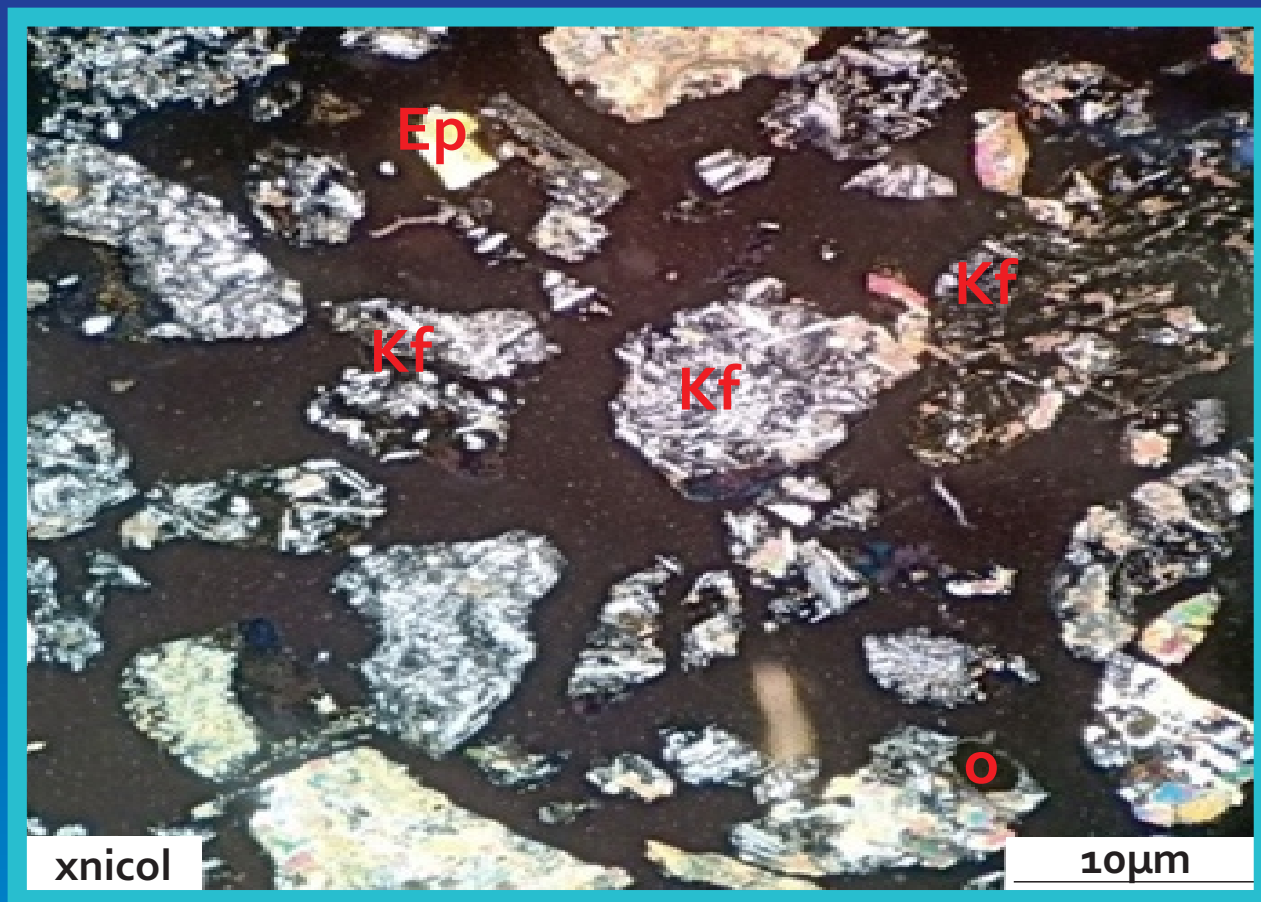


buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 15 No. 2, Agustus 2020



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 15	No. 2	Halaman 73 - 139	Bandung Agustus 2020	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Fotomikrograf sampel W-2 1338 menunjukkan kehadiran mineral epidot (Ep), butiran tuf kristal (Kf) dan mineral opak (O) (Aldila Jasmine Purbiyantoro, dkk., 2020)

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, S.I.Pust.
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. Drs. Dedi Kusnadi Indra Sukmayana, S.T.
Peer-Reviewer	Prof. Dr.Ir. Binarko Santoso, M.Sc Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D Dr. Chairul Nas, M.Sc. Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc. Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T. Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T. Edi Suhanto, S.Si, M.T. Dr. Asep Kurnia Permana, S.T., M.Sc

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

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) pada akhir Agustus 2020 kembali menerbitkan Buletin Sumber Daya Geologi, volume -15 nomor 2 tahun 2020. Pada setiap penerbitannya, dihadirkan lima makalah yang membahas tentang potensi mineral dan energi. Edisi saat ini hadir dengan bahasan yang cukup beragam, yaitu tentang mineral, gambut, batubara dan panas bumi yang ditinjau dari berbagai aspek.

Analisis struktur yang dikombinasikan dengan bukti mineralisasi dan alterasi di lapangan merupakan suatu kajian yang menarik untuk dibaca. Hal ini menghasilkan rekomendasi penyelidikan lebih lanjut pada enam wilayah prospek logam mulia di Blok Cibaliung, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten.

Selanjutnya, potensi keberadaan unsur-unsur kimia ekonomis pada *Brine Water* di lapangan panas bumi PLTP Dieng diungkapkan dalam makalah kedua. Hal ini memberi kemungkinan peluang pemanfaatan komoditas lain, selain uap panas bumi yang telah terbukti menjadi sumber energi ramah lingkungan.

Makalah ketiga membahas tentang besarnya sumber daya gambut berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan alternatif pemanfaatannya untuk adsorben logam berat. Hal ini dapat merupakan salah satu peluang pemanfaatan gambut di Indonesia.

Fluiditas batubara menjadi bahasan pada makalah, selanjutnya Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kandungan abu dan zat terbang terhadap maksimum fluiditas batubara. Hal ini merupakan salah satu parameter penting yang sangat berkaitan dengan kualitas dan kekuatan kokas yang dihasilkan.

Makalah terakhir membahas tentang penentuan zonasi secara vertikal pada sumur pengeboran panas bumi, sehingga dapat ditentukan batuan penudung, transisi dan reservoarnya pada kedalaman tertentu. Pendekatan yang digunakan berupa analisis petrografis dan metilen biru (MeB) yang didukung oleh uji tekanan dan temperatur.

Penampilan makalah-makalah tersebut di dalam buletin ilmiah ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pengetahuan bagi para pembaca. Selain itu, buletin ini diharapkan dapat dijadikan sarana untuk menyalurkan informasi hasil penyelidikan dari para ahli kebumiharian yang ditulis dengan standar Karya Tulis Ilmiah yang baku.

Selanjutnya, Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih kepada Kepala PSDMBP dan jajaran manajemen pendukungnya yang selalu berperan penuh dalam menerbitkan buletin ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para Mitra Bestari yang selalu siap menyumbangkan wawasannya sesuai dengan keahliannya, Tahun ini, buletin ilmiah ini bersiap untuk mengikuti proses reakreditasi. Semoga dengan kehadiran yang konsisten dan substansi bahasan yang menarik dan berkualitas, insya Allah buletin ilmiah ini akan kembali memperoleh status terakreditasi dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia.

Salam sehat, selalu semangat dan terus berkontribusi dalam menulis karya tulis ilmiah.

Salam hangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 73 - 87 **KONTROL STRUKTUR GEOLOGI PADA ALTERASI DAN MINERALISASI DI DAERAH CIBALIUNG, KABUPATEN PANDEGLANG, PROVINSI BANTEN**
CONTROL OF GEOLOGICAL STRUCTURE ON ALTERATION AND MINERALIZATION IN CIBALIUNG AREA, PANDEGLANG REGENCY, BANTEN PROVINCE
Oleh : Abdul Bari, Mega F Rosana, dan Iyan Haryanto
- 89 - 100 **POTENSI KANDUNGAN UNSUR KIMIA EKONOMIS PADA LARUTAN PANAS BUMI DENGAN STUDI KASUS DI PLTP DIENG, KABUPATEN WONOSOBO DAN KABUPATEN BANJARNEGARA, PROVINSI JAWA TENGAH**
THE POTENTIAL CONTENT OF ECONOMIC CHEMICALS ELEMENT IN GEOTHERMAL SOLUTIONS WITH A CASE STUDY IN THE DIENG GEOTHERMAL POWER PLANT, WONOSOBO REGENCY AND BANJARNEGARA REGENCY, CENTRAL JAVA PROVINCE
Oleh : Sabtanto Joko Suprpto, Suparno, dan Umi Yuliatin
- 101 - 115 **KARAKTERISASI DAN ESTIMASI SUMBER DAYA GAMBUT SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN LOGAM BERAT DALAM LARUTAN DI BLOK TELUK MERANTI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU**
CHARACTERIZATION AND RESOURCES ESTIMATION OF PEAT DEPOSIT AS HEAVY METAL ADSORBENT IN SOLUTION AT TELUK MERANTI BLOCK, PELALAWAN REGENCY, RIAU PROVINCE
Oleh : Muhammad Arief Pinandita, Galuh Yuliani, Agus Subarnas, Denni Widhiyatna, Maryono, dan Siska Mutiara
- 117 - 128 **PENGARUH KANDUNGAN ABU DAN ZAT TERBANG TERHADAP MAKSIMUM FLUIDITAS BATUBARA FORMASI TANJUNG DI DAERAH SEKAKO, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**
THE INFLUENCE OF ASH AND VOLATILE MATTER CONTENTS ON MAXIMUM FLUIDITY OF TANJUNG FORMATION COAL IN SEKAKO AREA, CENTRAL KALIMANTAN PROVINCE
Oleh : Beny Wiranata, Hendra Amijaya, Ferian Anggara, dan Deddy Nan Setya Putra Tenggara
- 129 - 139 **KARAKTERISTIK ZONASI BATUAN RESERVOAR BERDASARKAN PETROGRAFI, SERBUK BOR, UJI TEKANAN DAN TEMPERATUR DI LAPANGAN PANAS BUMI SOKORIA, KABUPATEN ENDE, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**
RESERVOIR CHARACTERISTICS BASED ON PETROGRAPHY, CUTTING, PRESSURE AND TEMPERATURE TEST IN SOKORIA GEOTHERMAL FIELD, ENDE REGENCY, NUSA TENGGARA TIMUR PROVINCE
Oleh : Aldila Jasmine Purbiyantoro, Agus Didit Haryanto, Euis Tintin Yuningsih, dan Haris Siagian

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**KONTROL STRUKTUR GEOLOGI PADA ALTERASI DAN MINERALISASI
DI DAERAH CIBALIUNG, KABUPATEN PANDEGLANG, PROVINSI BANTEN**

**CONTROL OF GEOLOGICAL STRUCTURE ON ALTERATION AND MINERALIZATION
IN CIBALIUNG AREA, PANDEGLANG REGENCY, BANTEN PROVINCE**

Abdul Bari^{1,2}, Mega F Rosana¹, dan Iyan Haryanto¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

²PT Aneka Tambang Tbk., Jakarta

abdul.bari@antam.com

ABSTRAK

Cibaliung terletak di dalam *Honje Igneous Complex* yang merupakan kompleks vulkanik berumur Miosen yang memiliki dua urat kuarsa yang ekonomis untuk ditambang yaitu urat Cikoneng dan urat Cibitung. Keterdapatannya urat kuarsa di Cibaliung ini telah ditambang dan diproduksi oleh PT Cibaliung Sumber Daya anak perusahaan PT Aneka Tambang Tbk. Pada proses produksinya urat kuarsa ini telah mencapai batas maksimal produksinya sehingga diperlukan cadangan baru. Metodologi penelitian yang dilakukan antara lain pengamatan struktur geologi dengan analisis kelurusan topografi, *circular feature*, analisis kelurusan sungai melalui citra *Digital Elevation Model*, dan pengukuran struktur breksiasi, *slickenside*, *shear fracture* dan *gash fracture*. Hasil interpretasi data lapangan dari 328 lokasi pengamatan dengan 8.114 data struktur geologi menunjukkan bahwa keterdapatannya struktur geologi berbanding lurus dengan intensitas alterasi dan mineralisasi. Dari hasil metode analisis struktur dan pergerakan sesar yang dikorelasikan dengan data mineralisasi dan alterasi didapatkan 14 daerah prospek yakni Prospek Cikoneng-Cibitung, Prospek Cibengang, Prospek Rorah Kadal, Prospek Cikeni, Prospek Ramada, Prospek Mastar, Prospek Muara Cikeni, Prospek Cipatat, Prospek Ciburial, Prospek Cikamancing, Prospek Sompok Uara, Prospek Batulawang Utara, Prospek Cikarae-Cingenge, dan Prospek Ciparay. Dari beberapa prospek tersebut direkomendasikan untuk dilakukan eksplorasi lebih lanjut pada enam prospek, yakni Prospek Cibengang, Prospek Ramada, Prospek Cikoneng Barat, Prospek Cikamancing, Prospek Sompok Utara dan Prospek Batulawang Utara.

Kata kunci: urat, struktur, alterasi, mineralisasi, prospek, Cibaliung

ABSTRACT

Cibaliung is located in the Honje Igneous Complex, which is a Miocene volcanic complex, having two economically mineable quartz veins, i.e. Cikoneng and Cibitung veins. These veins have been mined and produced by PT Cibaliung Sumber Daya - subsidiary of PT Aneka Tambang Tbk. In the production process, the veins have reached the maximum limit. Therefore, a new reserve must significantly be discovered. The research methodology includes observation of geological structures with topographic lineament analysis, circular feature, river lineament analysis using Digital Elevation Model, and measurement of brecciation structure, shear fracture and gash fracture. The results of field data interpretation from 328 observation locations with 8,114 geological structure data both for shear fracture and gash fracture show that the presence of geological structures is directly proportional to the intensity of alteration and mineralization. From the structural and fault movement analysis and the correlation with mineralization and alteration data, there can be delineated 14 prospect areas, namely the Cikoneng-Cibitung, Cibengang, Rorah Kadal, Cikeni, Ramada, Mastar, Muara Cikeni, Cipatat, Ciburial, Cikamancing, Sompok Uara, North Batulawang, Cikarae-Cingenge, and Ciparay Prospects. From these prospects, it is recommended to

conduct further exploration on six prospects, namely Cibengang, Ramada, West Cikoneng, Cikamancing, North Sompok and the North Batulawang Prospects.

Keywords: vein, structure, alteration, mineralization, prospect, Cibaliung

PENDAHULUAN

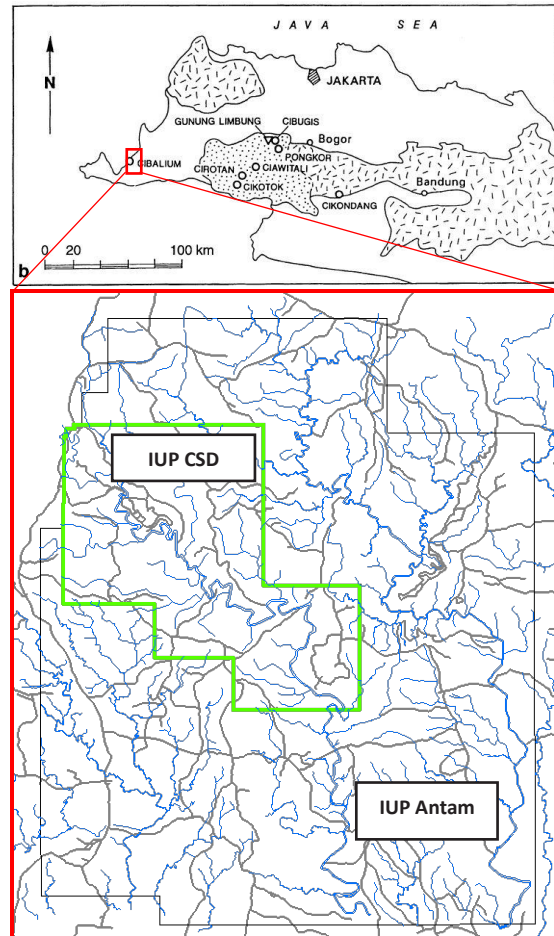
Daerah Banten Selatan khususnya Cibaliung terletak di pusat dari bagian busur magmatik Neogen Sunda-Banda (Carlile dan Mitchell, 1994). Busur Sunda-Banda ini merupakan busur yang paling panjang di Indonesia yang membentang dari Sumatra-Jawa-Nusa Tenggara-hingga Maluku. Daerah ini juga berada di zona transisi dari sesar geser yang berorientasi baratlaut – tenggara di Sumatra (Angeles dkk, 2002) yang memanjang sampai ke batas Palung Sunda dalam bentuk suatu sistim graben (Handayani dan Harjono, 2008).

Cibaliung merupakan wilayah gunung api purba berumur Miosen yang terbentuk karena subduksi lempeng Indo-Australia ke arah timurlaut (Atmadja dan Noeradi, 2005). Daerah ini memiliki endapan mineral berupa urat kuarsa ekonomis yaitu Urat Cikoneng dan Urat Cibitung yang telah ditambang dan diproduksi oleh PT Cibaliung Sumber Daya anak perusahaan PT Aneka Tambang Tbk sejak tahun 2009. Pada proses produksinya urat kuarsa ini telah mencapai batas maksimal produksinya sehingga diperlukan cadangan baru di sekitar area tambang.

Mineralisasi di daerah Cibaliung termasuk tipe sulfidasi rendah. Kehadiran emas pada sistim ini berada pada urat sebagai tempat terakumulasinya unsur berharga tersebut. Keterdapatannya sendiri disebabkan adanya zona bukaan yang muncul akibat proses deformasi yang diisi oleh fluida hidrotermal. Oleh karena itu perlu dilakukan studi untuk mengetahui zona bukaan yang terisi oleh fluida hidrotermal dalam batuan pembawa mineralisasi.

Lokasi penelitian berada di wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Aneka Tambang Tbk (Antam) dan PT Cibaliung

Sumber Daya (CSD) dan secara administratif terletak di Kecamatan Cimanggu-Cibitung, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (modifikasi Marcoux dan Milesi, 1994)

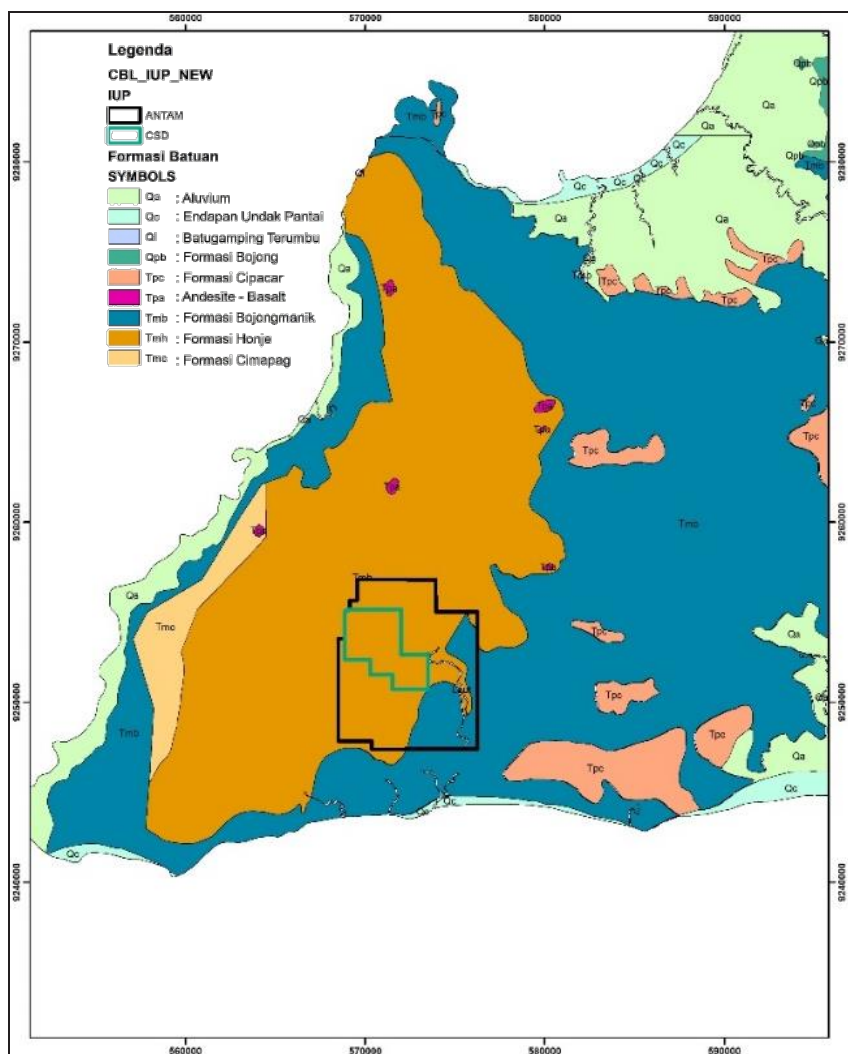
Daerah penelitian terletak di dalam *Honje Igneous Complex* dan Formasi Bojongmanik yang berada di atas Formasi Cimapag yang memiliki hubungan menjemari dan berumur Miosen Tengah – Pliosen. Formasi Honje diendapkan pada lingkungan darat yang diketahui berdasarkan kehadiran fosil kayu terkonservasi sementara Formasi Bojongmanik diendapkan pada lingkungan darat sampai laut dangkal (Sudana dan Sentosa, 1992).

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan hubungan keterdapatn urat kuarsa dengan struktur yang berkembang, mengidentifikasi jalur utama mineralisasi dan kemungkinan jalur-jalur lain dengan tujuan untuk memberikan saran eksplorasi berikutnya.

GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Cikarang (Sudana dan Santosa, 1992) batuan yang tersingkap berumur Miosen Tengah hingga Pliosen, terdiri dari batuan sedimen, batuan gunungapi dan batuan terobosan. Satuan batuan tertua ditempati Formasi Cimapag berumur Miosen Akhir dengan litologi terdiri atas beberapa batuan mulai dari yang tua ke muda

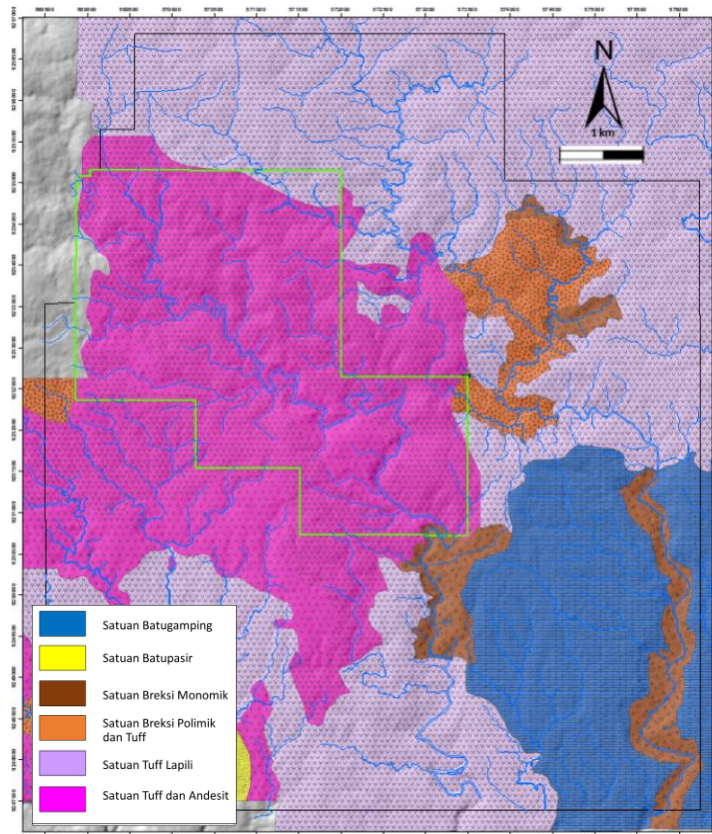
adalah breksi, lava andesit terpropilitkan, batupasir, batulempung, batugamping, konglomerat, tuf dan aglomerat. Sedangkan yang paling muda pada formasi ini terdiri atas tuf dasitik, lava andesit dan breksi tuf. Di atas Formasi Cimapag diendapkan Formasi Bojongmanik dan Formasi Honje (Gambar 2) secara tidak selaras yang didominasi oleh lava andesit dan tuf (Usman, D.N. et al., 2018) serta diterobos oleh andesit – basalt (Sudana dan Santosa, 1992. Menurut Kurniawan dkk (2012), litologi di wilayah penelitian didominasi batuan vulkanik berupa andesit, andesit porfiritik, tuf, breksi vulkanik dan breksi polimik yang pada batuan vulkanik di bagian tenggara ditutupi oleh satuan batugamping (Gambar 3).



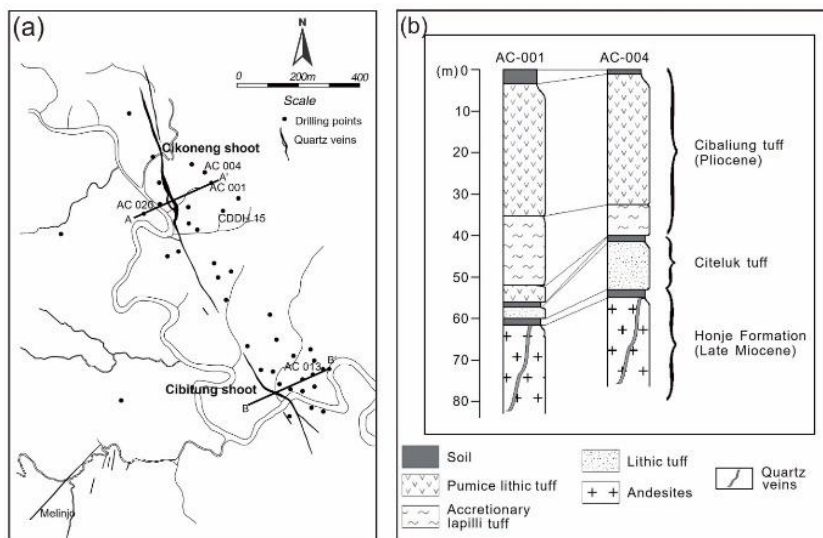
Gambar 2. Peta Geologi Lembar Cikarang (dimodifikasi dari Sudana dan Santosa, 1992)

Mineralisasi di daerah Cibaliung diidentifikasi dengan kehadiran tipe urat sistim sulfidasi rendah pada Urat Cikoneng-Cibitung yang telah ditambang dan diproduksi oleh PT Cibaliung Sumber

Daya anak perusahaan PT Antam (Gambar 4) dengan arah struktur dominan baratlaut-tenggara (Usman, D.N. et al., 2017) mengikuti pola Sumatra (Hilmi dan Haryanto, 2008)



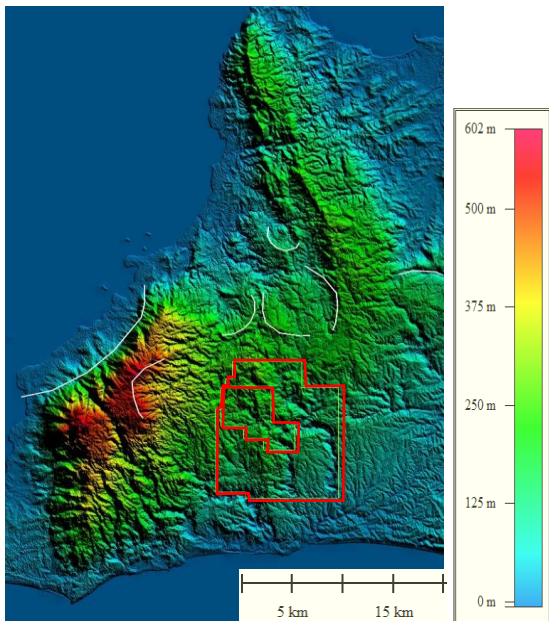
Gambar 3. Peta geologi IUP PT. CSD dan Antam (Kurniawan dkk., 2012)



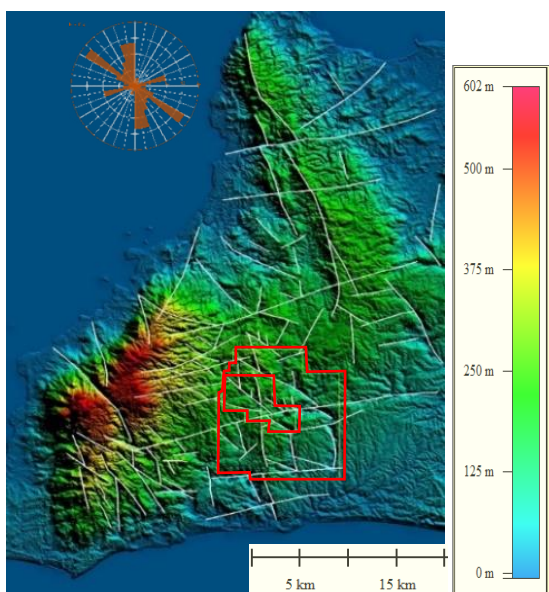
Gambar 4. (a) Peta lokasi Cikoneng dan Cibitung shoot, (b) stratigrafi lokal endapan Cibaliung mulai dari Formasi Honje, Tuf Citeluk, dan Tuf Cibaliung (dimodifikasi dari Harijoko dkk., 2004)

METODE PENELITIAN

Dalam studi ini, pengambilan data primer dilakukan dengan metode pemetaan dengan skala 1: 5.000 dan pengamatan struktur dengan analisis kelurusan topografi, *circular feature*, analisis kelurusan sungai melalui citra *Digital Elevation Model (DEM)*, pengambilan data breksiasi, *slickenside*, *shear fracture* dan *gash fracture* (Gambar 5 dan Gambar 6).



Gambar 5. Peta DEM penarikan kenampakan *circular feature*



Gambar 6. Peta DEM penarikan kenampakan kelurusan morfologi

HASIL DAN PEMBAHASAN

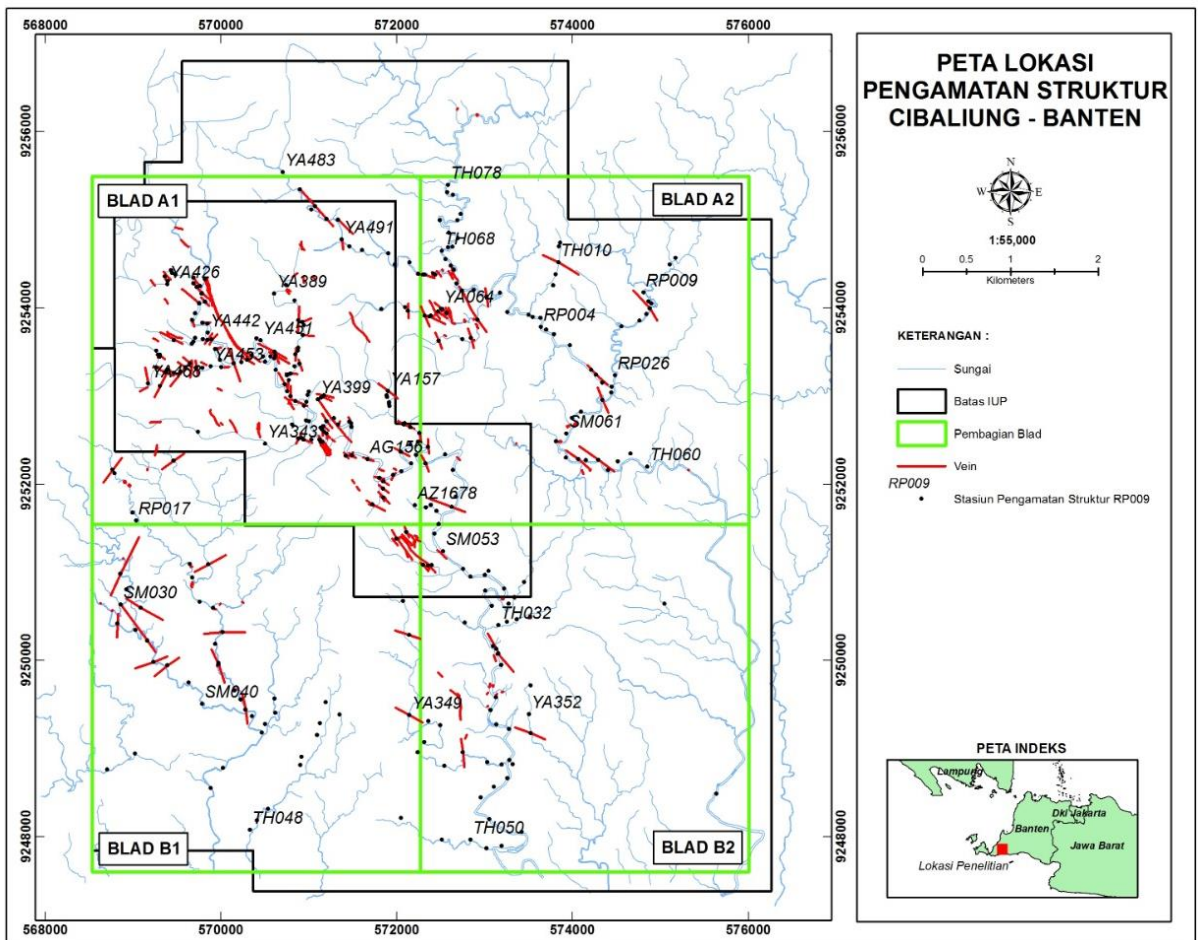
Hasil pengambilan data struktur di Cibaliung yang berada di sekitar IUP PT CSD dan IUP PT Antam sebanyak 8.114 data dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data struktur geologi

Statistik Dasar	
Total Stasiun	328 stasiun
Jarak Antar Stasiun	20 -100 m
Total <i>Shear fracture</i>	7.547 data
Total <i>Gash fracture</i>	567 data
Total Data Struktur	8.114 data

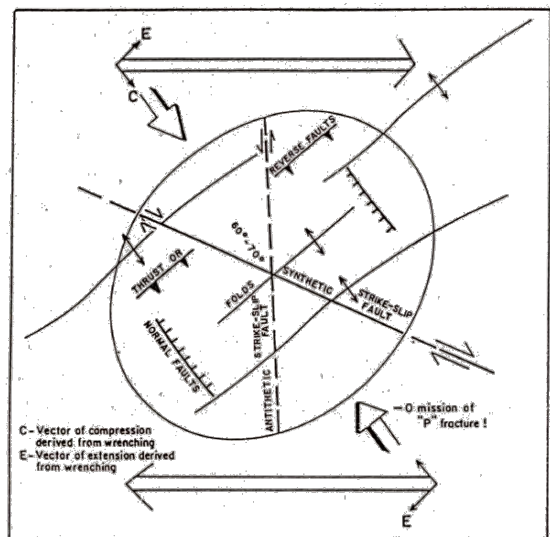
Rata-rata pengambilan data *shear fracture* dan *gash fracture* tiap stasiun sebanyak 24 data. Hal tersebut menunjukkan data yang cukup valid. Data struktur yang kurang dari 20 data tetap dilakukan penarikan namun perlu ditandai. Kekurangan data pada stasiun tersebut disebabkan oleh faktor pelapukan dan jenis batuan seperti breksi, tuf, atau andesit teralterasi kuat sehingga cukup sulit untuk dilakukan pengamatan. Pengambilan data struktur dibagi menjadi 4 blad yaitu A1, A2, B1, dan B2 (Gambar 7).

Blad A1 dominan berada di wilayah IUP CSD sementara blad A2, B1, dan B2 dominan berada di wilayah IUP PT Antam. Dari observasi lapangan didapatkan hasil pergerakan pada tiap sesar melalui metode analisis struktur dengan menggunakan diagram roset. Data *shear fracture* dan *gash fracture* diolah dengan menggunakan software stereonet. Pada satu stasiun data *shear fracture* dikumpulkan lalu dibuat menjadi polar. Polar-polar tersebut dilakukan *contouring* dan menghasilkan beberapa pola *shear* dominan. *Shear* dominan tersebut merupakan indikasi adanya pergerakan dominan dengan orientasi searah *shear* tersebut.

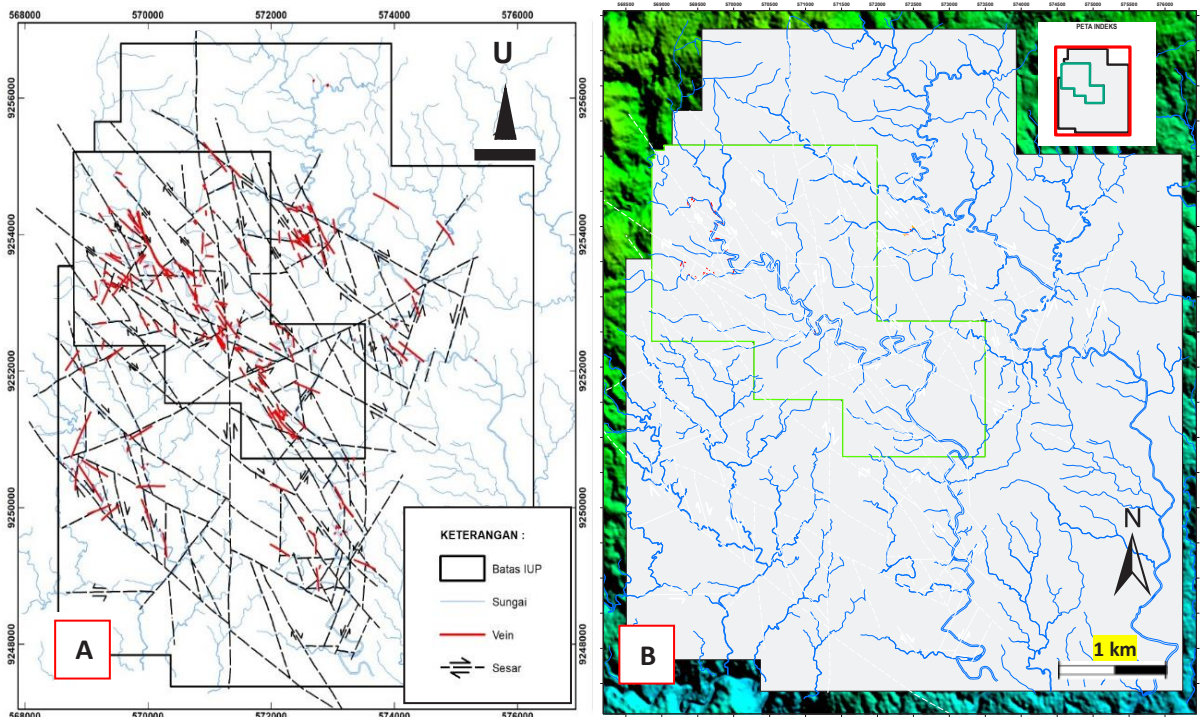


Gambar 7. Peta lokasi pengamatan struktur Cibaliung

Data *shear fracture* dan *gash fracture* pada tiap stasiun di analisis untuk mengetahui pergerakan sesar menggunakan model Harding (1980) berdasarkan hubungan struktur penyerta dengan sesar utamanya, arah pergerakan sesar akan menuju sudut lancip dari *gash fracture*. Jika tidak terdapat *gash fracture* maka pergerakan didekati dengan $\delta 2$ yang merupakan titik perpotongan 2 *shear* dengan asumsi dalam kondisi satu tegasan (Gambar 8). Setelah itu dihasilkan beberapa analisis pergerakan pada setiap sesar yang ada di daerah penelitian. Hasil tersebut antara lain Sesar Major A1, Sesar Major A2, Sesar Sintetik A (orde 1), Sesar Sintetik A (orde 2), Sesar Major B, Sesar Sintetik B (orde 1), dan *post mineralization fault*.

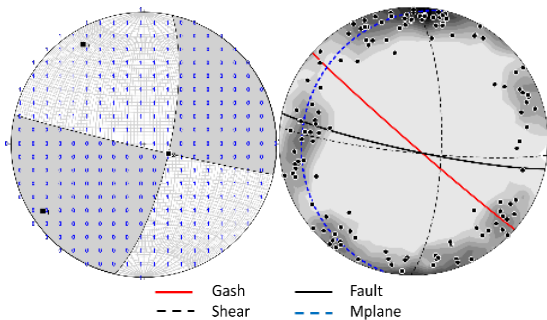


Gambar 8. Model *simple shear* (Harding, 1980)

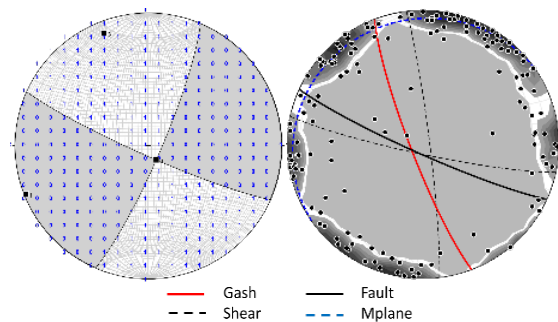


Gambar 9. (A) Peta struktur dari analisis kinematik dan dinamik serta kelurusan data DEM (B) Peta struktur *overlay* dengan data DEM

Berdasarkan hasil analisis kinematik dan dinamik, dihasilkan peta struktur geologi (Gambar 9). Pembentukan sesar diawali dengan Sesar Major A1 dan Sesar Major A2 dengan pergerakan menganan. Sesar Major A1 memiliki kedudukan N103°E/88°NE, *pitch* 16°, dengan pergerakan menganan didapatkan tegasan $\delta_1 = 12.7^\circ$, N328°E, $q_3=10^\circ$, N236°E (Gambar 10). Sementara Sesar Major A2 memiliki kedudukan N114°E/84°NE, *pitch* 8°, dengan pergerakan menganan, didapatkan tegasan $\delta_1 = 10^\circ$, N338°E; $q_3=1^\circ$, N248°E (Gambar 11).

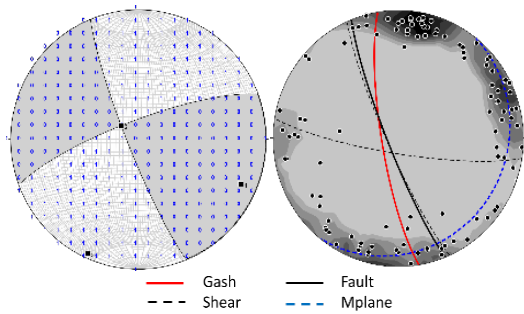


Gambar 10. Analisis kinematik sesar major A1



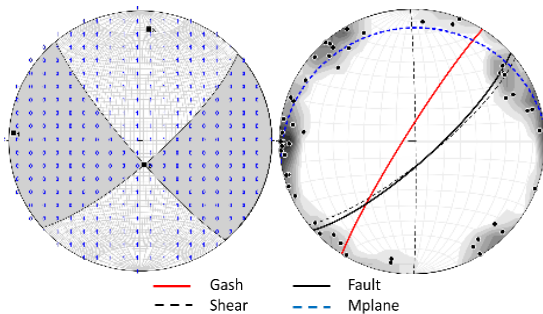
Gambar 11. Analisis kinematik sesar major A2

Pergerakan menganan tersebut menghasilkan objek di antara dua sesar mengalami proses *coaxial* sehingga menghadirkan sistim *simple shear* serta bukaan-bukaan di dalamnya yang menjadi isian fluida hidrotermal/mineralisasi. Bukaan-bukaan tersebut hadir menjadi Sesar Sintetik A (orde 1) dengan hasil dari analisis kinematiknya adalah sesar utama dengan kedudukan N158°E/83°NE, *pitch* 12°, dengan pergerakan menganan dan tegasan $\delta_1 = 3^\circ$, N204°E; $q_3=13^\circ$, N113°E (Gambar 12).



Gambar 12. Analisis kinematik sesar sintetik A (Orde 1)

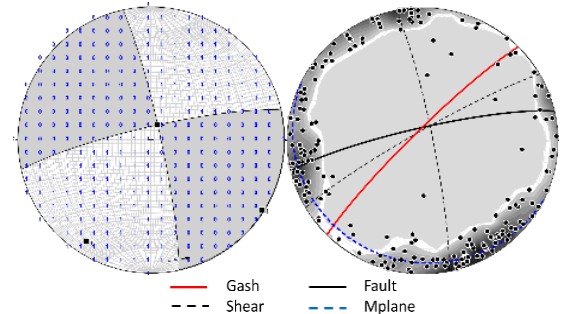
Seiring berjalannya waktu proses deformasi yang semakin intensif akan membentuk Sesar Antitetik A (orde 2) yang terbentuk diantara Sesar Sintetik (orde 1) dan dapat menjadi bukaan namun dengan ukuran yang lebih kecil. Bersama dengan sesar-sesar antitetik mungkin juga dapat terbentuk sesar-sesar minor yang lebih kecil. Sesar Antitetik A (orde 2) tersebut memiliki analisis kinematik berupa sesar utama dengan kedudukan N158°E/83°NE, *pitch* 12°, dengan pergerakan mengangan dan nilai tegasan $\delta_1 = 15^\circ$, N004°E; $\varrho_3=4^\circ$, N273°E. (Gambar 13).



Gambar 13. Analisis kinematik sesar antitetik A (Orde 2)

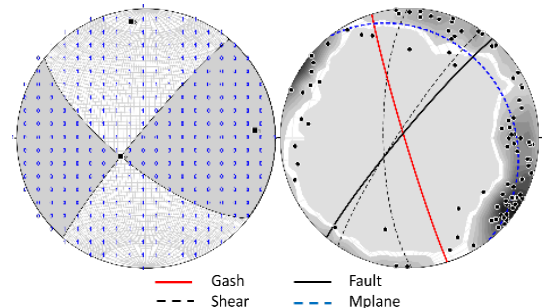
Setelah pembentukan Sesar Major A1 dan Sesar Major A2, Terdapat juga sesar dengan orientasi NE-SW yang memotong kedua sesar, Sesar Major A1 dan Sesar Major A2. Fase pembentukan sesar ini kemungkinan masih dalam proses aktifnya fluida hidrotermal sehingga pada sesar ini masih ada kecenderungan alterasi yang cukup intensif pada zona perpotongan bukaan Sesar Major B dengan Sesar Major A1. Hasil dari analisis kinematik dari Sesar Major B ini berupa sesar utama

dengan kedudukan N257°E/82°NE, *pitch* 06°, dengan pergerakan mengiri dan nilai tegasan $\delta_1 = 10^\circ$, N212°E; $\varrho_3=1^\circ$, N122°E (Gambar 14).



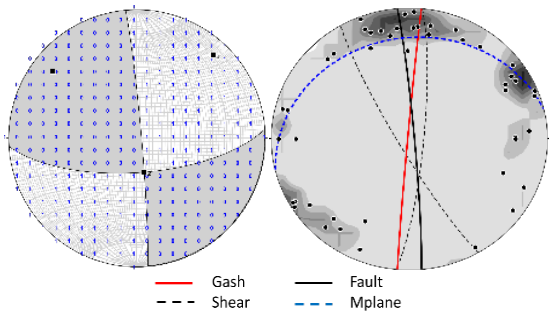
Gambar 14. Analisis kinematik sesar major B

Sesar Major B ini juga membentuk Sesar Sintetik B (orde 1) sebagai bukaan terhadap sesar ini. Dengan hasil dari analisis kinematik berupa sesar utama dengan kedudukan N220°E/85°NE, *pitch* 19°, dengan pergerakan mengiri dan nilai tegasan $\delta_1 = 10^\circ$, N352°E; $\varrho_3=17^\circ$, N86°E (Gambar 15).



Gambar 15. Analisis kinematik sesar sintetik B (Orde 1)

Pada fase setelah mineralisasi terbentuklah sesar dengan trend relatif utara-selatan yang memotong Sesar Major A1, Sesar Major A2 dan sekitar Sesar Major B. Karena jarangya alterasi yang hadir di sekitar sesar ini diinterpretasikan bahwa sesar ini terbentuk paling akhir (*post mineralization fault*). Hasil dari analisis kinematik pada sesar ini adalah sesar utama dengan kedudukan N355°E/87°NE, *pitch* 22°, dengan pergerakan mengangan. Tegasan yang didapatkan adalah $\delta_1 = 13^\circ$, N42°E; $\varrho_3=18^\circ$, N308°E. (Gambar 16).

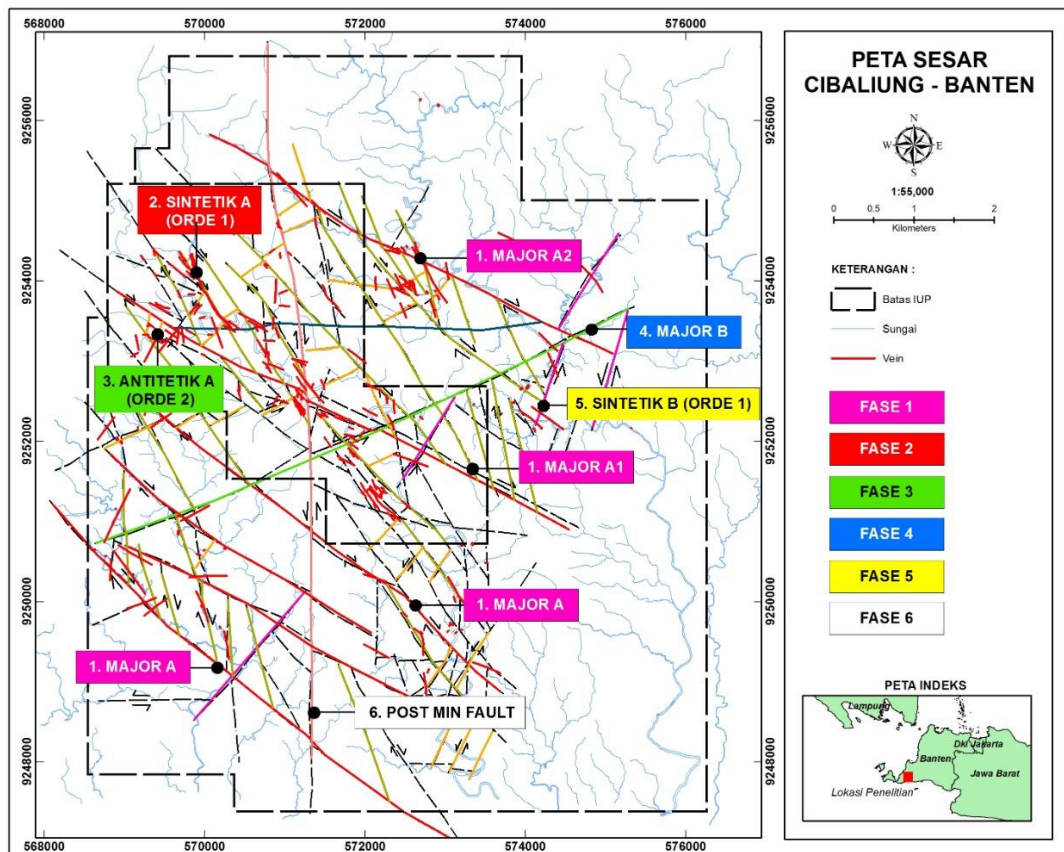


Gambar 16. Analisis kinematik sesar *post mineralization fault*

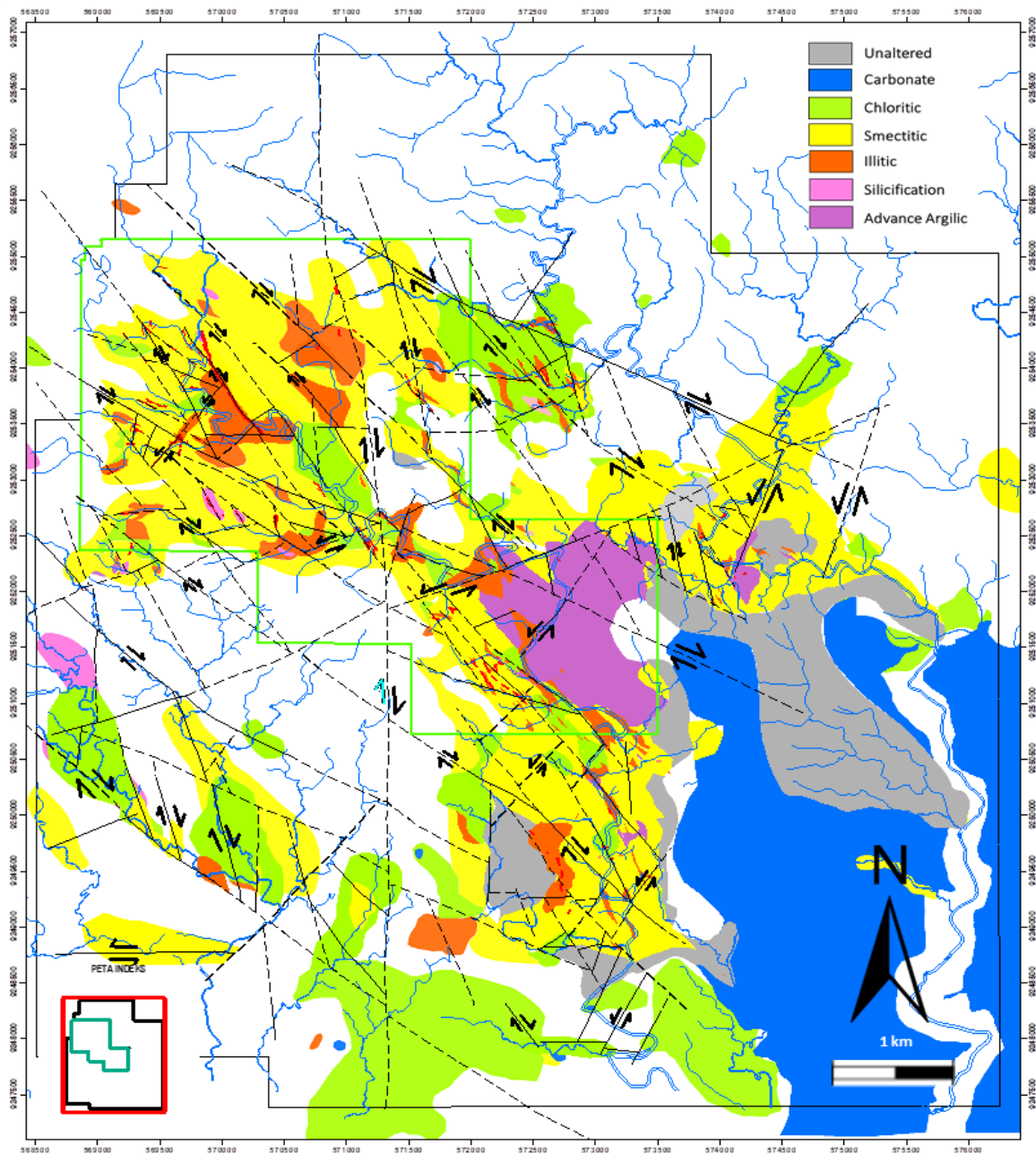
Hubungan antar sesar-sesar tersebut digambarkan pada peta struktur geologi (Gambar 17). Kemudian untuk mengetahui korelasi antara struktur dengan alterasi, dilakukan tumpang susun (overlay) peta struktur terhadap peta alterasi. Pola alterasi dominan (Gambar 18) berada diantara dua sesar, yaitu Sesar Major A1 dan Sesar Major A2 (garis merah muda). Sedangkan orientasi pola alterasi illitic menunjukkan orientasi yang sama dengan arah struktur NW-SE yang merupakan

pola sesar sintetik (orde 1) yang digambarkan dengan (garis putus-putus merah). Setempat juga hadir pola alterasi yang sama dengan orientasi sesar antitetik (orde 2). Semakin jauh ke arah timur intensitas keasaman dari fluida hidrotermal umumnya semakin berkurang. Hal tersebut disebabkan karena semakin jauhnya dari pusat sumber panas yang diinterpretasi berada di bagian barat (Gambar 19).

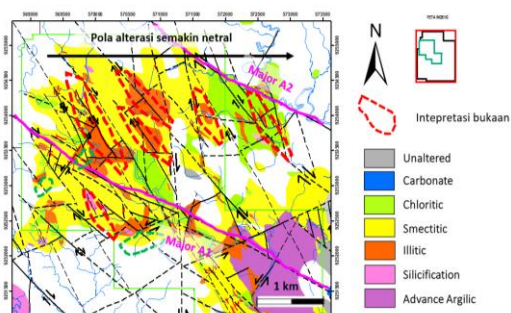
Pola keasaman alterasi pada bagian tenggara daerah penelitian semakin meningkat. Terjadinya hal yang demikian diinterpretasikan akibat dari zona bukaan Sesar Major B yang bertemu dengan Sesar Major A1 yang menimbulkan proses alterasi yang lebih intensif dan dapat memicu proses intrusif yang membawa fluida magmatik sehingga alterasi cenderung berubah relatif lebih asam (Gambar 20).



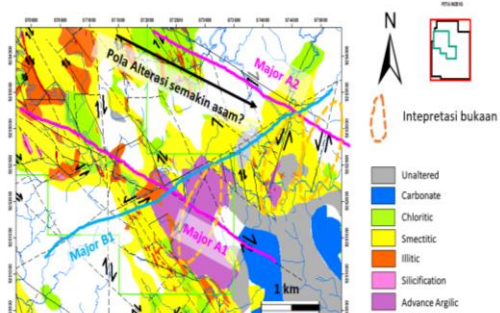
Gambar 17. Peta struktur geologi Cibaliung



Gambar 18. Peta overlay alterasi dan struktur di Cibaliung



Gambar 19. Ilustrasi bukaan dari struktur pada sintetik yang didukung pola alterasi



Gambar 20. Ilustrasi bukaan dari struktur pada sintetik (Orde 1) yang didukung pola alterasi

Untuk mineralisasi yang terjadi di daerah penelitian didominasi oleh tipe urat epitermal sistim sulfidasi rendah. Sistim ini dicirikan dengan kehadiran alterasi berupa mineral netral seperti illit, serisit, dan adularia (Hedenquist, 1996). Keterdapatannya bijih pada sistim epitermal sulfidasi rendah umumnya dalam bentuk urat kuarsa dengan mineralisasi *Ag-sulfide* berupa *achantite* atau *argentite* dengan tekstur mengisi rongga dan keterdapatannya *stockwork* yang cukup dominan.

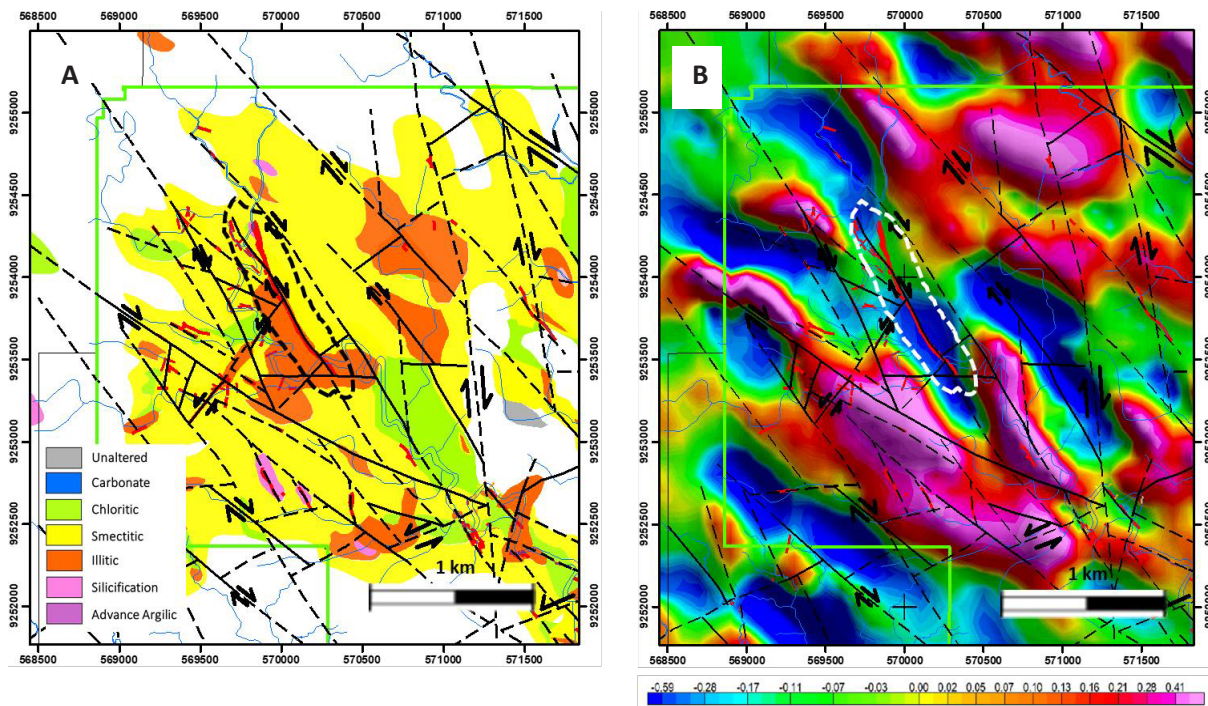
Hasil analisis pengaruh struktur terhadap mineralisasi berdasarkan analisis pergerakan sesar dan metode *shear zone boundary* berdasarkan McClay (1987) didapatkan beberapa prospek yang dibagi menjadi Prospek Cikoneng-Cibitung, Prospek Cibeber, Prospek Rorah Kadal dan Cikeni, dan Ramada, Prospek Mastar, Muara Cikeni, dan Nira, Prospek Cipatat, Prospek Ciburial, Prospek Cikarac-Cingengedan Prospek Ciparay.

Berdasarkan hasil dari analisis struktur dan didukung dengan data lainnya, keterdapatannya urat kuarsa sebagai wadah mineralisasi umumnya hadir pada Sesar Sintetik A (orde 1), setempat juga hadir mengisi Sesar Antitetik A (orde 2) namun hanya di sekitar Prospek Cibeber. Hal tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh tekanan dari fluida hidrotermal yang menambah daya bukaan terutama pada posisi dekat dengan sumber panas yang diinterpretasikan sendiri berada di barat IUP PT CSD dan IUP PT Antam. Keterdapatannya urat umumnya hadir di daerah sekitar Sesar Major A1 dan Sesar Major A2 yang berada di IUP PT CSD.

Pada IUP Antam pola alterasi yang cenderung asam, dikontrol oleh Sesar Major B. Sesar tersebut merupakan sesar yang memotong Sesar Major A1 dan Sesar Major A2. Pada daerah perpotongan umumnya akan hadir alterasi dengan intensitas lebih asam. Hal tersebut diinterpretasikan bahwa pertemuan sesar menghasilkan bukaan yang memicu naiknya intrusi yang membawa fluida magmatik sehingga dapat membuat salinitas dan keasaman yang meningkat. Pada bagian selatan bukit breksi terdapat mekanisme deformasi yang memiliki banyak *conjugate* namun masih belum ditemukan urat dengan ukuran yang signifikan. Di daerah Ciparay juga terdapat *float-float* dengan kadar emas berkisar dari 4,16 ppm hingga 8,28 ppm namun belum diketahui asal sumbernya.

Hasil analisis struktur dan alterasi kemudian ditambah dengan data geofisika *groundmagnet first horizontal derivative* untuk menentukan strategi eksplorasi kedepannya. Rekomendasi target eksplorasi didasarkan pada kombinasi hasil interpretasi berupa zona bukaan yang didukung oleh data alterasi dan data geofisika *groundmagnet* berupa *first horizontal derivative*.

Zona bukaan yang dimaksud adalah Sesar Sintetik A (orde 1) terhadap Sesar Major A1 dan Sesar Major A2. Data alterasi yang mendukung hal ini adalah alterasi illitic yang memiliki orientasi yang sama dengan sesar sintetik orde 1. Berdasarkan data *groundmagnet first horizontal derivative*, terdapat anomali negatif pada urat Cikoneng-Cibitung yang menunjukkan bahwa pada daerah tersebut merupakan zona struktur dengan alterasi yang sangat intens (Gambar 21).



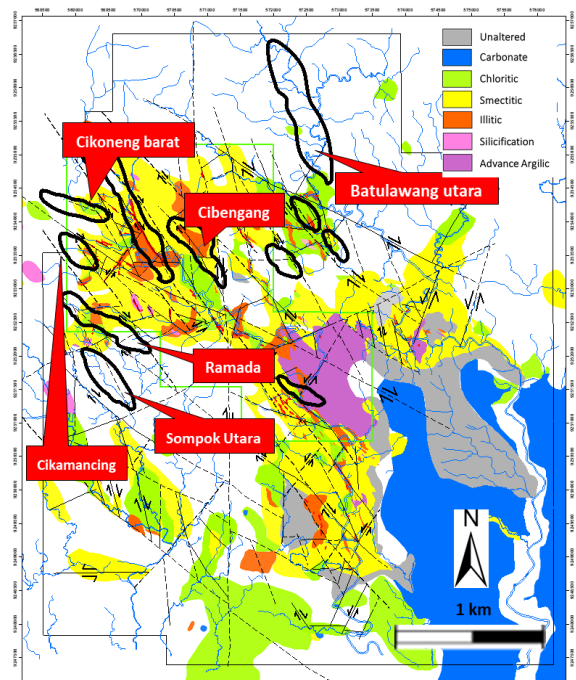
Gambar 21. Perbandingan peta alterasi dan struktur pada Urat Cikong-Cibitung (A) terhadap peta anomali *groundmagnet first horizontal derivative* (B)

Berdasarkan beberapa parameter di atas, didapatkan beberapa daerah rekomendasi untuk dilakukan eksplorasi lebih lanjut karena memiliki alterasi dan mineralisasi yang intens dan keberadaannya dikontrol oleh keberadaan struktur geologi yang saling berpotongan. Beberapa prospek tersebut digambarkan pada Gambar 21 yang juga didukung dengan data anomali *groundmagnetic* negatif seperti tertera pada Gambar 22.

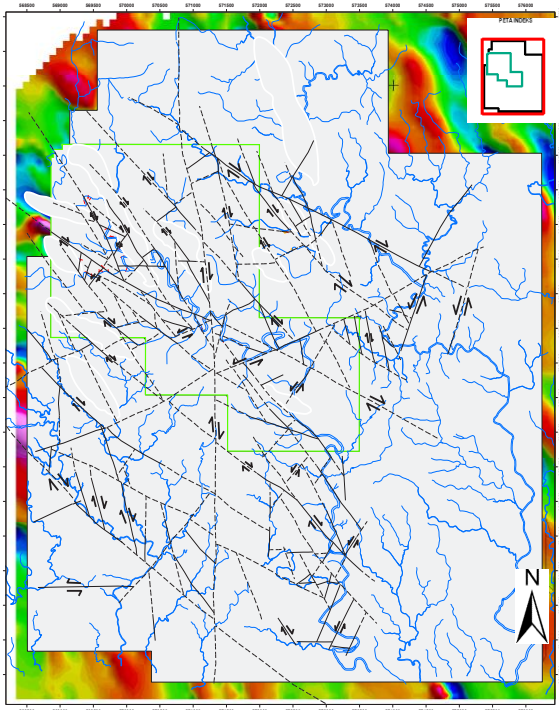
Prospek Cibengang

Di prospek ini terdapat struktur sintetik (orde 1) yang didukung dengan alterasi illitic dan data *groundmagnetic* dengan anomali negatif. Lokasi yang berdekatan dengan Cikong - Cibitung dapat menjadikan prospek ini prioritas untuk dieksplorasi lebih lanjut. Anomali *groundmagnet* yang cukup luas dan mirip dengan anomali Cikong dan Cibitung memungkinkan prospek ini memiliki urat dengan tebal yang sama. Di daerah prospek ini terdapat struktur sintetik (orde 1) yang mengontrol terbentuknya Urat Ramada sebagai *gash fracture*. Pola alterasi di daerah ini berupa smectitic setempat hadir illitic. Didukung dengan

anomali negatif *groundmagnet* yang cukup luas, daerah ini dapat menjadi prospek yang perlu dikaji lebih lanjut.



Gambar 22. Peta rekomendasi target eksplorasi yang di *overlay* dengan data struktur dan alterasi



Gambar 23. Peta Anomali *Groundmagnet Horizontal Derivative*

Prospek Cikoneng Barat

Prospek ini juga perlu ditelusuri lebih lanjut karena memiliki anomali negatif *groundmagnet* yang cukup luas namun orientasi menunjukkan tidak searah dengan sesar bukaan sintetik A (orde 1)). Diinterpretasikan bahwa anomali tersebut searah dengan Sesar Major A1. Prospek ini juga dekat dengan Urat Cikoneng-Cibitung sehingga dapat dipertimbangkan untuk dikaji lebih lanjut.

Prospek Cikamancing

Pada prospek teridentifikasi alterasi yang hadir adalah *smectitic* dan lubang penambang liar, Berdasarkan analisis struktur, pola anomali negatif *groundmagnet* adalah *gash fracture* dari sesar Major A1, namun cukup sempit apabila dilihat dari luasan anomali.

Prospek Sompok Utara

Di prospek ini belum ditemukan adanya urat namun dari data lama dijumpai banyak *float* kuarsa dan setempat batuan andesit yang teralterasi intensif (kadar di atas 6 ppm Au). Dilihat dari pola *groundmagnet* daerah Sompok ini menunjukkan anomali negatif yang cukup

luas dan didukung dengan arah kelurusan yang diinterpretasi adalah struktur sintetik A (orde 1).

Prospek Batulawang Utara

Berdasarkan pola *groundmagnet* yang sangat luas di daerah ini serta orientasi yang sama dengan Sesar Sintetik A (orde 1) maka daerah ini dapat dijadikan target eksplorasi selanjutnya.

Prospek Ramada

Di prospek ini terdapat struktur sintetik (orde 1) yang mengontrol terbentuknya Urat Ramada sebagai *gash* dengan pola alterasi berupa *smectitic* setempat hadir *illitic*. Didukung dengan anomali negatif *groundmagnet* yang cukup luas, daerah ini dapat menjadi prospek yang perlu dikaji lebih lanjut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan korelasi yang baik antara persebaran struktur dengan alterasi. Persebaran struktur dapat menjadi acuan atau dasar penentuan zona mineralisasi maupun alterasi. Hal ini sangat penting terhadap tahapan eksplorasi endapan mineral.

Urat kuarsa hadir umumnya pada Sesar Sintetik A (orde 1 yang merupakan bukaan dari Sesar Major A, setempat juga hadir urat yang mengisi sesar antitetik namun hanya hadir di bagian barat Urat Cikoneng dan Urat Cibitung. Jalur utama mineralisasi yang mengontrol keterdapatn urat adalah Sesar Major A1 dan Sesar Major A2 yang membentuk mekanisme *simple shear*. Bukaan utama merupakan sesar Sesar Sintetik A (orde1) yang hadir di sekitar Sesar Major A1. Terdapat Sesar Major B yang juga membentuk pola alterasi yang menggantikan pola alterasi sebelumnya namun belum ditemukan nilai Au yang signifikan pada mineralisasi yang dibawa oleh sesar ini.

Perbandingan potensi mineralisasi IUP PT CSD dan PT Antam diketahui oleh faktor utama pengontrol bukaan yaitu Sesar

Major A1 dan Sesar Major A2. Bukaan - bukaan akibat kedua struktur tersebut hadir dominan di sekitar IUP PT CSD. Pola bukaan di IUP PT Antam yang terbentuk akibat kedua struktur kurang signifikan namun masih hadir *float* dengan kadar Au hingga 8,28 ppm di Prospek Ciparay. Di IUP PT Antam juga terdapat sesar pengontrol alterasi yang menggantikan alterasi sebelumnya dan lebih asam terutama di daerah Bukit Breksi dan Rahong namun kadar Au belum ditemukan yang cukup signifikan. Berdasarkan analisis struktur, pola alterasi dan data groundmagnetic terdapat beberapa daerah prospek yang perlu dilakukan eksplorasi lanjutan antara lain Prospek Cibengang, Prospek Ramada, Prospek Cikoneng Barat, Prospek Cikamancing, Prospek Sompok Utara, dan Prospek Batulawang Utara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Tim Eksplorasi Emas Antam di Cibaliung, Manajemen PT Cibaliung Sumber Daya, dan Manajemen Unit Geomin & TD PT Aneka Tambang Tbk yang telah mengizinkan penulis beserta tim melakukan kegiatan penelitian di wilayah IUP PT Aneka Tambang Tbk dan IUP PT Cibaliung Sumber Daya di Cibaliung, serta segenap dosen dan staf pengajar di Program Pasca Sarjana Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran yang telah mendukung dan membimbing penulis dalam membuat tulisan ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Angeles, C.A., Prihatmoko, S., and Walker, J.S. (2002): Geology and Alteration-Mineralization Characteristics of the Cibaliung Epithermal Gold Deposit, Banten, Indonesia. *Resource Geology*, 52 (4), 329 – 339.
- Atmadja, R, S., dan Noeradi, D. (2006): Distribution of Early Tertiary volcanic rocks in south Sumatra and west Java, *The Island Arc* 14, 679 – 686.
- Carlile, J.C. dan Mitchel. (1994): Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50, 91 – 142.
- Handayani, L., dan Harjono, H. (2008): Perkembangan Tektonik Daerah Busur Muka Selat Sunda dan Hubungannya dengan Zona Sesar Sumatera, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Jilid 18 No.2, 31 – 40.
- Harding, T.P. (1985): Seismic Characteristics and Identification of Negative Flower Structures, Positive Flower Structures, and Positive Structural Inversion. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 69(4), 582 – 600.
- Harijoko, dkk. (2007): Characteristics of the Cibaliung Gold Deposit: Miocene Low-Sulfidation-Type Epithermal Gold Deposit in Western Java, Indonesia. *Resource Geology Vol. 57 No.2*, 114-123.
- Hedenquist, J. W. (1996): Epithermal Gold Deposit: styles, characteristics, and Exploration. *Resources Geology Special Publication Number 1*.
- Hilmi, F., dan Haryanto, I. (2008): Pola Struktur Regional Jawa Barat, *Bulletin of Scientific Contribution*, Vol 05 No 01, 57 – 66.
- Kurniawan, A., dkk. (2012): Internal Report Tim Eksplorasi Emas Unit Geomin, PT Antam Tbk.
- Marcoux, E. and Milesi, J.P., (1994): Epithermal gold deposit in West Java, Indonesia: Geology, age and crustal source. In: van Leeuwen, T.M., Hedenquist, J.W., James, L.P., and Dow, J.A.S. (eds.), *Indonesian mineral deposits: Discoveries of the past 25 years*. *Journal of Geochemical Exploration*. 50, Amsterdam, p.393-408. DOI: 10.1016/0375-6742(94)90033-7
- McClay, K.R. (1987): *The Mapping of Geological Structure*, London, 161 halaman.

Sudana, D. dan Santosa, S. (1992): Geology of the Cikarang Quadrangle, Java, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 13.

Usman, D.N., Sulaksana, N., Hirnawan, F., Haryanto, I., dan Bahri, N.S. (2017): Analisis Struktur Kekar Zona Mineralisasi Emas Miosen Akhir. Prosiding SNaPP2017 Sains dan Teknologi, Vol 7 No.2.

Usman, D.N., Sulaksana, N., Hirnawan, F., dan Haryanto, I. (2018): Gold-Silver Mineralization in the Neo-Tectonism of Honje Formation and Cipacar Formation, in Cibaliung Block, Banten Province. Journal of Geoscience Engineering, Environment, and Technology, Vol 03 No 04.

Diterima	: 26 Juni 2020
Direvisi	: 6 Juli 2020
Disetujui	: 23 Agustus 2020

**POTENSI KANDUNGAN UNSUR KIMIA EKONOMIS PADA LARUTAN PANAS BUMI
DENGAN STUDI KASUS DI PLTP DIENG, KABUPATEN WONOSOBO
DAN KABUPATEN BANJARNEGARA, PROVINSI JAWA TENGAH**

**THE POTENTIAL CONTENT OF ECONOMIC CHEMICALS ELEMENT IN GEOTHERMAL
SOLUTIONS WITH A CASE STUDY IN THE DIENG GEOTHERMAL POWER PLANT,
WONOSOBO REGENCY AND BANJARNEGARA REGENCY,
CENTRAL JAVA PROVINCE**

Sabtanto Joko Suprpto¹, Suparno¹, dan Umi Yuliatin²

¹ Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

² Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

sabtanto.js@esdm.go.id

ABSTRAK

Fluida panas bumi mempunyai kandungan unsur terlarut yang sangat tinggi. Metode geokimia digunakan untuk mengetahui indikasi potensi unsur kimia ekonomis yang terlarut. Eksplorasi panas bumi telah dilakukan di seluruh wilayah Indonesia terutama oleh Badan Geologi, menghasilkan data geokimia dari mata air panas, dengan menganalisis SiO₂, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH₄, B, F, Cl, SO₄, HCO₃, dan CO₂. Berdasarkan hasil kompilasi data geokimia dari 256 titik lokasi mata air panas di Indonesia, diolah secara statistik untuk mengetahui tipe fluida yang mempunyai potensi unsur terlarut tinggi serta, kelompok asosiasi unsur. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Dieng dengan permasalahan terbentuknya kerak silika, menarik untuk studi kasus potensi unsur ekonomis yang terlarut. Peninggian kandungan terlarut pada fluida panas bumi selain terbentuk secara alami, dipicu lebih kuat lagi oleh sistem operasi pembangkit panas bumi, yang mengubah fasa cair menjadi fasa uap, sehingga fasa cair yang tersisa menjadi semakin pekat. Potensi kandungan unsur kimia ekonomis ditentukan dengan pengukuran debit fasa cair terproduksi yang tersisa dan hasil analisis konsentrasi unsur terlarutnya. Hasil *clustering* data geokimia mata air panas diperoleh empat kelompok asosiasi unsur, kelompok SiO₂-F, Al-Fe-SO₄, Ca-Mg-Cl-Na-K, dan kelompok Li-B-HCO₃. Kandungan litium terlarut tinggi di beberapa daerah panas bumi di Indonesia, terdapat pada mata air panas dengan fluida tipe klorida. *Brine* terproduksi dari reservoir di PLTP Dieng berasal dari fluida tipe meteorik yang telah intensif bereaksi dengan batuan sekitar dan fluida tipe magmatik. *Brine* tersisa yang berasal dari beberapa separator dan keluar melewati *silencer*, di PLTP Dieng, mempunyai total debit 457,1 m³/jam, dengan kandungan kadar tinggi beberapa unsur kimia, litium 77,31-99,4 mg/l, silika 1109,25-1220,9 mg/l, boron 404,16-589,4 mg/l, kalium 2532,2-4536,5 mg/l, dan mangan 5,49-15,82 mg/l.

Kata kunci: Potensi, unsur kimia ekonomis, panas bumi, Dieng

ABSTRACT

The Geothermal fluid has a very high content of dissolved elements. Geochemical methods are used to determine the potential indication of dissolved economic elements. Geothermal exploration has been carried out throughout Indonesia, mainly by the Geological Agency. The exploration result in the existence of hot spring data by analyzing SiO₂, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH₄, B, F, Cl, SO₄, HCO₃, and CO₂. Base on the secondary data of 256 locations of hot spring in Indonesia that were statistically analyzed, an overview of the association of economic elements and impurities elements is obtained. Dieng Geothermal Power Plant with that has recurring problem of silica scale formation, becomes an interesting object as a case study of the potential of dissolved economic elements. The increase in dissolved content in geothermal fluids apart from naturally occurring, is triggered even more strongly by the geothermal power

plant operating system, which changes the liquid phase to the vapor phase, hence the remaining liquid phase more concentrated. The potential content of economic chemical elements is determined by discharge measuring of the remaining liquid phase produced and the results of the analysis of the element concentration dissolved. The results of geochemical data clustering of hot springs obtained four elemental association, the association of $\text{SiO}_2\text{-F}$, Al-Fe-SO_4 , Ca-Mg-Cl-Na-K , and Li-B-HCO_3 . Dissolved lithium content is high in several geothermal areas in Indonesia, found in hot springs with chloride type fluids. The brine produced from the reservoir at the Dieng Geothermal Power Plant is from a meteoric type fluid that has intensively reacted with the surrounding rock and a magmatic type fluid. The remaining brine that is from several separators and comes out through the silencer, at the Dieng Geothermal Power Plant has a total discharge of $457.1 \text{ m}^3/\text{hour}$, contains high levels of several elements, lithium $77.31\text{-}99.4 \text{ mg/l}$, silica $1109.25\text{-}1220.9 \text{ mg/l}$, boron $404.16\text{-}589.4 \text{ mg/l}$, potassium $2532.2\text{-}4536.5 \text{ mg/l}$, and manganese $5.49\text{-}15.82 \text{ mg/l}$.

Keywords: Potency, economic chemicals element, geothermal, Dieng

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemanfaatan energi panas bumi untuk membangkitkan listrik melibatkan produksi fluida dalam jumlah sangat besar. Indonesia selain diapit di antara tiga lempeng besar, Lempeng India-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia, juga dibangun oleh sekitar 20 lempeng mikro (Metcalf, 2017), yang menghasilkan tataan geologi sangat kompleks, potensi sumber daya geologi, termasuk panas bumi merata hampir di seluruh wilayah Indonesia. Potensi panas bumi tidak hanya untuk energi, akan tetapi pada fluidanya mengandung unsur-unsur terlarut yang potensial dapat diekstraksi menghasilkan bahan ekonomis. Di beberapa negara, fluida panas bumi mempunyai kandungan mineral terlarut sangat tinggi dan potensial bernilai ekonomi. Sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi kandungan terlarut dapat terlebih dahulu diekstraksi (Patterson, 2006). Batasan nilai kandungan unsur kimia terlarut untuk dapat diklasifikasikan ekonomis bersifat dinamis, tergantung pada kondisi pasar (Bakane, 2013).

Unsur terlarut pada fluida panas bumi di antaranya yaitu SiO_2 , Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH_4 , B, F, Cl, SO_4 , HCO_3 , CO_2 . Analisis terhadap kandungan unsur-unsur tersebut selalu dilakukan pada tahapan eksplorasi, terutama sampel dari manifestasi panas bumi berupa mata air

panas. Unsur terlarut kadar lebih tinggi dapat dijumpai pada fluida/brine yang berasal dari separator, hal ini mengingat sebagian brine terpisah menjadi uap untuk memutar turbin, sehingga brine sebagai fasa cair yang tersisa menjadi lebih pekat.

Maksud dan Tujuan

Di PLTP Dieng, silika terlarut pada brine sangat tinggi. Untuk menangani tingginya kandungan silika, brine dilewatkan pada kolam pengendap silika, sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi (Pohan dkk., 2008). Sehingga sistem pembangkit tersebut dapat memberikan peluang untuk memanfaatkan unsur ekonomi terlarut, baik silikanya maupun unsur-unsur kimia ekonomi lain dari brine yang berada pada kolam pengendapan.

Penelitian ini untuk mengetahui tipe fluida dari mata air panas di Indonesia yang mempunyai potensi unsur kimia ekonomis terlarut tinggi, serta kelompok asosiasi unsur. Studi kasus di PLTP Dieng, dengan tujuan untuk mendapatkan potensi jumlah brine tersisa yang diinjeksikan kembali ke dalam bumi serta kandungan unsur kimia ekonomis terlarutnya.

Tinjauan Pustaka

Definisi sesuai dengan Undang-undang nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi, yaitu panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan, yang keberadaannya bersama mineral ikutan

dan gas lainnya dalam satu sistem yang secara keterjadiannya tidak bisa saling dipisahkan. Mineral ikutan yang terkandung dalam fluida panas bumi berpotensi untuk dimanfaatkan, sehingga dapat menambah nilai keekonomian dari energi panas bumi.

Asal dari fluida panas bumi dijelaskan oleh Nicholson (1993) dapat bersumber dari magma (*juvenile waters*), air *connate* atau air formasi, air metamorfik, dan air meteorik. Larutan hidrotermal terpanaskan pada kedalaman bumi dalam kurun waktu yang lama, terus menerus berkonveksi, bersentuhan dan berinteraksi dengan batuan sekitarnya yang dilewati, menyebabkan terlarutnya mineral-mineral dan kandungan logam dari batuan.

Selain dipengaruhi asal fluida, komposisi fluida juga dipengaruhi oleh jenis magma, komposisi batuan yang mengalami interaksi dengan fluida, pH, adanya zona pendidihan (*boiling*), serta dipengaruhi temperatur. Semakin tinggi temperatur semakin tinggi unsur yang dapat terlarut (Bloomquist, 2006).

Fluida pada temperatur permukaan mempunyai salinitas atau TDS kurang dari 1000 (ppm), pada temperatur tinggi salinitas dapat lebih dari 300.000 ppm (Entingh dan Vimmerstedt, 2005 dalam Blommquist, 2006). Hickson dan Coolbaugh (2017) menyebutkan bahwa peningkatan temperatur sangat signifikan meningkatkan kandungan litium terlarut pada hidrotermal. Demikian juga berdasarkan metode geotermometri Na/Li Sanjuan dan Millot (2009) untuk estimasi temperatur reservoir, semakin tinggi kandungan Li akan semakin tinggi temperatur reservoir panas bumi.

Total konsentrasi garam pada hidrotermal sesuai dengan nilai densitas. Konsentrasi klorida cenderung merefleksikan variasi kandungan penyusun dari larutan. Kandungan unsur dalam fluida dapat mengindikasikan lingkungan geologi. Sebagai contoh kandungan fluida kaya akan litium, sesium dan rubidium berasal

dari lingkungan batuan kaya silika (Bourcier dkk., 2005).

Fluida panas bumi dapat diekstraksi untuk mendapatkan kandungan mineral atau unsur ekonominya. Teknik pemisahan dan pemurnian dikenal dengan teknik metalurgi hidrotermal. Sehingga pengolahan mineral dari larutan panas bumi dapat memberikan pendapatan tambahan dari pemanfaatan energi panas bumi (Glassley, 2015).

Ekstraksi fluida panas bumi potensial dapat menghasilkan beberapa jenis komoditas, yaitu logam mulia, grup platinum, seng, timbal, tembaga, mangan, REE, silika, litium, arsen, antimoni, boron, bromida, yodium, stronsium, barium sulfat, kalsium klorida, garam dapur, sodium sulfat dll. (Gallup, 1998; Harper dkk., 1992 dalam Bourcier dkk., 2005). Tinggi rendahnya serta variasi komposisi penyusun fluida tersebut dipengaruhi sistem panas bumi dan tataan geologi setempat.

Volume fluida yang teralirkan dalam satu hari pada pembangkit listrik tenaga panas bumi sangat besar sehingga meskipun kandungan unsur terlarut rendah, sangat memungkinkan menghasilkan dalam jumlah yang ekonomis (Bloomquist, 2006 dalam Kruger, 2015). Hasil sampingan berupa mineral atau logam memberikan pendapatan tambahan sehingga menambah tingkat keekonomian PLTP (Kruger, 2015).

Meskipun kandungan unsur ekonomis pada fluida panas bumi relatif rendah dibandingkan dengan hasil pelarutan pada proses hidrometalurgi bijih logam dari lokasi tambang, akan tetapi biaya ekstraksi dari fluida panas bumi relatif jauh lebih rendah. Hal ini mengingat beberapa faktor sebagai berikut:

- Operasional pabrik pengolahan fluida merupakan gabungan dengan operasional pembangkit. Instalasi dan proses ekstraksi logam/mineral hanya merupakan tambahan dari rangkaian kegiatan PLTP.
- Tidak memerlukan proses penambangan dan proses fisik seperti

pada ekstraksi deposit bijih, sehingga dampak terhadap lingkungan sangat kecil dibandingkan kegiatan tambang mineral.

- Bahan sudah berupa larutan, sehingga tidak ada tahapan proses pelarutan logam sebagaimana proses pelarutan dari bijih.
- Meskipun kandungan logam pada fluida panas bumi rendah, akan tetapi volume fluida yang diproses jumlahnya sangat besar, bisa mencapai puluhan juta liter/hari, sehingga jumlah unsur berharga yang dapat diambil dalam skala ekonomi sangat signifikan (Bourcier dkk., 2005).

Mroczek, dkk., (2015), melakukan penelitian ekstraksi litium di geotermal Wairakei, dengan kandungan maksimum Li 13 mg/ltr, termasuk tinggi apabila dibandingkan dengan kandungan Li di lokasi geotermal yang lain di New Zealand. Demikian juga hasil asesmen *brine* geotermal di Amerika oleh Neupane dan Wendt (2017) mengklasifikasikan kadar tinggi dan potensial untuk diekstraksi pada kandungan litium > 20 mg/l.

Penelitian pada lapangan panas bumi di Dieng dengan melakukan pengambilan sampel endapan silika pernah dilakukan Kelompok Program Penelitian Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, pada bulan April 2008 (Pohan, dkk, 2008), sampel yang diambil endapan silika. Hasil analisis kandungan logam pada silika didapatkan kadar yang signifikan beberapa unsur logam. Dari tujuh sampel endapan silika, diperoleh kadar rata-rata: Au 0,477 ppm, perak 3,14 ppm, Hg 1,982 ppm, As 69,14 ppm, Sb 46,14 ppm, Pb 115,43 ppm, dan As 199 ppm.

METODOLOGI

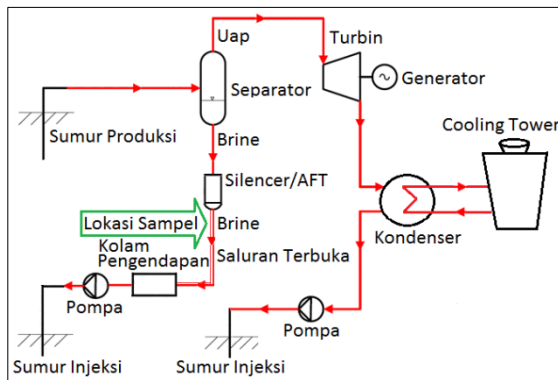
Data sekunder didapatkan dari kompilasi hasil penelitian geokimia panas bumi yang dilaksanakan pada kurun waktu 2008 sampai dengan 2015, terutama oleh Badan Geologi, dengan lokasi seluruh Indonesia, sampel geokimia berupa air dari mata air panas. Pengambilan air panas dilakukan

pada tempat di mana temperatur dan debitnya paling tinggi, agar kontaminasi oleh lingkungannya dapat dihindari seminimal mungkin. Peralatan pengambilan sampel terdiri-dari botol *polyethylene* kapasitas 500 ml yang tahan terhadap asam, panas dan korosif; *syringe* plastik tahan panas kapasitas minimal 50 ml; altimeter, *stop watch*, pH meter digital, kertas pH, konduktivimeter dan HNO₃ 1 : 1 (Wibowo dan Kusnadi, 2015).

Data sekunder dari lapangan panas bumi seluruh Indonesia tersebut, selanjutnya dilakukan pengolahan statistik untuk mendapatkan korelasi antar unsur, kelompok (*cluster*) unsur, serta mendapatkan harga peninggian kandungan unsur yang mencerminkan lapangan panas bumi berpotensi mengandung unsur ekonomis. Data kandungan unsur kimia yang dikompilasi, di antaranya SiO₂, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH₄, B, F, Cl, SO₄, HCO₃, dan CO₂. Hasil analisis statistik dari data tersebut diharapkan dapat menggambarkan secara umum geokimia panas Indonesia. Tidak semua unsur masing-masing akan dibahas lebih lanjut, akan tetapi berdasarkan analisis *clustering* ditentukan pembahasan lebih lanjut unsur ekonomis, terutama yang memiliki kadar signifikan tinggi.

Sampel data primer berbeda dengan sampel data sekunder. Sampel data primer berupa *brine* yang keluar dari *silencer*, sehingga telah mengalami pemekatan, baik saat di separator maupun saat keluar dari *silencer* di PLTP Dieng. Posisi titik pengambilan sampel pada saluran *brine* yang keluar dari *Silencer/AFT (Atmospheric Flash Tank)* (Gambar 1). Penanganan sampel pada data sekunder sama dengan data primer, mengacu pada SNI 6989.59 tahun 2008 tentang Air dan air limbah. Sampel dari tiap lokasi disimpan dalam dua jerigen, masing-masing 500 ml. Sampel untuk analisis kation sebelum disimpan ke dalam jerigen dilakukan pengawetan dengan mengimbuhkan HNO₃ 0,1 N hingga diperoleh pH 2 (Gambar 2) dengan tujuan menghambat aktivitas mikro organisme serta mengurangi penguapan

gas dan bahan organik, mulai dari lokasi pengambilan sampel sampai analisis di laboratorium (Nicholson, 1993). Sampel dianalisis kandungan kimianya meliputi SiO_2 , Mg, Na, K, Li, As, B, F, Cu, Pb, Zn, dan Mn. Analisis kation (Si, Al, Fe, Li, Na, K, dan Mg) menggunakan metode AAS; sedangkan analisis anion menggunakan metode *Ion Chromatography* (F, Cl, SO_4), titrimetri (HCO_3), dan spektrofotometri (NH_3).

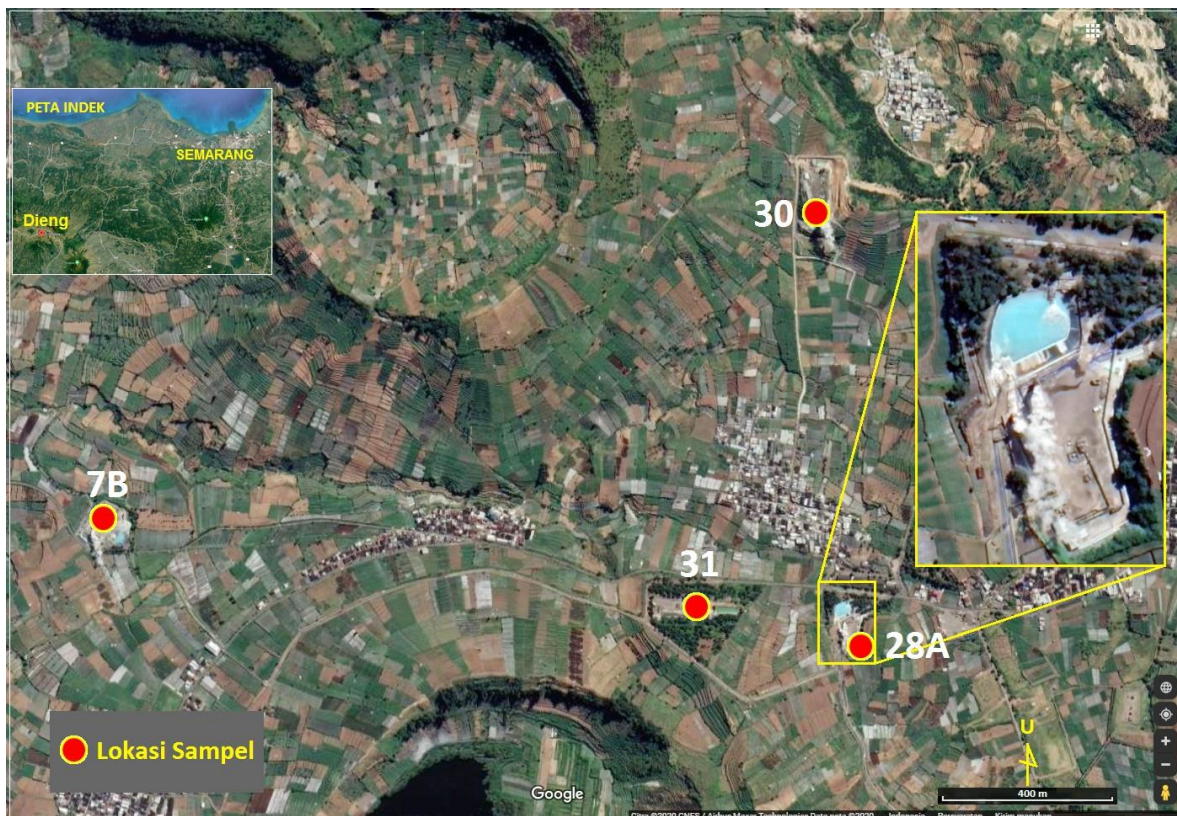


Gambar 1. Diagram alir PLTP Dieng dan titik lokasi pengambilan sampel brine.

Kegiatan pengambilan sampel brine di lingkungan PLTP, PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng dilaksanakan pada tanggal 13 Juni 2019. Pengambilan sampel dilakukan di empat lokasi, yaitu pada saluran terbuka di lingkungan cluster sumur (*well pad*) 30, 31, 7B, dan 28A (Gambar 3). Pengukuran debit brine dilakukan di titik lokasi pengambilan sampel. Mengingat kondisi PLTP dinamis, sebanyak lima sumur sedang dilakukan program *workover*, untuk meningkatkan produksi total *mass flow*, maka status data dari hasil penelitian di PLTP Dieng, merepresentasikan kondisi pada saat pengambilan sampel.



Gambar 2. A. Pengambilan sampel brine. B. Pengawetan sampel brine untuk analisis kation, dengan mengimbuhkan HNO_3 0,1 N sampai diperoleh pH 2.



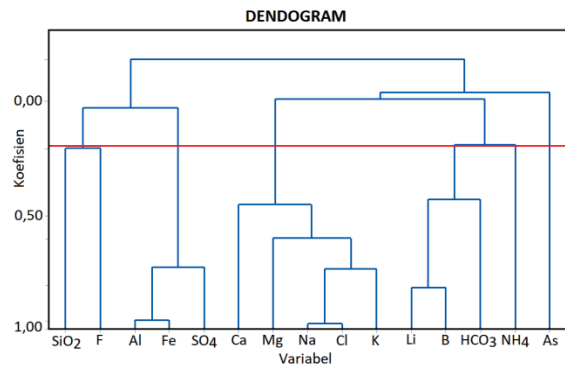
Gambar 3. Daerah Panas Bumi Dieng dan lokasi pengambilan sampel brine.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Mata Air Panas

Pada saat survei atau eksplorasi panas bumi selalu dilakukan analisis kimia kandungan unsur mata air panas. Data hasil analisis kimia pada penelitian ini diperoleh dari berbagai pustaka, terutama dari Badan Geologi, Bandung. Data kandungan unsur dan parameter lainnya dari 256 lokasi mata air panas, seluruh Indonesia, dianalisis statistik secara multivariat dan univariat (Tabel 1). Berdasarkan hasil analisis *clustering* menggunakan dendrogram antara parameter SiO₂, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH₄, B, F, Cl, SO₄, HCO₃, didapatkan empat kelompok unsur, dengan batas nilai signifikan > 0,19, terdiri dari kelompok SiO₂ – F, kelompok Al-Fe-SO₄, kelompok Ca-Mg-Cl-Na-K, serta kelompok Li-B-HCO₃ (Gambar 4). Sedangkan berdasarkan matrik korelasi diperoleh kelompok Cl-Na-Ca-Mg-K-Li-B, yang menurut klasifikasi Sugiyono (2206) Cl-Na-Ca-Mg-K berkorelasi sangat kuat ($r > 0,8$), antara Mg-K-Li-B berkorelasi kuat ($r > 0,6$). Kelompok Al-Fe-SO₄ berkorelasi sangat kuat ($r > 0,8$) (Tabel 2).

Kelompok korelasi unsur tersebut dapat menjadi acuan dalam analisis univariat. Peninggian salah satu unsur dalam satu kelompok dapat mengindikasikan peninggian kandungan unsur yang lainnya dalam kelompok asosiasi yang sama. Hal ini apabila salah satu unsur ekonomi diusahakan, unsur yang berasosiasi akan dapat menjadi produk sampingan, demikian juga sebaliknya apabila unsur asosiasinya tidak menjadi produk sampingan akan berpotensi sebagai unsur pengotor saat proses pengolahan dan permurniannya.



Gambar 4. Dendrogram dari hasil analisis kelompok, n = 256, nilai > 0,19 signifikan, data dari lokasi lapangan panas bumi Indonesia.

Tabel 1. Rangkuman statistik data hasil analisis kimia, suhu, pH, dan EC dari 256 lokasi mata air panas Indonesia

	Minimum (mg/l)	Maksimum (mg/l)	Rata-rata (mg/l)	Standar Deviasi
Suhu (°C)	23,6	127,0	55,22	20,75
EC	52	47800	2605,20	4514,29
pH	0,45	10,4	7,23	1,21
SiO ₂	2,33	1254,0	109,25	105,67
Al	0,006	376,0	2,612	25,59
Fe	0,006	242,0	1,93	15,97
Ca	0,006	1260,0	84,789	148,77
Mg	0,006	776,7	26,99	76,28
Na	0,80	8119,0	489,08	939,46
K	0,02	320,4	32,85	50,73
Li	0,01	12,5	1,24	2,25
As	0,05	331,6	1,90	20,73
NH ₄	0,006	26,3	2,04	3,67
B	0,08	121,6	9,63	16,74
F	0,02	5,1	1,50	1,18
Cl	0,98	13660,4	649,38	1670,97
SO ₄	0,60	5094,4	211,09	460,48
HCO ₃	4,90	2105,4	394,28	397,12

Hasil analisis kandungan unsur dari 256 lokasi mata air, litium pada rentang nilai 0,01-12,50 mg/ltr, dengan rata-rata 1,24 mg/ltr (Tabel 1). Terdapat enam lokasi mempunyai kandungan Li 6,2–12,5 mg/ltr, sembilan lokasi mempunyai kandungan Li 2,0 - 6,0 mg/ltr (Gambar 5). Kandungan Li tertinggi dari mata air panas di Lapangan Panas Bumi Lawu sebesar 12,5 mg/ltr dengan kandungan K 184,60 mg/ltr, B 121,64 mg/ltr, dan kandungan SiO₂ 128,65 mg/ltr. Lokasi kandungan Li tinggi dari mata air panas terdapat di daerah Boalemo, Bittuang, Lembong, Poso, dan Bukit Kili di Sulawesi, serta Sumani di Sumatera. Dari beberapa lokasi tersebut, keterdapatan peninggian kandungan litium dijumpai baik di lapangan panas bumi non-vulkanik

maupun vulkanik (Tabel 3) dengan tipe fluida klorida.

Hasil kajian panas bumi non-vulkanik daerah Sulawesi bagian tengah, oleh Mulyadi dkk. (2010) menyebutkan bahwa reservoir panas bumi cenderung berada pada kedalaman kurang dari 1000 meter. Dangkalnya reservoir panas bumi di Sulawesi bagian tengah, kemungkinan mempengaruhi tipe dan kandungan unsur fluida di daerah tersebut. Sedangkan reservoir pada lapangan panas bumi vulkanik umumnya mempunyai kedalaman besar, sekitar 1,5 km (Sukhyar dkk., 2014), sehingga komposisi fluida pada mata air panas lebih berpotensi dipengaruhi oleh air meteorik.

Tabel 2. Matrik korelasi data hasil analisis kandungan unsur 256 lokasi mata air panas di Indonesia

	SiO ₂	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Li	As	NH ₄	B	F	Cl	SO ₄	HCO ₃
SiO ₂	1	0,311	0,224	-0,020	0,022	0,041	0,152	0,184	0,039	0,089	0,178	0,198	0,040	0,194	0,107
Al	0,311	1	0,957	-0,006	0,058	0,031	0,257	0,012	0,017	0,131	0,105	0,044	0,153	0,725	-0,086
Fe	0,224	0,957	1	0,011	0,069	0,045	0,287	0,032	0,014	0,134	0,124	0,032	0,172	0,743	-0,063
Ca	-0,020	-0,006	0,011	1	0,494	0,715	0,447	0,130	-0,027	0,010	0,185	-0,133	0,756	0,292	0,059
Mg	0,022	0,058	0,069	0,494	1	0,724	0,595	-0,020	-0,023	-0,009	0,039	-0,178	0,756	0,412	0,085
Na	0,041	0,031	0,045	0,715	0,724	1	0,736	0,306	0,073	0,108	0,349	-0,117	0,975	0,339	0,205
K	0,152	0,257	0,287	0,447	0,595	0,736	1	0,543	0,055	0,119	0,519	-0,047	0,735	0,454	0,367
Li	0,184	0,012	0,032	0,130	-0,020	0,306	0,543	1	0,213	0,183	0,816	0,059	0,233	0,071	0,423
As	0,039	0,017	0,014	-0,027	-0,023	0,073	0,055	0,213	1	-0,021	0,286	-0,055	0,062	0,038	-0,048
NH ₄	0,089	0,131	0,134	0,010	-0,009	0,108	0,119	0,183	-0,021	1	0,281	0,025	0,068	0,120	0,261
B	0,178	0,105	0,124	0,185	0,039	0,349	0,519	0,816	0,286	0,281	1	-0,058	0,277	0,207	0,460
F	0,198	0,044	0,032	-0,133	-0,178	-0,117	-0,047	0,059	-0,055	0,025	-0,058	1	-0,114	0,018	-0,193
Cl	0,040	0,153	0,172	0,756	0,756	0,975	0,735	0,233	0,062	0,068	0,277	-0,114	1	0,418	0,070
SO ₄	0,194	0,725	0,743	0,292	0,412	0,339	0,454	0,071	0,038	0,120	0,207	0,018	0,418	1	-0,080
HCO ₃	0,107	-0,086	-0,063	0,059	0,085	0,205	0,367	0,423	-0,048	0,261	0,460	-0,193	0,070	-0,080	1

Tabel 3. Mata air panas dengan kandungan litium tinggi

Lokasi Daerah Panas Bumi	Tipe Panas Bumi	Kandungan Litium mg/l	Nama Mata Air Panas	Tipe Fluida
Lawu, Jawa Tengah (Kusnadi dkk., 2009)	Vulkanik	12,50	Tasin	Khlorida
		10,1	Karambia	Khlorida
Sumani, Sumatera (Kusnadi, dkk., 2011)	Vulkanik	10,10	Lawi	Khlorida
		6,2	Lakuak	Khlorida
		7,9	Kanandede II	Khlorida
Limbong (Sundoro, 2009)	Non-vulkanik	8,0	Kanandede VI	Khlorida
		6,7	Komba	Khlorida
		10,4	Bala I	Khlorida
Bituang (Kusnadi, dkk. 2009)	Non-vulkanik	7,9	Bala II	Khlorida
		11,84	Pohuato 2	Khlorida
Boalemo (Setiawan, 2012)	Non-vulkanik	10,99	Pohuato 1	Khlorida
		4,12	Kageroa	Khlorida
Poso (Dahlan, dkk., 2011)	Non-vulkanik	3,93	Lengkeka	Khlorida
Seram (Sulaeman, dkk., 2009)	Non-vulkanik	5,67	Ohon Batu I	Khlorida



Gambar 5. Peta lokasi daerah panas bumi (Sukhyar, dkk., 2014) dan kandungan Li tinggi pada mata air panas.

Nilai tinggi dijumpai pada daerah panas bumi vulkanik maupun non-vulkanik

Hasil Analisis Fluida PLTP Dieng

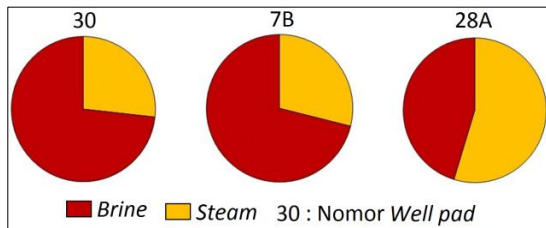
Daerah Panas Bumi Dieng berada di Banjarnegara, Jawa Tengah, mempunyai potensi 780 MW, dengan kapasitas yang telah terpasang pada PLTP PT Geo Dipa Unit Dieng, 60 MW (Sukhyar dkk., 2014). Pada operasi produksi menghadapi kendala dengan sangat tingginya kandungan silika pada fluida. Namun demikian, dengan kondisi tersebut memberikan peluang untuk dimanfaatkannya kandungan unsur terlarut pada fluida yang diproduksi.

PLTP beroperasi secara komersial mulai tahun 2002, mempunyai temperatur reservoir tinggi, 262°C - 330°C, tipe *liquid-dominated*, kedalaman reservoir pada rentang kedalaman 1.400 dan 1.700 m (Sirait dkk., 2015). Data unsur ekonomis dari PLTP Dieng berasal dari air panas terproduksi, berupa *brine* tersisa yang dialirkan menuju kolam pengendapan sebelum diinjeksikan kembali ke dalam bumi. Pengukuran debit fluida dilakukan saat pengambilan sampel. Pengambilan sampel pada empat lokasi, yaitu *brine* yang berasal dari *silencer* di lokasi *well pad* 30, 7B, 31, dan 28A. Pada lokasi 31, mempunyai laju alir *brine* yang sangat rendah 1,49 m³/jam, sehingga dari aspek jumlah fluida terlalu sedikit untuk diolah kandungan unsur ekonominya.

Sebagaimana mekanisme yang berlangsung pada sistem operasi produksi pembangkit listrik tenaga panas bumi, adanya proses *pressure drop* massa fluida, menyebabkan sebagian fasa cair berubah menjadi uap. Pada PLTP Dieng, *pressure drop* terjadi pada separator dan *silencer*. Pada separator proses pemisahan fasa cair dan fasa uap, berfungsi untuk memroduksi uap untuk membangkitkan turbin. Proporsi fasa cair (*brine*) yang masih tersisa dari separator (Tabel 4 dan Gambar 6) dikirim kembali ke dalam reservoir untuk menjaga kelangsungan umur PLTP. Sedangkan pembentukan uap pada *silencer* akibat *brine* tersisa dari separator, temperatur masih tinggi, mengalir melewati *silencer* menuju udara terbuka, sehingga sebagian fasa cair berubah menjadi uap (Gambar 7). Oleh sebab itu dengan berkurangnya fasa cair, menghasilkan *brine* tersisa dengan tingkat kepekatan meningkat. Lokasi pengambilan sampel pada saluran terbuka setelah *brine* keluar dari *silencer* dengan pertimbangan, *brine* tersisa semakin pekat serta apabila unsur ekonomi yang terkandung pada *brine* dimanfaatkan, tidak mengganggu sistem operasi produksi pembangkit.

Hasil analisis laboratorium kandungan TDS dari *brine* 39.882 – 66.936 mg/l (Tabel 4). Sebagai pembanding, sesuai dengan

Permenkes Nomor 492 tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, dan SNI 3553-2015 tentang Air Mineral, standar TDS maksimum untuk air minum 500 mg/l. Apabila dibandingkan dengan standar tersebut maka kandungan TDS pada *brine* sangat tinggi dan tidak layak dialirkan ke lingkungan sekitarnya.



Gambar 6. Proporsi *brine* dan *steam* yang dihasilkan dari separator pada tanggal 13 Juni 2019



Gambar 7. Saluran pengendap silika di lokasi *well pad* 30 dengan latar belakang AFT mengeluarkan kepulan uap, menyebabkan *brine* tersisa semakin pekat.

Unsur terlarut dalam *brine* mempunyai kadar signifikan diperoleh dari *Well pad* 30,

7B, dan 28A, dengan kandungan SiO_2 1109,25-1220,90 mg/l, litium 77,31-99,4 mg/l, K 2532,20–4536,50 mg/l, B 404,16–589,40 mg/l, dan mangan 5,49-15,82 mg/l (Tabel 4). Besaran nilai tersebut, apabila mengacu pada hasil asesmen kandungan unsur kimia ekonomis *brine* geotermal oleh Neupane dan Wendt (2017) yang dilakukan di Amerika Serikat, termasuk kadar sangat tinggi.

Hasil analisis *brine* PLTP Dieng dari *Well pad* 30, 7B, dan 28A diperoleh kadar Li 50,11-99,44 mg/l. Besaran nilai tersebut termasuk tinggi, akan tetapi lebih rendah apabila dibandingkan dengan kandungan Li di Salton Sea, Amerika, lokasi telah memproduksi litium dari fluida panas bumi yang mempunyai kadar Li 90-440 mg/kg (Neupane dan Wendt, 2017) dan B 257 mg/kg, serta kadar SiO_2 461 mg/kg (Mroczek dkk., 2015).

Saat dilakukan penelitian di PLTP Dieng, sedang berlangsung program *workover*, dengan target lima sumur. Setelah selesainya *workover* diharapkan akan ada peningkatan *mass flow rate* dari kelima sumur tersebut. Oleh karena itu debit *brine* tersisa (Tabel 4) potensial akan menjadi berubah dengan selesainya seluruh program *workover*. Debit *brine* tersisa akan meningkat, sehingga potensi dari unsur ekonomi terlarut juga berpotensi meningkat.

Tabel 4. *Mass flow rate*, dan proporsi antara *steam* dan *brine* pada tanggal 13 Juni 2019 (sumber data PT Geo Dipa Enegi Unit Dieng)

No <i>Wellpad</i>	<i>Mass Flow rate</i> pada Separator (ton/jam)	Proporsi <i>Brine</i> dan <i>Steam</i> dihasilkan (ton/jam)
30	538,10	<i>Steam: Brine</i> : 144,00 394,10
7b	95,28	<i>Steam: Brine</i> : 27,54 67,74
31	-	<i>Brine</i> : 1,51
28A	177,24	<i>Steam: Brine</i> : 96,95 80,29

Hasil analisis kimia dari 6 lokasi manifestasi mata air panas di daerah Dieng diperoleh kandungan Li 0,01 – 0,88 mg/l, K 21,10 – 52,00 mg/l, B 0,32 – 3,84 mg/l, 0,05 – 0,86 mg/l, SiO₂ 38-58,68 mg/l, berdasarkan hasil analisis diagram Cl-HCO₃-SO₄ termasuk tipe bikarbonat (Ramadhan dkk., 2013) mengindikasikan bahwa dominan dipengaruhi oleh air meteorik. Sehingga kandungan Li pada mata air panas di Daerah Dieng tersebut relatif kecil, bahkan berada di bawah nilai rata-rata, apabila dibandingkan dengan kandungan kimia di lokasi lain di Indonesia. Sementara hasil analisis kandungan unsur Li dan unsur lainnya yang bernilai ekonomi terlarut pada *brine* yang keluar dari *silencer* PLTP Dieng sangat tinggi (Tabel 5). Hal ini mengingat *brine* yang terproduksi berasal langsung dari zona reservoir, di antara kedalaman 1.400 meter dan 1.700 meter (Sirait, 2015), dan menurut Prasetio dkk., (2010) berdasarkan hasil analisis komposisi isotop gas ¹⁸O, ²H, dan ¹³C menyimpulkan bahwa fluida panas bumi Dieng berasal dari meteorik yang mengalami interaksi intensif dengan batuan sekitarnya, serta menunjukkan juga adanya kontribusi magmatik. Selain itu tingginya unsur ekonomis terlarut juga akibat proses pemekatan *brine* yang terjadi di separator dan di *silencer*. Sehingga kandungan unsur terlarut pada air panas yang diambil dari manifestasi mata air panas jauh berbeda dengan kandungan unsur ekonomi terlarut pada sampel *brine* yang diambil pada saluran terbuka menuju kolam pengendapan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Diperoleh empat kelompok unsur hasil analisis statistik data dari 256 lokasi mata air panas di Indonesia, kelompok SiO₂ – F, kelompok Al-Fe-SO₄, kelompok Ca-Mg-Cl-Na-K, serta kelompok Li-B-HCO₃. Peninggian kandungan litium pada mata air panas dari beberapa daerah panas bumi vulkanik maupun non-vulkanik berupa fluida tipe khlorida atau air formasi.

Fluida dari manifestasi mata air panas di Daerah Dieng termasuk tipe bikarbonat, dominan dipengaruhi oleh air meteorik. Sedangkan fluida terproduksi pada PLTP, dari reservoir tipe meteorik yang mengalami interaksi intensif dengan batuan sekitarnya serta fluida magmatik.

Brine tersisa di PLTP Dieng, mempunyai total debit 457,1 m³/jam, dengan kandungan kadar tinggi beberapa unsur, litium 77,31-99,4 mg/l, silika 1.109,25 s.d. 1.220,9 mg/l, boron 404,16 s.d. 589,4 mg/l, kalium 2.532,2 s.d. 4536,5 mg/l, dan mangan 5,49 s.d. 15,82 mg/l.

Potensi panas bumi daerah Dieng 780 MW, dengan kapasitas telah terpasang 60 MW (7,7%), sehingga total potensi unsur yang dapat dikembangkan akan jauh lebih besar apabila seluruh potensi energi panas buminya dikembangkan.

Diperlukan analisis kandungan fluida dengan jumlah unsur yang lebih lengkap agar potensi unsur kimia ekonomis yang lain seperti REE, Au, dan Ag dapat diketahui.

Tabel 5. Debit aliran, TDS, dan kadar tinggi unsur ekonomis *brine* PLTP Dieng

Nomor Well pad	Debit Brine m ³ /jam	TDS mg/l	SiO ₂ mg/l	B mg/l	Mn mg/l	K mg/l	Li mg/l
30	311,04	63.922	1201,56	455,52	10,54	4111,20	77,31
7B	66,50	39.882	1220,90	404,16	5,49	2532,20	50,11
28A	79,56	66.936	1109,25	589,40	15,82	4536,50	99,44
31	1,49	16.998	556,75	791,06	1,74	1058,20	17,22

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan atas semua bantuannya dalam penelitian ini kepada Manajemen PT Geo Dipa Energi Unit Dieng, Hendra Ardi Kurniawan dari PT Geo Dipa Energi Unit Dieng; Alfia Septiani Syahrul, Khalida Apriani, dan Muhammad Agung Wicaksono dari PEM Akamigas, Mochamad Nur hadi dari PSDMBP.

DAFTAR PUSTAKA

Bakane, P.A., 2013. *Overview of Extraction of Mineral/Metals With The Help of Geothermal Fluid*. Proceedings Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013 SGP-TR-198.

Bloomquist, R.G., 2006. *Economic Benefits of Mineral Extraction From Geothermal Brines*. Washington State University Extension. Washington.

Bourcier, W.L., Lin, M., Nix, G., 2005. *Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids*. UCRL-CONF-215135. 2003 SME Annual Meeting. Cincinnati.

Dahlan, Supeno, Nahar, K., Hendaryanti, L., Suhandjaja, 2011. *Survei Pendahuluan Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kabupaten Poso provinsi Sulawesi Tengah*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Glassley, W.E., 2015. *Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment*. 2nd Edition, Taylor & Francis Group, LLC, New York.

Hickson, C., & Coolbaugh, M., 2017. *Do Geothermal Systems Play a Role in Lithium Brine Enrichment in Nevada Playas?*. GRC Transactions, Vol. 41, 2017. Vancouver.

Kruger, N. 2015. *A "Rare" Opportunity*. <https://www.dmr.nd.gov/ndgs/>. Diunduh 28 September 2015.

Kusnadi, D., Supeno, Kencanawati, L., Hendaryanti, L., 2009. *Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Bituang, Kabupaten Toraja, provinsi Sulawesi Selatan*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Kusnadi, D, Wibowo, A.E.A., Rohani, A., Dinarsih, D., Purwoto, E., Kencanawati, L., 2011. *Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Sumani, Provinsi Sumatera Barat*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Metcalfe, I., 2017. *Tectonic evolution of Sundaland*. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, Volume 63, June 2017, pp. 27 – 60.

Mroczek, E., Climo, M., Li, Y., Evans1, D., Brian Carey., B., and Wei Gao, W., 2015. *From Waste to Wealth: Mineral Extraction from Geothermal Brines*. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. <https://www.researchgate.net/publication/>, diunduh tanggal 29 Juli 2019.

Mroczek, E., Dedual, G., Graham, D., Bacon, L., 2015. *Lithium Extraction from Wairakei Geothermal Fluid using Electrodialysis*. Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. <https://www.researchgate.net/publication/>, diunduh tanggal 29 Juli 2019.

Mulyadi, E., Sri Widodo, Yushantarti, A., Wahyuningsih, R., Marpaung, H., dkk., 2010. *Kajian Non Vulkanik Panas Bumi di Pulau Sulawesi Bagian Tengah*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Neupane, G., dan Wendt, D.S., 2017. *Assessment of Mineral Resources in Geothermal Brines in the US*. Proceedings, 42nd Workshop on, Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California,, February 13-15, 2017 SGP-TR 212, <https://www.researchgate.net/publication/>, diunduh tanggal 29 Juli 2019.

- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, Berlin.
- Patterson, M.C.L., 2006. *Geothermal Brines-High Value Mineral Extraction*. Advanced Ceramics Research, 3292 East Hemisphere Loop, Tucson, AZ 85706, USA.
- Pohan, M.P., Herman, D.Z., Hutamadi, R. 2008. *Penelitian Mineral Ikutan Pada Lapangan Panas Bumi Daerah Dieng, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Prasetyo, R., Abidin, Z., Yoki Yulizar, Y., 2010. *Isotope and Gas Geochemistry of Dieng Geothermal Field, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- Ramadhan, Y., K. Channel, K., dan N. R. Herdianita, N.R., 2013. *Hotwater Geochemistry for Interpreting The Condition of Geothermal Reservoir, Dieng Plateau Case, Banjarnegara-Wonosobo Regency, Central Java*. Indonesian Journal of Geology, Vol. 8 No. 2 Juni 2013.
- Sanjuan, B., dan Millot, R., 2009. *Bibliographical Review About Na/Li Geothermometry and Lithium Isotope Applied to Worldwide Geothermal Water*. BRGM RP-57346-FR, report. Diunduh 22 Desember 2019.
- Setiawan, D.I., 2014. *Survei Pendahuluan Geologi dan Geokimia Panas Bumi Kabupaten Gorontalo, Boalemo, dan Pohuwato, provinsi Gorontalo*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Sirait, P., Ridwan, R.H., Battistelli, A. 2015. *Reservoir Modeling for Development Capacity of Dieng Geothermal Field, Indonesia*. Proceedings. Fourtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California.
- Sugiyono, 2006. *Statistik untuk Penelitian*. CV. Alfabeta. Bandung. Cetakan ke 10.
- Sukhyar, R., Gurusinga, C.K., Kasbani, Munandar, A., Dahlan, dkk., 2014. *Potensi dan Pengembangan Sumber Daya Panas Bumi di Indonesia*. Badan Geologi, Bandung.
- Sundoro, H., 2009. *Survei Terpadu Daerah Panas Bumi Limbong, Kabupaten Limbong, Provinsi Sulawesi Selatan*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Diterima	: 18 Mei 2020
Direvisi	: 24 Agustus 2020
Disetujui	: 28 Agustus 2020

**KARAKTERISASI DAN ESTIMASI SUMBER DAYA GAMBUT
SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN LOGAM BERAT DALAM LARUTAN
DI BLOK TELUK MERANTI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU**

**CHARACTERIZATION AND RESOURCES ESTIMATION OF PEAT DEPOSIT
AS HEAVY METAL ADSORBENT IN SOLUTION
AT TELUK MERANTI BLOCK, PELALAWAN REGENCY, RIAU PROVINCE**

**Muhammad Arief Pinandita¹, Galuh Yuliani², Agus Subarnas¹,
Denni Widhiyatna¹, Maryono², dan Siska Mutiara²**

¹Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi,

²Universitas Pendidikan Indonesia
muhammad.pinandita@esdm.go.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki areal gambut terluas di zona tropis, yaitu sebesar 70% di Asia Tenggara dan 50% dari lahan gambut tropis di dunia. Saat ini, pemanfaatan gambut masih relatif rendah, sedangkan ancaman kebakaran lahan gambut pada musim kemarau terus menjadi permasalahan serius di berbagai wilayah di Indonesia. Selain memiliki potensi sebagai sumber energi, gambut juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben alami bagi logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi gambut dan mengestimasi besarnya sumber daya gambut di Blok Teluk Meranti, Provinsi Riau yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben alami logam berat. Karakterisasi gambut dilakukan dengan pengujian conto gambut dengan kode PL-13, PL-21, dan PL-26 yang diperoleh dari Blok Teluk Meranti. Hasil uji luas permukaan menunjukkan luas permukaan PL-13, PL-21 dan PL-26 berturut-turut sebesar 241,73 m²/g, 241,80 m²/g dan 247,29 m²/g. Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa gambut PL-13, PL-21, dan PL-26 memiliki kapasitas adsorpsi maksimum berturut-turut sebesar 15,06; 11,99; dan 22,93 mg/g, serta efisiensi adsorpsi berturut-turut sebesar 46,79%; 48,36%; dan 46,85%. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016, gambut yang memiliki ketebalan lebih dari tiga meter memiliki fungsi lindung, maka sumber daya terdapat endapan gambut yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben sebesar 90.477.890 ton.

Kata kunci: adsorpsi, gambut, karakterisasi, kapasitas adsorpsi dan sumber daya

ABSTRACT

Indonesia has the largest peat area in the tropical zone, which represents 70% of the peat area in Southeast Asia and 50% of the world's tropical peatlands. At present, the utilization of peat is still relatively low and its likelihood to cause major fires during dry season is still of great concern in Indonesia. On the other hand, peat has potential to be used as natural adsorbent. This study aims to characterize the adsorptive properties of peat and to estimate its possible resources as natural heavy metal adsorbent in the Teluk Meranti Block. Peat characterization was carried out by selecting three peat samples, namely PL-13, PL-21 and PL-26 based on elemental analyses. The characterization of BET surface area showed that PL-13, PL-21, and PL-26 have maximum area of 241,73 m²/g, 241,80 m²/g dan 247,29 m²/g, respectively. The adsorption test results show that PL-13, PL-21, and PL-26 have maximum capacity of 15.06; 11.99; and 22.93 mg/g, with adsorption efficiencies of 46.79%; 48.36%; and 46.85%, respectively. Based on Government Regulation No. 57 of 2016, peat with a thickness of three meters or more is determined as protection function of the peat ecosystem. Accordingly, the inferred resources of peat deposits that can be utilized as adsorbent is estimated to be 90,477,890 tonnes.

Keywords: adsorption, adsorption capacity, characterization, peat and resources

PENDAHULUAN

Secara alamiah, gambut didefinisikan sebagai material organik yang terbentuk akibat dekomposisi yang tidak sempurna dari tumbuh-tumbuhan di daerah basah dan dalam kondisi lembab serta kekurangan oksigen (Mirwan & Wijayanti, 2011). Umumnya, gambut berwarna coklat muda hingga coklat tua sampai gelap kehitaman, sangat lunak, mudah ditusuk, mengotori tangan, bila diperas mengeluarkan cairan gelap dan meninggalkan ampas sisa tumbuhan (Tjahjono, 2007). Kadar air tanah gambut berkisar antara 100 s.d.300% dari berat keringnya (Agus & Subiksa, 2008).

Karakteristik tanah gambut sangat ditentukan oleh kondisi geografis suatu daerah. Umumnya tanah gambut dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif dan bahan baku untuk mendapatkan senyawa organik, serta di bidang pertanian gambut banyak dimanfaatkan sebagai pupuk dan zat aditif untuk tanah (Boron, Evans, & Peterson, 1987).

Di Indonesia, gambut telah terkumpul dan terbentuk sejak 5.000 tahun yang lalu (Holosen) dengan pembentuk utama adalah tumbuhan/hutan tropis (Mirwan & Wijayanti, 2011). Indonesia memiliki areal gambut terluas di zona tropis, mencakup 70% areal gambut di Asia Tenggara dan 50% dari lahan gambut tropis di dunia. Lahan gambut Indonesia terpusat di tiga pulau besar, yaitu Sumatera (35%), Kalimantan (32%), Papua (30%), dan pulau lainnya (3%) dengan total luas 21 juta ha (Wahyunto & Heryanto, 2005).

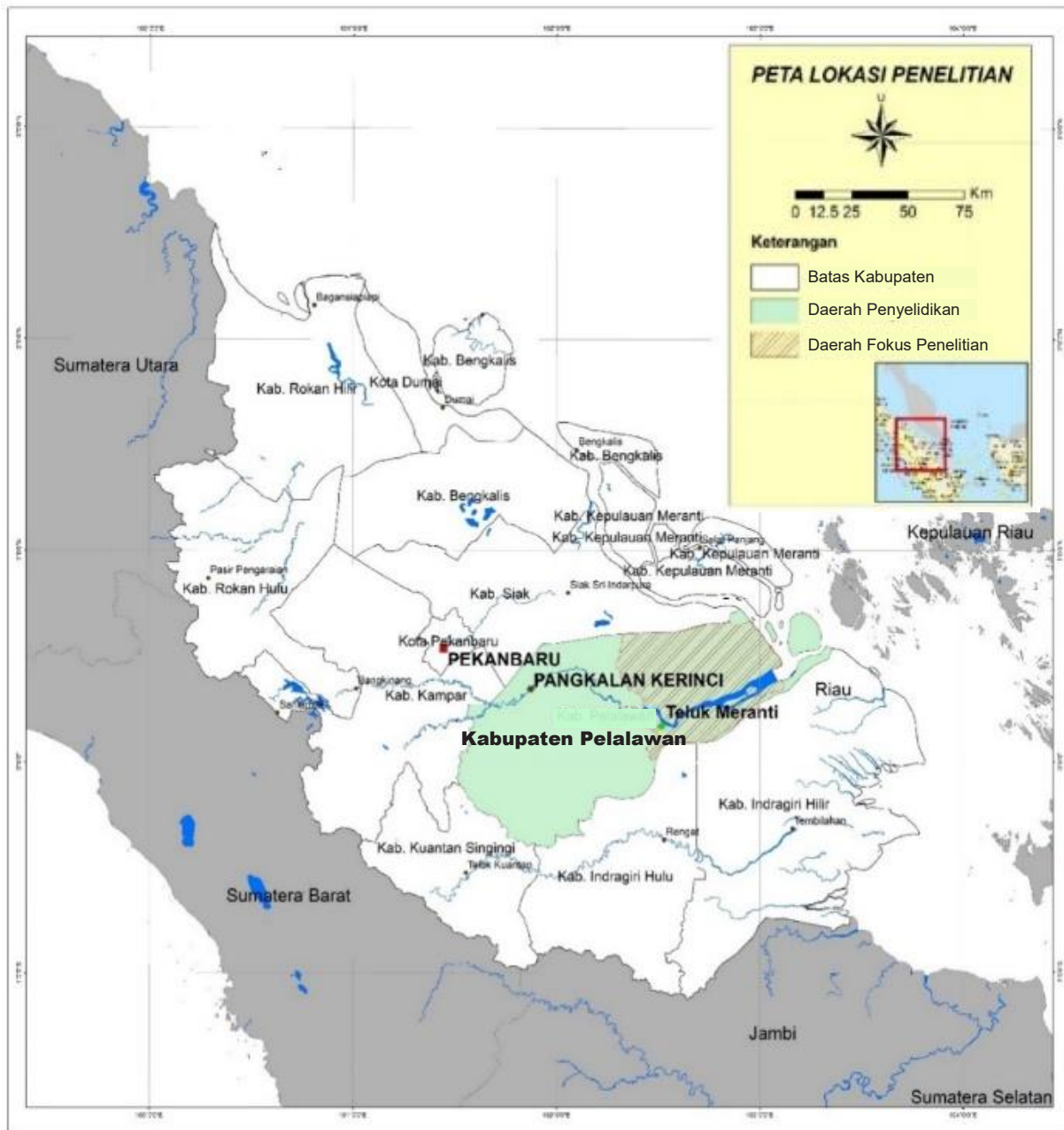
Saat ini, gambut menjadi salah satu permasalahan yang cukup besar di Indonesia. Bila terjadi kemarau panjang, lahan gambut akan kering selamanya (*irreversible drying*) dan gambut berubah sifat seperti arang. Hal tersebut menyebabkan gambut tidak mampu lagi menyerap hara dan menahan air, sehingga

gambut mudah terbakar dan sulit dipadamkan (Yuleli, 2009). Gambut yang terbakar menghasilkan energi panas yang lebih besar dari kayu/arang terbakar. Gambut yang terbakar juga sulit dipadamkan dan apinya bisa merambat di bawah permukaan, sehingga kebakaran lahan bisa meluas dan tidak terkendali (Agus & Subiksa, 2008).

Gambut di Indonesia memiliki kandungan mineral kurang dari 5% dan sisanya senyawa organik (Agus & Subiksa, 2008). Senyawa-senyawa organik tersebut di antaranya lignin, senyawa polar yang mengandung gugus fungsi, seperti alkohol aldehid, keton, asam, hidroksi fenolik dan ikatan kimia lainnya. Adanya kandungan senyawa ini mengakibatkan gambut memiliki kapasitas perpindahan kation yang tinggi dan merupakan adsorben yang efektif untuk menghilangkan logam berat (Bailey dkk., 1999).

Bartczak dkk. (2018) dalam penelitiannya melaporkan gambut dapat menjadi adsorben logam berat, yakni ion logam nikel (II) dan timbal (II) dengan kapasitas adsorpsi maksimum untuk masing-masing ion logam 61,27 mg(Ni²⁺)/g dan 82,31 mg(Pb²⁺)/g. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah adanya pertukaran ion antara gugus fungsi karboksil, fenolik, hidroksil dan lainnya dengan muatan positif ion nikel (II) dan timbal (II), serta membentuk senyawa kompleks. Hal ini membuktikan gambut cukup efektif untuk dimanfaatkan sebagai adsorben, dan termasuk kedalam adsorben yang memiliki harga relatif terjangkau.

Dalam penelitian ini dilakukan survei tinjau pemetaan gambut di daerah Blok Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau, untuk mengetahui sebaran dan jumlah potensi gambut di daerah tersebut serta analisis peluang pemanfaatan gambut sebagai adsorben logam berat. Secara geografis, Kabupaten Pelalawan dibatasi oleh koordinat 00° 46' 24" LU - 00° 24' 34" LS dan 101° 30' 37" BT - 103° 21' 36" BT (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di daerah Teluk Meranti

GEOLOGI

Morfologi

Berdasarkan peta geologi, peta topografi dan peninjauan di lapangan, secara keseluruhan lokasi survei tinjau termasuk dalam zona dataran rendah dengan ketinggian antara 5 m s.d. 50 m dari permukaan laut. Morfologinya dapat dibagi dalam 2 satuan, yaitu: Dataran Rendah dan Perbukitan Bergelombang Landai (Gambar 2). Morfologi dataran rendah menempati sekitar 60% dari luas daerah survei tinjau,

terutama pada bagian tengah menerus ke timur. Kearah timur, morfologi ini berkembang menjadi endapan rawa (Gambar 3) dan endapan pantai yang seluruhnya ditempati oleh endapan gambut. Kearah barat, endapan gambut sudah tidak terbentuk, hal ini dicirikan oleh keadaan topografinya dengan garis kontur menunjukkan angka yang makin tinggi diatas 20 m dari permukaan laut dan menjadi satuan morfologi perbukitan bergelombang landai.

Stratigrafi

Stratigrafi pada daerah penelitian diurutkan dari tua ke muda tersusun oleh Granit Pulau Kundur berumur Kapur, Formasi Air Benakat dan Formasi Muara Enim berumur Miosen Akhir, Formasi Minas dan Formasi Kerumutan berumur Pliosen dan Plistosen, dan Endapan Kuartar berumur Holosen (Gambar 4) (Clarke dkk., 1982).

Di daerah penelitian, endapan gambut seluruhnya berada di Kecamatan Teluk Meranti. Cekungan gambut tersebut berada di antara tanggul Sungai Kampar dan tanggul Sungai Selat Panjang yang meliputi seluruh wilayah gambut yang ada di daerah Kabupaten Pelalawan. Dari hasil pengamatan, cekungan dan sebaran gambut menerus ke arah utara kedalam wilayah Kabupaten Siak Sri Indrapura.

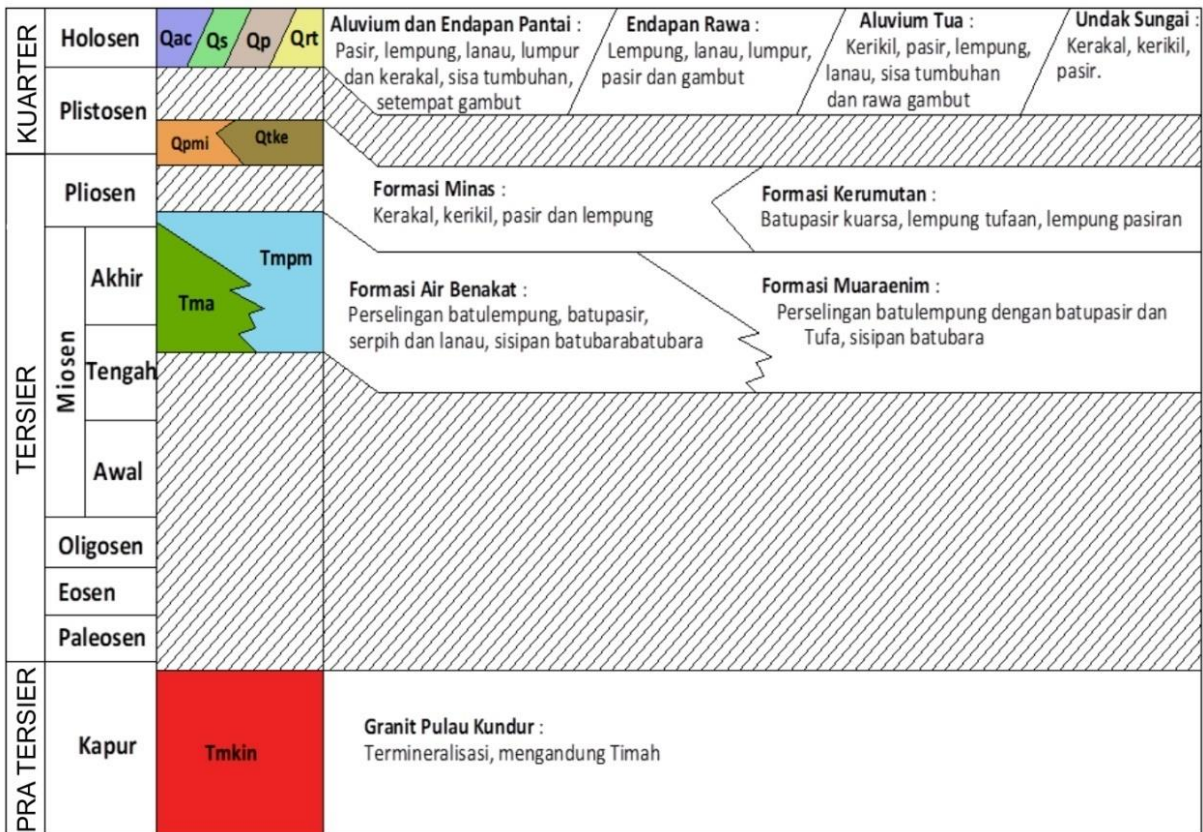
Endapan Kuartar pada daerah penelitian dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan kondisi lingkungan pengendapannya dan material penyusunnya, yaitu:

- Aluvium, endapan ini dekat dan dipinggir sungai sebagai perluasan daratan. Endapan ini terdiri dari material lepas batulempung dan batupasir yang tersingkap di sekitar Sungai Kampar dan Sungai Selat Panjang.
- Endapan tanggul terbentuk di pinggir sungai dan berfungsi sebagai tanggul alam. Endapan ini terbentuk oleh endapan sungai pada saat banjir yang membawa material-material berukuran agak kasar dan kemudian diendapkan dipinggir sungai. Pada saat permukaan air maksimum, tanggul sungai ini lebih tinggi dan menjadi pemisah antara dataran banjir

dengan sungai. Endapan tanggul ini terdiri dari material-material lempung, lanau dan pasir. Endapan tanggul di daerah penelitian merupakan Endapan Aluvial Tua (Qap).

- Undak sungai (Qrt), terjadi akibat erosi vertikal lebih dominan dibanding erosi lateral. Di daerah penelitian, undak sungai terdiri dari endapan aluvial yang membentuk morfologi pedataran. Endapan ini terdiri dari material kerikil, kerakal dan batupasir.
- Endapan organik, terbentuk pada bagian paling akhir dari dataran banjir. Pada bagian bawah, endapan organik bercampur dengan unsur-unsur anorganik, yaitu lempung dan lanau. Pada bagian atas terdapat endapan gambut yang disisipi oleh bagian tumbuhan seperti ranting, daun dan cabang yang telah membusuk yang disebut humus. Kondisi ini merupakan indikasi umum dari endapan gambut. Endapan ini di daerah penelitian termasuk dalam Endapan Rawa (Qs). Endapan dasar gambut *substrate*, umumnya terdiri dari lempung dengan kandungan partikel-partikel organik, berwarna abu-abu terang sampai gelap, plastis dan mengandung organik.

Berdasarkan posisi stratigrafi dilapangan memperlihatkan endapan gambut berada diatas batulempung Formasi Minas dan diatas batulempung pasiran Formasi Kerumutan. Kedua formasi tersebut berumur Plio-Plistosen.



Gambar 4. Stratigrafi daerah penelitian (modifikasi Clarke dkk., 1982)

METODOLOGI

Kegiatan penelitian dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahapan kegiatan di lapangan dan tahapan analisis dan uji di laboratorium.

Kegiatan di lapangan meliputi:

- Pemetaan geologi untuk menentukan batas-batas penyebaran endapan gambut dan kontak endapan gambut dengan litologi lainnya, sekaligus melokalisasi sebaran gambut.
- Pengeboran dengan menggunakan alat bor khusus gambut jenis *Fikelkarp Auger*.
- Pemerian conto gambut secara megaskopis dari *cutting* hasil pengeboran gambut

- Pengambilan conto gambut untuk analisis laboratorium

Kegiatan di laboratorium meliputi:

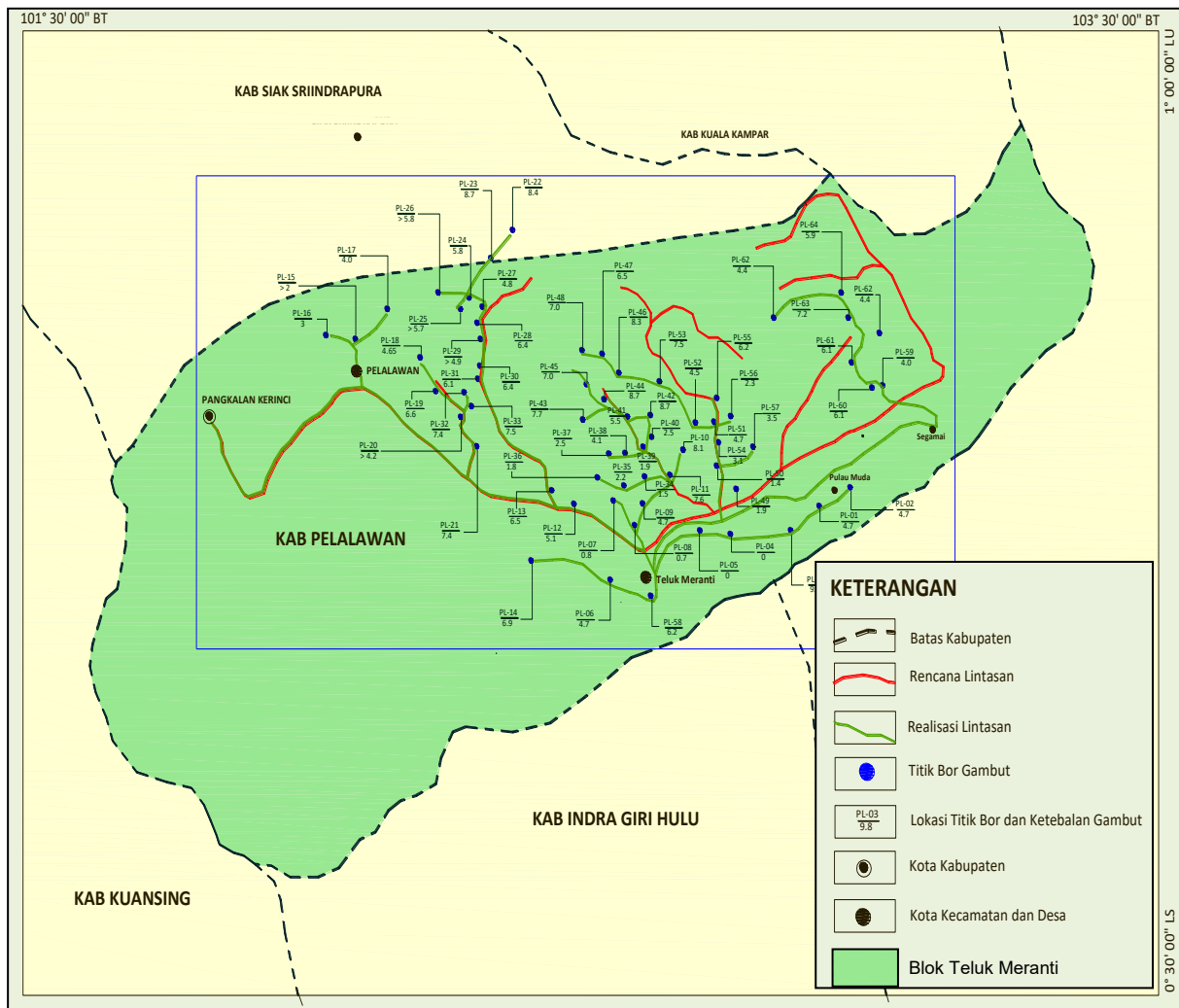
- Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalori
- Uji kadar air
- Analisis Luas Permukaan
- Analisis adsorpsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Pemetaan Endapan Gambut

Berdasarkan hasil pemetaan geologi didapat data sebaran gambut yang diperoleh dari 56 titik pengeboran (Tabel 1) (Gambar 5). Gambut pada cekungan ini terbentuk di antara tanggul Sungai Kampar.



Gambar 5. Peta Lintasan dan Lokasi pengamatan

Tabel 1. Data gambut hasil pengeboran Blok Teluk Meranti

No	Titik pengamatan	Tebal (m)	Contoh	Pemerian
1	PL-07	0,8		Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8.
2	PL-08	0,7		Gambut, coklat, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8.
3	PL-09	4,7	✓	Gambut, coklat, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8.
4	PL-10	8,1	✓	Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
5	PL-11	7,6	✓	Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8.
6	PL-12	5,1		Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,4 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
7	PL-13	6,5	✓	Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
8	PL-15	> 2		Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
9	PL-16	3,0	✓	Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.

No	Titik pengamatan	Tebal (m)	Contoh	Pemerian
10	PL-17	4,0		Gambut, coklat, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8.
11	PL-18	4,65	√	Gambut, coklat, MAT >1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
12	PL-19	6,6	√	Gambut, coklat, MAT >1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
13	PL-20	>4,2		Gambut, coklat, MAT >1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
14	PL-21	7,4	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,7 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
15	PL-22	8,4		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
16	PL-23	8,7	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
17	PL-24	5,8	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,5 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
18	PL-25	> 5,7	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
19	PL-26	> 5,8	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT < 1m, h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H7-H9.
20	PL-27	4,8	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
21	PL-28	6,4		Gambut, coklat, MAT 0,7 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
22	PL-29	> 4,9		Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
23	PL-30	6,4		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
24	PL-31	6,1		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
25	PL-32	7,4		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
26	PL-33	7,5		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
27	PL-34	1,7		Gambut, coklat, MAT 1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
28	PL-35	2,0		Gambut, coklat, MAT 1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
29	PL-36	1,8		Gambut, coklat, MAT 1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
30	PL-37	2,3		Gambut, coklat, MAT 1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
31	PL-38	3,8		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
32	PL-39	1,9		Gambut, coklat, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
33	PL-40	2,2		Gambut, coklat, MAT 1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
34	PL-41	4,7		Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
35	PL-42	7,8		Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
36	PL-43	7,4		Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
37	PL-44	8,0		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
38	PL-45	6,7		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.

No	Titik pengamatan	Tebal (m)	Conto	Pemerian
39	PL-46	8,1		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
40	PL-47	6,7		Gambut, coklat kehitaman, MAT 1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
41	PL-48	6,7		Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,7 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9.
42	PL-49	1,9		Gambut, coklat kehitaman, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
43	PL-50	1,4		Gambut, coklat, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
44	PL-51	4,7		Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
45	PL-52	4,7		Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
46	PL-53	7,1		Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9
47	PL-54	3,1		Gambut, coklat, MAT >1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
48	PL-55	5,8		Gambut, coklat, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9
49	PL-56	3,8		Gambut, coklat, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
50	PL-57	3,8		Gambut, coklat kehitaman, MAT 0,8 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
51	PL-59	4,0	√	Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
52	PL-60	4,6		Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
53	PL-61	6,1		Gambut, coklat kehitaman, MAT <1 m, f-h, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H9
54	PL-62	4,4	√	Gambut, coklat, MAT <1 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
55	PL-63	7,2		Gambut, coklat kehitaman, MAT <0,7 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8
56	PL-64	5,9	√	Gambut, coklat kehitaman, MAT <0,7 m, f, <i>Low ash, Highly acidic</i> , H5-H8

Catatan: MAT= Muka Air Tanah

Kualitas Gambut

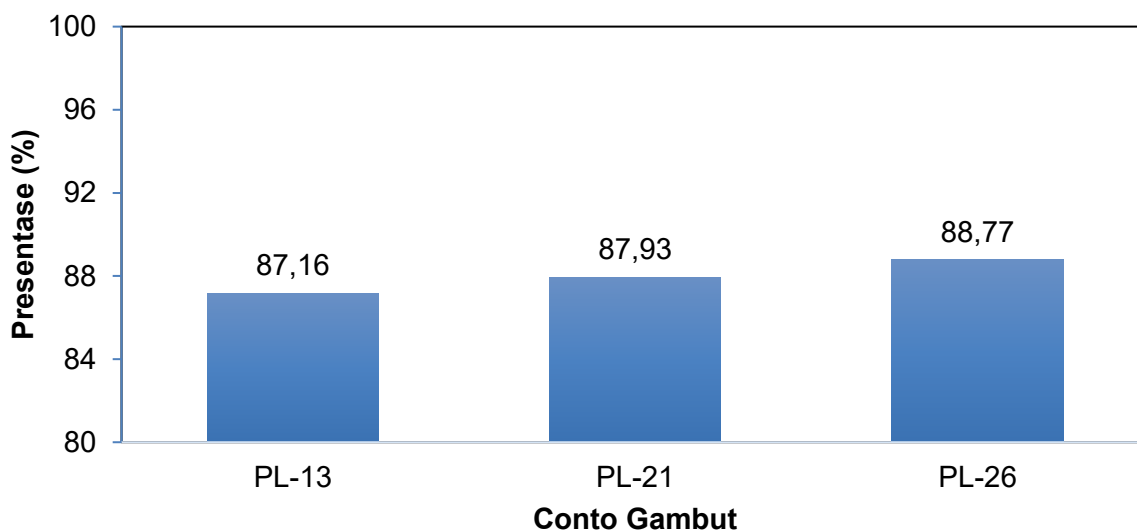
Kualitas gambut ditentukan oleh hasil analisis kimia berupa analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori (Tabel 2). Gambut di daerah penelitian memperlihatkan nilai kalori rata-rata 5.079 kal/gram (adb), kandungan abu rata-rata 0,23%, sulfur total rata-rata 0,20% (termasuk sangat rendah), kandungan *inherent moisture* rata-rata 9,06% dan kandungan karbon tertambat sebesar 30,46%. Hasil analisis ultimat menunjukkan nilai karbon rata-rata 62,39%, hidrogen sekitar 5,26%, nitrogen 1,13%, sulfur 0,23% dan oksigen 31,10%.

Uji Endapan Gambut Sebagai Adsorben

Karakterisasi endapan gambut dilakukan dengan melakukan uji kadar air, analisis ultimat, uji luas permukaan dan uji potensi adsorben pada tiga conto terpilih, yaitu PL.13, PL.21 dan PL.26. Uji kadar air dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam gambut. Hasil uji kadar air ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan diagram batang diketahui bahwa gambut PL-26 memiliki kadar air yang paling tinggi sebesar 88,77%, sementara PL-21 dan PL-13 sebesar 87,93% dan 87,16%.

Tabel 2. Data kualitas gambut Blok Teluk Meranti

Parameter	Unit	Basis	Kisaran	Rata-rata
Lembab Nisbi	%	ar	82,90 – 91,77	89,17
Lembab Jumlah	%	ar	84,45 – 92,66	90,15
Proksimat				
Kadar air	%	adb	8,40 – 10,34	9,06
Zat Terbang	%	adb	54,67 – 60,17	57,95
Karbon Tertambat	%	adb	27,40 – 32,45	30,46
Abu	%	adb	0,64 – 6,37	2,39
Sulfur total	%	adb	0,11 – 0,40	0,20
Berat Jenis	%	adb	0,08 – 0,13	0,10
PH			3,51 – 5,16	4,12
Nilai Kalori	Kal/gr	adb	4.895 – 5.389	5.079
Ultimat				
Karbon	%	daf	61,34 – 64,35	62,39
Hidrogen	%	daf	5,01 – 5,48	5,26
Oksigen	%	daf	28,99 – 32,08	31,10
Nitrogen	%	daf	0,92 – 1,42	1,13
Sulfur	%	daf	0,12 – 0,45	0,23



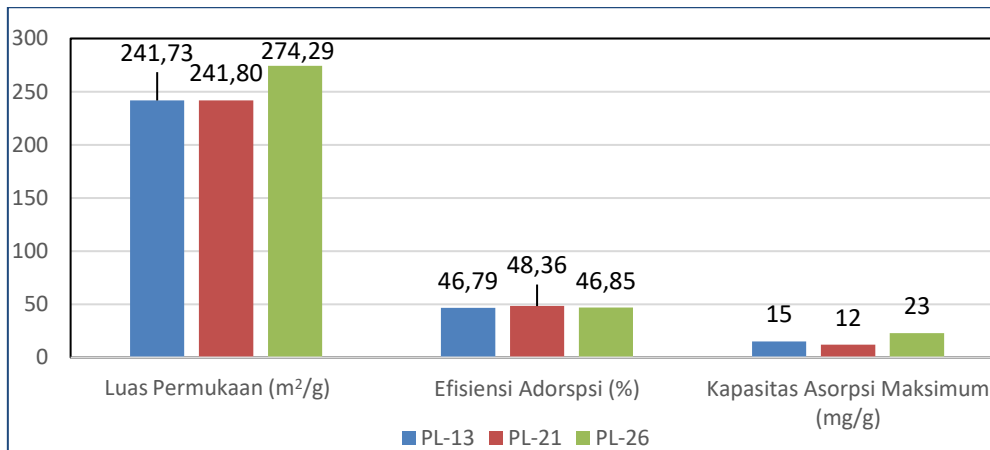
Gambar 6. Hasil uji kadar airdari tiga conto gambut Teluk Meranti

Analisis luas permukaan gambut dilakukan dengan pengujian BET (Braunear, Emmelt dan Teller) menggunakan gas CO₂. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh pada Tabel 3, gambut PL-26 memiliki luas permukaan paling besar, sedangkan PL-13 dan PL-26 memiliki luas permukaan yang hampir sama.

Data hasil uji adsorpsi pada Gambar 7 menunjukkan gambut PL-13, PL-21, dan PL-26 memiliki kapasitas adsorpsi maksimum berturut-turut sebesar 15,06; 11,99; dan 22,93 mg/g.

Tabel 3. Hasil pengujian luas permukaan BET menggunakan gas CO₂

Conto Gambut	Luas Permukaan (m ² /g)
PL-13	241,73
PL-21	241,80
PL-26	274,29



Gambar 7. Hasil uji adsorpsi gambut

PEMBAHASAN

Karakterisasi Gambut Sebagai Adsorben

Berdasarkan penelitian Oksana & Taufiq (2017), tanah gambut mempunyai kapasitas mengikat air yang relatif sangat tinggi. Namun, sifat hidrofil ini akan berubah menjadi hidrofob (menolak air) apabila gambut terlalu kering, sehingga gambut tidak dapat digunakan sebagai adsorben. Kadar air yang diperoleh pada pengujian yang berkisar antara 87% s.d. 89% umum ditemui pada gambut yang berasal dari daerah Riau, seperti yang dilaporkan Hikmatullah & Sukarman (2014) yang melakukan karakterisasi tanah gambut di berbagai daerah di Kalimantan dan Sumatera. Pengeringan tanah gambut sebelum pengujian adsorpsi tidak dilakukan, karena tidak seperti umumnya adsorben dari golongan karbon aktif, tanah gambut dapat mengalami penyusutan struktur (*shrinkage*) dan penurunan porositas yang tajam akibat pengeringan. Kajian tentang pengaruh pengeringan terhadap struktur pori dan porositas tanah gambut telah dilaporkan oleh Rezanezhad dkk., (2016). Penyusutan struktur dan penurunan porositas yang tajam sebagai akibat dari proses pengeringan yang dapat

memengaruhi kemampuan adsorpsi juga dilaporkan pada batubara muda (Yuliani, 2016).

Berdasarkan hasil uji ultimat diketahui bahwa ketiga gambut PL-13, PL-21, dan PL-26 didominasi oleh unsur karbon dan oksigen secara berturut-turut sebesar 62,62%; 62,05%; 61,44% dan 31,84%; 31,47; 32.08%. Kandungan unsur karbon dan oksigen yang tinggi mengindikasikan gambut berpotensi sebagai adsorben yang baik. Kandungan oksigen merupakan karakter yang penting dimiliki oleh suatu adsorben, karena oksigen yang terikat pada gugus karboksilat diyakini sebagai salah satu pusat aktif dari gambut yang dapat meningkatkan kemampuan permukaan gambut dalam mengikat ion logam. Peran gugus karboksilat sebagai sisi aktif adsorben telah dilaporkan pada literatur sebelumnya yang menggunakan batubara berperingkat rendah sebagai adsorben bagi zat warna organik (Yuliani, 2017).

Analisis luas permukaan dengan pengujian BET dilakukan untuk menentukan besarnya luas permukaan dan porositas gambut. Semakin tinggi luas permukaan dan porositas material, maka potensinya

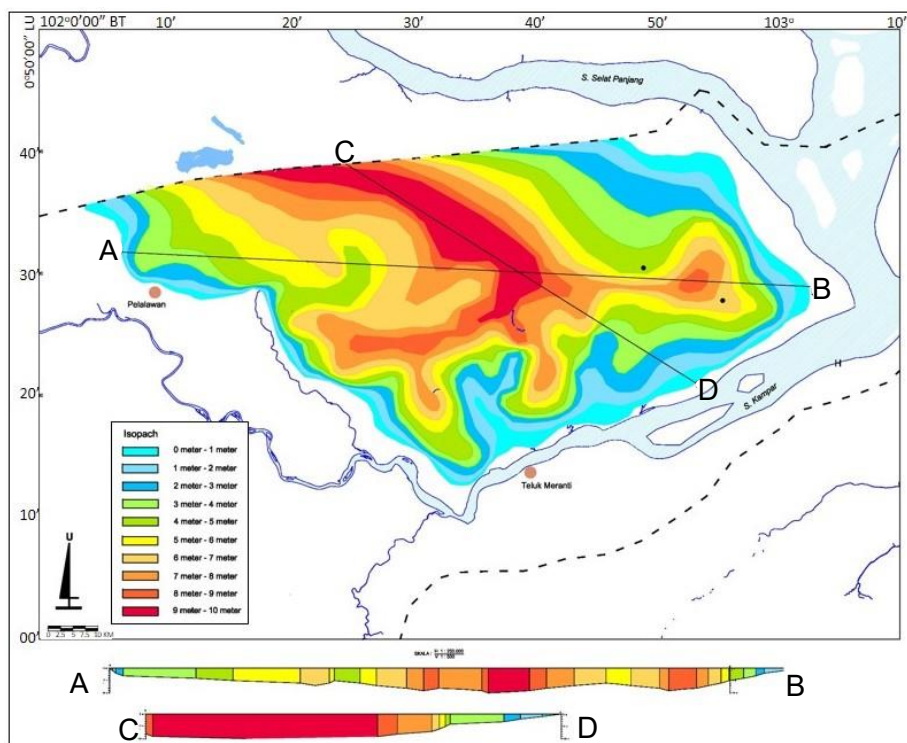
sebagai adsorben semakin baik. Kapasitas adsorpsi maksimum paling besar dimiliki oleh gambut PL-26 sebesar 22,93 mg/g, hal tersebut dipengaruhi oleh luas permukaan gambut PL-26 yang tinggi dibandingkan contoh yang lainnya, yakni 274,29 m²/g. Efisiensi adsorpsi rata-rata ketiga gambut tidak berbeda jauh, yakni gambut PL-13 sebesar 46,79%; gambut PL-21 sebesar 48,36%; dan gambut PL-26 sebesar 46,85%. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben gambut PL-13, PL-21, dan PL-26 merupakan adsorben yang cukup baik dalam mengadsorpsi ion Mn²⁺.

Bila dibandingkan dengan material lain yang dimanfaatkan sebagai adsorben, gambut PL-26 termasuk adsorben yang cukup baik, karena memiliki kapasitas adsorpsi maksimum yang cukup tinggi, yakni 22,93 mg/g. Penelitian terdahulu melaporkan kapasitas adsorpsi sekam padi beras putih dan karbon aktif granular masing-masing sebesar 18,01 mg/g (Tavlieva dkk., 2015) dan 7,63 mg/g (Goher, 2015). Namun, tanah liat kaolinit memiliki kapasitas adsorpsi maksimum jauh lebih tinggi dari gambut, yaitu sebesar 111,11 mg/g (Dawodu dkk., 2014).

Sumber Daya Gambut Blok Teluk Meranti

Secara administratif, Blok Teluk Meranti terletak di Kecamatan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan. Sebaran gambut pada blok ini seluruhnya berada pada hutan produksi pada sistem Tata Guna Lahan Kabupaten Pelalawan dan saat ini sebagian besar lahan gambut di daerah ini telah berubah fungsi menjadi areal hutan tanam industri dari beberapa perusahaan swasta dan tidak ada permukiman masyarakat di daerah ini. Data ketebalan yang didapat dari titik pengeboran diolah menjadi isopach ketebalan endapan gambut (Gambar 8).

Gambut di daerah Teluk Meranti pada umumnya juga telah mengalami dekomposisi menengah hingga tinggi antara H5 sampai H9 (Subarnas & Dwitama, 2019). Persyaratan lain yang cukup baik dari gambut di daerah ini sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap adalah mempunyai nilai kalori rata-rata 5.079 kal/gr dengan kandungan abu rata-rata 0,23% serta total sulfur sangat rendah <1%, yaitu 0,20%.



Gambar 8. Peta isopach endapan gambut BlokTeluk Meranti

Sumber daya gambut diperoleh dari perkalian luas sebaran gambut dengan ketebalan antara dua isopah. Luas sebaran gambut dibagi menjadi sepuluh bagian menurut ketebalannya, yaitu sebaran gambut dengan ketebalan antara 0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m, 4-5 m, 5-6 m, 6-7 m, 7-8 m, 8-9 m dan 9-10 m.

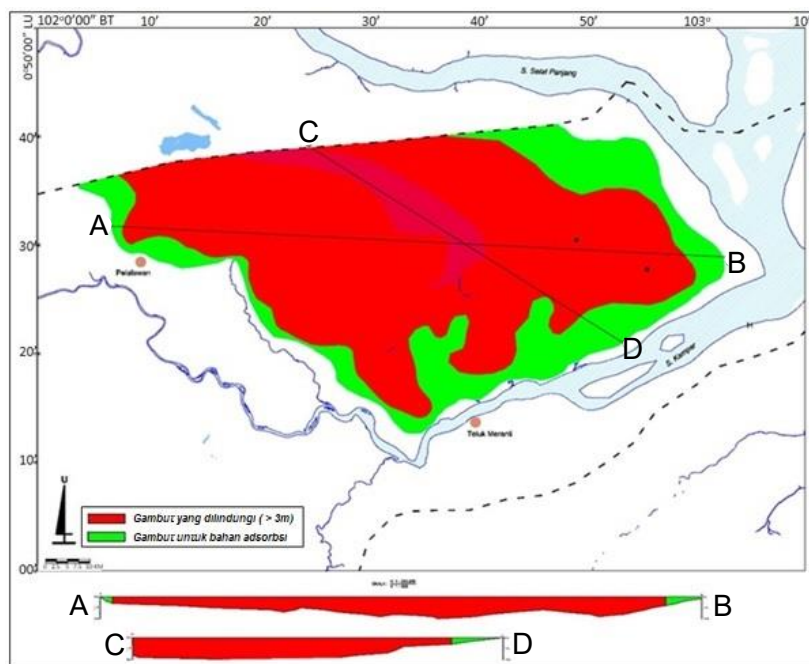
Berdasarkan hasil perhitungan sumber daya gambut untuk klasifikasi sumber daya tereka, maka ketebalan gambut dianggap satu meter. Dengan demikian, diperoleh besarnya sumber daya tereka sebanyak 327.619.327 ton (Tabel 4).

Estimasi Sumber Daya Gambut Sebagai Bahan Adsorben Logam Berat

Total sumber daya tereka gambut di daerah tersebut sampai dengan isopah tebal 10 m sebanyak 327.619.732 ton. Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut menyatakan bahwa gambut yang memiliki ketebalan lebih dari tiga meter memiliki fungsi lindung. Merujuk hal tersebut, maka gambut yang dapat dimanfaatkan untuk bahan adsorben logam berat pada blok Teluk Meranti, yaitu area Blok Teluk Meranti yang memiliki ketebalan gambut kurang dari tiga meter dengan total sumber daya tereka gambut sebanyak 90.477.890 ton (Gambar 9).

Tabel 4. Sumber Daya Tereka Gambut Blok Teluk Meranti

Zona Ketebalan (m)	Blok Teluk Meranti			
	Luas (m ²)	Tebal (m)	Bulk Density(ton/m ²)	Sumber Daya (ton)
0-1	228.339.025,68	1,0	0,10	22.833.902
1-2	282.313.658,51	1,0	0,10	28.231.365
2-3	303.174.026,13	1,0	0,13	39.412.623
3-4	374.747.840,58	1,0	0,08	29.979.827
4-5	431.477.126,86	1,0	0,10	43.147.712
5-6	406.226.102,99	1,0	0,10	40.622.610
6-7	470.572.738,08	1,0	0,10	47.057.273
7-8	394.268.453,13	1,0	0,09	35.484.160
8-9	212.357.765,59	1,0	0,09	19.112.198
9-10	217.380.627,38	1,0	0,10	21.738.062
Total				327.619.732



Gambar 9. Peta sebaran penggunaan lahan gambut

KESIMPULAN

Berdasarkan karakterisasi endapan gambut pada Blok Teluk Meranti, diketahui bahwa endapan gambut pada blok tersebut memiliki potensi sebagai adsorben logam berat. Kapasitas adsorpsi maksimum paling besar dimiliki oleh conto gambut PL-26 sebesar 22,93 mg/g, karena dipengaruhi oleh luas permukaan yang paling tinggi dibandingkan dengan conto lainnya, yakni sebesar 274,29 m²/g. Efisiensi adsorpsi conto gambut PL-13, PL-21 dan PL-26 berturut-turut sebesar 46,79%; 48,36%; dan 46,85%. Besarnya sumber daya terdapat endapan gambut pada Blok Teluk Meranti yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat, yaitu sebanyak 90.477.890 ton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP), Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kepala Bidang Batubara PSDMBP dan Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) melalui skema Riset Dasar Unggulan Perguruan Tinggi yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, K., Yusnimar., & Zultiniar. (2016). Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Ion Cu(II) Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa, 3(2), 1–6.
- Agus, F., & Subiksa, I. G. M. (2008). *Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan*. Balai Penelitian tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAFT) Bogor. Indonesia.
- Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M., & Adrian, D. D. (1999). A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research*, 33(11), 2469-2479. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00475-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00475-8)
- Bartczak, P., Norman, M., Klapiszewski, Ł., Karwańska, N., Kawalec, M., Baczyńska, M., & Jesionowski, T. (2018). Removal of nickel(II) and lead(II) ions from aqueous solution using peat as a low-cost adsorbent: A kinetic and equilibrium study. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1209-1222. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.07.018>
- Boron, D. J., Evans, E. W., & Peterson, J. M. (1987). An overview of peat research, utilization, and environmental considerations. *International Journal of Coal Geology*, 8(1-2), 1-31. [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(87\)90020-6](https://doi.org/10.1016/0166-5162(87)90020-6)
- Clarke, M.C.G., Kartawa, W., Djunuddin, A., Suganda, E., & Bagdja, M., 1982, Peta Geologi Lembar Pakanbaru, Sumatera. Bandung.
- Dawodu, F. A. & Akpomie, K. G. (2014). Simultaneous adsorption of Ni(II) and Mn(II) ions from aqueous solution onto a Nigerian kaolinite clay. *Journal of Materials Research and Technology*, 3(2), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.03.002>
- Dewi, P. A. I. K., Sunarya, P., & Sibarani, J. (2015). Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dan Cu (II) Oleh Bentonit Teraktivasi Basa (NaOH). *Jurnal Kimia*, 9 (2), 235–242.
- Goher, M. E., Hassan, A. M., Abdel-Moniem, I. A., Fahmy, A. H., Abdo, M. H., & El-sayed, S. M. (2015). Removal of aluminum, iron and manganese ions from industrial wastes using granular activated carbon and Amberlite IR-120H. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(2), 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.04.002>
- Hikmatullah & Sukarman, (2014). Physical and Chemical Properties of Cultivated Peat Soils in Four Trial Sites of ICCTF in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, 19(3), 131-141. DOI: 10.5400/jts.2014.19.3.131

- Mirwan, A., & Wijayanti, H. (2011). Penurunan Ion Fe Dan Mn Air Tanah Kota Banjarbaru Menggunakan Tanah Lempung Gambut. *Info Teknik*, 12(1), 45-51.
- Rezanezhad, F., Price, J. S., Quinton, W. L., Lennartz, B., Milojevic, T., & Cappellen, P. V., (2016). Structure of peat soils and implications for water storage, flow and solute transport: A review update for geochemists. *Chemical Geology*, 429, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.03.010>.
- Skoog, D. A., Donald M, W., F, J. H., & Stanley R, C. (2000). *Fundamentals of Analytical Chemistry*. Brooks Cole.
- Stevenson. (1994). *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*.
- Subarnas, A & Dwitama, E.P, 2019, Potensi Gambut Untuk Pengembangan PLTU, Di Kecamatan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau
- Susandi Oksana dan Ahmad Taufiq A. (2017). Analisis Sifat Fisika Tanah Gambut Pada Hutan Gambut Di Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal Agroteknologi*, 5 No. 2(August), 23-28. <https://doi.org/10.24014/ja.v5i2.1351>
- Tavlieva, M. P., Genieva, S. D., Georgieva, V. G., & Vlaev, L. T. (2015). Thermodynamics and kinetics of the removal of manganese(II) ions from aqueous solutions by white rice husk ash. *Journal of Molecular Liquids*, 211, 938-947. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.08.015>
- Tjahjono. (2007). *Kajian Potensi Endapan Gambut Indonesia Berdasarkan Aspek Lingkungan*. Departemen Energi Sumber Daya Mineral (ESDM).
- Wahyunto, & Heryanto, B. (2005). *Sebaran Gambut dan Status Terkini di Sumatera*. In.CCFPI. *Pemanfaatan Lahan Gambut Secara Bijaksana Untuk Manfaat Berkelanjutan*. *Wetlands International-Indonesia Program*. Bogor.
- Yuleli. (2009). *Penggunaan Beberapa Jenis Fungi Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Karet (Hevea brasiliensis) di Tanah Gambut*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Yuliani, G., Garnier, G., & Chaffee A.L. (2017). Utilization of raw and dried Victorian brown coal in the adsorption of model dyes from solution. *Journal of Water Process Engineering*, 15, 43-48.

Diterima	: 30 Juli 2020
Direvisi	: 3 Agustus 2020
Disetujui	: 30 Agustus 2020

**PENGARUH KANDUNGAN ABU DAN ZAT TERBANG TERHADAP
MAKSIMUM FLUIDITAS BATUBARA FORMASI TANJUNG DI DAERAH SEKAKO,
PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

***THE INFLUENCE OF ASH AND VOLATILE MATTER CONTENTS ON
MAXIMUM FLUIDITY OF TANJUNG FORMATION COAL IN SEKAKO AREA,
CENTRAL KALIMANTAN PROVINCE***

**Beny Wiranata, Hendra Amijaya*, Ferian Anggara,
dan Deddy Nan Setya Putra Tenggara**

Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*hamijaya@gadjahmada.edu

ABSTRAK

Batubara bituminus volatil rendah sampai tinggi pada Formasi Tanjung di Provinsi Kalimantan Tengah dikenal berpotensi sebagai batubara metalurgi atau batubara kokas. Maksimum fluiditas batubara merupakan salah satu parameter penting yang berhubungan erat dengan kualitas kokas yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kandungan abu dan zat terbang terhadap maksimum fluiditas batubara pada Formasi Tanjung di daerah Sekako dan sekitarnya, Provinsi Kalimantan Tengah. Empat conto batubara lapisan A dan enam conto batubara lapisan B dari Formasi Tanjung, diambil dengan menggunakan metoda pemercontohan saluran. Conto batubara yang diambil didominasi oleh litotipe batubara mengilap dan batubara mengilap berlapis. Conto tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis proksimat serta analisis Gieseler plastometer. Hasil analisis kimia menunjukkan conto batubara memiliki kandungan abu berkisar dari 2,79 sampai 9,05 wt%, adb, kandungan zat terbang 35,14 sampai 39,50 wt%, adb dan maksimum fluiditas 22.263 sampai 49.029 ddpm. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa di daerah penelitian, mempunyai kandungan abu berkorelasi negatif kuat ($r = -0,656$; $R^2 = 0,431$) dan tidak berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,055 > 0,05$) terhadap maksimum fluiditas batubara. Sementara kandungan zat terbang berkorelasi positif sangat kuat ($r = 0,794$; $R^2 = 0,6301$) dan berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,003 < 0,05$) terhadap maksimum fluiditas batubara. Semakin tinggi kandungan abu, maka maksimum fluiditas batubara semakin rendah dan sebaliknya semakin tinggi kandungan zat terbang, maka maksimum fluiditas batubara semakin tinggi. Hubungan kandungan zat terbang dengan maksimum fluiditas batubara dapat dinyatakan dengan persamaan $y = 6327,9x - 200248$.

Kata kunci: Batubara, abu, zat terbang, maksimum fluiditas, Formasi Tanjung

ABSTRACT

High to low volatile bituminous coals of Tanjung Formation in Central Kalimantan Province is known to be potentially used as a metallurgical or coking coal. Coal maximum fluidity is one important parameter which is strongly connected to the quality of the coke produced. This study aims to determine the relationship between coal maximum fluidity and its volatile matter and ash content. Four coal from A seam and 6 coal from B seam of Tanjung Formation in Sekako area were sampled using a ply by ply channel sampling method. Samples are dominated by bright coal and banded bright coals lithotype. All coal samples are subjected to proximate and Gieseler plastometer analysis in the laboratory. The coal samples Laboratory results show that coal in the study area have ash content ranging from 2,79 to 9,05 (wt%, adb), volatile matter contents varies from 35,14 to 39,50 (wt%, adb) and coals maximum fluidity varies from 22263 to 49029 (ddpm). Further data evaluation indicates that in the study area, coal ash content are negatively correlated ($r = -0.656$, $R^2 = 0.431$) and

had no significant effect on the maximum of coal fluidity ($r = -0,656$, $R^2 = -0,431$ and sig. $0,055 > 0,05$). On the other hand, coal volatile matter are positively correlated ($r = 0.794$; $R^2 = 0.6301$) and had a significant effect (sig. $0.003 < 0.05$) on the maximum fluidity of coal. The increase of ash content causes the decrease of coal maximum fluidity, whereas the increase of coal volatile matter causes the increase of coal maximum fluidity. The correlation of volatile matter content and coal maximum fluidity can be expressed by an equation of $y = 6327,9x - 200248$.

Keywords: coal, ash, volatile matter, coal maximum fluidity, Tanjung Formation

PENDAHULUAN

Batubara pada umumnya digunakan sebagai sumber energi pembangkit listrik ataupun sebagai bahan baku pembentuk kokas dalam industri metalurgi. Sebagai sumber energi, konversi batubara menjadi energi yang lebih ramah lingkungan juga telah banyak dikembangkan, diantaranya melalui proses liquifaksi (hidrogenasi) dan gasifikasi (Thomas, 2013; Miller, 2005; Suarez-Ruiz dan Crelling, 2008; Speight, 2013). Dalam industri metalurgi, batubara dapat digunakan baik sebagai sumber energi pembakaran atau pemanasan (*fuel*), maupun sebagai bahan baku utama pembentuk kokas yang berfungsi sebagai agen pereduksi oksida bijih dan sebagai material permeabel di dalam teknologi *blast furnace* untuk menghasilkan besi dan baja (Miller, 2005; Diaz-Faes *et al.* 2007; Huda, 2013).

Cekungan Kutai dan Cekungan Barito yang terletak di Pulau Kalimantan merupakan cekungan utama penghasil batubara (Friederich *et al.* 2016; Friederich dan van Leeuwen, 2017). Beberapa batubara peringkat tinggi di Indonesia yang dinyatakan sebagai batubara metalurgi umumnya terletak di daerah Kalimantan Timur dan Kalimantan Tengah (Daulay *et al.* 2015). Batubara Eosen yang terletak pada *upper portion* Sungai Mahakam di Kalimantan Timur juga diidentifikasi memiliki sifat sebagai batubara metalurgi (Madiadipoera dan Tramifov, 1969). Batubara yang memiliki potensi sebagai batubara metalurgi biasanya terdapat pada bagian tengah dan bagian bawah dari Formasi Tanjung di Cekungan Barito dan Formasi Batu Ayau

di Cekungan Kutai atas (Nas dan Hidartan, 2010).

Dalam mengkarakterisasi batubara metalurgi, sifat fluiditas (disebut juga sebagai sifat *caking*) perlu diketahui untuk mengevaluasi kemampuan batubara dalam menggumpal (*agglomerating*) saat proses karbonisasi. Dalam proses karbonisasi, batubara akan terlebih dahulu membentuk fase cair (dalam proses pembuatan kokas dikenal sebagai *plastic stage*) sebelum akhirnya membentuk residu padatan yang bersifat *porous* yang disebut kokas (Miller, 2005; Thomas, 2013; Speight, 2013). Maksimum fluiditas merupakan salah satu parameter penting yang sangat berkaitan dengan kualitas dan kekuatan kokas yang dihasilkan (Diez *et al.* 2002; Diaz-Faes *et al.* 2007; Tsubouchi *et al.*, 2014; Smedowski dan Piechaczek, 2016; Vega *et al.* 2017). Maksimum fluiditas juga merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam proses pencampuran (*blending*) batubara untuk menghasilkan produk kokas yang berkualitas (Thomas, 2013; Mochizuki *et al.* 2017).

Beberapa parameter atau faktor yang mempengaruhi maksimum fluiditas batubara yaitu komposisi maseral dan peringkat batubara (*rank*), ukuran butir (*grain size*), kimia batubara (*chemistry*), kimia abu batubara (*chemistry of ash*), penurunan kualitas batubara akibat penyimpanan yang lama (*aging*) dan oksidasi (Ryan *et al.* 1998; Diaz-Faes *et al.* 2007; Suarez-Ruiz dan Crelling, 2008).

Terkait dengan peringkat batubara, salah satu parameter yang bisa menjadi acuan

adalah kandungan zat terbang. Dalam batubara, zat terbang secara komposisi kimia didominasi oleh fraksi *non aromatic* (Taylor *et al.* 1998). Kandungan fraksi non aromatik yang tinggi akan menyebabkan tingginya kandungan elemen hidrogen (H) dan peningkatan rasio hidrogen/karbon (rasio H/C) dalam batubara. Rasio H/C yang tinggi akan menghasilkan tar dan gas yang tinggi pada saat proses karbonisasi, sehingga kokas yang dihasilkan sedikit (Miller, 2005; Suarez dan Crelling, 2008). Seiring dengan meningkatnya peringkat dari batubara maka kandungan zat terbang di dalam batubara akan semakin menurun.

Abu juga merupakan parameter yang penting dalam karakterisasi batubara. Abu adalah residu sisa hasil pembakaran batubara (Thomas, 2013; Miller, 2005; Sukandarrumidi, 2009; Riddell and Han, 2017). Abu tersebut berasal dari komponen non organik yang memiliki sifat sebagai material yang tidak bisa terbakar di dalam batubara (Sukandarrumidi, 2009). Abu di dalam batubara berpengaruh signifikan terhadap maksimum fluiditas batubara (Arslan dan Kemal, 2006). Kandungan abu yang tinggi akan berdampak negatif terhadap kekuatan dan kemampuan kokas di dalam *blast furnace* (Ryemshak dan Jauro, 2016; Riddell dan Han, 2017).

Batubara di daerah Sekako dan sekitarnya telah diteliti diantaranya oleh Isnadiyah, dkk. (2018). Hanya saja, penelitian tersebut tidak membahas potensi batubara Sekako sebagai batubara metalurgi. Penelitian yang dilakukan oleh penulis bertujuan untuk mengetahui potensi metalurgi dari batubara Sekako, dengan fokus pada hubungan antara kandungan zat terbang dan abu serta pengaruhnya terhadap maksimum fluiditas batubara Formasi Tanjung di daerah tersebut.

GEOLOGI

Daerah penelitian berada di daerah Sekako, Provinsi Kalimantan Tengah

(Gambar 1). Secara geologi berada pada bagian utara dari Cekungan Barito (Gambar 2). Cekungan Barito merupakan salah satu cekungan yang terbentuk pada Kenozoik Awal di Asia Tenggara (Doust and Sumner, 2007; Hall and Morley, 2004; Hamilton, 1979; Witts *et al.* 2012).

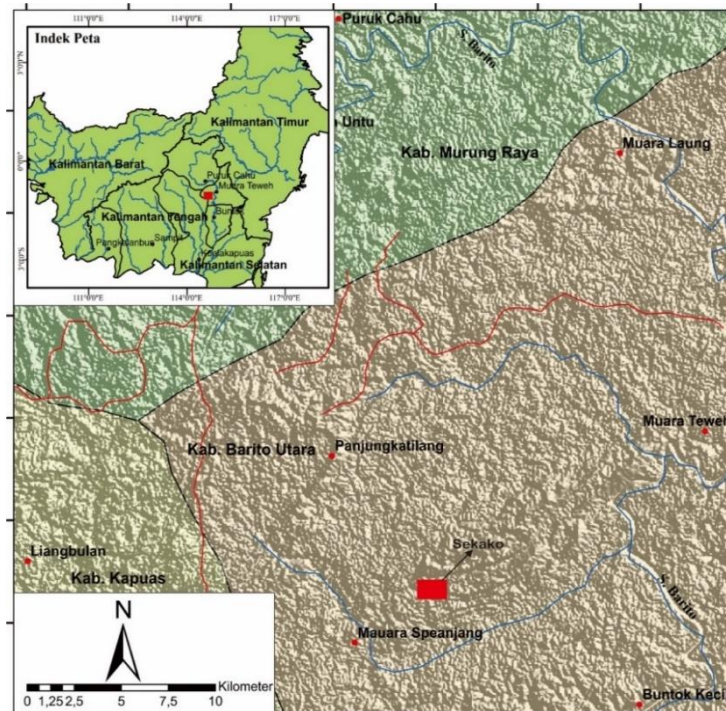
Pada umumnya struktur yang berkembang pada Cekungan Barito dapat terbagi menjadi dua rezim tektonik (Darman dan Sidi, 2000). Rezim pertama berupa rezim transtensional yang menghasilkan sesar geser sinistral yang memiliki arah orientasi barat laut – tenggara dan rezim yang kedua berupa rezim transpresional yang diikuti proses *convergent uplift*, reaktivasi dan pembalikan struktur yang telah ada sebelumnya dan menghasilkan *wrenching*, lipatan serta patahan.

Secara stratigrafi regional Cekungan Barito dapat dibagi menjadi 4 *megasequences* yaitu *prerift sequence*, *synrift sequence*, *postrift sequence* dan *syninversion sequence* (Satyana dan Silitonga, 1994). Formasi Tanjung merupakan bagian dari *synrift sequence* dan *postrift sequence* (Satyana dan Silitonga, 1994).

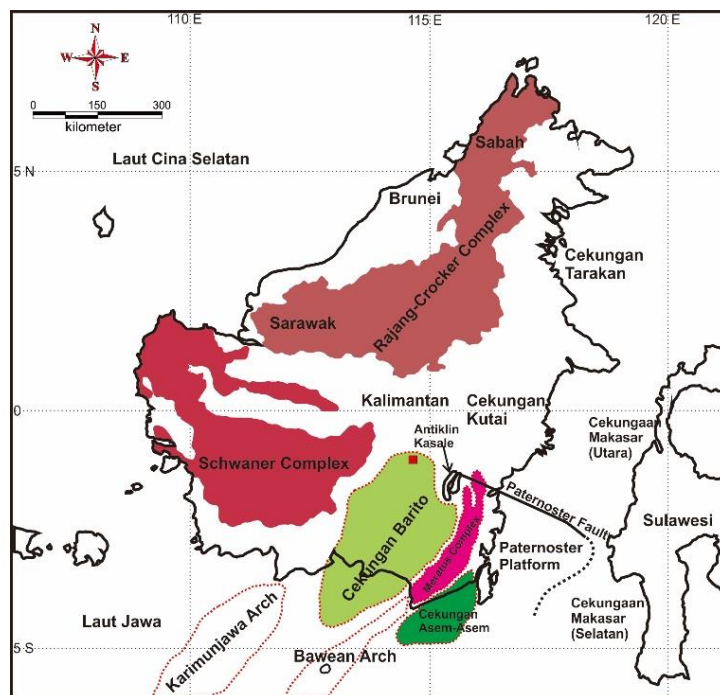
Cekungan Barito merupakan salah satu cekungan Tersier di Indonesia yang mempunyai potensi sumber daya energi cukup besar, salah satunya berupa batubara (Heryanto, 2010). Formasi pembawa batubara di Cekungan Barito yang berada di Kalimantan Tengah umumnya adalah Formasi Tanjung, Formasi Batu Ayau, Formasi Batupasir Haloq, Formasi Montalat dan Formasi Warukin (Soetrisno *et al.* 1994; Supriatna *et al.* 1995). Batubara bituminus yang potensial sebagai batubara metalurgi biasanya ditemukan pada Formasi Tanjung dan Formasi Batu Ayau (Nas dan Hidartan, 2010). Batubara bituminus Formasi Tanjung di Daerah Lemo memiliki kandungan abu dan sulfur yang rendah serta nilai kalori yang tinggi sehingga berpotensi sebagai batubara metalurgi (Amarullah, 2009).

Daerah penelitian secara geologi berada pada Formasi Tanjung (Gambar 3). Formasi Tanjung berumur Eosen Akhir hingga Oligosen dan bagian bawah formasi tersebut tersusun atas batupasir,

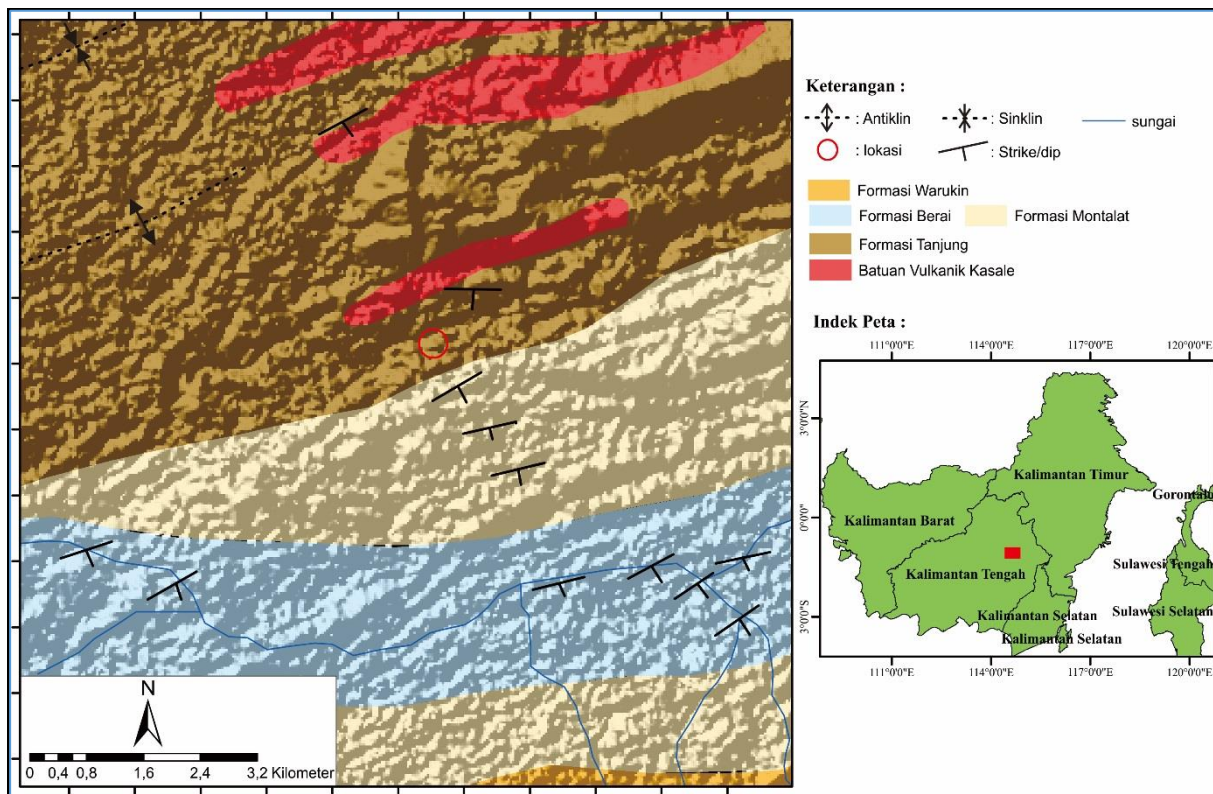
serpih, batulanau dan konglomerat polimik. Formasi Tanjung bagian atas tersusun atas batupasir kuarsa, batulanau, batugamping dan batubara (Soetrisno et al., 1994).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian ditunjukkan dengan kotak berwarna merah (modifikasi peta dari geospatial.bnpb.go.id)



Gambar 2. Fisiografi Pulau Kalimantan, daerah penelitian kotak berwarna merah (modifikasi dari Witts *et al.* 2009)



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Sekako dan sekitarnya, diambil dari Peta geologi Regional Lembar Buntok (Soetrisno dkk., 1994). Lokasi pengambilan conto ditandai dengan lingkaran

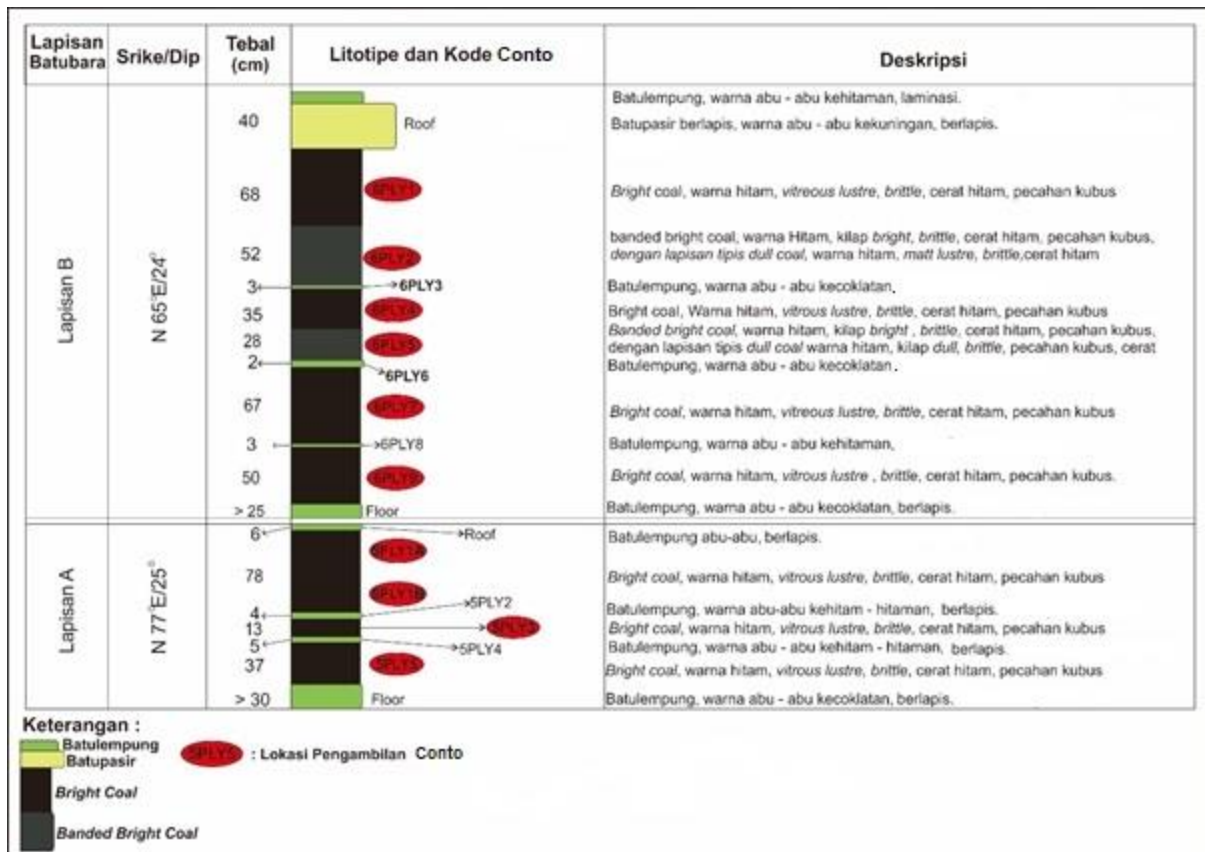
METODOLOGI

Pengambilan conto pada singkapan batubara permukaan di Daerah Sekako, Kalimantan Tengah (Gambar 4) dilakukan dengan menggunakan metode pemercontohan saluran dari masing - masing *ply*. Sebanyak 10 conto batubara diambil dari dua lapisan batubara yang diindikasikan sebagai batubara metalurgi pada Formasi Tanjung di daerah penelitian, yaitu empat conto dari lapisan A dan enam conto dari lapisan B (Gambar 4).

Analisis suksesi vertikal dan deskripsi litotipe batubara didasarkan atas warna, kilap, dan rekahan serta mengacu pada standar Australian (Tabel 1) yang sudah dimodifikasi (Lamberson *et al.* 1991). Analisis laboratorium terhadap conto

batubara dilakukan di Laboratorium PT Sucofindo di Surabaya dan PT Talent Orbit Prima (PT TOP) di Desa Buhut, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah yang meliputi analisis kandungan zat terbang yang mengacu pada ASTM D 3175, analisis kandungan abu mengacu pada ASTM D 3174, dan analisis *Gieseler plastometer* mengacu pada ASTM D 2639.

Analisis kandungan abu dan zat terbang serta pengaruhnya terhadap maksimum fluiditas batubara dilakukan dengan pendekatan statistik regresi linier sederhana. Hasil dari analisis tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik diagram pencar. Analisis dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Analisis tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Ms. Excel.



Gambar 4. Profil batubara lapisan A dan B Formasi Tanjung di daerah penelitian dan posisi pengambilan contohnya

Tabel 1. Klasifikasi litotipe batubara subbituminus – bituminus (modifikasi dari Diessel, 1965a dan Marchioni, 1980 dalam Lamberson et al., 1991)

Nomenclature	Description
Bright coal	Subvitreous to vitreous lustre, concoidal fracture, less than 10% dull laminae
Banded bright coal	Predominantly bright coal, with 10 – 40% dull laminae
Banded coal	Interbedded dull and bright coal in approximately equal proportion
Banded dull coal	Predominantly dull coal with 10 - 40% bright laminae
Dull coal	Matt lustre, uneven fracture, less than 10% bright coal laminae, hard
Fibrous coal	Satin lustre, very friable, sooty to touch
Sheared coal	Variable lustre, disturbed bedding, numerous slip/slickenside surface very brittle

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Analisis makroskopis yang dilakukan terhadap batubara lapisan A yang memiliki ketebalan lebih kurang 1,5 meter (Gambar 4) menunjukkan bahwa batubara pada lapisan tersebut tersusun dominan oleh

litotipe batubara mengilap (*bright coal*, yaitu 5PLY1A, 5PLY1B, 5PLY3 dan 5PLY5) dan terdapat 2 lapisan batulempung sebagai *inorganic parting* yaitu pada conto 5PLY2 dan 5PLY4 (Gambar 4). Batubara lapisan B memiliki ketebalan lebih kurang 3 meter (Gambar 4) tersusun dominan oleh litotipe batubara mengilap (*bright coal*, yaitu 6PLY1,

6PLY4, 6PLY7, 6PLY9) dan litotipe batubara mengilap berlapis (*banded bright coal*, yaitu 6PLY2 dan 6PLY5) serta terdapat 3 lapisan batulempung sebagai *inorganic parting* yaitu pada conto 6PLY3, 6PLY6 dan 6PLY8. Batubara lapisan A memiliki kandungan abu 3,34 s.d. 9,05 (wt%, adb), zat terbang 35,14 s.d. 36,60 (wt%, adb), dan maksimum fluiditas 22.710 s.d. 38.214 *dial division per minute* (ddpm). Sementara itu, batubara lapisan B memiliki kandungan abu 2,79 s.d. 5,78 (wt%, adb), kandungan zat terbang 36,58 s.d. 39,50 (wt%, adb) dan maksimum fluiditas 22.263 s.d. 49.029 ddpm (Tabel 2). Berdasarkan rentang nilai kandungan zat terbang berbagai peringkat batubara (Speight, 2005), batubara lapisan A dan B tersebut termasuk ke dalam batubara bituminus.

PEMBAHASAN

Kandungan zat terbang merupakan salah satu parameter yang berfungsi sebagai indikator peringkat batubara (Taylor *et al.* 1998; Diaz-Faes *et al.* 2007). Zat terbang secara komposisi kimia dominan tersusun atas fraksi non aromatik di dalam batubara (Taylor *et al.* 1998). Seiring dengan meningkatnya peringkat batubara dimana terjadi peningkatan derajat aromatisasi, maka kandungan zat terbang dan hidrogen di dalam batubara akan semakin menurun dan sebaliknya kandungan karbon dan karbon tertambat semakin meningkat (Diessel, 1992; Taylor *et al.* 1998; Smith dan Smith, 2007).

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa trend dan korelasi antara kandungan abu,

kandungan zat terbang dan maksimum fluiditas tidak terlihat jika analisis dilakukan per lapisan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena conto batubara yang digunakan jumlahnya hanya sedikit (4 untuk lapisan A dan 6 untuk lapisan B). Untuk melihat kemungkinan adanya trend hubungan antara kadar abu, zat terbang dan maksimum fluiditas yang berlaku umum analisis statistik dilakukan pada seluruh conto batubara di daerah penelitian tanpa membedakan lapisan (Gambar 5). Hasil analisis statistik uji regresi linear sederhana antara variabel *independent* (x) zat terbang terhadap variabel *dependent* (y) maksimum fluiditas, menunjukkan angka koefisien regresi (r) = 0,794, nilai signifikan (sig) = 0,003 dan nilai koefisien determinasi (R²) = 0,6301 (Gambar 5 dan Tabel 3). Hubungan antara kedua variabel ditunjukkan dengan persamaan y = 6327,9x - 200248. Nilai r mendekati 1 menunjukkan bahwa kedua variabel berkorelasi positif sementara nilai r mendekati -1 menunjukkan bahwa kedua variabel yang diuji berkorelasi negatif, sementara nilai signifikansi ≤ 0,05 menunjukkan bahwa variabel *independent* (x) berpengaruh signifikan terhadap variabel *dependent* (y) (Sarwono, 2017). Berdasarkan data diatas, secara umum dapat disimpulkan bahwa kenaikan zat terbang berpengaruh signifikan terhadap kenaikan nilai maksimum fluiditas. Sementara nilai koefisien determinasi R² = 0,6301, menunjukkan bahwa pengaruh zat terbang terhadap maksimum fluiditas adalah sebesar 63,01% sementara pengaruh variabel bebas lainnya yang tidak diteliti adalah sebesar 36,9%.

Tabel 2. Analisis Proksimat dan *Gieseler Plastometer* batubara lapisan A dan B Formasi Tanjung di Sekako, Provinsi Kalimantan Tengah

Analisis	Batubara									
	Lapisan A					Lapisan B				
	5PLY1A	5PLY1B	5PLY3	5PLY5	6PLY1	6PLY2	6PLY4	6PLY5	6PLY7	6PLY9
Kandungan abu (wt%, adb)	3,95	3,34	8,81	9,05	5,78	2,79	3,39	4,71	4,29	4,01
Kandungan zat terbang (wt%, adb)	36,60	35,68	35,14	35,76	39,50	37,95	37,72	37,29	37,06	36,58
Maksimum Fluiditas (ddpm)	38214	22710	22860	29268	49029	46833	43341	22263	29052	30702

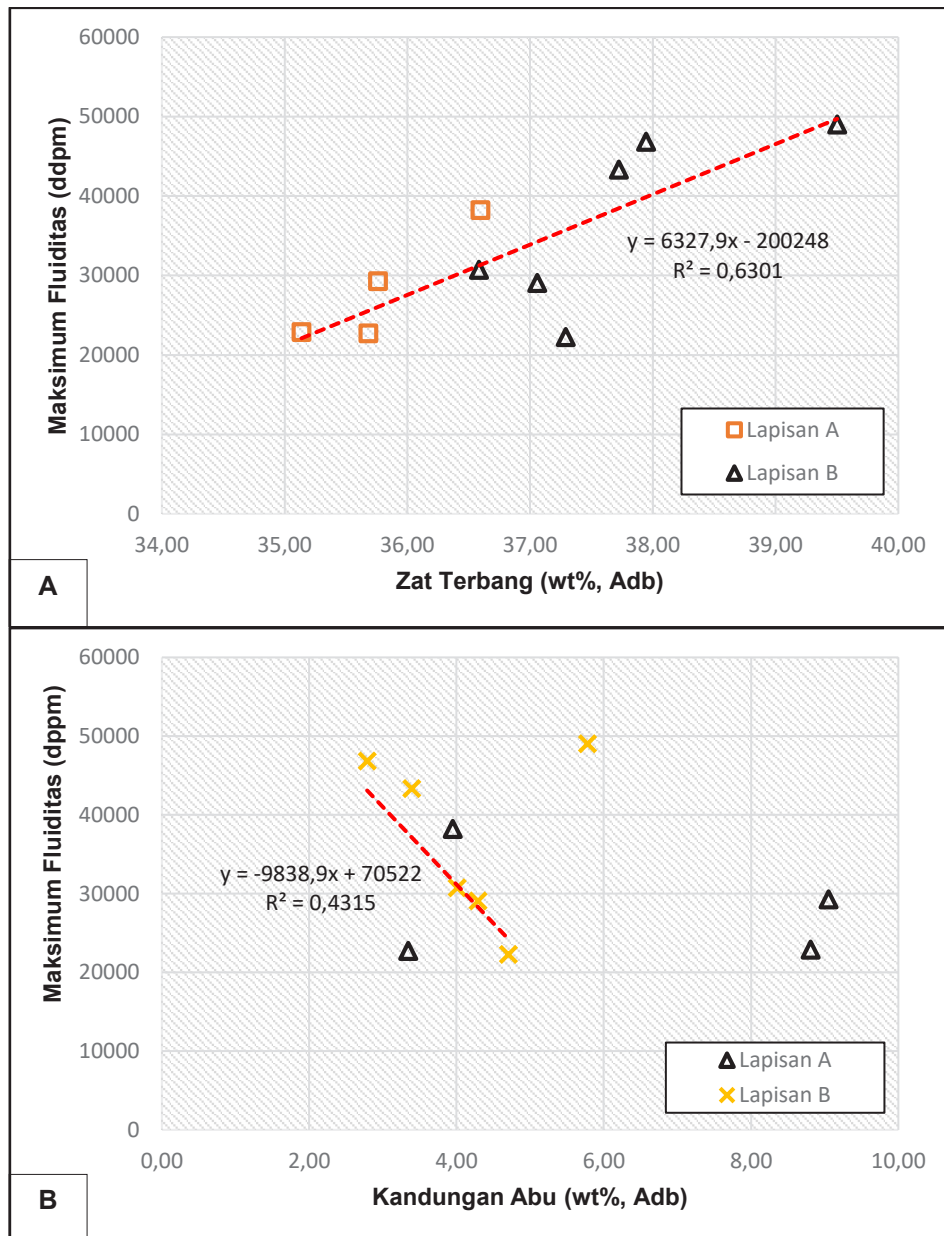
Keterangan: persen berat (wt%), *air dried basis* (adb), *dial division per minute* (ddpm)

Secara umum semakin tinggi kandungan zat terbang maka maksimum fluiditas batubara semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena zat terbang pada umumnya tersusun atas senyawa gas yang bersifat mudah terbakar (*flammable/combustible*) yang meliputi hydrogen (H), karbon monoksida (CO), metana (CH₄) dan ditambah dengan senyawa hidrokarbon lainnya serta tar (Speight, 2013; Thomas, 2013). Semakin banyak kandungan zat terbang maka rasio H/C akan semakin tinggi (Shui *et al.* 2011). Selama proses karbonisasi, zat terbang membentuk *tar* dan gas (Miller, 2005; Ryemshak dan Jauro, 2016). Hal tersebut juga menunjukkan bahwa semakin rendah peringkat batubara dimana zat terbangnya semakin tinggi, maka nilai maksimum fluiditas akan semakin tinggi (Diaz-Faes *et al.* 2007; Vega *et al.* 2017).

Di dalam proses analisis korelasi antara variabel kandungan abu dan maksimum fluiditas terdapat tiga data *outlier* yaitu conto 5PLY3, 5PLY5 dan 6PLY1 (Gambar 5B). Dibandingkan dengan conto lain, kandungan abu conto 5PLY3 dan 5PLY5 relatif lebih tinggi sehingga dalam penelitian ini kedua conto berada dalam zona *outlier*. Sementara itu conto 6PLY1 memiliki kandungan zat terbang yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan conto lain, sehingga juga berada dalam zona *outlier*. Analisis regresi linier sederhana menunjukkan bahwa variabel kandungan abu memiliki korelasi negatif terhadap maksimum fluiditas batubara yang dapat ditunjukkan dengan persamaan regresi $y = -9838,9x + 70522$ dengan $r = -0,656$. Kandungan abu tidak

berpengaruh signifikan terhadap maksimum fluiditas (sig. 0,055 > 0,05) serta memiliki nilai koefisien determinasi atau $R^2 = 0,4315$ (Gambar 5B dan Tabel 3).

Secara umum, dalam penelitian ini terlihat bahwa semakin tinggi kandungan abu maka semakin rendah nilai dari maksimum fluiditas batubara (Gambar 5B). Hal yang sama juga dinyatakan oleh Arslan dan Kemal (2006) bahwa semakin tinggi kandungan abu batubara maka maksimum fluiditas semakin rendah. Kandungan abu berpengaruh terhadap nilai maksimum fluiditas batubara sebesar 43,15% sementara faktor lain berpengaruh sebanyak 56,85%. Kandungan mineral yang terdapat di dalam abu batubara umumnya bertindak sebagai *inert material* (Ryan *et al.* 1998) dan abu berasal dari komponen yang tidak terbakar di dalam batubara (Sukandarrumidi, 2009). Kandungan abu yang tinggi akan berdampak negatif terhadap kekuatan dan kemampuan kokas di dalam *blast furnace* (Ryemshak dan Jauro, 2013; Riddell and Han, 2017). Kandungan abu yang tinggi dalam batubara akan menurunkan tingkat efisiensi gas yang dihasilkan, yang disebabkan oleh terjadinya peningkatan komposisi oksigen. Peningkatan komposisi oksigen di dalam batubara akan menurunkan suhu pemanasan atau pembakaran (Suarez-Ruiz dan Crelling, 2008). Gugus fungsional oksigen pada saat proses pirolisis atau karbonisasi berlangsung akan menghabiskan elemen hidrogen aktif dalam jumlah yang banyak (Shui *et al.* 2011).



Gambar 5. (A) Diagram pencar hubungan antara kandungan zat terbang dengan maksimum fluiditas batubara dan (B) kandungan abu dengan maksimum fluiditas batubara beserta rumus korelasinya

Tabel 3. Analisis regresi linier sederhana variabel bebas zat terbang dan kandungan abu terhadap maksimum fluiditas batubara

No	Data Variabel	Analisis Data			N	Data Analisis
		r	R ²	Sig		
1	Hubungan kandungan abu (adb) terhadap maksimum fluiditas (ddpm)	-0,656	0,4315	0,055	3	7
2	Hubungan kandungan zat terbang (adb) terhadap maksimum fluiditas (ddpm)	0,794	0,6301	0,003	0	10

Keterangan: Koefisien korelasi (r), Koefisien determinasi (R²), Signifikansi (Sig), Jumlah data (N), air dried basis (adb), dial division per minute (ddpm).

KESIMPULAN DAN SARAN

Batubara Formasi Tanjung di Daerah Sekako, Kalimantan Tengah didominasi oleh litotipe batubara mengilap dan batubara mengilap berlapis yang memiliki kandungan abu 2,79 s.d. 9,05 (wt%, adb), zat terbang 35,14 s.d. 39,50 (wt%, adb) dan maksimum fluiditas 22.263 s.d. 49.090 (ddpm).

Kandungan abu berkorelasi negatif kuat ($r = -0,656$; $R^2 = 0,431$) dan tidak berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,055 > 0,05$) terhadap maksimum fluiditas batubara. Sementara itu, kandungan zat terbang berkorelasi positif kuat ($r = 0,794$; $R^2 = 0,630$) dan berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,003 < 0,05$) terhadap maksimum fluiditas batubara. Secara umum data menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan abu maka maksimum fluiditas batubara semakin rendah, dan sebaliknya semakin tinggi zat terbang maka semakin tinggi juga nilai maksimum fluiditas.

Nilai maksimum fluiditas batubara dapat diperkirakan berdasarkan kandungan zat terbang-nya. Hubungan kandungan zat terbang dengan maksimum fluiditas batubara dapat dinyatakan dengan persamaan $y = 6327,9x - 200248$.

Untuk memahami karakteristik metalurgi batubara Indonesia, pemahaman secara menyeluruh terkait pengaruh dan hubungan karakteristik batubara dengan maksimum fluiditas sangat diperlukan. Untuk meningkatkan pemahaman terhadap pengaruh dan hubungan antara karakteristik batubara lainnya terhadap maksimum fluiditas batubara, diperlukan jumlah contoh yang lebih banyak disamping analisis lebih lanjut terkait petrografi batubara, analisis kimia batubara (FTIR, XRD, *ash fusion*) dan juga analisis kandungan mineral dalam batubara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Suprabari Mapanindo Mineral (PT SMM) atas ijin untuk pengambilan

contoh batubara. Studi ini dilakukan dengan dukungan dana penelitian dari Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarullah, D., 2009. Suatu Pemikiran Untuk Memanfaatkan Potensi Batubara Formasi Tanjung di Daerah Lemo Kalimantan Tengah Sebagai Kokas. Kelompok Program Penelitian Energi Fosil, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung. v. 4, p. 1-11.
- Arslan, V., dan Kemal., M., (2006): *The Effect of Inert Matters and Low Volatile Coal Addition on The Plasticity of High Volatile Zonguldak Coals*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. v. 106, p. 199-204.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2009. Peta Pulau Kalimantan: geospasial.bnpb.go.id (diakses pada Mei 2018).
- Darman, H., and Sidi, F.H., 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*. Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta. 254 p.
- Daulay, B., Santoso, B., Ningrum, N.S., 2015. *Evaluation of Selected High Rank Coal in Kutai Basin, East Kalimantan Relating to Its Coking Properties*. Indonesian Mining Journal. v. 18, No. 1., p. 1-10.
- Diessel, C.F.K., 1992. *Coal-Bearing Depositional System*. Thompson Press (India) Ltd., New Delhi. 679 p.
- Diaz-Faes, E., Barriocanal, C., Diez, M.A., Alvarez, R., 2007. *Characterization of Different Origin Coking Coals and Their Blends by Gieseler Plasticity and TGA*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Elsevier. v. 80, p. 203-208.
- Diez, M.A., Alvarez, R., Barriocanal, C., 2002. *Coal for Metallurgical Coke Production: Prediction of Coke Quality and Future Requirements for Coke Making*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. v. 50, p. 389-412.

- Doust, H., and Sumner, H.S., 2007. *Petroleum systems in rift basins – a collective approach in Southeast Asian basins*. Petroleum Geoscience. v. 13, p. 127–144.
- Friederich, M.C., Moore, T.M., Flores, R.M., 2016. *A Regional Review and New Insights Into SE Asian Cenozoic Coal-Bearing Sediments: Why Does Indonesia Have Such Extensive Coal Deposits?*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. v. 166, p. 2-35.
- Friederich, M.C., dan van Leeuwen, T., 2017. *A Review of The History of Coal Exploration, Discovery and Production in Indonesia : The Interplay of Legal Framework, Coal Geology and Exploration Strategy*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. v. 178, p. 56-73.
- Hall, R., and Morley, C.K., 2004. *Sundaland Basins*. In: Clift, P., Wang, P., Kuhnt, W., Hayes, D. E. (Eds.), *Continent-Ocean Interactions within the East Asian Marginal Seas*. AGU Geophysical Monograph, v. 149, p. 55–85.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. U.S.G.S. Prof. Paper, 1078, 345 p.
- Heryanto, R., 2010. *Geologi Cekungan Barito*. Badan Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Bandung. 139 p.
- Huda, M., 2013. *Potensi Coking Coal Indonesia Untuk Mendukung Industri Peningkatan Nilai Tambah (PNT) Mineral*. M&E. v. 11, No. 1, p. 44-53.
- Hutchison, C.S., 1989. *Geological evolution of South East Asia*. Oxford Monograph on Geology and Geophysics. v. 13, 376 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.04.008>.
- Isnadiyati, O.F., Wiranata, B., Perdana, A.R., Tanggara, D.N.S.P., Amijaya, H., 2018. *Interpretasi Stacked Mire Sequence Berdasarkan Litotipe Pada Batubara Coking Formasi Tanjung di Daerah Sekako, Kalimantan Tengah*. Seminar Nasional Kebumihan, Yogyakarta. v. 11. p. 31.
- Lamberson, M.N., Bustin, R.M., Kalkreuth, W., 1991. *Lithotype (maceral) Composition and Variation As Correlated With Paleo-Wetland Environments, Gates Formation, Northeastern British Columbia, Canada*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. v. 18, p. 87-124.
- Madiadipoera, T., and Trafimov, G., 1969. *Report on Prospecting - Reconnaissance Survey at Mamahak Besar and Sungai Kalian (Upper Course of Mahakam River Region), East Kalimantan, 1964–1965*. Archives of the Centre for Geological Resources, Geological Agency, Bandung, Indonesia.
- Miller, B.G., 2005. *Coal Energy Systems*. Elsevier Academic Press, USA. 526 p.
- Mochizuki, Y., Naganuma R., Uoebo, K., Tsubouchi, N., 2017. *Some Factors Influencing The Fluidity of Coal Blends : Particle Size, Blend Ratio and Inherent Oxygen Species*. Fuel Processing Technology, Elsevier. v. 159, p. 67-75.
- Nas, C., dan Hindartan, 2010. *The Quality of Central Kalimantan Coking Coals*. Kalimantan Coal and Mineral Resources. Proceeding MGEI-IAGI, Balikpapan, p. 1-11.
- Riddell, J., dan Han, T., 2017. *Ash Chemistry Database for British Columbia Rocky Mountain Bituminous Coals*. British Columbia Geological Survey. v. 10, 15 p.

- Ryan, B., Gransden J., dan Price, J., 1998. *Fluidity of Western Canadian and Its Relationship to Other Coal and Coke Properties*. British Columbia Geological Survey, 17 p.
- Ryemshak, S.A., dan Jauro, A., 2016. *Proximate analysis, Rheological Properties and Technological Application of Some Nigerian Coals*. International Journal of Industrial Chemistry (IJIC). v. 4, p. 1-7.
- Sarwono, J., 2017. *Mengenal Prosedur – Prosedur Popula Dalam SPSS 23*. PT. Gramedia, Jakarta. 272 p.
- Satyana, A.H., and Silitonga, P.D., 1994. *Tectonic Reversal in East Barito Basin, South Kalimantan: consideration of the types of inversion structures and petroleum system significance*. Proceedings of the IPA 23rd Annual Convention. p. 57-74.
- Shui, H., Li, H., Chang, H., Wang, Z., Gao, Z., Lei, Z., Ren, S., 2011. *Modification of Sub-Bituminous Coal by Steam Treatment: Caking and Coking Properties*. Fuel Processing technology, Elsevier. v. 92, p. 2299-2304.
- Smedowski, L., and Piechaczek, M., 2016. *Impact Of Weathering on Coal Properties And Evolution of Coke Quality Described By Optical and Mechanical Parameters*. International Journal Of Coal Geology, Elsevier. v. 168, p. 119-130.
- Smith J.R., dan Smith, J.W., 2007. *A Relationship Between the Carbon and Hydrogen Content of Coals and Their Vitrinite Reflectance*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. v. 70, p. 79-86.
- Soetrisno, Supriatna, S., Rustandi, E., Sanyoto, P., and Hasan, K., 1994. *Geological Map of The Buntok Quadrangle, Kalimantan*. Geological Research and Development Centre, Bandung. 1 p.
- Speight, J.G., 2005. *Handbook of Coal Analysis*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 222 p.
- Speight, J.G., 2013. *The Chemistry and Technology of Coal*, 3rd Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group, London. 779 p.
- Suarez Ruiz, I., and Crelling, C.J., 2008. *Applied Coal Petrology*. Elsevier. 388 p.
- Sukandarrumidi, 2009. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 247 p.
- Supriatna, S., Sudrajat, A., and Abidin H.Z., 1995. *Geological Map of The Muara Teweh Quadrangle Kalimantan*. Geological Research and Development Centre, Bandung. 1 p.
- Taylor, G.H., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., 1998. *Organic Petrology*. Gebrueder Borntraeger, Stuttgart. 704 p.
- Thomas, L., 2013. *Coal Geology*, 2nd Edition. Willey-Blackwell, John Willey & Son Ltd., 431 p.
- Tsubouchi, N., Mochizuki, Y., Ono, Y., Eebo, K., Takanohashi, T., Sakimoto, N., 2014. *Sulfur and Nitrogen Distribution During Coal Carbonization and The Influence of These Elements on Coal Fluidity and Coke Strength*. ISIJ International. v. 54, p. 2439-2445.
- Vega, M.F., Fernandez, A.M., Diaz-Faes, E., Barriocanal, C., 2017. *Improving The Properties of High Volatile Coking Coals by Controlled Mild Oxidation*. Fuel, Elsevier. v. 191, p. 574-582.
- Witts, D., Hall, R., Nichols, G., dan Morley, R., 2012. *A New Depositional and Provenance Model for The Tanjung Formation, Barito Basin, SE Kalimantan, Indonesia*. Journal of Asia Earth Science, Elsevier. v. 56, p. 77-104.

Diterima	: 30 Januari 2019
Direvisi	: 20 November 2019
Disetujui	: 31 Agustus 2020

**KARAKTERISTIK ZONASI BATUAN RESERVOAR BERDASARKAN PETROGRAFI,
SERBUK BOR, UJI TEKANAN DAN TEMPERATUR
DI LAPANGAN PANAS BUMI SOKORIA, KABUPATEN ENDE,
PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**

**RESERVOIR CHARACTERISTICS BASED ON PETROGRAPHY, CUTTING, PRESSURE
AND TEMPERATURE TEST IN SOKORIA GEOTHERMAL FIELD, ENDE REGENCY,
NUSA TENGGARA TIMUR PROVINCE**

**Aldila Jasmine Purbiyantoro, Agus Didit Haryanto,
Euis Tintin Yuningsih, dan Haris Siagian**
Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Sumedang
aldila14001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Lapangan Panas Bumi Sokoria terletak di Desa Sokoria, Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zonasi secara vertikal batuan penutup, transisi dan reservoir pada sumur W-1 dan W-2. Pendekatan yang digunakan adalah analisis petrografi dan analisis metilen biru (MeB) untuk mengetahui rasio illit-smektit dan kehadiran mineral alterasi dalam batuan sebagai indikator batas zona batuan penutup, transisi dan reservoir. Uji tekanan dan temperatur (*P&T Test*) juga digunakan sebagai panduan dalam penentuan zonasi. Hasil yang didapat bahwa zona penutup panas bumi berada dari permukaan hingga kedalaman 700 mVD (*meter vertical depth*), dibuktikan oleh indeks MeB sedang – tinggi (20 – 80%) penciri smektit serta temperatur batuan sekitar 100°C. Zona transisi berada dari kedalaman 700 mVD – 1100 mVD, dibuktikan oleh indeks MeB rendah (6 – 20%) sebagai penciri illit dan illit-smektit serta temperatur uji mencapai 200°C. Zona reservoir berada pada kedalaman 1100 mVD, dicirikan oleh indeks MeB sangat rendah (<10 %) sebagai penciri illit serta kemunculan epidot pada sumur W-1 di kedalaman 1119 mMD (*meter measured depth*) dan sumur W-2 di kedalaman 1338 mMD, uji P&T menunjukkan temperatur reservoir dapat mencapai 250°C.

Kata kunci: Sokoria, metilen biru, petrografi, uji P&T, mineral alterasi

ABSTRACT

Sokoria Geothermal Field is located at Sokoria Village, Ende Regency, Nusa Tenggara Timur Province. Petrographic analysis and Methylene Blue test (MeB) were carried out to estimate the illite-smectite ratio and occurrence of other alteration minerals as indicator for cap rock, transition and reservoir zones. Pressure and temperature test (P&T test) was also performed to determine those zonation. The result concludes the geothermal caprock zone is distributed from the surface to the depth of 700 mVD (meter vertical depth), indicated by medium to high MeB index (20 – 80%), as smectite characteristic temperature up to 100°C. The transition zone is located from the depth of 700 mVD to 1100 mVD, with low MeB index (6 – 20%), as illite and illite-smectite characteristic and well temperature up to 200°C. Reservoir zone is located at 1100 mVD, indicated by very low MeB index (<10%), as characteristic of illite, with first appearance of epidote in well W-1 at 1119 mMD (meter measured depth) and well W-2 at 1338 mMD. P&T test shows reservoir temperature reached 250°C.

Keywords: *Sokoria, methylene blue, petrographic, P&T test, alteration mineral*

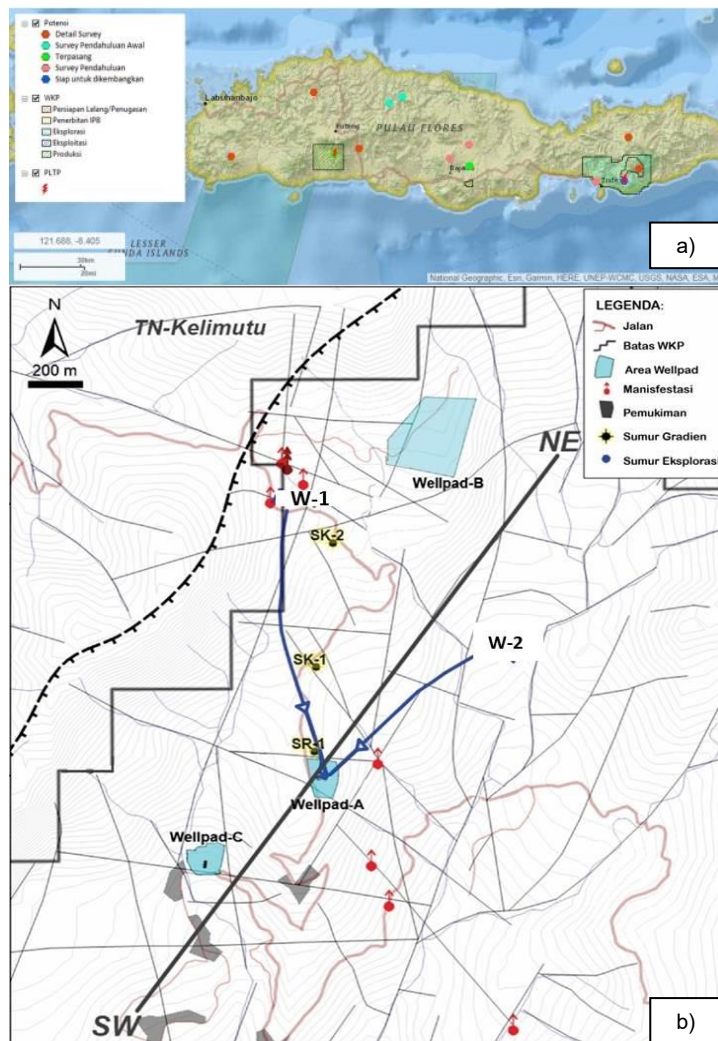
PENDAHULUAN

Pulau Flores yang telah ditetapkan dengan Kepmen ESDM No.2268 K/30/MEM/2017 sebagai *Flores Geothermal Island*, memiliki total potensi energi panas bumi sebesar 902 MW atau 65% dari potensi panas bumi yang ada di provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT).

Daerah potensial tersebut adalah Waisano, Ulumbu, Sokoria, Wai Pesi, Mataloko, Oka Ile Ange, Atadei, Komandaru, Jopu, Mengeruda, Ndetusoko, Lesugolo, Bukapiting, Roma-Ujelewung, Oyang Barang, dan Gou-Inelika. Hingga saat ini baru Ulumbu dan Mataloko yang sudah

dimanfaatkan untuk pembangkit listrik oleh PLN (Suparman, 2009).

Sumur W-1 dan W-2 yang berada dalam *wellpad* A yang merupakan bagian dari sumur eksplorasi di lapangan panas bumi Sokoria, Kabupaten Ende, Provinsi NTT, merupakan objek yang diteliti. Tujuan dari penelitian ini difokuskan untuk mengetahui karakteristik zonasi sistem panas bumi secara vertikal dari sumur W-1 dan W-2. Sumur tersebut terletak pada *wellpad* A (Gambar 1) yang dekat dengan hidrotermal aktif, seperti fumarol, mata air panas, dan mata air hangat, yang diduga memiliki perkiraan temperatur reservoir yang tinggi dan permeabilitas baik (Harvey et al., 2000).



Gambar 1. a) Lokasi WKP Sokoria di Pulau Flores (<http://igis.esdm.go.id/igis/potensi/index>) dan **b)** Peta situasi lokasi wellpad A area Sokoria. W-1 dan W-2 adalah sumur penelitian (Modifikasi dari Sarmiento et al., 2019)

Geologi Regional

Zona fisiografi daerah NTT termasuk ke dalam wilayah Kepulauan Sunda Kecil yang terbentang dari Pulau Bali hingga Pulau Wetar (van Bemmelen, 1949). Kepulauan Sunda Kecil merupakan gugusan kepulauan dengan penyusun batuan produk busur vulkanik. Sementara itu, Pulau Flores termasuk ke dalam *inner arc* bagian timur dari Kepulauan Sunda Kecil.

Kompleks Gunungapi Kelimutu dibentuk oleh serangkaian fase erupsi, yaitu, yang tertua adalah andesit berumur Tersier yang terekspos di lereng gunung berapi yang lebih rendah, diikuti oleh pembentukan awal gunungapi andesitik Sokoria Kuartar di bagian barat lautnya dan kemudian runtuh membentuk kaldera. Selanjutnya terbentuk gunungapi Keli Bara di bagian selatan dengan lava andesit dan batuan piroklastik mengisi fitur runtuhannya sebelumnya. Fase terakhir berpusat pada Gunungapi Kelimutu, dimana danau kawah asamnya mencerminkan aktivitas sistem hidrotermal yang besar di gunungapi tersebut (Harvey et al., 2000).

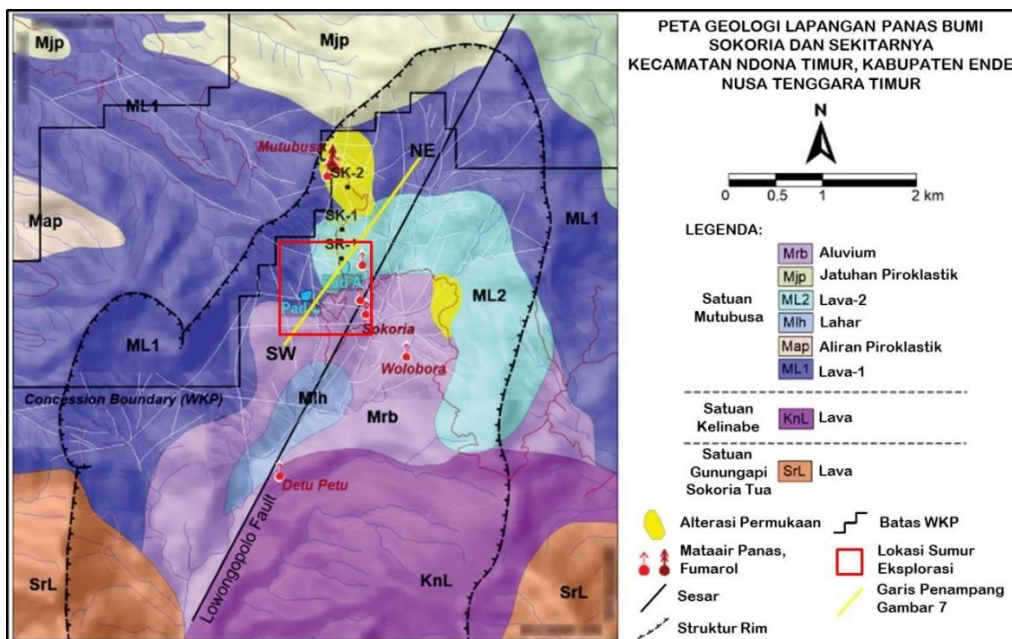
Di konsesi WKP PT. Sokoria Geothermal Indonesia, manifestasi permukaan panas

bumi terbagi menjadi manifestasi air panas dan gas (fumarol-solfatar). Manifestasi air panas muncul pada beberapa area yaitu: area Sokoria, Detupetu, Wolobara; Area Waturaka Liasambe; Area Woloveo, Detusoko, Ae Ria; Area Roga, Jopu. Sementara manifestasi gas terletak pada area, yaitu: Area Mutubusa dan Area Mutulo'o.

Geologi Daerah Sokoria

Secara umum daerah lapangan panas bumi Sokoria di batasi dan dikontrol oleh kaldera yang merupakan hasil dari erupsi gunungapi dan hidrotermal aktif (Harvey et al., 1998). Struktur utama yang berkembang di Sokoria adalah Sesar Lawongalopolo. Sesar ini berarah relatif utara timurlaut – selatan baratdaya (Sarmiento et al., 2019).

Mengacu kepada Sarmiento et al., 2019, stratigrafi daerah lapangan panas bumi Sokoria yang berada di sisi baratdaya Kompleks Gunungapi Kuartar Kelimutu merupakan bentukan dari hasil Gunungapi Muda Kelimutu dengan dominasi batuan vulkanik berupa andesit dengan dasit di bawahnya. Terdapat tiga unit stratigrafi di Sokoria dari umur tua ke muda, yaitu (Gambar 2):



Gambar 2. Peta Geologi Lapangan Panas Bumi Sokoria (Modifikasi dari Sarmiento et al., 2019)

Satuan Gunungapi Sokoria Tua

Litologi Gunungapi Sokoria Tua ini terdiri dari kontak batuan piroklastik teralterasi, tuf litik – tuf breksi, batuan piroklastik andesit, dan breksi teralterasi, alterasi sedang hingga kuat dominasi silika dan klorit, sedikit peningkatan mineral epidot.

Satuan Kelinabe

Litologi Kelinabe terdiri dari tuf litik dan tuf kristal litik, dengan fragmen batuan andesitik, alterasi sedang hingga kuat. Klorit sebagai pengganti massadasar di litik andesit. Semen kalsit, *veinlet*, dan ilit terdapat di massa dasar klorit.

Satuan Mutubusa

Litologi Mutubusa didominasi oleh perselingan lava dan piroklastik. Satuan ini terdiri dari lava andesit, tuf breksi, tuf litik. Fragmen piroklastik terdiri dari litik tuf, andesit, dan dasit. Bentuk fragmen menyudut hingga menyudut tanggung, alterasi lemah hingga sedang. Pada endapan piroklastik ini temukan manifestasi batuan terubah (Hochstein et al., 2010).

Geokimia Daerah Sokoria

Manifestasi permukaan panas bumi yang muncul di daerah Sokoria berupa fumarol, mata air panas, dan tanah panas (*steaming ground*) yang tersebar di Mutubusa, bagian utara prospek Sokoria (Gambar 3) dan sekitar lereng Gunung Kelimutu. Manifestasi yang

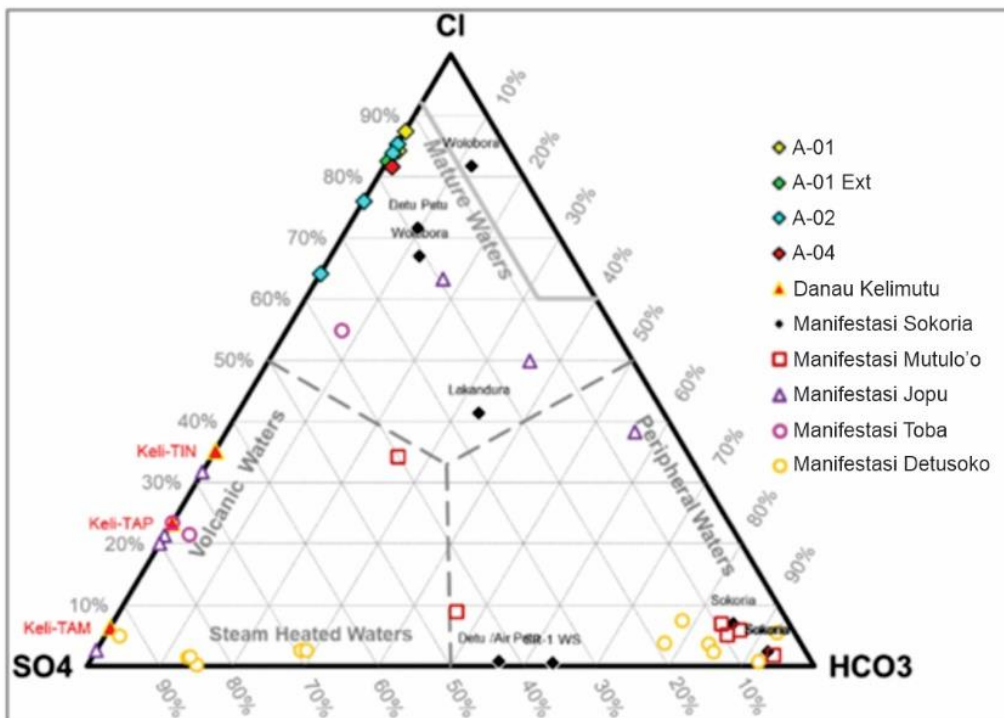
paling terkenal adalah danau tiga warna (merah, hijau, dan biru) yang berada pada kawah Gunungapi Kelimutu.

Diagram *ternary* $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ (Giggenbach, 1991) digunakan untuk mengetahui tipe air panas bumi dengan cara memplot komposisi unsur Cl^- , SO_4^{2-} , dan HCO_3^- ke diagram. Hasil plot pada diagram tersebut yang dilakukan oleh Sarmiento et al., 2019, menunjukkan tipe air panas dari danau Kelimutu Jopu, dan Toba berada di antara sudut sulfat dan klorida yang mengindikasikan air mengandung komponen asal vulkanik. Sementara itu, air panas Detusoko berada pada *steam heated acid sulfate water*, yang diinterpretasikan memiliki tipe air sulfat yang sudah terpanaskan. Hasil plot air panas Detupetu, Wolobora, dan Jopu bertipe air klorida. Hasil plot air panas Sokoria, Saga, Waturaka, Woloeo, Ae Melo, dan Liasembe bertipe air bikarbonat, seperti terlihat pada gambar 4 (Nicholson, 2012).

Hasil studi literatur yang di dapat, pendugaan temperatur reservoir bawah permukaan yang dihitung menggunakan geotermometer gas daerah Sokoria dan sekitarnya menunjukkan kisaran temperatur 210-250°C (Sarmiento et al., 2019).



Gambar 3. Manifestasi permukaan panas bumi Mutubusa



Gambar 4. Diagram ternary CI-SO₄-HCO₃ dari Giggenbach, 1991 (Modifikasi dari Sarmiento et al., 2019)

METODE

Data petrografi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari serbuk bor (*core cutting*) sumur eksplorasi W-1 dan W-2 untuk mengetahui mineral ubahannya dikombinasi dengan data hasil analisis pengukuran metilen biru (*MeB*) serta uji tekanan dan temperatur (*P&T Test*) pada kedua sumur eksplorasi tersebut. Sumur W-1 yang dibor hingga kedalaman 1338 mMD dan sumur W-2 hingga 2200 mMD pada 2018.

Pengamatan petrografi dilakukan pada sampel yang diasumsikan berada pada zona reservoir untuk mengetahui kemunculan mineral geotermometer temperatur tinggi penciri zona reservoir, contohnya, epidot yang muncul pada temperatur >220°C (Reyes, 2000).

Pengukuran *MeB* pada serbuk bor dilakukan untuk mengetahui persentase dari rasio illit-smektit dalam batuan yang digunakan dalam interpretasi batas zona penudung (*MeB* > 20%), transisi (*MeB* 10 – 20%), dan reservoir (*MeB* < 10%) mengacu pada Grim (1953).

Tabel 1. Sensitivitas *MeB* dengan mineral teralterasi (Modifikasi dari Grim, 1953)

Mineral Alterasi	Persentase (%)	Sensitivitas <i>MeB</i>
Smektit	2- -150	Menengah - Tinggi
Mixed Layer Illit-Smektit	10 - 20	Rendah
Illit	0 – 10	Sangat Rendah

Uji *P&T* dilakukan pada saat pemboran sumur adalah tahap yang paling penting dalam proses eksplorasi dan pengembangan panas bumi. Uji ini untuk mengetahui kondisi tekanan dan temperatur reservoir. Hasil data *P&T* digunakan untuk interpretasi batas zona penudung, transisi dan reservoir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sumur W-1

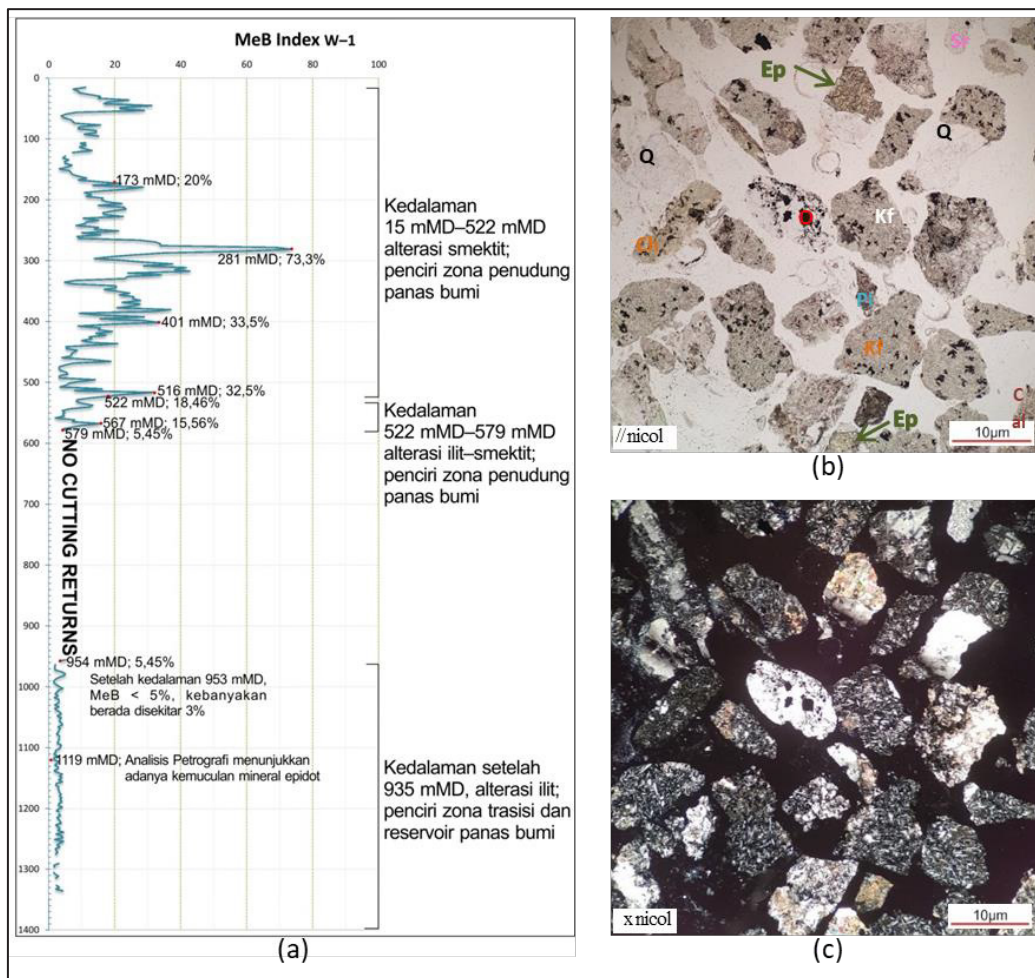
Pengamatan pada sayatan tipis W-1 1119 dengan variasi butiran dengan

warna tidak berwarna - kehijauan, sebagian butiran dengan tingkat alterasi lemah - sedang, ukuran butir halus – sedang, pemilahan buruk, bentuk butir menyudut hingga membundar tanggung. Batuan di dominasi oleh tuf kristal ($\pm 90\%$), fragment mineral kuarsa (3%), plagioklas (2%) yang sebagian teralterasi menjadi mineral karbonat. Matriks tuf halus umumnya diidentifikasi sebagai lempung.

Tuf kristal, berwarna coklat kehijauan, sudah mengalami alterasi dengan ubahan lemah – sedang, ukuran butir halus - sedang, kemas tertutup, pemilahan buruk – sedang, terdiri atas mineral plagioklas, segar- teralterasi, mineral opak dan matrik lempung, gelas dengan ubahan mineral klorit dan epidot (Gambar 5). Mineral plagioklas nampak berbentuk prismatic.

Komponen mineral kuarsa tidak berwarna, relief rendah, warna interferensi rendah, hadir sebagai kristal tersendiri dengan ukuran sedang, menunjukkan pepadaman yang bergelombang; Kuarsa sekunder, hadir kadang memotong butiran batuan, tekstur polikristalin dengan tekstur saling mengikat. Butiran mineral plagioklas tidak berwarna, anhedral, relief rendah, nampak kembar albit, sebagian berubah menjadi serisit dan lempung.

Epidot berwarna hijau-transparan, relief tinggi, anhedral. Hadir sebagai ubahan plagioklas maupun akibat larutan hidrotermal. Mineral karbonat tidak berwarna, relief tinggi, anhedral, warna interferensi tinggi, berbentuk agregat halus dan kasar, hadir sebagai ubahan plagioklas.



Gambar 5. (a) Indeks MeB W-1; (b) dan (c) Sayatan tipis sampel W-1 1119; terdapat epidot (Ep), Tuf kristal (Kf) dan mineral opak (O)

Analisis MeB pada sumur W-1 menunjukkan pada kedalaman 173 mMD, indeks MeB meningkat dari 20% hingga puncaknya 73,3% di kedalaman 281 mMD lalu menurun hingga 23,79% di 519 mMD. Indeks MeB 18,46% pada kedalaman 522 mMD dan semakin menurun hingga 15,56% di kedalaman 556 mMD. Lalu pada kedalaman 570 mMD – 579 mMD, indeks MeB yang didapat adalah sangat rendah, yaitu < 10%. Pada kedalaman 581 mMD – 953 mMD terjadi TLC (*total loss circulation*) yang mengakibatkan ketidakhadiran serbuk bor. Hal ini diduga akibat adanya struktur geologi. Pada kedalaman 954 mMD hingga 1338 mMD, indeks MeB yang didapat adalah sangat rendah, yaitu < 10%, kebanyakan berada disekitar 3%.

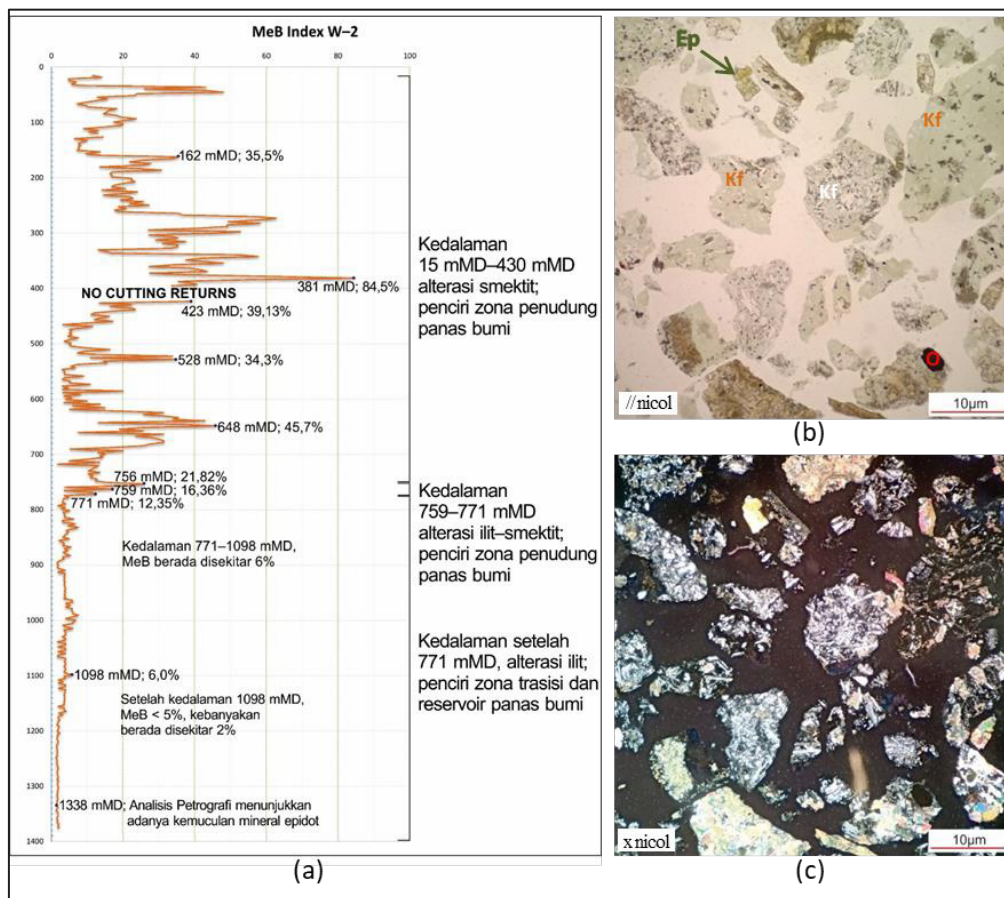
Karakteristik Batuan di Sumur W-2

Hasil pengamatan petrografi pada sayatan W-2 1338 menunjukkan epidot muncul pada kedalaman 1338 mMD pada batuan

tuf kristal (Gambar 6) dan termasuk kedalam zona alterasi propilitik (Corbett, G.J., and Leach, T.M., 1998).

Komponen batuan terdiri dari tuf kristal (94%), berwarna coklat kehijauan, sudah mengalami alterasi sedang - kuat, ukuran sedang - kasar kemas tertutup, sortasi buruk – sedang, *grain supported*, komposisi utama berupa mineral plagioklas segar (50%) dan juga klorit. Mineral plagioklas memiliki bentuk euhedral – subhedral.

Komponen lain terdiri dari butiran mineral lempung (2%), warna kecoklatan, ukuran halus, hadir mengubah seluruh batuan dengan sedikit *veinlet* karbonat dan butiran mineral epidot (4%), berwarna hijau, kekuningan, relief tinggi, anhedral, warna interferensi sedang (kuning hingga pink), hadir mengubah butiran tersendiri.



Gambar 6. (a) Indeks MeB sumur W-2; (b dan c) Fotomikrograf sampel W-2 1338 menunjukkan kehadiran mineral epidot (Ep), butiran tuf kristal (Kf) dan mineral opak (O)

Analisis MeB pada sumur W-2 menunjukkan di kedalaman 15 mMD – 756 mMD memiliki variasi indeks MeB sedang hingga tinggi (20 – 85%). Pada kedalaman 759 mMD – 771 mMD memiliki variasi MeB rendah (10 – 20 %). Pada kedalaman setelah 771 mMD, indeks MeB sangat rendah < 10%, yang kandungannya semakin menurun seiring bertambahnya kedalaman.

Uji P&T

Pada pemboran menunjukkan ketidakhadiran *cutting returns* karena TLC di kedalaman 581 – 953 mMD yang diperkirakan akibat adanya struktur geologi Sesar Leledala. Temperatur sumur W-1 mencapai 230°C di kedalaman 900 m dan tekanan awal yang mencapai 700 Psi.

Sumur W-2 dibor hingga kedalaman 2200 mMD dan log P&T dilaksanakan pada Februari 2018. Laporan pemboran menunjukkan keberadaan TLC di kedalaman 1300 – 1500 mMD karena struktur Leledala. *Feed zone* utama sumur ini diperkirakan berada diantara kedalaman 900 – 1914 mMD, ditandai oleh terjadinya *kick* pada log temperatur di kedalaman 948 mMD dan 1350 mMD, serta temperatur yang menstabil dan meningkat di kedalaman selanjutnya. Formasi temperatur sumur W-2 mencapai 250°C di kedalaman 1900 m dan tekanan awal yang mencapai 1400 PSIA.

Zona Alterasi

Analisis petrografi pada sayatan W-1 1119 menunjukkan epidot pertama muncul pada kedalaman 1119 mMD pada batuan tuf kristal. Kehadiran epidot mencirikan telah terjadi perubahan akibat temperatur tinggi dan termasuk kedalam zona alterasi propilitik (Corbett, G.J., and Leach, T.M., 1998). Mineral epidot mencirikan temperatur pembentukan > 220°C (Reyes, 1990).

Analisis MeB pada sumur W-1 dilakukan setiap interval 3 m, dimulai dari 15 – 1341

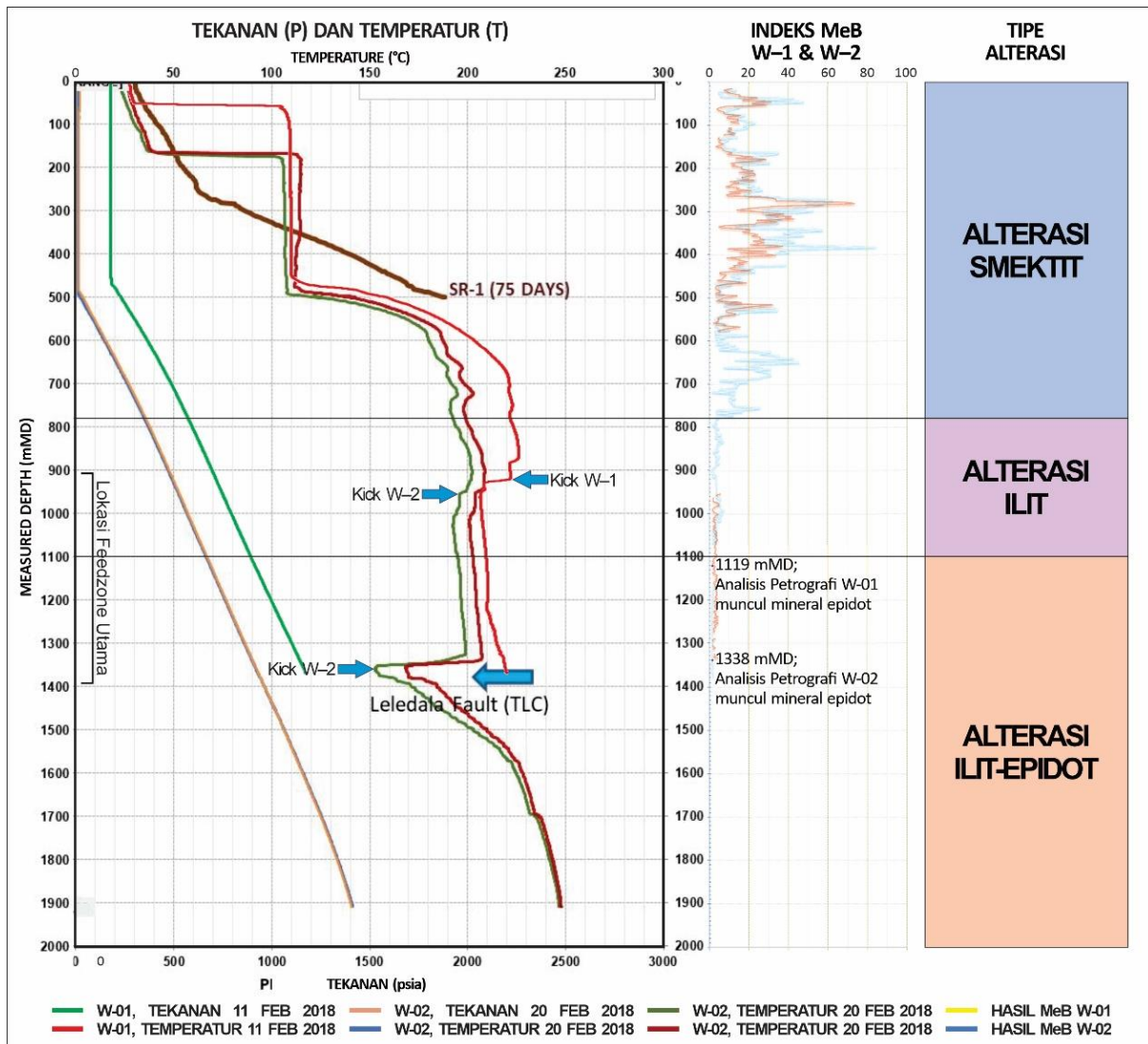
mMD. Dari gambar 4.a dapat diketahui, pada kedalaman 15 mMD – 519 mMD memiliki variasi indeks MeB sedang hingga tinggi (20 – 70%).

Zona alterasi yang dapat diidentifikasi di sumur eksplorasi W-1 dan W-2 lapangan panas bumi Sokoria terdiri dari zona alterasi smektit, illit, dan illit-epidot (Gambar 7).

Zona alterasi smektit berada pada kedalaman dari permukaan hingga 780 mMD, dicirikan oleh variasi indeks MeB sedang hingga tinggi (20 – 85%) sebagai penciri mineral lempung teralterasi smektit dan indeks MeB rendah (10 – 20%) merupakan penciri mineral lempung teralterasi campuran illit – smektit. Kemunculan smektit dan illit – smektit mengindikasikan temperatur formasi batuan < 180 °C. Bagian bawah zona ini dikarakteristikan oleh menurunnya indeks MeB, 12,35% di kedalaman 771 mMD sumur W – 2.

Zona alterasi illit berada pada kedalaman 780 – 1100 mMD, dicirikan oleh variasi indeks MeB sangat rendah (< 10%) penciri mineral lempung illit. Kemunculan illit mengindikasikan temperatur formasi batuan 200 – 240 °C. Bagian bawah zona ini dicirikan oleh menurunnya kandungan illit seiring bertambahnya kedalaman.

Zona alterasi illit-epidot berada pada kedalaman > 1100 mMD. Zona ini dicirikan oleh kemunculan epidot (mineral teralterasi bertemperatur tinggi > 220 °C) dari hasil analisis petrografi pada kedalaman 1119 mMD di sumur W – 1 dan pada kedalaman 1338 mMD di sumur W – 2 serta indeks MeB sangat rendah (<10%) penciri mineral lempung illit.



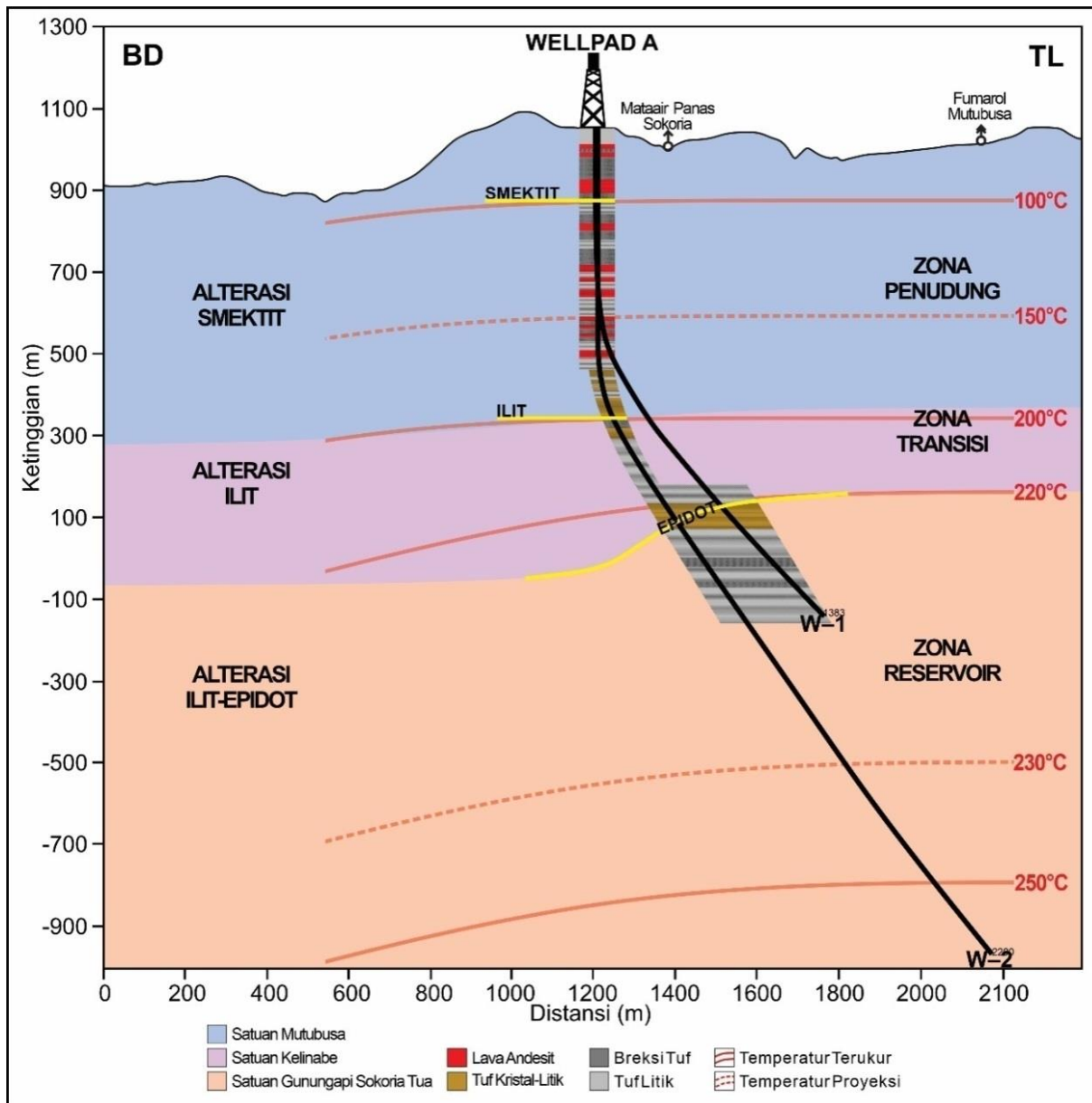
Gambar 7. Zona Alterasi pada sumur W-1 dan W-2 dari data uji P&T, analisis MeB dan petrografi, menunjukkan dari permukaan – 780 mMD adalah alterasi smektit, 780 – 1100 mMD adalah alterasi ilit, dan > 1110 mMD adalah alterasi ilit-epidot

Korelasi Sumur

Hasil dari korelasi sumur W-1 dan W-2 pada *wellpad* A memperlihatkan model tentatif geologi bawah permukaan panas bumi yang terdiri dari zona penudung, zona transisi, dan zona reservoir (Gambar 8).

Berdasarkan model tentatif geologi bawah permukaan tersebut, zona ubahan atau alterasi hidrothermal terdiri dari zona alterasi argilik (zona penudung sistem panas bumi), zona transisi argilik-propilitik (zona transisi sistem panas bumi), dan zona propilitik (zona reservoir sistem panas bumi).

Zona alterasi argilik dicirikan oleh indeks MeB rendah hingga tinggi (penciri mineral lempung smektit dan campuran ilit-smektit), 73,3 % pada kedalaman 281 mMD sumur W-1 dan 84,5% pada kedalaman 381 mMD sumur W-2. Bagian bawah zona ini dikarakteristikkan oleh menurunnya indeks MeB, 15,56% pada kedalaman 567 mMD sumur W-1 dan 12,34% pada kedalaman 771 mMD sumur W-2. Kemunculan smektit dan ilit-smektit mengindikasikan temperatur formasi batuan <180°C.



Gambar 8. Korelasi Sumur W-1 dan W-2 (Modifikasi dari Sarmiento et al., 2019)

Zona alterasi transisi argilik–porpilitik dicirikan oleh indeks MeB sangat rendah, penciri mineral lempung illit; 5,45% pada kedalaman 954 mMD sumur W-1 dan 6,0% pada kedalaman 1098 mMD sumur W-2. Bagian bawah zona ini juga dicirikan oleh menurunnya kandungan illit (sekitar 6%) seiring bertambahnya kedalaman; terlihat dari indeks MeB 6% di sumur W-2 kedalaman 1098 mMD.

Zona alterasi propilitik dicirikan oleh kehadiran mineral ubahan epidot yang terbentuk pada temperatur tinggi > 220°C (Reyes, 2000)

bersama mineral klorit, yang didapatkan dari analisis petrografi pada sayatan sumur W-1 kedalaman 1119 mMD dan W-2 kedalaman 1338 mMD. Selain itu, zona ini ditandai oleh indeks MeB sangat rendah < 10%, penciri mineral lempung illit. Kemunculan illit mengindikasikan temperatur formasi batuan berkisar antara 200 – 240°C.

Berdasarkan karakteristik di atas, dapat diinterpretasikan bahwa dari permukaan – 700 mVD merupakan zona alterasi argilik dan merupakan zona penudung

sistem panas bumi lapangan Sokoria. Kemudian kedalaman 700 mVD – 1000 mVD merupakan zona transisi alterasi argilik – propilitik dan merupakan zona transisi sistem panas bumi lapangan Sokoria. Dan kedalaman > 1000 mVD merupakan zona alterasi propilitik dan merupakan zona batuan reservoir utama sistem panas bumi lapangan Sokoria.

KESIMPULAN

Penggunaan metode MeB dipandu dengan analisis petrografi dan uji P&T dapat digunakan sebagai petunjuk untuk pembagian zonasi penudung, transisi dan reservoir pada sistem panas bumi Sokoria. Pendugaan temperatur reservoir hasil uji P&T diperoleh nilai antara 200 -240°C.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pimpinan PT. KS Orka Renewable Ltd. yang telah membantu saat pengambilan sampel dan penggunaan data untuk dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Corbett, G.J., and Leach, T.M., 1998. *Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization*. Soc. Econ. Geol. Special Publication 6, 238p.

Harvey C, Anderson, E., Johnstone, R., Christyono, 2000. *Coexisting Volcanism and Hydrothermal Activity at Kelimutu, Flores Island, Eastern Indonesia*, Proceeding of World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan.

Harvey C, Anderson, E., Johnstone, R., Christyono, 1998. *Sokoria, East Indonesia: A Classic Volcano Hosted Hydrothermal System*, Proceeding of 20th NZ Geothermal Workshop.

Hochstein, M.P., Simanjuntak, J., Sudarman, S., 2010. *Geothermal Prospects of the Eastern Banda Arc Islands (Indonesia)*. Proc WGC.

Giggenbach, W., 1991. *Chemical techniques in geothermal exploration*. Appl. Geochem. Geotherm. Reserv. Dev. 119–144.

Grim, R.E., 1953. *Clay Mineralogy*, International series in the earth sciences. McGraw-Hill.

Nicholson, K., 2012. *Geothermal fluids: chemistry and exploration techniques*. Springer Science & Business Media.

Reyes, A.G., 2000. *Petrology and mineral alteration in hydrothermal systems: From diagenesis to volcanic catastrophes*. United Nations University, Geothermal Training Programme.

Reyes, A.G., 1990. *Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 43, 279–309.
[https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90057-M](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90057-M)

Sarmiento, Z.F., Sagala, B., Siagian, H., 2019. *The Sokoria Geothermal System, Flores Island, Indonesia*. Geothermics 82, 282–295.

Suparman, S., 2009. *Sumur Injeksi Mt-6 Di Lapangan Panas Bumi Mataloko, Kabupaten Ngada–Nusa Tenggara Timur*. Bul. Sumber Daya Geol. 4, 58–67.

van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, the East Indies, Inclusive of the British Part of Borneo, the Malay Peninsula, the Philippine Islands, Eastern New Guinea, Christmas Island, and the Andaman and Nicobar Islands. Martinus Nijnhoff, the Netherlands.

Diterima	: 6 Desember 2019
Direvisi	: 31 Maret 2020
Disetujui	: 31 Agustus 2020

UCAPAN TERIMA KASIH KEPADA MITRA BESTARI

Dengan hormat.

Sehubungan dengan telah terbitnya Buletin Sumber Daya Geologi volume 15 nomor 2 tahun 2020, kami segenap Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih atas bantuan Bapak dan Ibu yang telah bersedia menjadi mitra bestari serta telah menyampaikan sumbangan pemikiran dalam melakukan pembenahan dan penyempurnaan makalah yang masuk pada Dewan Redaksi. Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kami sampaikan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso, M.Sc., Ahli Geologi Batubara.
2. Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adi, DEA, Ahli Pertambangan dan Geostatistik.
3. Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D, Ahli Mineral Eksplorasi (Geologi Ekonomi) dari Universitas Padjadjaran.
4. Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc., Ahli Geologi Teknik dan Kebencanaan dari Universitas Padjadjaran.
5. Dr. Asep Permana, S.T., M.Sc., Ahli Geologi Batubara dan Energi Fosil dari Pusat Survei Geologi.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Abdul Bari
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran, PT Aneka Tambang Tbk.
Email: abdul.bari@antam.com

Agus Didit Haryanto
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: agus.didit.haryanto@unpad.ac.id

Agus Subarnas
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: agussubarnas@gmail.com

Aldila Jasmine Purbiyantoro
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: aldila14001@mail.unpad.ac.id

Beny Wiranata
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Email: beny.wiranata92@gmail.com

Deddy Nan Setya Putra Tenggara
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Email: tanggara@mail.ugm.ac.id

Denni Widhiyatna
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: denni.widhiyatna@esdm.go.id

Euis Tintin Yuningsih
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: etintiny@yahoo.com

Ferian Anggara
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Email: ferian@ugm.ac.id

Galuh Yuliani
Universitas Pendidikan Indonesia
Email: galuh@upi.edu

Haris Siagan
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: haris.siagian@ksorka.com

Hendra Amijaya
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Email: hamijaya@gadjahmada.edu

Iyan Haryanto
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: iyan.haryanto@unpad.ac.id

Maryono
Universitas Pendidikan Indonesia
Email: maryono.aria90@gmail.com

Mega Fatimah Rosana
Fakultas Teknik Geologi, Universitas
Padjadjaran
Email: mega.fatimah.rosana@unpad.ac.id

Muhammad Arief Pinandita
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan
Panas Bumi
Email: muhammad.pinandita@esdm.go.id

Sabtanto Joko Suprpto
Politeknik Energi dan Pertambangan
Bandung
Email: sabtanto_js@yahoo.com

Siska Mutiara
Universitas Pendidikan Indonesia
Email: siskamutiaraa@gmail.com

Suparno
Politeknik Energi dan Pertambangan
Bandung
Email: suparnocpu@gmail.com

Umi Yuliatin
Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Email: umi.yuliatin@esdm.go.id

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- Abu 101-103, 105, 107, 109, 110, 112, 115, 117-119, 121, 123-127, 129, 120, 129, 130, 139
- Adsorpsi 101, 102, 106, 110, 111, 112, 114
- Alterasi 73, 75, 77, 79-87, 129, 132-139
- Batubara 101, 111, 114, 117-128
- Cibaliung 73-79, 81-83, 85-87
- Dieng 89, 90, 92, 93, 96-100
- Formasi Tanjung 117-123, 126, 127
- Gambut 101-115
- Kapasitas adsorpsi dan sumber daya 29
- Karakterisasi 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113-115, 189, 190
- Maksimum fluiditas 117-119, 121, 123-127
- Metilen biru 129, 133
- Mineral alterasi 129, 133
- Mineralisasi 73-77, 79-81, 83-85, 87
- Petrografi 126, 129, 131, 133, 135-139
- Potensi 85, 89-102, 109, 111, 114, 115, 117-119, 126, 127, 130
- Panas bumi 89-101, 114, 129-133, 137-139
- Prospek 73, 83-86, 132
- Struktur 73, 75-79, 81-87, 111, 119, 131, 135, 136
- Sokoria 129-132, 136, 139
- Uji P&T 129, 133, 136, 137, 139
- Unsur kimia ekonomis 89-91, 93, 95, 97-99
- Urat 73-76, 83-85
- Zat terbang 110, 117, 119, 121-127

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Agustus 2020

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

Abdul Bari^{1,2}, Mega F Rosana¹, dan Iyan Haryanto¹
(¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, dan ²PT Aneka Tambang Tbk., Jakarta)

KONTROL STRUKTUR GEOLOGI PADA ALTERASI DAN MINERALISASI DI DAERAH CIBALIUNG, KABUPATEN PANDEGLANG, PROVINSI BANTEN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2020 Vol. 15 No. 2 Hal. 73 - 87

Cibaliung terletak di dalam Honje Igneous Complex yang merupakan kompleks vulkanik berumur Miosen yang memiliki dua urat kuarsa yang ekonomis untuk ditambang yaitu urat Cikoneng dan urat Cibitung. Keterdapatn urat kuarsa di Cibaliung ini telah ditambang dan diproduksi oleh PT Cibaliung Sumber Daya anak perusahaan PT Aneka Tambang Tbk. Pada proses produksinya urat kuarsa ini telah mencapai batas maksimal produksinya sehingga diperlukan cadangan baru. Metodologi penelitian yang dilakukan antara lain pengamatan struktur geologi dengan analisis kelurusan topografi, circular feature, analisis kelurusan sungai melalui citra Digital Elevation Model, dan pengukuran struktur breksiasi, slickenside, shear fracture dan gash fracture. Hasil interpretasi data lapangan dari 328 lokasi pengamatan dengan 8.114 data struktur geologi menunjukkan bahwa keterdapatn struktur geologi berbanding lurus dengan intensitas alterasi dan mineralisasi. Dari hasil metode analisis struktur dan pergerakan sesar yang dikorelasikan dengan data mineralisasi dan alterasi didapatkan 14 daerah prospek yakni Prospek Cikoneng-Cibitung, Prospek Cibengang, Prospek Rorah Kadal, Prospek Cikeni, Prospek Ramada, Prospek Mastar, Prospek Muara Cikeni, Prospek Cipatat, Prospek Ciburial, Prospek Cikamancing, Prospek Sompok Uara, Prospek Batulawang Utara, Prospek Cikarae-Cingenge, dan Prospek Ciparay. Dari beberapa prospek tersebut direkomendasikan untuk dilakukan eksplorasi lebih lanjut pada enam prospek, yakni Prospek Cibengang, Prospek Ramada, Prospek Cikoneng Barat, Prospek Cikamancing, Prospek Sompok Utara dan Prospek Batulawang Utara.

Kata kunci: urat, struktur, alterasi, mineralisasi, prospek, Cibaliung

Sabtanto Joko Suprpto¹, Suparno¹, dan Umi Yuliatin²
(¹Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, dan ²Politeknik Energi dan Mineral Akamigas)

POTENSI KANDUNGAN UNSUR KIMIA EKONOMIS PADA LARUTAN PANAS BUMI DENGAN STUDI KASUS DI PLTP DIENG, KABUPATEN WONOSOBO DAN KABUPATEN BANJARNEGARA, PROVINSI JAWA TENGAH

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2020 Vol. 15 No. 2 Hal. 89 - 100

Fluida panas bumi mempunyai kandungan unsur terlarut yang sangat tinggi. Metode geokimia digunakan untuk mengetahui indikasi potensi unsur kimia ekonomis yang terlarut. Eksplorasi panas bumi telah dilakukan di seluruh wilayah Indonesia terutama oleh Badan Geologi, menghasilkan data geokimia dari mata air panas, dengan

menganalisis SiO₂, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Li, As, NH₄, B, F, Cl, SO₄, HCO₃, dan CO₂. Berdasarkan hasil kompilasi data geokimia dari 256 titik lokasi mata air panas di Indonesia, diolah secara statistik untuk mengetahui tipe fluida yang mempunyai potensi unsur terlarut tinggi serta, kelompok asosiasi unsur. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Dieng dengan permasalahan terbentuknya kerak silika, menarik untuk studi kasus potensi unsur ekonomis yang terlarut. Peninggian kandungan terlarut pada fluida panas bumi selain terbentuk secara alami, dipicu lebih kuat lagi oleh sistem operasi pembangkit panas bumi, yang mengubah fasa cair menjadi fasa uap, sehingga fasa cair yang tersisa menjadi semakin pekat. Potensi kandungan unsur kimia ekonomis ditentukan dengan pengukuran debit fasa cair terproduksi yang tersisa dan hasil analisis konsentrasi unsur terlarutnya. Hasil clustering data geokimia mata air panas diperoleh empat kelompok asosiasi unsur, kelompok SiO₂-F, Al-Fe-SO₄, Ca-Mg-Cl-Na-K, dan kelompok Li-B-HCO₃. Kandungan litium terlarut tinggi di beberapa daerah panas bumi di Indonesia, terdapat pada mata air panas dengan fluida tipe klorida. Brine terproduksi dari reservoir di PLTP Dieng berasal dari fluida tipe meteorik yang telah intensif bereaksi dengan batuan sekitar dan fluida tipe magmatik. Brine tersisa yang berasal dari beberapa separator dan keluar melewati silencer, di PLTP Dieng, mempunyai total debit 457,1 m³/jam, dengan kandungan kadar tinggi beberapa unsur kimia, litium 77,31-99,4 mg/l, silika 1109,25-1220,9 mg/l, boron 404,16-589,4 mg/l, kalium 2532,2-4536,5 mg/l, dan mangan 5,49-15,82 mg/l.

Kata kunci: Potensi, unsur kimia ekonomis, panas bumi, Dieng

Muhammad Arief Pinandita¹, Galuh Yuliani², Agus Subarnas¹, Denni Widhiyatna¹, Maryono², dan Siska Mutiara²

(¹Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, dan ²Universitas Pendidikan Indonesia)

KARAKTERISASI DAN ESTIMASI SUMBER DAYA GAMBUT SEBAGAI MATERIAL ADSORBEN LOGAM BERAT DALAM LARUTAN DI BLOK TELUK MERANTI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2020 Vol. 15 No. 2 Hal. 101 - 115

Indonesia memiliki areal gambut terluas di zona tropis, yaitu sebesar 70% di Asia Tenggara dan 50% dari lahan gambut tropis di dunia. Saat ini, pemanfaatan gambut masih relatif rendah, sedangkan ancaman kebakaran lahan gambut pada musim kemarau terus menjadi permasalahan serius di berbagai wilayah di Indonesia. Selain memiliki potensi sebagai sumber energi, gambut juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben alami bagi logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi gambut dan mengestimasi besarnya sumber daya gambut di Blok Teluk Meranti, Provinsi Riau yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben alami logam berat. Karakterisasi gambut dilakukan dengan pengujian contoh gambut dengan kode PL-13, PL-21, dan PL-26 yang diperoleh dari Blok Teluk Meranti. Hasil uji luas permukaan menunjukkan luas permukaan PL-13, PL-21 dan PL-26 berturut-turut sebesar 241,73 m²/g, 241,80 m²/g dan 247,29 m²/g. Hasil uji adsorpsi menunjukkan bahwa gambut PL-13, PL-21, dan PL-26 memiliki kapasitas

adsorpsi maksimum berturut-turut sebesar 15,06; 11,99; dan 22,93 mg/g, serta efisiensi adsorpsi berturut-turut sebesar 46,79%; 48,36%; dan 46,85%. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016, gambut yang memiliki ketebalan lebih dari tiga meter memiliki fungsi lindung, maka sumber daya tereka endapan gambut yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben sebesar 90.477.890 ton.

Kata kunci: adsorpsi, gambut, karakterisasi, kapasitas adsorpsi dan sumber daya

Beny Wiranata, Hendra Amijaya, Ferian Anggara, dan Dedy Nan Setya Putra Tenggara
(Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada)

PENGARUH KANDUNGAN ABU DAN ZAT TERBANG TERHADAP MAKSIMUM FLUIDITAS BATUBARA FORMASI TANJUNG DI DAERAH SEKAKO, PROVINSI KALIMANTAN TENGAH

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2020 Vol. 15 No. 2 Hal. 117 - 128

Batubara bituminus volatil rendah sampai tinggi pada Formasi Tanjung di Provinsi Kalimantan Tengah dikenal berpotensi sebagai batubara metalurgi atau batubara kokas. Maksimum fluiditas batubara merupakan salah satu parameter penting yang berhubungan erat dengan kualitas kokas yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kandungan abu dan zat terbang terhadap maksimum fluiditas batubara pada Formasi Tanjung di daerah Sekako dan sekitarnya, Provinsi Kalimantan Tengah. Empat conto batubara lapisan A dan enam conto batubara lapisan B dari Formasi Tanjung, diambil dengan menggunakan metoda pemercontohan saluran. Conto batubara yang diambil didominasi oleh litotipe batubara mengilap dan batubara mengilap berlapis. Conto tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis proksimat serta analisis Gieseler plastometer. Hasil analisis kimia menunjukkan conto batubara memiliki kandungan abu berkisar dari 2,79 sampai 9,05 wt%, adb, kandungan zat terbang 35,14 sampai 39,50 wt%, adb dan maksimum fluiditas 22.263 sampai 49.029 ddpm. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa di daerah penelitian, mempunyai kandungan abu berkorelasi negatif kuat ($r = -0,656$; $R^2 = 0,431$) dan tidak berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,055 > 0,05$) terhadap maksimum fluiditas batubara. Sementara kandungan zat terbang berkorelasi positif sangat kuat ($r = 0,794$; $R^2 = 0,6301$) dan berpengaruh signifikan ($\text{sig. } 0,003 < 0,05$) terhadap maksimum fluiditas

batubara. Semakin tinggi kandungan abu, maka maksimum fluiditas batubara semakin rendah dan sebaliknya semakin tinggi kandungan zat terbang, maka maksimum fluiditas batubara semakin tinggi. Hubungan kandungan zat terbang dengan maksimum fluiditas batubara dapat dinyatakan dengan persamaan $y = 6327,9x - 200248$.

Kata kunci: Batubara, abu, zat terbang, maksimum fluiditas, Formasi Tanjung

Aldila Jasmine Purbiyantoro, Agus Dudit Haryanto, Euis Tintin Yuningsih, dan Haris Siagian
(Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Sumedang)

KARAKTERISTIK ZONASI BATUAN RESERVOAR BERDASARKAN PETROGRAFI, SERBUK BOR, UJI TEKAPAN DAN TEMPERATUR DI LAPANGAN PANAS BUMI SOKORIA, KABUPATEN ENDE, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2020 Vol. 15 No. 2 Hal. 129 - 139

Lapangan Panas Bumi Sokoria terletak di Desa Sokoria, Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zonasi secara vertikal batuan penudung, transisi dan reservoir pada sumur W-1 dan W-2. Pendekatan yang digunakan adalah analisis petrografi dan analisis metilen biru (MeB) untuk mengetahui rasio ilit-smektit dan kehadiran mineral alterasi dalam batuan sebagai indikator batas zona batuan penudung, transisi dan reservoir. Uji tekanan dan temperatur (P&T Test) juga digunakan sebagai panduan dalam penentuan zonasi. Hasil yang didapat bahwa zona penudung panas bumi berada dari permukaan hingga kedalaman 700 mVD (meter vertical depth), dibuktikan oleh indeks MeB sedang – tinggi (20 – 80%) penciri smektit serta temperatur batuan sekitar 100°C. Zona transisi berada dari kedalaman 700 mVD – 1100 mVD, dibuktikan oleh indeks MeB rendah (6 – 20%) sebagai penciri ilit dan ilit-smektit serta temperatur uji mencapai 200°C. Zona reservoir berada pada kedalaman 1100 mVD, dicirikan oleh indeks MeB sangat rendah (<10 %) sebagai penciri ilit serta kemunculan epidot pada sumur W-1 di kedalaman 1119 mMD (meter measured depth) dan sumur W-2 di kedalaman 1338 mMD, uji P&T menunjukkan temperatur reservoir dapat mencapai 250°C.

Kata kunci: Sokoria, metilen biru, petrografi, uji P&T, mineral alterasi



Batuan Andesit yang menunjukkan gejala pelapukan mengulit bawang di daerah Lembang Manggau, Kecamatan Makale, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan (Irwan Muksin, 2014)



Singkapan Granit di daerah Desa Lubuk Layu, Kecamatan Samadua, Kabupaten Aceh Selatan, Provinsi Aceh (Irwan Muksin, 2020)

GALERI FOTO



Penambangan emas rakyat pada endapan letakan (plaser) dengan cara disemprot di sebelah barat Bukit Batubelah daerah Pangapit, Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat (Irwan Muksin, 2018)



Proses pengambilan contoh konsentrat mineral berat dengan pendulangan dari batuan termineralisasi yang telah dihaluskan, Daerah Pangapit, Kecamatan Subah, Kabupaten Sambas, Provinsi Kalimantan Barat (Irwan Muksin, 2018)



Mesin pengolahan (Humphrey Spiral) Pasir kuarsa di daerah Gunung Seteleng, Kecamatan Penajam, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur (Irwan Muksin, 2015)



Penambangan timah rakyat di daerah Desa Kemingking, Kecamatan Sungai Selan, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung (Irwan Muksin, 2018)

GALERI FOTO



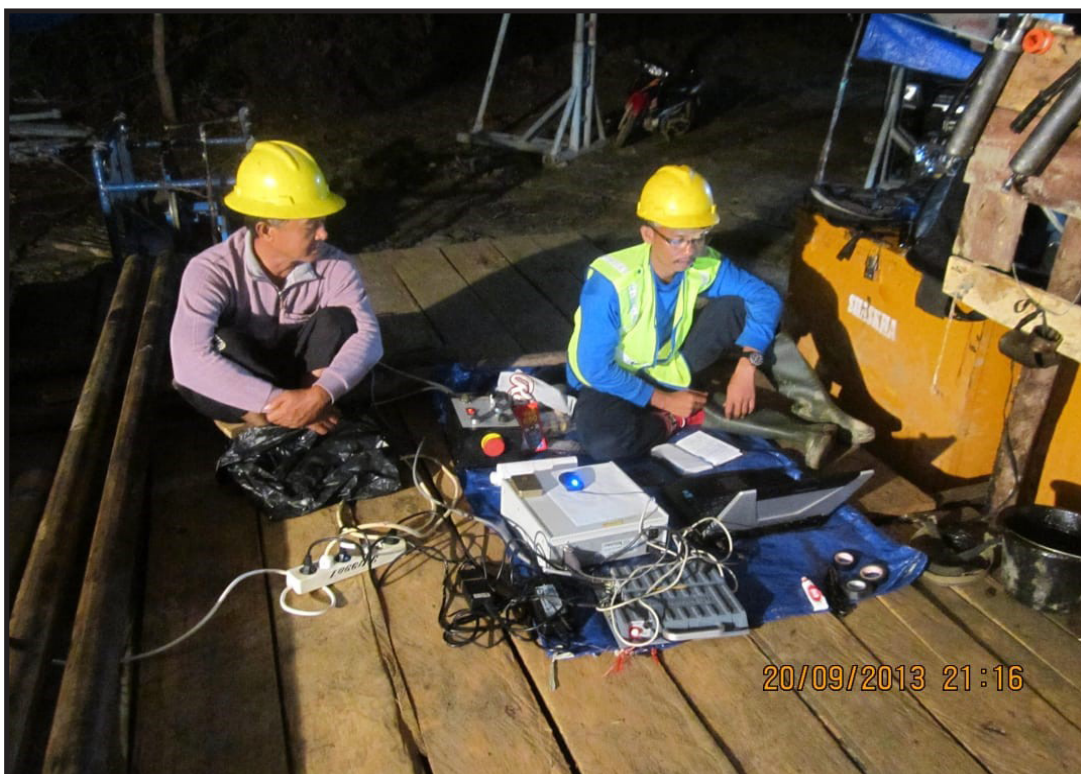
Batubara tersingkap di Sungai Ogan, Provinsi Sumatera Selatan
(Muhammad Abdurachman Ibrahim, 2018)



Salah satu kegiatan prospeksi dengan melakukan sumur uji batubara untuk mengetahui ketebalan lapisan batubara, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Provinsi Sumatera Selatan (Muhammad Abdurachman Ibrahim, 2018)



Core box dengan isi contoh batuan hasil pengeboran daerah Way Selabung, Kecamatan Mekakau Ilir, Kabupaten Ogan Kemiring Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan (Uju Darsita, 2014)



Pengukuran logging batubara pada malam hari dengan mempergunakan alat logging RG daerah Muara Kiliis, Kecamatan Tengah Ilir, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi (Uju Darsita, 2013)

GALERI FOTO



Persiapan pengeboran *non corring* dengan mata bor tricon 5 5/8 inch, Desa Tanjung Besar, Kecamatan Mekakau Ilir, Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan (Uju Darsita, 2014)



Kegiatan Pengeboran di Desa Tanjung Besar, Kecamatan Mekakau Ilir, Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan (Uju Darsita, 2014)



Kenampakan *tuffaceous mudstone* dalam lapisan batubara di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu (Sigit Arso Wibisono, 2020)



Kenampakan *tuffaceous mudstone* dalam lapisan batubara di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu (Sigit Arso Wibisono, 2020)



Sumber Mata Air Panas Sukarame yang menunjukkan bahwa aliran air panas (Temperatur 97°C, pH netral) tidak merusak tanaman padi disekelilingnya, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (Widya Asoka, 2020)



Pengambilan sampel gas di Mata Air Panas Marapokot, Kabupaten Nagekeo, Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan temperatur manifestasi mencapai 72,3°C (inset) (Widya Asoka, 2020)



Sumber Mata Air Panas Sukarame yang menunjukkan bahwa aliran air panas (Temperatur 97°C, pH netral) tidak merusak tanaman padi disekelilingnya, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat (Widya Asoka, 2020)



Kegiatan Pengeboran Landaian Suhu Sumur CTL-2 di Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah (Dudi Hermawan, 2016)

GALERI FOTO



Pengukuran Logging Temperatur Sumur Landaian Suhu CTL-2, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah (Dudi Hermawan, 2016)



Mata Air Panas Batu Belerang di timurlaut lereng Gunung Lompobattang, Provinsi Sulawesi Selatan (Dudi Hermawan, 2016)

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, faxsimile 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>

Semua tulisan yang ada dalam **Buletin Sumber Daya Geologi** bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat **Dewan Redaksi Buletin Sumber Daya Geologi**.
Tanggung jawab terhadap isi atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

SERTIFIKAT

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



Kutipan dari Keputusan Direktorat 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 11 Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 15 Nomor 3 Tahun 2020

Jakarta, 9 Juli 2018
Direktorat 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

