubara 1, 13, 19, 21, 24, 33, 35, 47, 49, 53, 61, 63, 65-77
Cluwak 1-5, 7-11, 13, 15, 17-19
Emas 19, 21-25, 27-33, 49, 50, 51, 53-57, 59, 61, 63, 72
Geokimia 21, 23, 24, 29-31, 35, 36, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 61, 63, 65-67, 69-71, 73, 75-77
Grasberg 49-63
Huminit 65, 69, 70, 74-76
Isotermal 35-37, 39, 41-47
Kalium oksida 1
Konsentrat 49, 51, 53, 55-63
Leusit 1, 5, 6, 8, 10, 12, 17, 18, 19
Mata air panas 35, 36, 38-40, 42-45
Mineralisasi 21-25, 27-29, 31-33, 49-54
Pati 1-11, 13, 15, 17-19, 52
Pemodelan 35-37, 39, 41, 43-47
Petrografi 1, 4, 6, 10-12, 17, 21, 23, 24, 26, 32, 65-67, 69-71, 73-77
PGE 49, 50, 60
Porfiri 10-12, 37, 49-51, 53-57, 59-61, 63
Reflektansi vitrinit 65, 66, 69, 70, 74-76
Selenium 49, 50, 61, 64
Sipoholon 35-45, 47
Telurium 49, 50, 61
Tiga dimensi (3D) 35-37, 41, 43, 45, 47
Zona Oksida 21-23, 25-27, 29, 31, 33

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Mei 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

DDC:

Herry Rodiana Eddy dan Irwan Muksin
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK BATUAN PEMBAWA KALIUM DI KECAMATAN CLUWAK, KABUPATEN PATI, PROVINSI JAWA TENGAH

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2019 Vol. 14 No. 1 Hal. 1 - 20

Peningkatan kebutuhan kalium untuk industri pupuk dalam negeri dapat terpenuhi dengan melakukan eksplorasi batuan pembawa kalium secara terus menerus sehingga ditemukan daerah potensi baru di Indonesia. Batuan pembawa kalium di Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu daerah prospek dari beberapa daerah di Kabupaten Jepara, Kabupaten Pati dan Kabupaten Kudus, karena batas toleransi minimal yang dipersyaratkan sebagai pupuk NPK padat mempunyai kandungan kalium sebagai K₂O minimal 8%.

Metode yang digunakan berupa kegiatan pemetaan geologi, pengamatan lapangan pada formasi batuan yang terindikasi keterdapatannya batuan pembawa kalium, pengeboran sebanyak tiga titik bor, analisis kimia major elements, berat jenis, petrografi batuan, dan raman spectroscopy terhadap conto permukaan dan bawah permukaan.

Stratigrafi daerah Kecamatan Cluwak tersusun atas Satuan Batuan Gunung Muria, yang terdiri dari lava, breksi dan tuf, yang melampar hampir di keseluruhan daerah penyelidikan, dan Satuan Batugamping yang merupakan batuan pembawa kalium yang terdiri dari lava, breksi dan tuf ini tersingkap di bagian utara. Lava di daerah ini sebagian telah mengalami pelapukan dan memperlihatkan pelapukan mengulit bawang.

Batuan pembawa kalium dapat dibagi ke dalam tiga blok sebaran, yaitu Blok Karangari, Blok Sentul, dan Blok Medani. Jenis batuanannya berupa batuan alkali, dan beberapa conto batuan yang masuk jenis batuan sub-alkali pada batuan basal. Selain itu menunjukkan adanya jenis batuan seri alkalin yang mengandung silika rendah dan alkalin yang tinggi, terbagi menjadi absarokite dan shoshonite, juga termasuk pada golongan Seri Kalium (Potassic Series) sampai Seri Kalium Tinggi (High-K-Series).

Berdasarkan parameter tanah K₂O, HCl 25% menghasilkan lima kategori dengan prosentase 9,1% termasuk kriteria sangat rendah, 13,6% rendah, 8,2% sedang, 16,4% tinggi dan 51,8% sangat tinggi. Sedangkan dengan parameter tanah Asam sitrat 2% Bray didapatkan hasil 100% termasuk kriteria sangat tinggi.

Kata kunci: batuan pembawa kalium, kalium oksida, leusit, Cluwak, Pati

DDC:

Reza Fahmi¹, Hartaja Muhamad Hatta W.², dan Bambang Priadi¹
(¹Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung dan ²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI EMAS PADA ZONA OKSIDASI DI DAERAH PANGAPIT, KABUPATEN SAMBAS, PROVINSI KALIMANTAN BARAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2019 Vol. 14 No. 1 Hal. 21 - 33

Penelitian dilakukan di Dusun Pangapit, Desa Madak, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat. Daerah tersebut memiliki tambang emas yang dikelola oleh masyarakat sekitar. Daerah di sekitar tambang telah mengalami oksidasi intensif yang ditandai oleh kondisi lapangan yang berwarna kemerahan dan banyaknya mineral oksida besi. Penelitian dilakukan guna mengetahui karakter dari alterasi dan mineralisasi di sekitar tambang dengan menggunakan metode analisis petrografi, mineragrafi, spektra dan geokimia.

Zona alterasi di daerah penelitian terdiri dari tiga zona, yaitu kaolinit, serisit-ilit dan klorit-epidot-kalsit. Alterasi di daerah penelitian terjadi dalam dua tahap, tahap pertama terjadi setelah Eosen dan sebelum Pliosen, sementara tahap kedua terjadi setelah Pliosen-Pleistosen. Alterasi pertama ter-overprint sebagian oleh alterasi kedua.

Mineralisasi emas di daerah penelitian berupa urat dengan arah umum baratlaut-tenggara yang terdiri dari mineral kuarsa, hematit, goetit, pirolusit, pirit, dan kalkopirit. Emas pada mineralisasi primer berasosiasi sedang dengan unsur Pb. Mineralisasi primer terpusat pada daerah tambang rakyat Pangapit di baratlaut Bukit Batubelah dengan hostrock tuf dan batulempung. Mineralisasi primer terjadi bersamaan dengan terjadinya alterasi pertama.

Kata kunci: Mineralisasi, Emas, Alterasi, Geokimia, Zona Oksida

DDC:

Lano Adhitya Permana, Dudi Hermawan, dan Santia Ardi Mustofa
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

PEMODELAN ISOTERMAL SECARA TIGA DIMENSI (3D) BERDASARKAN MANIFESTASI PERMUKAAN PADA DAERAH SIPOHOLON, KABUPATEN TAPANULI UTARA, PROVINSI SUMATERA UTARA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2019 Vol. 14 No. 1 Hal. 35 - 48

Pemodelan isothermal secara tiga dimensi (3D) pada daerah Sipoholon dilakukan untuk memberikan visualisasi yang lebih baik sehingga mempermudah dalam memahami kondisi temperatur bawah permukaan. Metode yang digunakan pada penelitian ini difokuskan pada pengolahan

data geokimia berupa mata air panas yang didukung oleh data geologi dan geofisika, untuk kemudian dilakukan pemodelan 3D isothermal sehingga dapat dilakukan analisis dan interpretasi kondisi temperatur bawah permukaan di daerah penelitian. Hasil pemodelan 3D isothermal menunjukkan bahwa pola isothermal di daerah penelitian dipengaruhi oleh keberadaan sumber panas, struktur geologi dan pola resistivitas. Mengingat keterbatasan data yang dimiliki, hasil pemodelan ini masih merupakan proses awal pemodelan pada sistem panas bumi daerah Sipoholon dan masih memungkinkan untuk dilakukan pembaharuan data dan model lebih lanjut.

Kata kunci: Sipoholon, pemodelan, tiga dimensi (3D), isothermal, mata air panas

DDC:

Ernowo, Bambang Pardiarto, dan Dwi Nugroho Sunuhadi
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

GEOKIMIA BIJIH DAN KONSENTRAT DARI CEBAKAN TEMBAGA-EMAS PORFIRI GRASBERG, TEMBAGAPURA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2019 Vol. 14 No. 1 Hal. 49 - 64

Cebakan porfiri merupakan salah satu tipe cebakan hidrotermal yang proses pembentukannya berkaitan dengan intrusi porfiritik dengan kontrol struktur geologi yang dominan. Mineralisasi utama terjadi pada zona ubahan potasik berupa mineral-mineral sulfida yang terendapkan secara tersebar atau dalam urat-urat stockwork dan breksi hidrotermal dengan Cu sebagai kandungan logam paling dominan. Selain Cu, Au, Mo dan Ag yang sudah umum diekstrak, cebakan tipe porfiri juga mengandung unsur-unsur ikutan yang dapat bernilai ekonomis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur logam dalam bijih dan konsentrat bijih dari cebakan porfiri Cu-Au Grasberg dengan tujuan mengetahui jenis unsur-unsur ikutan lainnya yang berpotensi untuk dimanfaatkan karena bernilai ekonomis.

Metode analisis kimia AAS, ICP-OES, XRF, kolorimetri, spektrofotometri, turbidimetri, volumetri dilakukan terhadap 12 conto bijih terdiri dari masing-masing 3 conto dari jenis bijih MGO, HGO, SGO dan CLO, 11 conto konsentrat serta 1 conto tailing. Spektrofotometri UV-Vis dilakukan terhadap 2 conto konsentrat untuk mengetahui kandungan U dan Th.

Kadar Cu, Au dan Ag terkait dengan kandungan mineral-mineral sulfida di dalam bijih dan sudah terbukti ekonomis. Kadar Te dan Se di dalam bijih masing-masing 2,7 ppm dan 6,4 ppm. Di dalam konsentrat bijih, kadar kedua unsur tersebut meningkat menjadi 16 ppm Te dan 174 ppm Se. Data peneliti lain menunjukkan kandungan platinum group elements (PGE) yaitu Pd dan Pt di dalam konsentrat bijih masing-masing 1700 ppb dan 650 ppb. Data tersebut menunjukkan unsur-unsur ikutan Te, Se, Pt dan Pd dari cebakan porfiri Cu-Au Grasberg bisa diambil dari lumpur anoda sebagai produk ikutan dari proses pemurnian bijih tembaga.

Kata kunci: Porfiri, Grasberg, konsentrat, PGE, selenium, telurium

DDC:

Sigit A. Wibisono, Eska P. Dwitama, dan Iudhi O. Prahesthi
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

PETROGRAFI DAN GEOKIMIA BATUBARA DI DAERAH PAHIRANGAN DAN SEKITARNYA, KABUPATEN KOTAWARINGIN TIMUR, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2019 Vol. 14 No. 1 Hal. 65 - 78

Komposisi maseral dan mineral serta peringkat batubara merupakan beberapa parameter yang digunakan untuk penentuan karakteristik batubara. Penelitian di daerah Pahirangan dan sekitarnya bertujuan mengetahui karakteristik batubara Formasi Dahor berupa komposisi maseral dan mineral serta peringkat batubara. Komposisi maseral dan mineral dilakukan dengan analisis petrografi untuk mengetahui material organik pembentuk batubara, sementara identifikasi peringkat batubara dilakukan dengan analisis geokimia dan pengukuran reflektansi vitrinit. Analisis dilakukan terhadap 42 conto di Formasi Dahor. Komposisi kelompok maseral utama didominasi oleh huminit yang berkisar antara 64,40% s.d. 93,60% dan sebagian kecil inertinit (2,00% s.d. 20,40%) serta liptinit (0,00% s.d. 10,00%). Berdasarkan parameter hasil perhitungan, nilai reflektansi vitrinit, kandungan air, Hardgrove Grindability Index, unsur hidrogen, oksigen, dan karbon mengindikasikan batubara di daerah penelitian termasuk dalam peringkat lignit-subbituminus, sedangkan material organik pembentuk batubara berasal dari tumbuhan berkayu.

Kata kunci: geokimia, petrografi, reflektansi vitrinit, batubara, huminit



Kawah Wawo Muda di Komplek Gunung Inielika merupakan produk letusan freatik yang terjadi pada tahun 2001. Kehadiran kerucut-kerucut gunung api di kompleks Gunung Inielika dapat berperan sebagai sumber panas pada sistem panas bumi di daerah Gou Inielika. (Lano Adhitya P, 2017)



Singkapan batuan di daerah Bumiayu yang berupa perselingan batupasir dan batulempung dengan pola menghalus keatas (*fining upward*). (Lano Adhitya P, 2016)

GALERI FOTO



Singkapan batuan di Desa Menge, Kabupaten Bajawa yang telah mengalami ubahan hidrotermal menjadi mineral lempung. Hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa jenis mineral lempung tersebut berupa montmorilonite dan kaolinite. Kehadiran batuan ubahan dapat mengindikasikan adanya batuan penutup (*clay cap*) pada suatu sistem panas bumi. (Lano Adhitya P, 2017)



Singkapan batuan vulkanik berupa aliran lava berjenis andesitis-basaltis di Lereng Selatan Gunungapi Banda Neira yang merupakan produk letusan Gunung Banda Neira Tahun 1988. Pada bagian puncak Gunungapi Banda Neira terdapat manifestasi panas bumi berupa fumarol. (Lano Adhitya P, 2016)



Pengukuran Jurus dan Kemiringan Lapisan Batubara di Formasi Tanjung, Daerah Tabulako, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan (Soleh Basuki Rahmat,2018)



Sisipan batulempung pada batubara di Formasi Tanjung, Daerah Tabulako, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan (Soleh Basuki Rahmat,2018)



Singkapan batulempung di Formasi Muaraenim,
Kabupaten Ogan Komering Ulu, Provinsi Sumatra Selatan
(Rahmat Hidayat, 2018)



Pengamatan lapisan batubara Formasi Muaraenim di Daerah Air Laya,
Tanjung Enim, Provinsi Sumatra Selatan
(Sigit A. Wibisono, 2018)



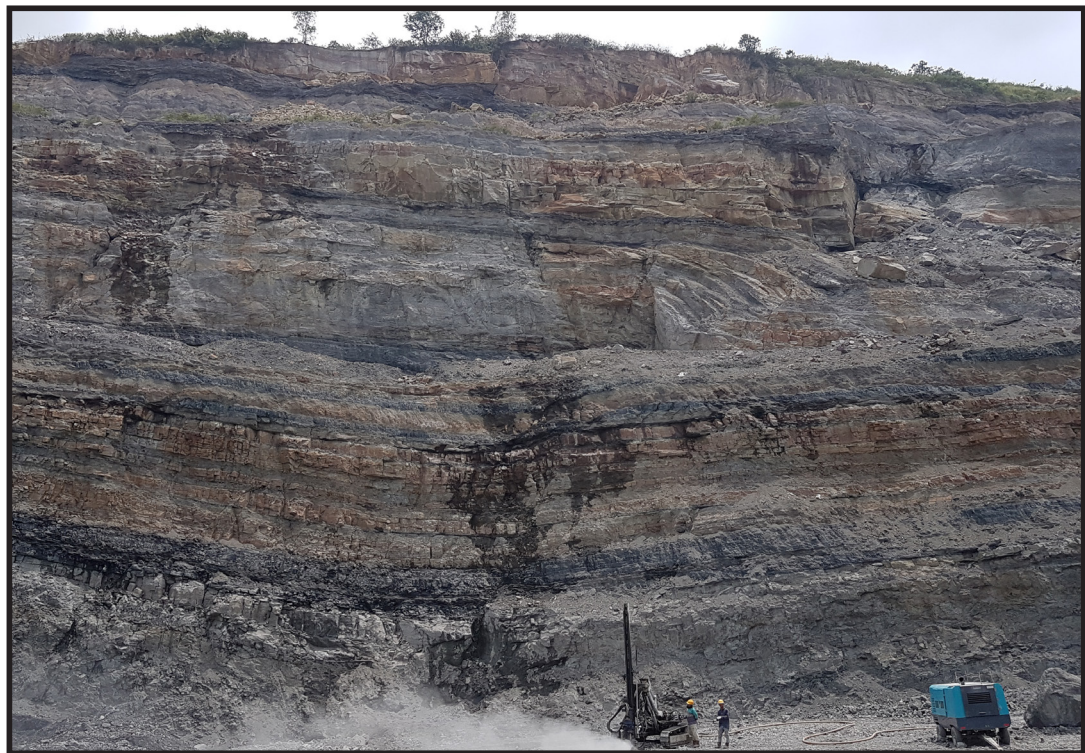
Singkapan batubara Formasi Dahor di daerah Kuala Kuayan, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah (Sigit A. Wibisono, 2018)



Contoh inti bor sumur KKB-02 pada kedalaman 32,00-36,00 m di Daerah Kuala Kuayan, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah (Sigit A. Wibisono, 2018)



Cleat pada singkapan batubara daerah Kabupaten Ogan Komering Ulu,
Provinsi Sumatera Selatan.
(R. Maria Ulfa, 2019)



Struktur dan perlapisan batuan pada Tambang Batubara Terbuka, Kota Sawahlunto,
Provinsi Sumatera Barat.
(R. Maria Ulfa, 2019)



Singkapan Batubara Formasi Muaraenim di daerah Air Laya,
Tanjung Enim, Provinsi Sumatra Selatan
(Sigit A. Wibisono, 2018)



Zeolit di Desa Batubalai, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.
(Irwan Muksin, 2016)



Felspar Gunung Ragas di Kecamatan Donorojo, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. (Irwan Muksin, 2016)



Singkapan kaolin di daerah Celuak, Kecamatan Simpang Katis, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. (Irwan Muksin, 2015)



Singkapan batuan granit dengan fenokris mineral kuarsa dan felspar serta urat kuarsa setebal 5 cm, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah. (Irwan Muksin, 2008)



Singkapan felspar memperlihatkan laminasi, Kecamatan Karang, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. (Irwan Muksin, 2008)



Dolomit di Desa Kotabuluh Gugung, Kecamatan Kutabuluh, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. (Irwan Muksin, 2018)



Batuan pembawa kalium di Desa Payak, Kecamatan cluwak, Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah. (Irwan Muksin, 2018)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulas balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialih bahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

FORMAT

UMUM

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract*, judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 *point*. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut:

NO	POKOK BAHASAN	POKOK PIKIRAN
I	Judul (<i>Title</i>)	Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxcimile serta email.
II	Abstrak dan <i>Abstract</i>	Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara <i>Abstract</i> tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/ <i>keyword</i> yang ditulis di bawah Abstrak/ <i>Abstract</i> , terdiri dari 4 hingga 6 kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan <i>italic font</i> .

PEDOMAN PENULISAN

<p>III</p>	<p>Pendahuluan (<i>Introduction</i>)</p>	<p>Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.</p>
<p>IV</p>	<p>Metodologi (<i>Methodology</i>)</p>	<p>Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/<i>sampling</i>, cara pengukuran dan komputasi.</p>
<p>V</p>	<p>Hasil dan Pembahasan (<i>Results and Discussion</i>)</p>	<p>Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. <i>Font</i> huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 <i>point</i>.</p> <p>Berisi tentang analisis/interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.</p>
<p>VI</p>	<p>Kesimpulan dan Saran (<i>Conclusions and Recommendation</i>)</p>	<p>Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).</p>
<p>VII</p>	<p>Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)</p>	<p>Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis.</p>
<p>VIII</p>	<p>Acuan (<i>References</i>)</p>	<p>Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (<i>surname</i>), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (<i>italic font</i>)</p>

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. *Maceral distribution in Illinois coals and their palaeoenvironmental implication*. International Journal of Coal Geology, 5, h.141-165.

Buku

Petters, W.C., 1987. *Exploration and Mining Geology*. John Willey & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. *Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region*. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. *Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera*. Proceedings Southeast Asian Coal Geology, Bandung.

Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. *The Late Quarternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia*. Ph.D Thesis at Dept. of Quarternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universitet Amsterdam, h.1-12.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. *Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving*. http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/[26 Jan 2006].

Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah substansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

Pengiriman Naskah

Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Tata Usaha, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email: buletinsdg@gmail.com
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

SERTIFIKAT

Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi



Kutipan dari Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia
Nomor: 21/E/KPT/2018, Tanggal 9 Juli 2018
Tentang Hasil Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode I Tahun 2018

Nama Jurnal Ilmiah
Buletin Sumber Daya Geologi
E-ISSN: 2580-1023
Penerbit: Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun, yaitu
Volume I Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 15 Nomor 3 Tahun 2020

Jakarta, 9 Juli 2018
Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan



Dr. Muhammad Dimiyati
NIP. 195912171984021001



Alamat Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Tata Usaha, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263
Website : <http://psdg.geologi.esdm.go.id>
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>
Email: buletinpsdg@gmail.com

