

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 14	No. 3	Halaman 156 - 226	Bandung November 2019	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018
--------------------------------	---------	-------	----------------------	--------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Kenampakan petrografi sayatan poles kelompok maseral liptinit (a) resinit, (b) resinit dan suberinite, (c) sporinit, dan (d) suberinit. (Feria Anggara, dkk., 2019)

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

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

DEWAN REDAKSI

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

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

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas diterbitkannya Buletin Sumber Daya Geologi volume 14 edisi ketiga pada Bulan November sebagai edisi terakhir di tahun 2019. Buletin ini berisi lima artikel yang bahasannya antara lain tentang penggunaan metode survei geofisika berupa magnetotellurik dan gaya berat yang hasilnya dapat mempertajam delineasi wilayah prospek panas bumi, identifikasi tipe mineralisasi cebakan mineral logam berdasarkan keberadaan jenis mineral ubahan, mineral bijih dan tekstur pada batuan. Selanjutnya kajian potensi logam tanah jarang di dalam lapisan batubara pada Formasi Muaraenim, kajian pendahuluan tentang peluang pemanfaatan gambut sebagai sumber energi dan artikel terakhir berupa pengolahan data geokimia untuk memperoleh informasi tentang sebaran unsur dan asosiasinya, tipe mineralisasi dan wilayah prospek di daerah tersebut.

Artikel pertama berupa penerapan kombinasi metode magnetotellurik dengan gaya berat dalam eksplorasi potensi panas bumi di Pulau Pantar, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kajian ini menggambarkan pemanfaatan koreksi topografi yang mendukung proses pengolahan dua metode geofisika tersebut sehingga hasilnya mempertajam wilayah prospek panas bumi tersebut.

Artikel kedua mengulas tentang identifikasi tipe mineralisasi suatu daerah prospek dengan melakukan pengamatan di lapangan dan analisis conto di laboratorium. Selanjutnya berdasarkan data mineral ubahan, kandungan mineral bijih dan tekstur pada batuan yang diperoleh dari conto di lapangan, maka diinterpretasikan tipe mineralisasi daerah tersebut berupa cebakan epitermal sulfidasi tinggi.

Artikel ketiga mengulas tentang peluang pemanfaatan gambut sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap di Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa pemetaan geologi, pengeboran sebanyak 56 titik hingga kedalaman maksimal 10 meter, analisis conto, perhitungan sumber daya, pertimbangan faktor beban, kapasitas dan efisiensi termal serta peraturan yang berlaku.

Artikel keempat mengulas tentang potensi logam tanah jarang yang ditinjau dari sisi karakteristik dan genesis pada lapisan batubara Formasi Muaraenim. Hal ini diperkirakan berhubungan dengan kondisi geologi yang spesifik yang menyebabkan terjadinya pengayaan logam tanah jarang dalam lapisan batubara.

Kajian geokimia hadir sebagai artikel terakhir berupa pengolahan data hasil analisis conto sedimen sungai aktif yang menggunakan metode *univariate* dan *multivariate* sehingga diperoleh informasi sebaran unsur, asosiasi unsur, tipe mineralisasi dan wilayah prospek.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, para pejabat struktural di PSDMBP, Mitra Bestari, Editor, Penulis dan Tim Sekretariat, sehingga Buletin Sumber Daya Geologi dapat hadir kepada masyarakat umum hingga edisi terakhir di tahun 2019. Semoga kehadiran Buletin Sumber Daya Geologi dapat menambah wawasan dan pengetahuan untuk para pembaca khususnya dalam bidang ilmu kebumihutan.

Salam hangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 156 - 168 **PENERAPAN KOREKSI TOPOGRAFI PADA DATA MAGNETOTELLURIK DAN ANALISIS DATA GAYA BERAT DALAM INTERPRETASI DAERAH PANAS BUMI PANTAR, KABUPATEN ALOR, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**
TOPOGRAPHY CORRECTION OF MAGNETOTELLURIC DATA AND GRAVITY DATA ANALYSIS IN PANTAR GEOTHERMAL AREA, ALOR REGENCY, EAST NUSA TENGGARA PROVINCE
Oleh : Tony Rahadinata, Iqbal Takodama, dan Ahmad Zarkasyi
- 170 - 185 **KARAKTERISTIK CEBAKAN EPITERMAL TIPE SULFIDASI TINGGI DI DAERAH ERELEMBANG, TOMBOLO PAO, KABUPATEN GOWA, PROVINSI SULAWESI SELATAN**
CHARACTERISTICS OF HIGH SULFIDATION EPITHERMAL DEPOSIT TYPE IN THE ERELEMBANG, TOMBOLOPAO AREA, GOWA DISTRICT, SOUTH SULAWESI PROVINCE
Oleh : Edya Putra, Bambang Nugroho Widi, dan Rudy Gundradi
- 186 - 197 **POTENSI GAMBUT UNTUK PENGEMBANGAN PLTU DI KECAMATAN TELUK MERANTI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU**
THE POTENTIAL OF PEAT FOR THE DEVELOPMENT OF A STEAM POWER PLANT IN TELUK MERANTI SUBDISTRICT, PELALAWAN REGENCY, RIAU PROVINCE
Oleh : Agus Subarnas dan Eska P. Dwitama
- 198 - 212 **KARAKTERISTIK DAN GENESA PENGAYAAN UNSUR-UNSUR TANAH JARANG PADA BATUBARA LAPANGAN BATUBARA MUARA TIGA BESAR UTARA, TANJUNG ENIM, CEKUNGAN SUMATERA SELATAN**
CHARACTERISTICS AND GENESIS OF RARE EARTH ELEMENTS ENRICHMENT IN MUARA TIGA BESAR UTARA COAL FIELD, TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATRA BASIN
Oleh : Ferian Anggara, Mutiara Cikasimi, Basuki Rahmat, Sigit Arso Wibisono, dan Rita Susilawati
- 214 - 226 **STUDI GEOKIMIA ENDAPAN SUNGAI AKTIF UNTUK MENDELINEASI AREA PROSPEK MINERALISASI LOGAM DI BAGIAN SELATAN KABUPATEN BLITAR, PROVINSI JAWA TIMUR**
GEOCHEMICAL STUDY OF ACTIVE STREAM SEDIMENTS TO DELINEATE MINERALISATION PROSPECT AREA IN THE SOUTH PART OF BLITAR REGENCY, EAST JAVA PROVINCE
Oleh : Calvin Nanda Suratman, Bambang Priadi, Sulaeman, dan Hartaja Muhamad Hatta W.

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

PENERAPAN KOREKSI TOPOGRAFI PADA DATA MAGNETOTELLURIK DAN ANALISIS DATA GAYA BERAT DALAM INTERPRETASI DAERAH PANAS BUMI PANTAR, KABUPATEN ALOR, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

TOPOGRAPHY CORRECTION OF MAGNETOTELLURIC DATA AND GRAVITY DATA ANALYSIS IN PANTAR GEOTHERMAL AREA, ALOR REGENCY, EAST NUSA TENGGARA PROVINCE

Tony Rahadinata, Iqbal Takodama, dan Ahmad Zarkasyi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara Dan Panas Bumi
tony.rahadinata@gmail.com

ABSTRAK

Pantar berada pada lingkungan vulkanik Kuartar yang memiliki potensi panas bumi yang diindikasikan dengan adanya manifestasi panas bumi berupa fumarola, solfatara, tanah panas dan air panas. Survei geofisika magnetotelurik (MT) dan gaya berat dilakukan untuk mengklarifikasi sistem panas bumi di daerah ini. Teknik pemodelan data MT menggunakan inversi 3 dimensi (3-D) dengan dan tanpa koreksi topografi untuk optimalisasi hasil. Pemisahan anomali Bouguer pada metode gaya berat dilakukan dengan teknik *trend surface analysis* dan *upward continuation*. Hasil pemodelan MT dan gaya berat akan dikombinasikan untuk menginterpretasi sistem panas bumi. Penerapan koreksi topografi pada inversi 3D data MT yang dikombinasikan dengan metode gaya berat memberikan hasil yang lebih optimal. Kedua hasil metode tersebut secara jelas menunjukkan keberadaan lapisan penudung, zona reservoir dan sumber panas. Lapisan bertahanan jenis rendah yang diinterpretasikan sebagai lapisan penudung termodelkan di sekitar Gunung Beang sampai dengan kedalaman 750 meter. Lapisan bertahanan jenis medium yang diinterpretasikan sebagai zona reservoir dimodelkan mulai kedalaman 750-1000 meter. Zona anomali tinggi yang termodelkan pada kedua metode mempertegas adanya tubuh vulkanik muda yang diinterpretasikan sebagai sumber panas sistem panas bumi.

Kata kunci: Pantar, Panas Bumi, Koreksi Topografi, Gaya Berat, Magnetotelurik.

ABSTRACT

Pantar is located in Quaternary volcanic environment which has geothermal potential, indicated by the presence of geothermal manifestations such as fumarol, solfatar, hot ground and hot spring. Magnetotelluric (MT) and gravity surveys were carried out to clarify geothermal system in this area. Modelling technique of MT data used 3-dimentional (3-D) inversion process with and without topographic correction to enhance the result. Filtering Bouguer anomaly in gravity method used trend surface analysis and upward continuation techniques. Those two modelling process of MT and gravity data were combined to interpret the geothermal system. Application of topographic correction on 3-D inversion of MT data which combined with gravity method give procuded optimum result. The result of those two methods shows clearly the existance of caprock, reservoir zone and high anomaly zone which indicates of young volcanic body as heat source in this geothermal system. Low resistivity zone, interpreted as cap rock, is modeled near Mount Beang until 750 meter depth. Medium resistivity zone, interpreted as reservoir zone, is modeled from 750-1000 meter depth. The high anomaly zone, is modeled in both method emphasized existence of young volcanic body interptred as a heat source of geothermal system.

Keywords: Pantar, geothermal. topographic correction, gravity, magnetotelluric

PENDAHULUAN

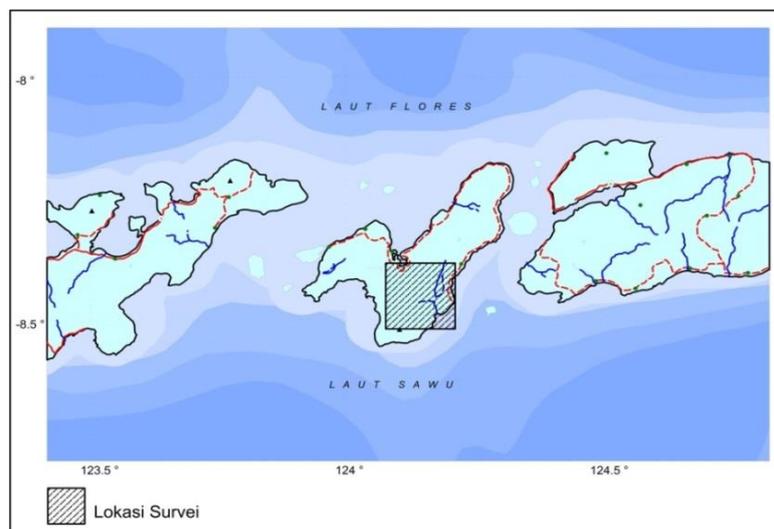
Daerah panas bumi Gunung Sirung atau Pulau Pantar berada di wilayah Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Keberadaan sistem panas bumi di daerah ini tampak dengan adanya manifestasi panas bumi berupa fumarola, solfatara, tanah panas, air panas bertemperatur mencapai 98 °C dan batuan teralterasi. (Gambar 1).

Daerah panas bumi ini berada pada lingkungan vulkanik Kuarter. Aktivitas vulkanik Gunung Sirung diperkirakan sebagai sumber panas dari sistem ini. Batuan penyusun daerah survei didominasi oleh batuan vulkanik (Hadi dkk, 2015). Stratigrafi batuan tersusun oleh produk erupsi vulkanik dan batuan sedimen. Batuan tertua terbentuk pada Tersier Akhir berupa vulkanik yang tersebar di pesisir pantai utara dan timur diikuti oleh pengendapan batuan sedimen (batugamping terumbu di bagian tengah). Struktur geologi memisahkan kedua produk vulkanik tua tersebut dengan arah hampir utara selatan (Gambar 2). Struktur geologi didominasi oleh arah tegasan utara – selatan sebagai sesar utama. Pola tersebut berhubungan dengan arah tektonik regional yang berkembang di daerah Pulau Pantar- Pulau Alor.

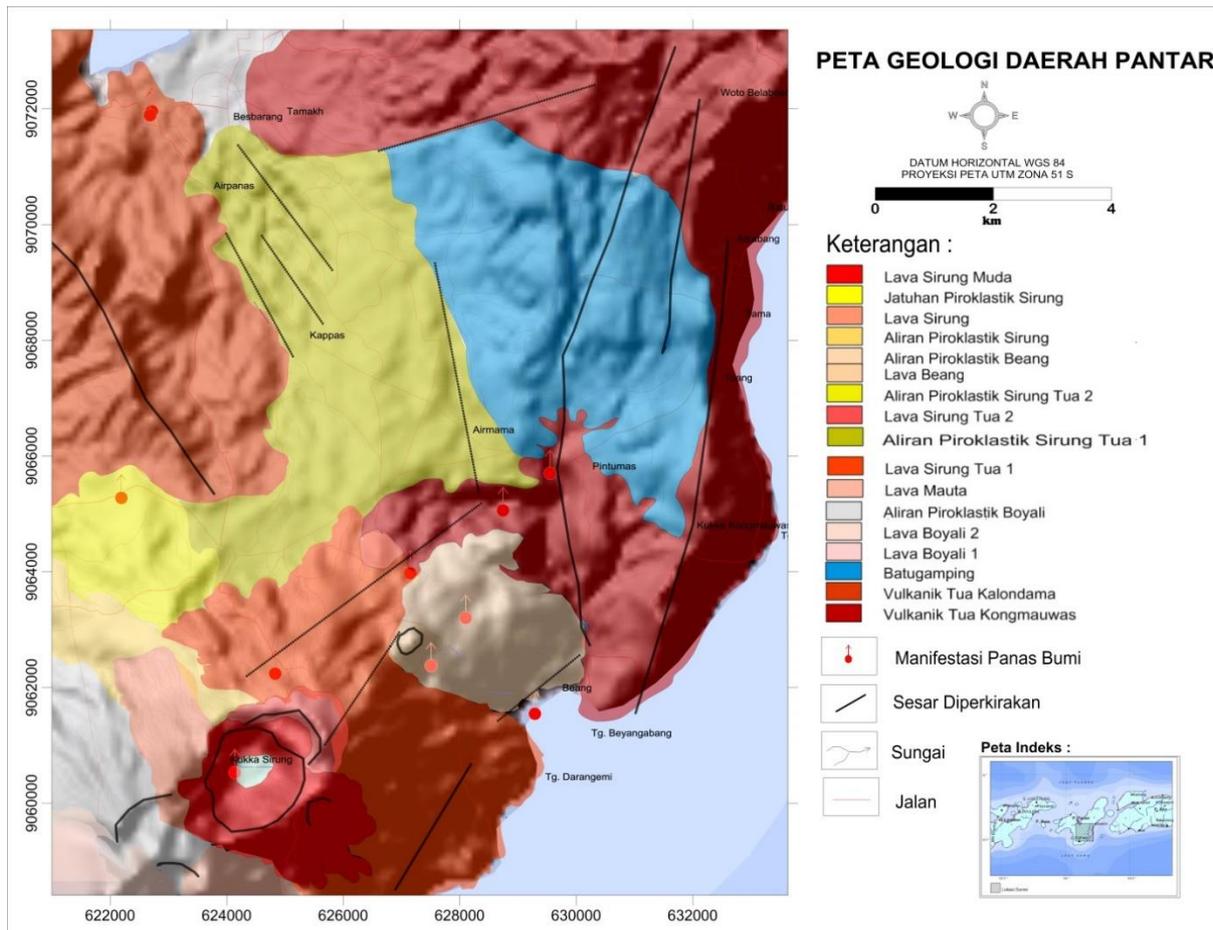
Survei geofisika untuk mengetahui sistem panas bumi di Pantar dilakukan dalam rentang waktu 2015 sampai dengan 2017. Metode gaya berat daerah ini diambil pada tahun 2015 dan dilanjutkan pada tahun 2016 dan 2017 dengan menggunakan metode magnetotelurik (MT).

Hasil geofisika sangat tergantung pada proses pengolahan data. Banyak teknik pengolahan data yang dapat digunakan dalam proses data geofisika. Pemilihan teknik ini bertujuan mendapatkan hasil yang optimal yang dapat digunakan dalam interpretasi sistem panas bumi. Oleh karena itu untuk optimalisasi data geofisika ini maka diperlukan kombinasi lebih dari satu metode geofisika.

Penulisan makalah ini bertujuan untuk mengaplikasikan teknik alternatif dalam pengolahan dan analisis data MT. Hasil yang diperoleh dari proses pengolahan data MT akan dikombinasikan dengan data gaya berat. Teknik pengolahan data MT yang dilakukan berupa pemodelan inversi tiga dimensi (3-D) dengan dan tanpa koreksi topografi. Hasil MT akan dikombinasikan dengan hasil gaya berat sebagai metode untuk memperkuat hasil yang diperoleh dari berbagai teknik proses pengolahan data MT tersebut. Hasil kombinasi kedua metode akan digunakan dalam menginterpretasi sistem panas bumi.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Peta geologi daerah Pantar, Provinsi Nusa Tenggara Timur (modifikasi dari Hadi & Kusnadi, 2015)

METODE

Metode MT digunakan untuk mengetahui informasi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai tahanan jenis batuan. Sedangkan metode gaya berat digunakan untuk mengetahui variasi nilai densitas batuan bawah permukaan. Kedua metode ini dapat menggambarkan informasi struktur bawah permukaan yang berkembang di area panas bumi baik itu struktur lokal maupun struktur regional. Struktur-struktur geologi yang teridentifikasi dari hasil geofisika akan dianalisis korelasinya dengan sistem panas bumi. Kedua metode ini juga bisa menggambarkan variasi sifat fisis seperti densitas atau tahanan jenis secara lateral yang diharapkan bisa dijadikan acuan dalam penentuan lapisan reservoir panas bumi. Kombinasi kedua metode geofisika ini diharapkan dapat menggambarkan

informasi struktur bawah permukaan yang berasosiasi dengan sistem panas bumi.

Magnetotellurik (MT)

Metode ini merupakan metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami pada selang frekuensi 0,001 – 1000 Hz. Medan elektromagnet (medan listrik dan medan magnet) diukur secara simultan pada selang waktu yang ditentukan. Hubungan antara medan listrik dan medan magnetik menghasilkan nilai tahanan jenis semu dan fasa (Chave & Weidelt, 2012).

Nilai tahanan jenis semu didapatkan dari rasio antara medan listrik dan medan magnet. Perbandingan tersebut dikenal dengan persamaan Cagniard dan merupakan hasil dari penurunan persamaan Maxwell dalam asumsi bidang

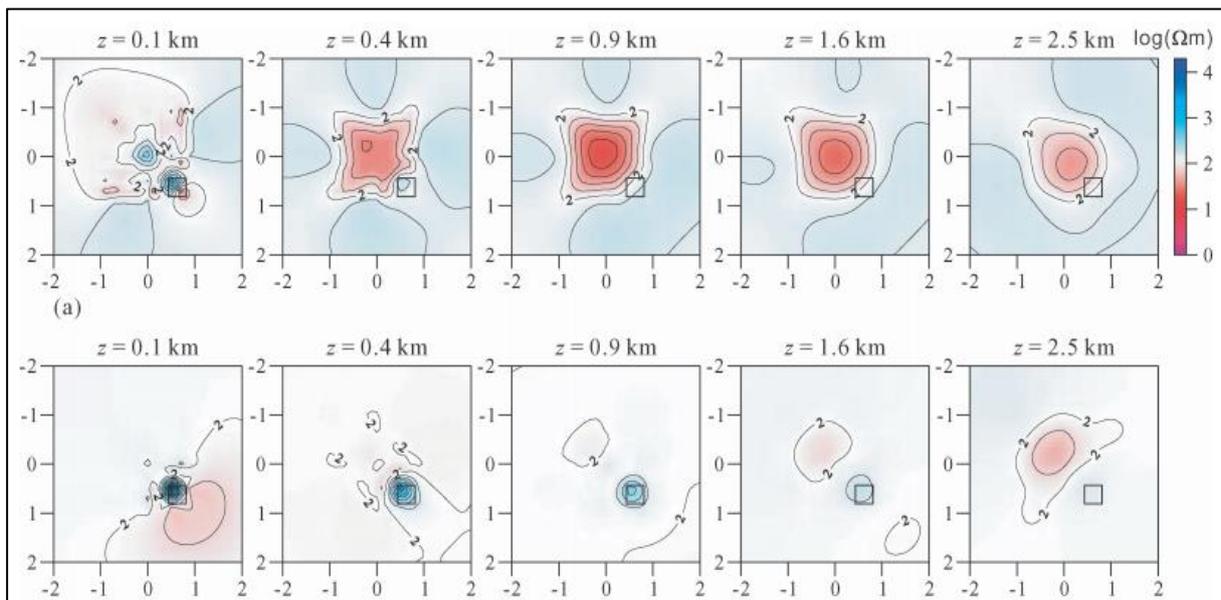
datar (Chave & Weidelt, 2012). Tahanan jenis semu terdiri atas dua kurva tahanan jenis, yakni kurva tahanan jenis xy ($Rho-xy$) dan kurva tahanan jenis yx ($Rho-yx$). Data *Time Domain Elektromagnetic* (TDEM) digunakan dalam pemodelan sebagai pengkoreksi *static shift* data MT (Arnason, 2015).

Pemodelan data MT dilakukan dalam ranah 3-D dengan menggunakan perangkat lunak WS3DINV. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Dr. Weerachai Siripunvaraporn (Siripunvaraporn dkk., 2005). Pemodelan inversi 3-D data MT ini dilakukan dalam asumsi model topografi datar atau tanpa mempertimbangkan efek topografi. Efek topografi yang disebabkan oleh topografi permukaan yang tidak teratur dapat mengakibatkan interpretasi data MT yang kurang tepat (Nam dkk., 2008). Untuk menanggulangi hal ini, dilakukan koreksi topografi dengan menggunakan metode koreksi impedansi (Nam dkk., 2008) dalam pemodelan inversi 3-D.

Koreksi topografi dilakukan karena efek topografi 3-D bisa mendistorsi semua komponen tensor impedansi MT baik itu komponen diagonal maupun komponen

off-diagonal. Hal ini terjadi karena medan listrik maupun medan magnet terdistorsi dalam semua polarisasi, sehingga semua komponen tensor impedansi harus digunakan untuk mendapatkan komponen *off-diagonal* yang tidak terdistorsi (Nam dkk., 2008). Dalam koreksi impedansi yang terdistorsi, konsep tensor terdistorsi juga digunakan yang awalnya dikembangkan sebagai koreksi hanya pada distorsi *galvanic*. Metode koreksi impedansi menghilangkan efek distorsi tensor impedansi MT dengan membuat hubungan yang linear terhadap tensor distorsi 2×2 (Nam dkk., 2008).

Aplikasi koreksi topografi juga efektif dalam mengidentifikasi target zona konduktif. Sedangkan jika tanpa koreksi, keberadaan zona konduktif tersebut tidak jelas. Koreksi topografi juga memberikan gambaran yang lebih jelas pada target yang resistif (Gambar 3). Sedangkan tanpa koreksi tersebut zona resistif tidak tergambar secara jelas dan memungkinkan anomali palsu seperti di target konduktif (Nam dkk., 2008). Berdasarkan gambar tersebut, dapat diasumsikan bahwa aplikasi koreksi topografi pada data MT akan memberikan hasil yang lebih jelas.



Gambar 3. Bagian (a) menunjukkan hasil inversi tanpa koreksi topografi sedangkan bagian (b) menunjukkan hasil inversi dengan koreksi topografi. Kotak kecil dalam peta menunjukkan target resistif (Nam dkk.,2008).

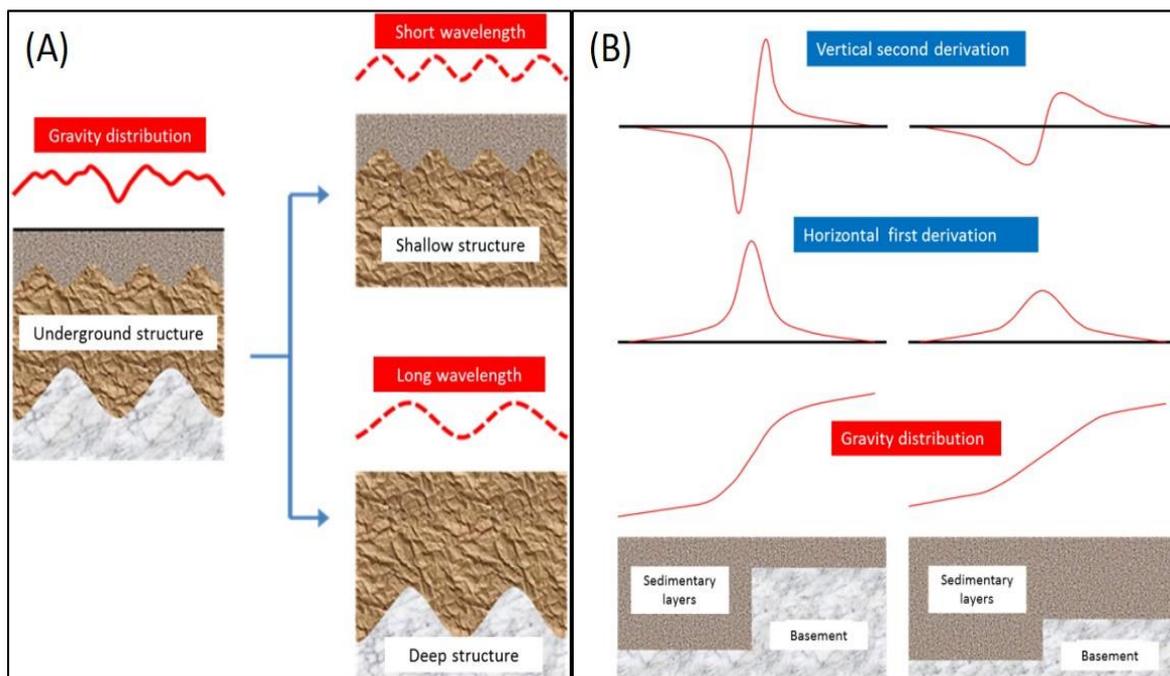
Gaya Berat

Data gaya berat yang terukur di lapangan dikoreksi dengan berbagai macam koreksi seperti koreksi pasang surut, koreksi drift, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi medan dan koreksi Bouguer dengan densitas $2,6 \text{ gr/cm}^3$. Koreksi-koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer. Nilai anomali Bouguer tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya ke arah lateral maupun ke arah vertikal.

Untuk mendapatkan target anomali, anomali Bouguer dipisahkan menjadi anomali regional dan anomali residual (Gambar 4 A). Dalam pemisahan anomali ini, beberapa metode yang bisa dilakukan diantaranya kontinuitas keatas (*upward continuation*) (Ivan, 1986) dan *trend surface analysis* (Obasi dkk., 2016). Setelah dilakukan pemisahan anomali regional dan residual, analisis *first vertical derivative* (fvd) dan *first horizontal derivative* (fhd) dilakukan untuk menarik kelurusan struktur geologi (Gambar 4 B). Penarikan struktur lebih mudah dilakukan dengan menggunakan analisis *first*

horizontal derivative karena struktur diindikasikan dengan nilai tinggi (puncak) (Sugianto dkk., 2017). Sedangkan dalam fvd struktur diindikasikan dengan batas antara nilai rendah (lembah) dan nilai tinggi (puncak).

Metode analisis struktur 3-D Basement mengestimasi kedalaman dari batuan basement dengan asumsi komponen gelombang panjang (*Long wave*) dari anomali Bouguer yang disebabkan oleh relief batuan basement dan formasi geologi yang terdiri atas 2 lapisan (batuan basement dan lapisan di atasnya). Relief batuan basement diperkirakan dengan set-set prisma yang gaya tarikan prisma-prisma tersebut dihitung di atas permukaannya. Penjumlahan dari gaya tarik menarik prisma tersebut merupakan anomali yang terhitung di permukaan. Perkiraan kedalaman relief basement ditentukan berdasarkan perbedaan antara anomali pengamatan (*observed anomaly*) dan anomali penghitungan (*calculated anomaly*). Semakin kecil perbedaannya semakin tepat estimasi kedalaman relief basement (Dhaoui & Gabtni, 2014).



Gambar 4. Ilustrasi anomali gaya berat dari struktur bawah permukaan (A) dan ilustrasi turunan vertikal dan turunan horizontal (B)

HASIL DAN DISKUSI

Magnetotelurik (MT)

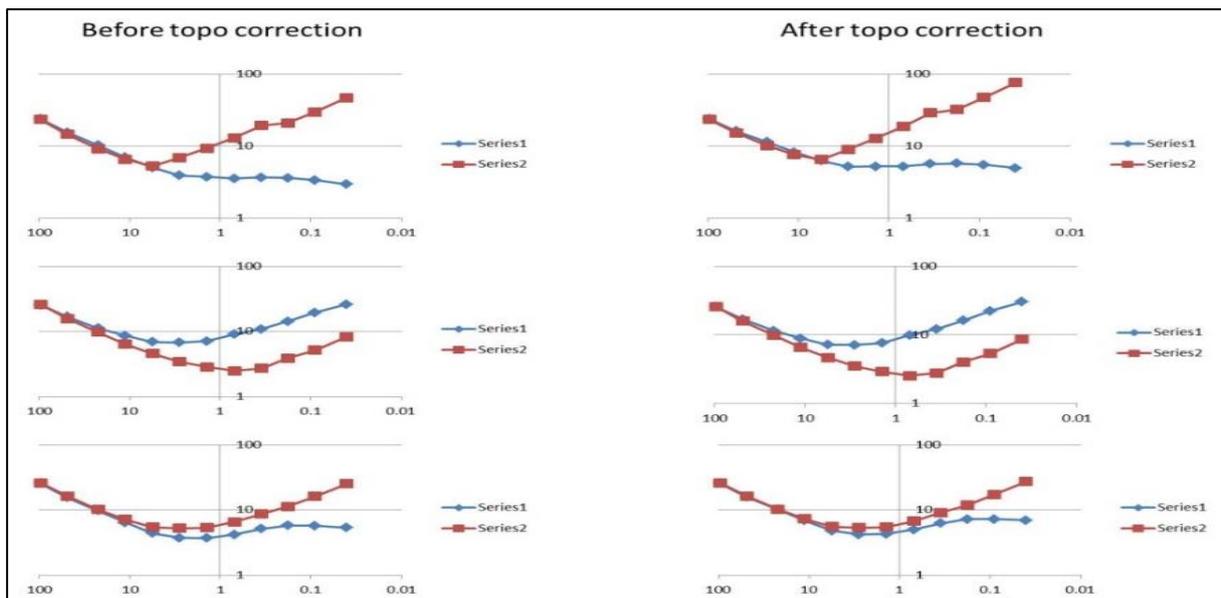
Kurva MT sebelum dilakukan koreksi topografi dan setelah koreksi topografi menunjukkan adanya perbedaan terutama pada frekuensi rendah dibawah 1 Hz. Pada stasiun pengukuran MT yang berada pada topografi tinggi seperti puncak gunung atau bukit, akan memberikan efek nilai anomali tinggi (Nam dkk., 2008). Beberapa contoh data MT yang berada pada topografi tinggi ditunjukkan dalam Gambar 5, dimana nilai tahanan jenis semu setelah dikoreksi topografi lebih besar dibandingkan sebelum koreksi topografi.

Data MT yang telah dikoreksi topografi kemudian dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak WS3-DMT dengan parameter yang sama dengan pemodelan inversi 3-D topografi datar (tanpa topografi). Hasilnya kemudian ditunjukkan dalam peta tahanan jenis perkedalaman dan penampang tahanan jenis. Hasil tersebut dibandingkan dengan pemodelan MT dengan aplikasi koreksi topografi dengan yang tanpa koreksi topografi.

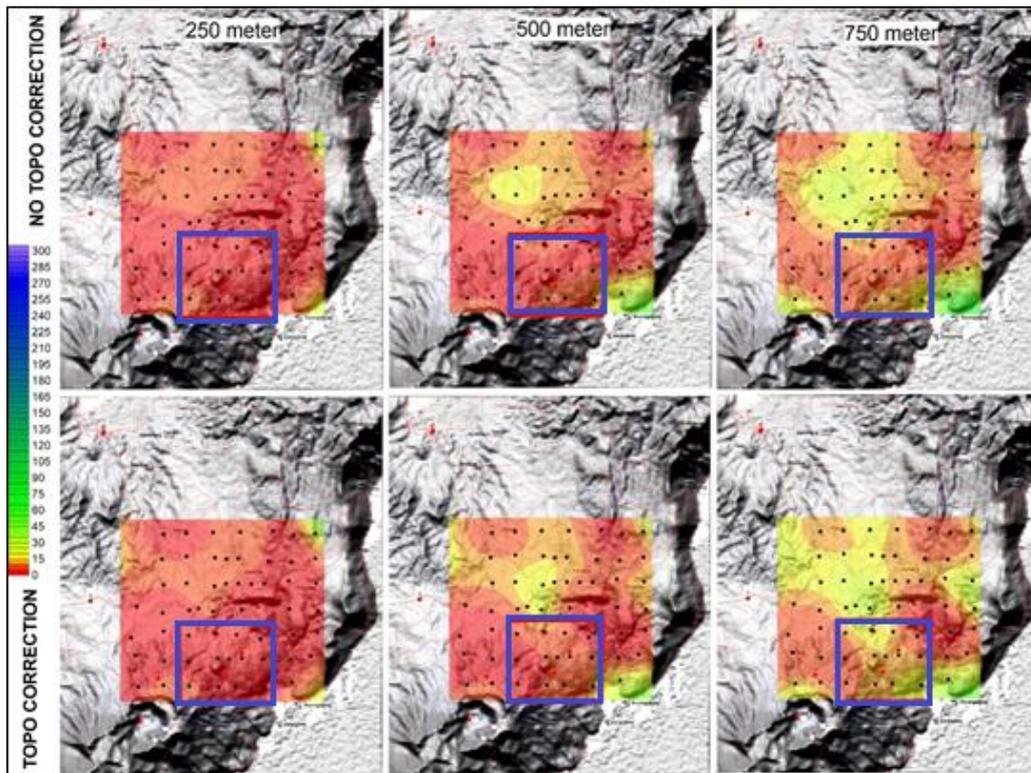
Pada daerah panas bumi Pantar, area Gunung Beang memiliki perbedaan

topografi yang signifikan (kotak biru pada Gambar 6 dan Gambar 7). Pada kedalaman 250 meter belum terlihat perbedaan yang signifikan antara hasil sebelum koreksi topografi dan setelah koreksi. Pada kedalaman ini, didominasi oleh sebaran tahanan jenis rendah <10 Ohmmeter yang bagian tengah ke arah utara diperkirakan merupakan respon dari batuan yang berfungsi sebagai *caprock*. Pada kedalaman 500 meter, sebaran tahanan jenis sebelum dan setelah koreksi topografi masih menunjukkan pola sebaran yang sama. Pada dua model (inversi 3-D sebelum dan setelah koreksi) ini mulai menunjukkan kenaikan nilai tahanan jenis (tahanan jenis medium 10 – 30 Ohmmeter). Nilai tahanan jenis sedang ini diperkirakan sebagai zona transisi antara *caprock* dan *reservoir* dari sistem panas bumi di daerah ini.

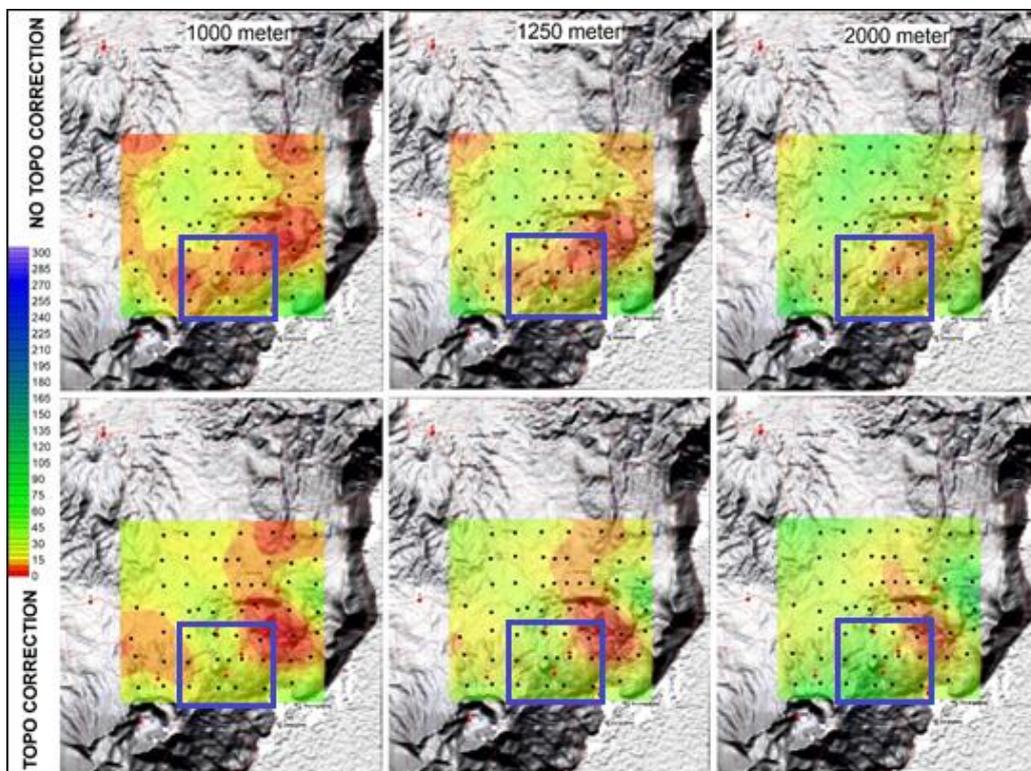
Pada kedalaman 750 meter, nilai tahanan jenis medium mulai menyebar pada semua model hasil inversi. Di dalam kotak birunya, hasil dari inversi 3-D tanpa topografi memiliki nilai tahanan jenis rendah <10 Ohmmeter sedangkan hasil dari inversi 3-D koreksi topografi menunjukkan nilai yang lebih tinggi >10 Ohmmeter. Nilai tahanan jenis sedang di kedalaman ini masih diperkirakan sebagai zona transisi antara *caprock* dan *reservoir*.



Gambar 5. Kurva MT sebelum koreksi topografi (kiri) dan setelah koreksi topografi (kanan)



Gambar 6. Perbandingan peta tahanan jenis berbagai kedalaman antara 3-D tanpa koreksi topografi (atas) dan 3-D dengan koreksi topografi (bawah), kotak biru menunjukkan target anomali kedalaman 250 meter s.d. 750 meter



Gambar 7. Perbandingan peta tahanan jenis berbagai kedalaman antara inversi 3-D tanpa koreksi topografi dan 3-D dengan koreksi topografi. Kotak biru menunjukkan target anomali kedalaman 1000 meter s.d. 2000 meter

Gaya Berat

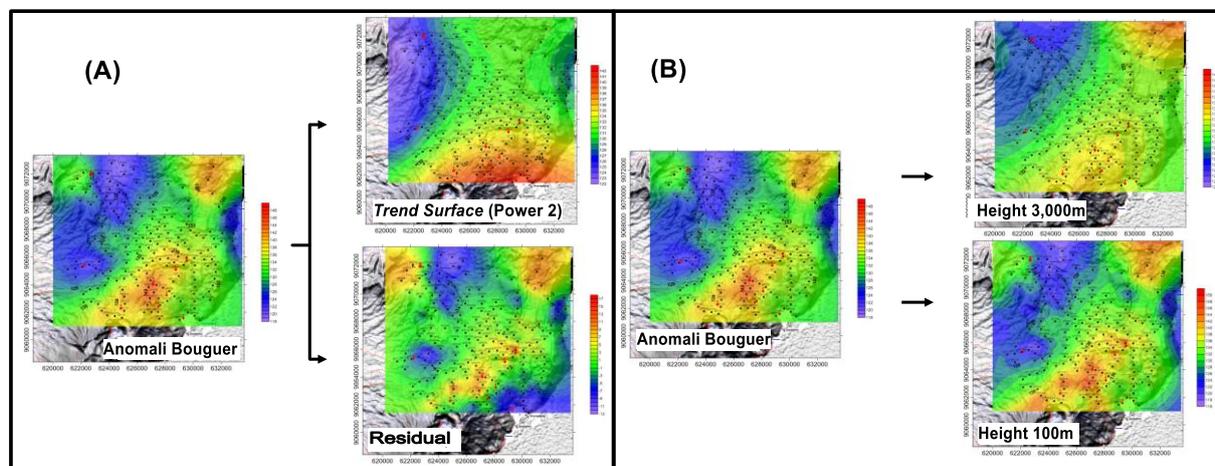
Pengolahan data gaya berat menghasilkan peta anomali Bouguer yang kemudian di pisahkan untuk mendapatkan anomali regional dan anomali residual. Anomali regional digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan di bagian dalam sedangkan anomali residual digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan yang lebih dangkal.

Pada makalah ini teknik penapisan menggunakan *trend surface analysis* dan *upward continuation* (kontinuasi keatas). Hasil dari proses penapisan metode *trend surface analysis* power 2 dapat dilihat dalam Gambar 9 (A). Pada peta anomali regional menunjukkan nilai anomali tinggi berada di bagian selatan dan utara sedangkan nilai anomali rendah berada di bagian barat dan timur. Pola tersebut menunjukkan adanya kelurusan berarah baratdaya-timurlaut. Peta anomali residual menunjukkan pola yang relatif sama dengan peta anomali Bouguer dimana anomali tinggi berada di sekitar manifestasi dan anomali rendah berada di bagian tenggara dan utara.

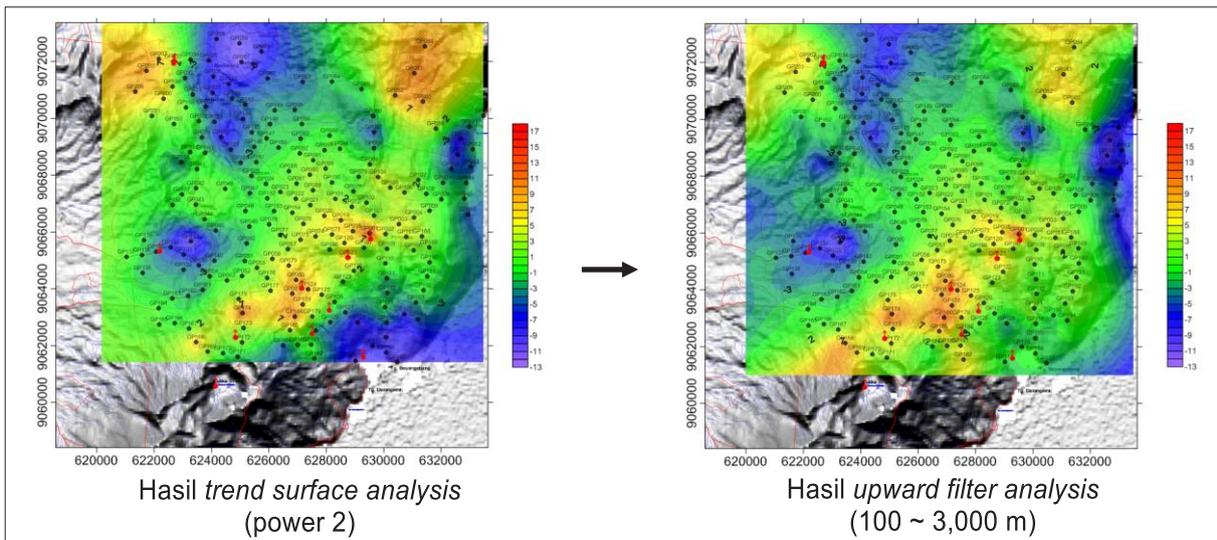
Hasil penapisan dengan menggunakan kontinuasi keatas terlihat pada Gambar 9 (B). Kontinuasi keatas pada ketinggian 3000 meter menunjukkan gambaran anomali yang relatif mirip dengan peta anomali regional. Anomali tinggi berada di

bagian utara dan selatan sedangkan anomali rendah berada di bagian barat dan timur. Kontras anomali rendah dan tinggi membentuk kelurusan yang berarah baratdaya-timurlaut. Kontinuasi keatas pada ketinggian 100 meter menunjukkan hasil anomali yang relatif mirip dengan pola anomali Bouguer. Pengurangan anomali hasil kontinuasi keatas pada ketinggian 100 meter terhadap hasil dari kontinuasi keatas pada ketinggian 3000 meter memberikan gambaran anomali residual.

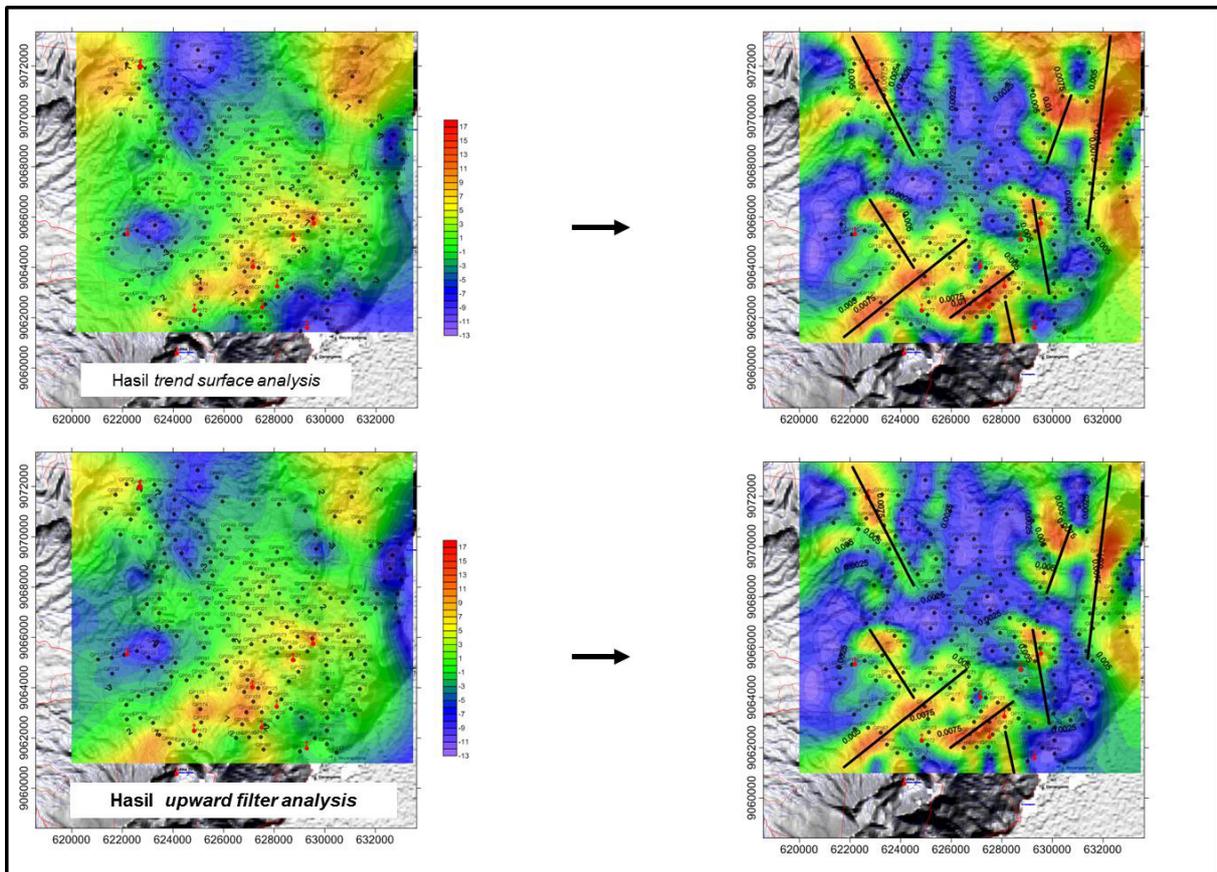
Peta anomali residual yang didapatkan dari kedua teknik penapisan diatas kemudian disandingkan (Gambar 10). Hasil dari kedua teknik penapisan tersebut memiliki kesamaan pola anomali tinggi yang berada di bagian tengah (sekitar manifestasi) memanjang ke arah timurlaut. Zona anomali tinggi ini diapit oleh zona anomali rendah di bagian barat laut dan tenggara. Kemudian dilakukan analisis *first horizontal derivative* (FHD) pada kedua peta anomali residual tersebut agar bisa memberikan gambaran struktur hasil dari kontras anomali tinggi dan anomali rendah Gambar 11. menunjukkan hasil FHD yang didapatkan dari *trend surface analysis* lebih baik kontrasnya dibandingkan hasil dari kontinuasi keatas. Meskipun kedua hasil analisis FHD tersebut secara umum menunjukkan kontras anomali yang hampir sama. Dari peta FHD ini bisa digambarkan kelurusannya untuk memperkirakan struktur di daerah penelitian.



Gambar 9. Hasil *trend surface analysis* (A) dan *upward continuation* (B)



Gambar 10. Perbandingan antara *trend surface analysis* dan *upward continuation*



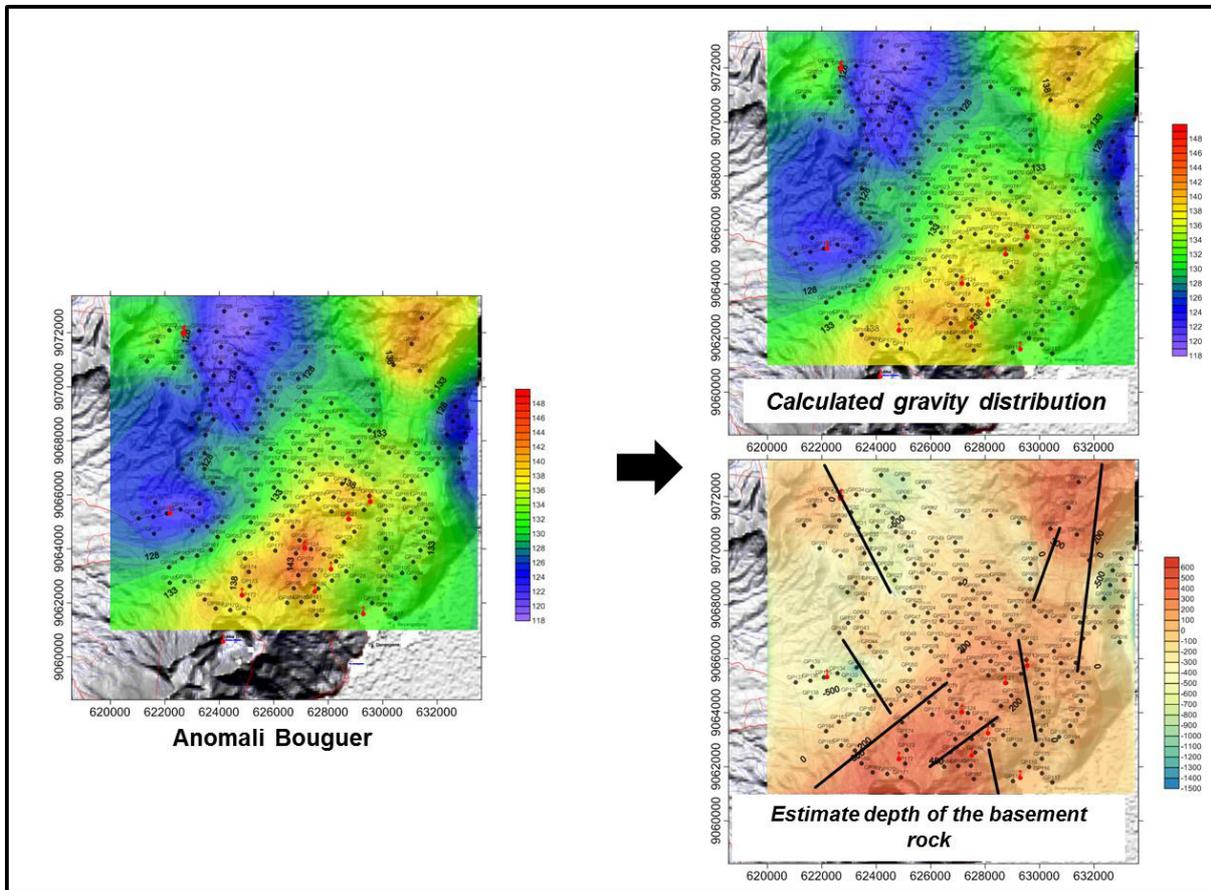
Gambar 11. Perbandingan antara hasil *First Horizontal derivative* dari *trend surface analysis* dan *Upward Continuation*

Untuk lebih memastikan struktur kelurusan di daerah penelitian ini, dilakukan juga analisis struktur basement 3-D yang bisa dilihat dalam Gambar 12. Hasil perhitungan nilai gravitasi dari analisis struktur basement 3-D memberikan hasil yang tidak

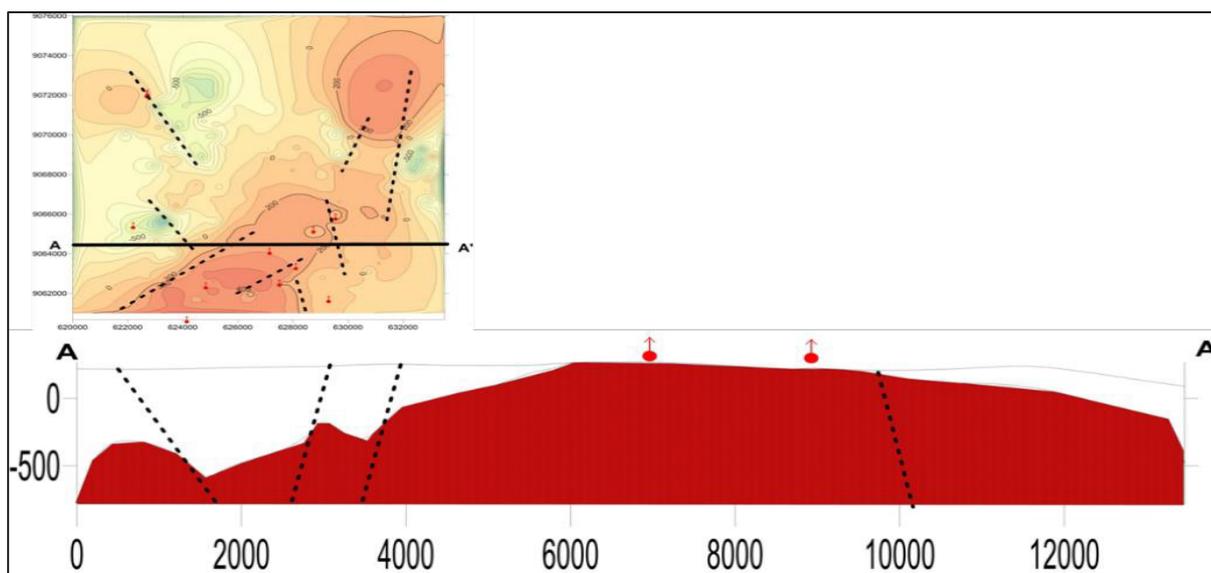
begitu jauh berbeda dengan anomali Bouguer. Estimasi kedalaman basement bervariasi pada elevasi 400 meter hingga elevasi -1200 meter (Gambar 13). Hasil ini sesuai dengan informasi kondisi geologinya dimana batuan basementnya

merupakan batuan vulkanik tua yang tersingkap di permukaan di sekitar manifestasi. Pola kelurusan struktur yang dihasilkan dari analisis FHD dan analisis

struktur basement 3-D memiliki pola yang hampir sama dengan struktur geologi pada peta geologi di daerah ini.



Gambar 12. Hasil analisis struktur basement 3-D



Gambar 13. Penampang struktur basement daerah Pantar

Analisis Terpadu

Hasil pemodelan MT pada kedalaman dangkal menunjukkan adanya tahanan jenis rendah yang konsisten di sekitar manifestasi panas bumi Pantar. Tahanan jenis rendah ini termodelkan oleh MT pada kedua teknik (koreksi topografi /non koreksi). Anomali tahanan jenis ini diperkirakan merupakan batuan teralterasi dengan tingkat alterasi intensif terutama di sekitar Bukit Beang, Puriali dan Air Mama (Gambar 6, 7 dan 8).

Perbedaan pola pemodelan tahanan jenis MT antara kedua teknik mulai terlihat pada kedalaman 750 meter di sekitar Gunung Beang. Pada kedalaman tersebut struktur tahanan tanpa koreksi topografi masih memodelkan nilai tahanan jenis rendah, sedangkan pada model dengan koreksi topografi nilai model tahanan jenis mulai memasuki nilai medium.

Ambiguitas hasil pemodelan merupakan problem besar menarik interpretasi sistem panas bumi. Kesalahan interpretasi akan berakibat fatal dalam rencana eksplorasi selanjutnya. Salah satu solusinya adalah perlu data kebumihan lain sebagai bahan pertimbangan interpretasi. Hasil dari gaya berat dapat dijadikan bahan acuan untuk mengurangi ketidakpastian hasil MT.

Hasil gaya berat menunjukkan adanya anomali tinggi di sekitar Gunung/Bukit beang (Gambar 9 sampai 12). Anomali tinggi pada gaya berat mengindikasikan adanya densitas batuan yang relatif lebih tinggi dari lingkungan sekitarnya. Anomali ini konsisten terindikasi dengan hasil analisis data gaya berat berbagai teknik.

Kombinasi interpretasi hasil gaya berat memperkuat hasil dari model MT dengan koreksi topografi. Anomali tinggi dari gaya berat menunjukkan adanya densitas batuan tinggi yang diperkirakan sebagai sumber panas sistem panas bumi. Analisis ini memperkuat hasil MT dengan koreksi topografi yang menunjukkan adanya nilai tahanan jenis medium dan tinggi di area

sekitar Gunung Beang. Model tahanan jenis tinggi tersebut diperkirakan sebagai zona transisi dan zona reservoir sistem panas bumi.

Berdasarkan hasil MT dengan koreksi topografi dan gaya berat dapat diinterpretasikan zona *caprock* dan zona reservoir sistem panas bumi Pantar. Tahanan jenis rendah dengan nilai <10 Ohmmeter diperkirakan sebagai batuan teralterasi kuat yang berperan sebagai lapisan penudung. Geometri lapisan ini diperkirakan sampai dengan kedalaman sekitar 750 meter dan terbentuk di area sekitar Gunung Beang ke arah utara dan timurlaut. Pada kedalaman 750-1000 meter diperkirakan merupakan zona transisi lapisan penudung dengan zona reservoir yang termodelkan dengan nilai tahanan jenis medium 10-30 Ohmmeter. Area sekitar ini diperkuat oleh data gaya berat dengan keberadaan anomali tinggi.

KESIMPULAN

Proses pengolahan dan pemodelan data MT dapat dilakukan dengan berbagai teknik seperti pemodelan 3-D tanpa melibatkan koreksi topografi atau dengan koreksi topografi. Hasil pemodelan yang diperoleh dari teknik tersebut memperlihatkan perbedaan yang tidak signifikan pada area dengan variasi topografi rendah (pedataran). Sedangkan pada area dengan variasi topografi tinggi terdapat perbedaan signifikan pada model tahanan jenis yang diperoleh di daerah Pantar.

Penggunaan data gaya berat sebagai metode kombinasi dapat memperkuat hasil yang diperoleh dari berbagai teknik proses pengolahan data MT. Hasil analisis gaya berat di daerah Pantar memperlihatkan hasil yang mendukung pemodelan menggunakan teknik inversi 3-D dengan koreksi topografi.

Kombinasi kedua hasil metode tersebut (gaya berat dan koreksi topografi) secara jelas menggambarkan informasi yang lebih baik mengenai keberadaan dari *caprock*

atau lapisan penudung dan zona reservoir sistem panas bumi Pantar. Zona anomali tinggi yang termodelkan pada hasil MT dan juga pada hasil gaya berat mempertegas adanya tubuh vulkanik muda yang diinterpretasikan sebagai sumber panas sistem panas bumi.

Zona *caprock* termodelkan di area sekitar Gunung Beang sampai dengan kedalaman 750 meter. Zona transisi antara lapisan penudung dan zona reservoir diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 750-1000 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, WestJec Japan, Kumamoto University dan New Energy Foundation Japan atas semua bantuannya. Terkhusus kepada Mr. Mitsuru Honda dan Dr. Saito dari WestJec yang telah memberikan izin dalam penggunaan program mereka.

DAFTAR PUSTAKA

Arnason, K. (2015). The Static Shift Problem in MT Soundings. *World Geothermal Congress*. Melbourne: 2015.

Chave, A. D., & Weidelt, P. (2012). The Theoretical Basis for Electromagnetic Induction. Dalam A. D. Chave, & A. G. Jones, *The Magnetotelluric Method* (hal. 19-44). Cambridge: Cambridge University Press.

Dhaoui, M., & Gabtni, H. (2014). Depth to basement analysis from gravity field over the Guelb Ahmer horst (Ghadames petroleum province, Southern Tunisia, North Africa). *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG) vol 2 Issue 5*, 122-127.

Hadi, M., & Kusnadi, D. (2015). *Survei Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pantar, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

Ivan, M. (1986). On The Upward Continuation of Potential Field Data Between Irregular Surfaces. *Geophysical Prospecting*, 735-742.

Nam, M., Kim, H., Song, Y., Lee, T., & Suh, J. (2008). Three-dimensional topography corrections of magnetotelluric data. *Geophys. J. Int.*

Noya, Y., & Koesoemadinata. (1991). *Peta Geologi Regional Lembar Pantar dan Wetar*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Obasi, A., Onwumesi, A., & Romanus, O. (2016). An Enhanced Trend Surface Analysis Equation for Regional-Residual Separation of Gravity Data. *Journal of Applied Geophysics 135*, 90-99.

Siripunvaraporn, W., Egbert, G., Lenbury, Y., & Uyeshima, M. (2005). Three-dimensional magnetotelluric inversion: data-space method. *Physics of The Earth And Planetary Interiors*, 3-14.

Sugianto, A., Takodama, I., & Rahadinata, T. (2017). Identifikasi Struktur Sistem Panas Bumi Pantar Berdasarkan Analisis Gradien Horizontal dan Pemodelan 3D Data Gaya Berat. *Buletin Sumber Daya Geologi Vol.12 no.2*, 135-143.

Diterima	: 28 Oktober 2019
Direvisi	: 13 November 2019
Disetujui	: 30 November 2019

**KARAKTERISTIK CEBAKAN EPITERMAL TIPE SULFIDASI TINGGI
DI DAERAH ERELEMBANG, TOMBOLO PAO, KABUPATEN GOWA,
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**CHARACTERISTICS OF HIGH SULFIDATION EPITHERMAL DEPOSIT TYPE
IN THE ERELEMBANG, TOMBOLOPAO AREA, GOWA DISTRICT,
SOUTH SULAWESI PROVINCE**

Edya Putra, Bambang Nugroho Widi, dan Rudy Gunradi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
edgeo.putra@gmail.com

ABSTRAK

Mineralisasi di wilayah Erelembang, Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan merupakan salah satu tipe mineralisasi yang cukup menarik di kawasan ini. Penciri utama proses mineralisasi adalah munculnya alterasi silisifikasi, argilik-argilik lanjut, dan propilitik yang membentuk suatu zona. Kehadiran mineral alterasi spesifik yang teridentifikasi meliputi *alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, dan *pyrophyllite*, sebagai zona argilik-argilik lanjut, dengan luas sebarannya lebih dari 2 km², menunjukkan zona ubahan bersifat asam. Selain itu, hal lain yang menonjol adalah tekstur *vuggy silica* dalam zona batuan berubah karena proses pelarutan.

Hasil pengamatan pada sayatan poles diketahui mineral sulfida yang teridentifikasi adalah pirit, tetrahidrit, kovelit, enargit, serta *hydrous iron oxide*, dan sedikit kalkopirit, malakit, tenantit, galena dan hematit yang terdapat secara tersebar dalam zona argilik-argilik lanjut. Korelasi mineral ubahan yang spesifik (*alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, *pyrophyllite*), dengan mineral bijihnya (enargit, tenantit, tetrahidrit, dan kovelit) serta *vuggy silica* dapat memberikan gambaran mineralisasinya tipe epitermal sulfidasi tinggi. Munculnya konsentrasi anomali merkuri di wilayah tertentu, menunjukkan bahwa model cebakannya adalah tipe epitermal sulfidasi tinggi yang terbentuk pada lingkungan yang dangkal. Penelitian ini akan memberikan informasi baru terkait dengan konsep eksplorasi yang akan diterapkan di wilayah ini.

Kata kunci: Epitermal, sulfidasi tinggi, alterasi, mineralisasi, Erelembang

ABSTRACT

Mineralization in the Erelembang region, Tombolo Pao, Gowa Regency, South Sulawesi is one of interesting mineralization in this region. The main characteristic of the mineralization is the presence of silicic, argillic - advanced argillic, and propylitic alteration which form zones. The presence of specific alteration minerals that were identified involve alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, and pyrophyllite as argillic-advanced argillic zone, with an area of > 2km², indicating an acidic alteration zones. Beside that, the most specific thing is a texture of vuggy silica found within a zone of altered rocks due to leaching process.

The observation result on polished section are known that sulfide minerals which was identified: pyrite, tetrahydrite, kovelite, enargite, and hydrous iron oxide, and small amount of chalcopyrite, malachite, tenantite, galena and hematite found as dissemination within argillic-advanced argillic zone. Correlation between specific alteration minerals (alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, pyrophyllite), and ore mineral (enargite, tenantite, tetrahydrite, and kovelite), and vuggy silica can give illustration that mineralization can occurred in a high sulfidation. The raise of merkuri anomaly in certain region, it seem indicate that the deposit

model of this area is a high sulfidation epithermal type, formed in the shallow environments. This research will give a new information related with exploration concept that will be applied in this area.

Keywords: Epithermal, high sulfidation, alteration, mineralization, Erelembang

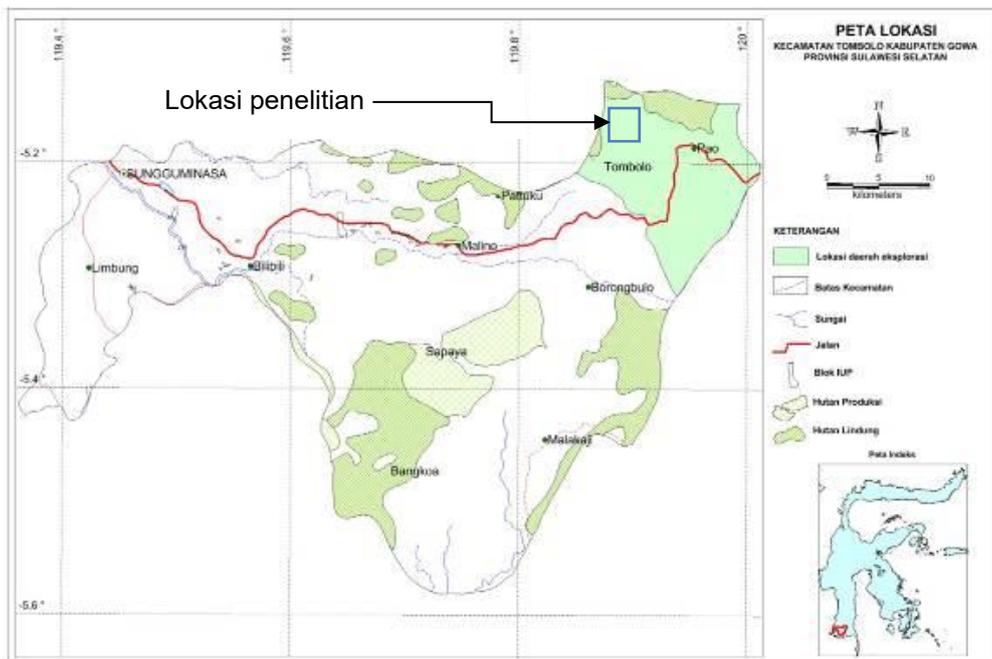
PENDAHULUAN

Daerah penelitian secara administratif terletak di Desa Erelembang, Kecamatan Tombolopao, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1). Secara geografis dibatasi oleh koordinat $119^{\circ} 51' 33.92''$ - $119^{\circ} 55' 4.08''$ Bujur Timur dan $5^{\circ} 7' 2.23''$ - $5^{\circ} 11' 41.71''$ Lintang Selatan. Secara geologi daerah tersebut merupakan suatu unit stratigrafi-tekonik atau lithotektonik pada Busur Vulkano-Plutonik Sulawesi Bagian Utara sampai Sulawesi Bagian Barat. Jalur tersebut (Sulawesi bagian Utara – Sulawesi bagian Barat) banyak sekali ditemukan cebakan mineral dengan berbagai tipe cebakan. diantaranya porfiri, skarn, epitermal sulfidasi rendah (LS) dan sulfida tinggi (HS), VMS dan sebagainya (Leeuwen and Pieters, 2011).

Daerah Erelembang memiliki ciri mineralisasi berbeda dengan daerah lain di sekitarnya, seperti di daerah Talatala - Sungai Balang Makorret yang umumnya

berupa tipe urat dengan ketebalan 5 cm s.d. 50 cm dan berarah relatif Barat-Timur, yang berada dalam batuan vulkanik terubah kuat dengan kumpulan mineral alterasi hidrotermal, seperti serisit, felspar (kaolin), kuarsa, pirit dan sedikit epidot (Zulkifli. MD, 2002).

Sedangkan daerah Erelembang, pemineralan yang terbentuk bukan berupa tipe urat, namun tersebar (*disseminated*) dalam zona alterasi argilik-argilik lanjut, dengan kumpulan mineral alterasi berupa: *alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, *pyrophyllite*. Kehadiran mineral ubahan *alunite* di daerah Erelembang ini menjadi pembeda di antara kedua daerah mineralisasi tersebut, meskipun keduanya berkembang di dalam batuan vulkanik pada formasi batuan yang sama. Hal tersebut menjadi alasan dilakukannya penelitian di wilayah Erelembang ini dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik cebakannya.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

METODOLOGI

Kegiatan penelitian dilakukan dengan cara pengamatan dan pemetaan geologi pada lintasan sungai, punggung dan jalan di sekitar daerah terpilih. Maksudnya untuk mengamati perubahan satuan batuan, jenis batuan, alterasi dan mineralisasi serta gejala-gejala geologi lainnya. Pengumpulan data dan informasi primer yang dilakukan berupa:

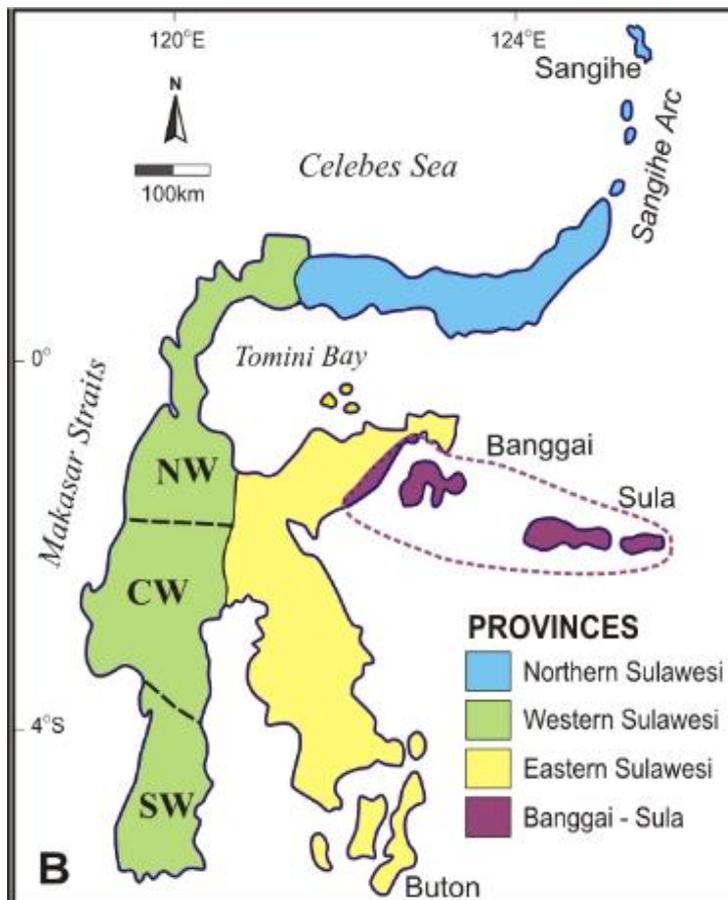
- Pemetaan geologi dan alterasi skala 1:25.000.
- Pemercontaan tanah (*ridge and spur*) dan batuan termineralisasi (*rock chip, float chip, channeling*).

Uji Laboratorium yang dilakukan di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) meliputi analisis kimia dengan metode AAS yang terdiri dari conto tanah dan batuan, analisis petrografi, mineragrafi, dan analisis mineral dengan

infrared analyzer (PIMA). Pengolahan hasil analisis conto tanah dengan statistik deskripsi sederhana, serta *plotting* data pada peta dasar ber skala 1 : 5000.

TEKTONIK DAN GEOLOGI REGIONAL

Telah banyak penelitian terkait latar belakang tektonik Pulau Sulawesi diantaranya; Kadarusman et al. 2004; Van Leuwen and Pieters 2011; Monnier, C., Parkinson 1998). Secara umum pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi empat provinsi geologi dan metalogeni, yaitu: (1) Sulawesi Bagian Utara, (2) Sulawesi Bagian Barat, (3) Sulawesi Bagian Timur, (4) Banggai Sula (Gambar 2). Provinsi Bagian Utara dan Bagian Barat Sulawesi dianggap sebagai sebuah unit stratigrafi-tektonik atau lithotektonik yang disebut Busur Vulkano-Plutonik, dimana lokasi penelitian terdapat.



Gambar 2. Pulau Sulawesi terbagi menjadi empat provinsi geologi dan metalogeni (Leeuwen and Pieters, 2011)

GEOLOGI REGIONAL

Stratigrafi

Merujuk pada Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi (Rab Sukanto dan Sam Supriatna, 1982) (Gambar 3), stratigrafi daerah penyelidikan ditempati oleh satuan batuan tertua Formasi Tonasa (Temt) yang terdiri dari batugamping pejal dan berlapis, koral, bioklastik, kalkarenit dengan sisipan napal, batugamping pasiran, dengan umur Eosen sampai Miosen Tengah. Di atas terdapat Formasi Camba (Tmc) tersusun dari batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi, batupasir tufaan berselingan dengan tufa, batupasir dan batu lempung bersisipan napal, batugamping, konglomerat, breksi gunungapi dan batubara. Formasi Camba (Tmc) menjemari dengan batuan gunungapi Formasi Camba (Tmcv), terdiri dari breksi gunungapi, lava, konglomerat dan tufa berbutir halus hingga lapili berumur Miosen Tengah sampai Pliosen.

Batuan Gunungapi Baturappe - Cindako (Tpbv) terbentuk secara setempat, terdiri dari lava dan breksi bersusunan basal dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat, umumnya didominasi oleh lava (Tpbl) berumur Pliosen Akhir. Satuan batuan gunungapi termuda adalah Batuan Gunungapi Lompobatang (Qlv), terdiri dari aglomerat, lava, breksi, endapan lahar dan tufa berumur Plistosen. Sedimen termuda berupa endapan aluvial dan pantai (Qac), berumur Holosen.

Batuan terobosan diorit (d) berupa stok dan retas atau *sill*, menerobos Formasi Tonasa (Temt), Formasi Camba (Tmcv) dan batuan Gunungapi Baturappe - Cindako (Tpbv) menyebabkan batuan di sekitarnya berubah kuat, berumur Miosen Akhir (JD. Obradovich, 1974). Batuan terobosan andesit/trakhit (a/b) berupa retas dan *stock* menerobos batuan gamping Formasi

Camba (Tmcv) dan Batuan Gunungapi Baturappe - Cindako (Tpbv). Batuan terobosan basal (b) berupa retas, *sill* dan stok, di antaranya mempunyai tekstur gabro. Terobosan basal di Jenebarang merupakan kelompok retas berpola *radier* yang memusat ke Baturappe dan Cindako, sedangkan yang di sebelah utara Jeneponto berupa *stock* berumur Miosen Akhir sampai Pliosen Akhir.

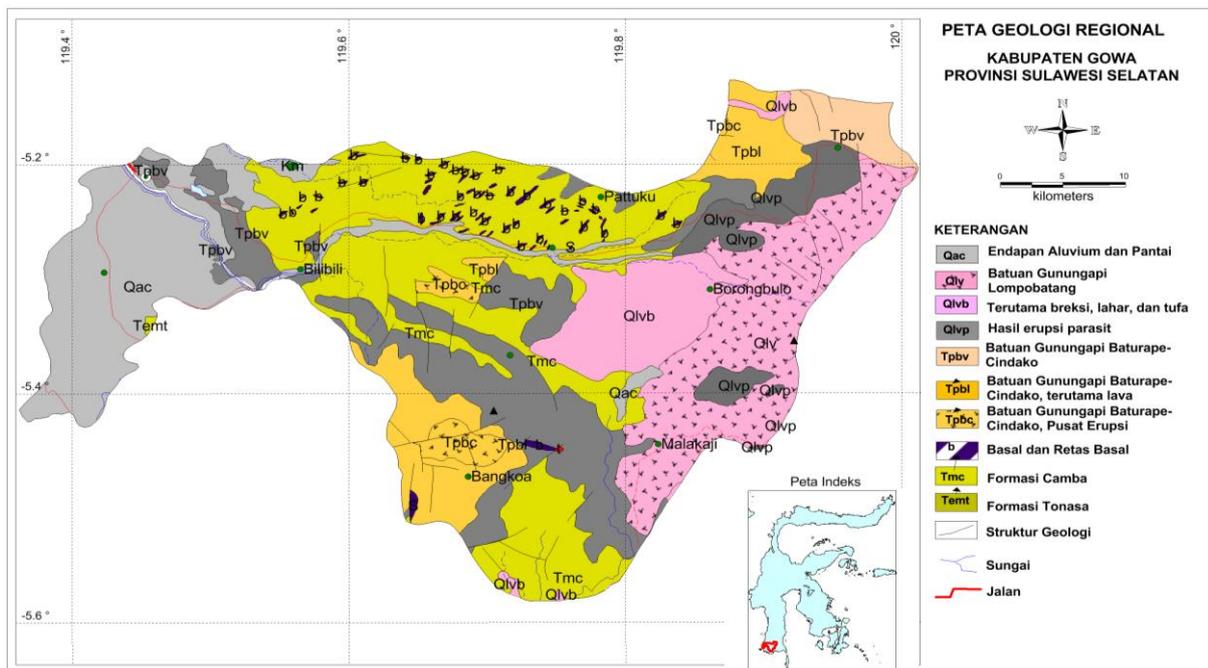
Struktur Geologi

Struktur geologi daerah ini berupa sesar dan kekar. Sesar umumnya berarah Utara - Selatan sampai Barat Laut - Tenggara, berupa sesar geser dan sesar normal dan sesar naik. Kekar secara umum berarah Barat Laut - Tenggara sampai Timur Laut - Barat Daya dengan intensitas rendah, terutama dijumpai pada batuan terobosan dan batuan Gunungapi Baturappe - Cindako.

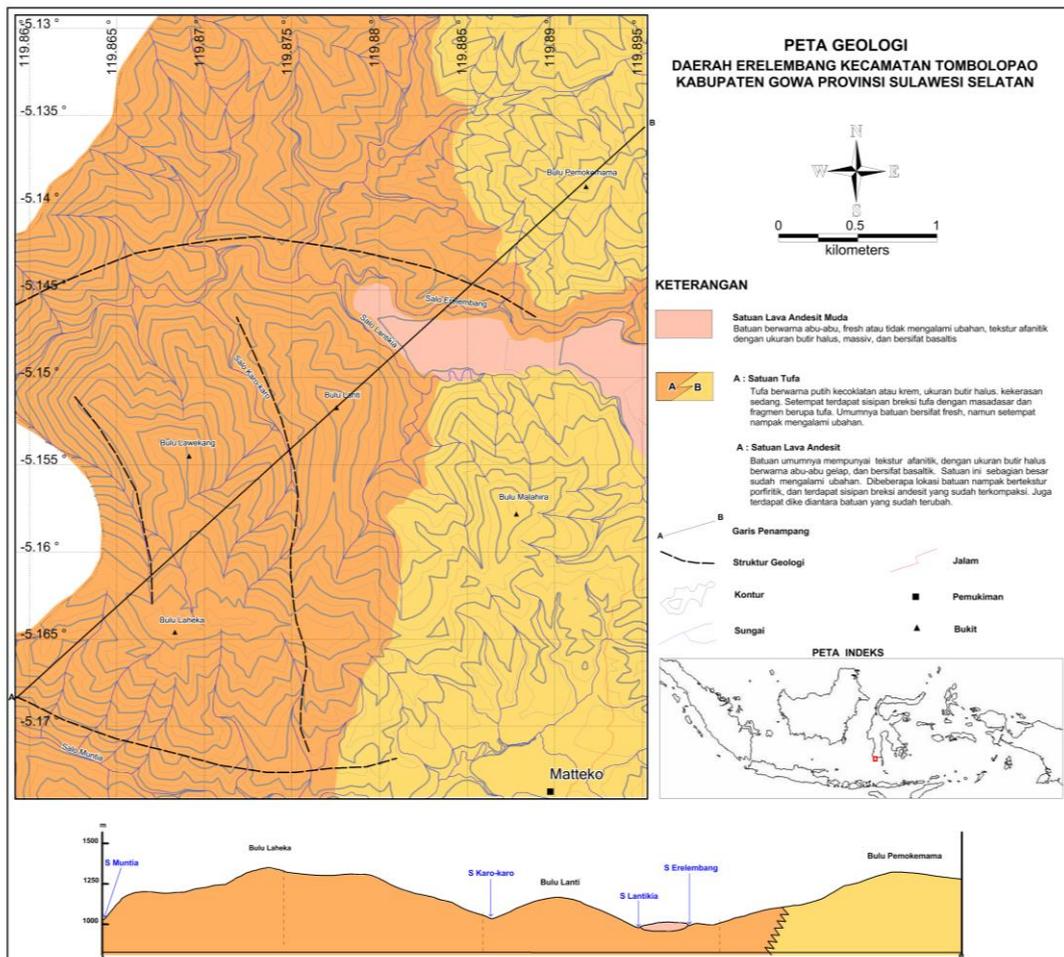
GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Litologi daerah Erelembang dibagi menjadi tiga satuan batuan dari tua ke muda sebagai berikut: Satuan Lava Andesit, Satuan Tufa, dan Satuan Lava Andesit Muda. (Gambar 4).

Satuan Lava Andesit ini merupakan satuan paling luas sebarannya, sebagian besar sudah berubah, yang didominasi oleh lava andesit afanitik, setempat porfiritik, breksi andesit, dan retas andesit memotong lava andesit, dan setempat dasit di bagian hulu Sungai Karo-karo. Lava Andesit afanitik mempunyai ukuran butir halus, fenokris plagioklas agak jarang, *masif*, keras, berwarna abu-abu gelap, dan bersifat basaltik. Sebagian besar satuan ini sudah mengalami ubahan, hampir di sepanjang Sungai Erelembang, dan di sebagian besar Sungai Lantikia, dan Sungai Karo-karo. Satuan ini diduga bagian dari Formasi Batuan Gunungapi Baturappe-Cindako (Tpbv) berumur Pliosen Akhir.



Gambar 3. Peta geologi regional Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (Rab Sukanto dan Sam Supriatna, 1982)



Gambar 4. Peta Geologi Daerah Erelembang, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan

Satuan Tufa menjemari dengan Satuan Lava Andesit. Selain tufa, juga nampak breksi tufa sebagai sisipan dalam satuan tufa tersebut. Selain itu setempat juga nampak tufa lapilli dengan ukuran butir sedang. Secara megaskopis diidentifikasi tufa berwarna putih kecoklatan atau krem, ukuran butir halus, kekerasan sedang, terdiri dari material debu vulkanik, dan setempat sisipan breksi tufa dengan masadasar dan fragmen berupa tufa, umumnya bersifat segar, setempat nampak mengalami ubahan. Satuan ini diduga merupakan bagian dari Formasi Batuan Gunungapi Baturappe - Cindako (Tpbv) yang berumur Pliosen Akhir.

Satuan Lava Andesit merupakan satuan batuan paling muda. Secara megaskopis berwarna abu-abu, bertekstur afanitik dengan ukuran butir halus, masif, bersifat basaltis, dan batuan segar atau tidak mengalami ubahan. Satuan ini diduga termasuk dalam Formasi batuan Gunungapi Lompobatang (Qlv), yang berumur Plistosen.

Struktur geologi daerah ini berupa kekar dan sesar. Petunjuk struktur geologi yang teramati pada singkapan berupa kekar-kekar diantaranya *columnar joint*, dan kelurusan sungai terbentuk sepanjang sesar relatif berarah Utara - Selatan sampai Barat Laut - Tenggara, dan juga relatif berarah Barat - Timur.

Alterasi dan Mineralisasi

Zona alterasi juga dijumpai di daerah Erelembang, terdiri dari zona propilit, argilik-argilik lanjut, dan silisifikasi. Zona propilit terdapat di bagian luar atau pinggir zona alterasi argilik pada bagian timur, utara serta bagian selatan daerah penelitian. Zona alterasi argilik paling luas, penyebarannya lebih dari 2 km² yang secara megaskopis berwarna putih keabuan hingga abu-abu cerah, sebagian

besar mengandung pirit halus dan menyebar dalam batuan. Sebagian besar batuanya agak keras, di bagian luar umumnya teroksidasi dengan warna kecoklatan. alterasi silisifikasi cukup luas nampak di daerah sekitar Bulu (bukit) Laheka dan kadangkala setempat dalam zona alterasi argilik.

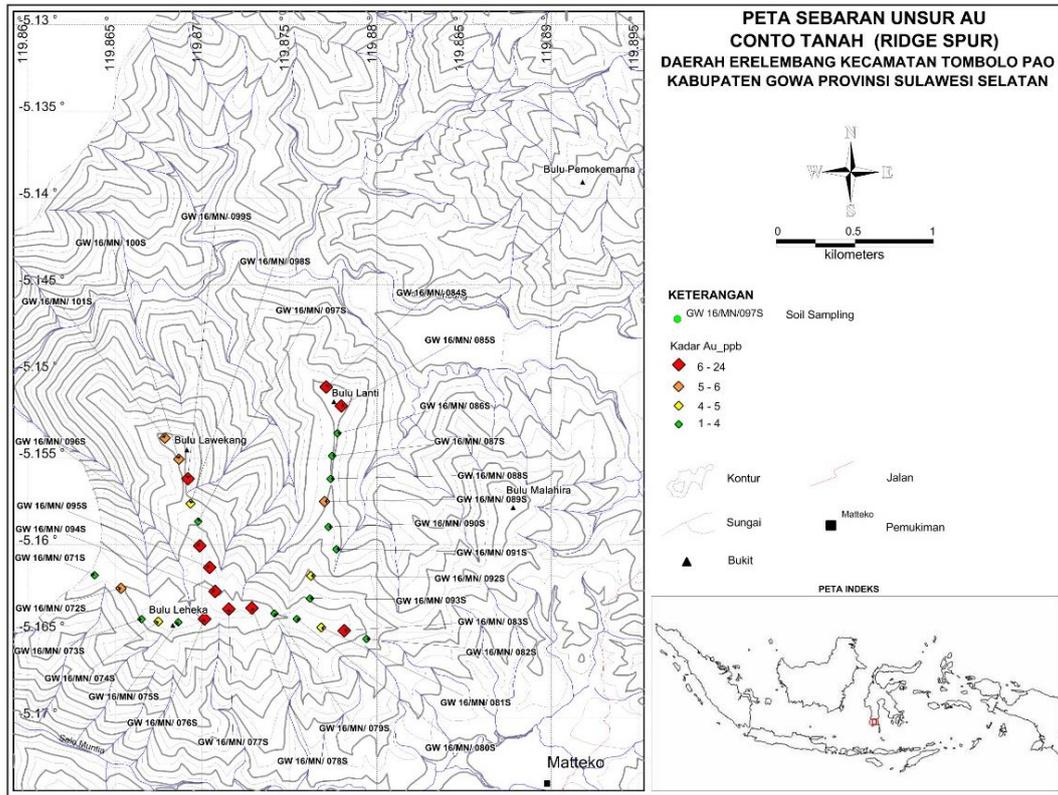
Mineralisasi dominan teramati langsung di lapangan terdiri dari pirit, malakit dan sedikit kalkopirit, yang umumnya tersebar luas (*disseminated*) dalam alterasi argilik.

HASIL DAN ANALISIS

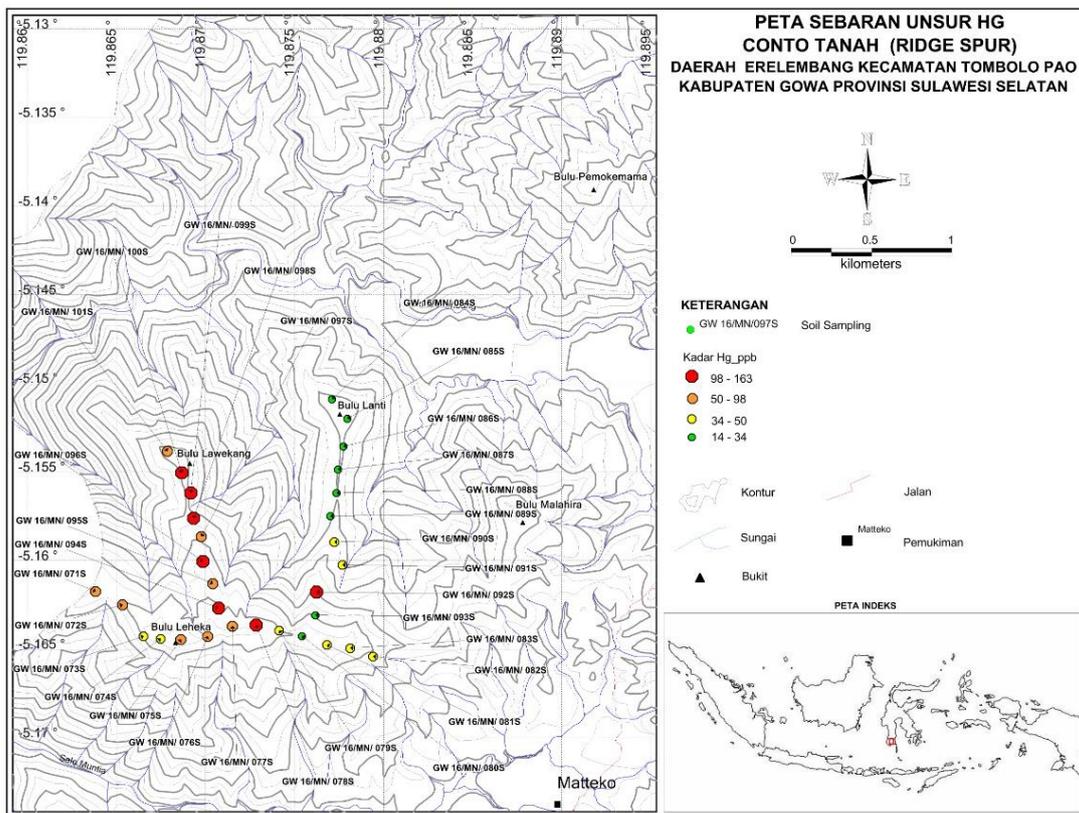
Analisis laboratorium kimia terhadap 76 conto batuan terubah dan termineralisasi, menunjukkan kadar yang tidak signifikan. Unsur Au berkisar: 1 - 35 ppb, Ag: 0,1 - 2,9 ppm, Cu: 2 - 136 ppm, Pb: 1 - 317 ppm, Zn: 1 - 220 ppm.

Hasil analisis kimia terhadap 31 conto tanah, menunjukkan kadar unsur Au berkisar: 1 - 24 ppb, Ag: 1 - 2,2 ppm, Cu: 10 - 120 ppm, Pb: 32 - 90 ppm, Zn: 7 - 189 ppm, As: 3 - 26 ppm, Sb: 3 - 10 ppm, dan Hg: 14 - 163 ppb. Meski menunjukkan kadar yang rendah, dari permukaan namun dilihat dari pola sebaran unturnya, (Au, Hg, dan Cu) cukup menarik, serta ditunjang dengan data alterasi. Dilihat dari peta sebaran, anomali unsur Au nampak berada dekat puncak Bulu Laheka bagian Timur dan punggung Selatan Bulu Lawekang hingga percabangan Bulu Laheka (Gambar 5).

Peta sebaran anomali Hg (Gambar 6), menunjukkan anomali hampir terdapat di sepanjang punggung Bulu Lawekang bagian Selatan, sangat kontras dibanding dengan daerah lainnya. Diduga kuat bahwa anomali Hg memberikan korelasi dengan anomali Au yang juga dominan di sepanjang punggung Bulu Lawekang di bagian Selatan. (Gambar 5 dan Gambar 6).



Gambar 5. Peta sebaran unsur Au (ppb) dari conto tanah



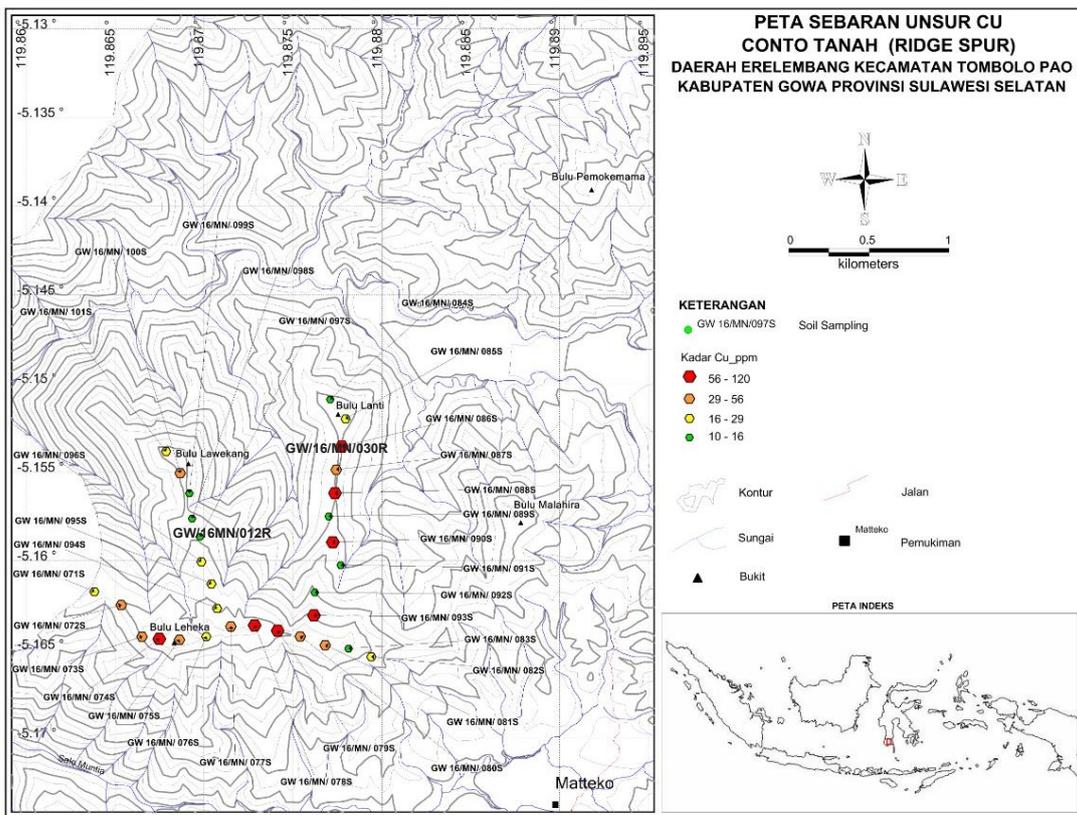
Gambar 6. Peta sebaran unsur Hg (ppb) dari conto tanah

Pada peta sebaran unsur (Gambar 7), unsur Cu memperlihatkan pola sebaran anomali yang terpola. Sebaran anomali tersebut, hampir di sepanjang punggunggan Bulu Lanti hingga percabangan dengan punggunggan Bulu Leheka.

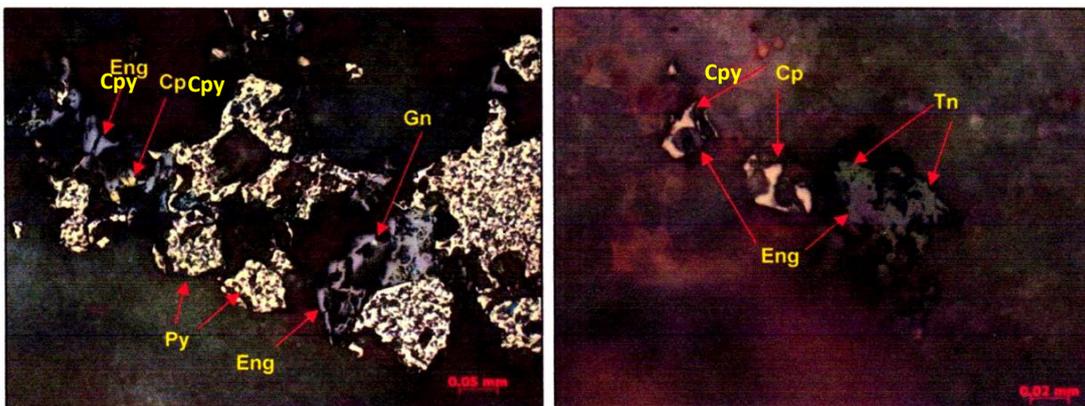
Analisis mineragrafi terhadap 11 conto batuan termineralisasi, mineral logam yang teridentifikasi didominasi oleh pirit, diikuti dengan sejumlah variasi mineral: tetrahidrit (tet), kovelit (cv) enargit (Eng), serta

hydrous iron oxide, dan sedikit kalkopirit (Cpy), malakit (Mal), tenantit (tn), galena (Gn) dan hematit (hm).

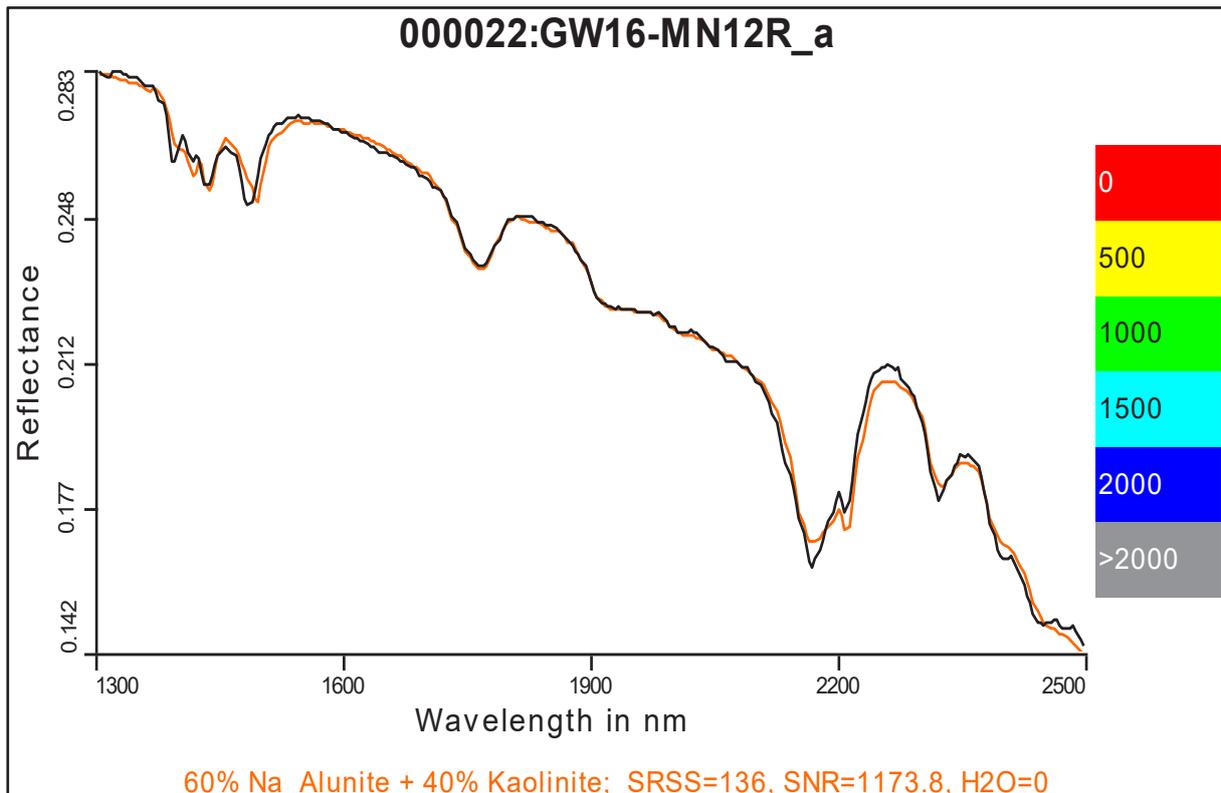
Mineral ubahan (Gambar 8) diidentifikasi dengan metode PIMA sebanyak 17 contoh yang hasilnya menunjukkan kumpulan mineral ubahan zona alterasi argilik (*kaolinite, illte, montmorilonite*), zona alterasi argilik lanjut (*alunite, pyrophyllite, halloysite*), dan zona propilit (*illite-chlorite*) (Gambar 9).



Gambar 7. Peta sebaran unsur Cu (ppm) dari conto tanah



Gambar 8. Fotomikrograf sayatan poles pada conto GW/16/MN/030R



Gambar 9. Salah satu hasil Analisis dengan PIMA pada conto GW/16MN/012R menunjukkan Alunit dan kaolinit

Karakteristik Mineralisasi

Luasnya sebaran atau zona alterasi daerah Erelembang lebih dari 2 km², diduga kontrol litologi lebih dominan, selain kontrol struktural yang merupakan faktor menonjol berarah relatif utara – selatan. Hal tersebut dapat dilihat dari sebaran alterasi (Gambar 17). Hasil pengamatan di lapangan yang didukung analisis dengan PIMA, menunjukkan zona alterasi daerah penyelidikan terdiri dari; zona silisifikasi (*massive silica & vuggy silica*), zona argilik-argilik lanjut, dan zona propilit.

Silisifikasi sebarannya terbatas hanya menempati wilayah tertentu, masih termasuk dalam wilayah ubahan argilik. (Gambar 17) Sebaran zona silisifikasi terdapat di sekitar Bulu Laheka, atau bagian selatan punggung Bulu Lawekang. Selain berupa singkapan, juga

tampak *boulder* tersilisifikasi, umumnya berwarna abu-abu, breksia, setempat *vuggy*, sulfida pirit sangat jarang, sebagian nampak teramati berupa *boulder massive silica* dan *vuggy silica*.

Zona argilik di daerah Erelembang tersebar cukup luas (> 2 km²). Zona alterasi ini berkembang cukup baik, terutama di daerah bagian tengah sampai bagian barat wilayah penyelidikan, tersebar dihampir sepanjang Sungai Lantikia, dan Sungai Karo-karo (Gambar 11). Secara megaskopis alterasi argilik berwarna putih keabuan hingga abu-abu cerah, sebagian besar mengandung pirit halus dan tersebar dalam batuan. Pada bagian luar batuan mengalami oksidasi (coklat keputihan) karena faktor pelapukan. Di beberapa lokasi dijumpai ada singkapan argilik-argilik lanjut terutama di tebing-tebing sungai (Gambar 11).



Gambar 10. Sebaran *boulder* silisifikasi (*massive silica & vuggy silica*) di lereng punggungan Bulu Lawekang



Gambar 11. Zona Argilik di Sungai Erelembang, Sungai Karo-Karo, dan punggungan Bulu Lanti

Berdasarkan analisis dengan PIMA, mineral ubahan teridentifikasi dari zona alterasi argilik-argilik lanjut. Zona argilik dicirikan dengan hadirnya mineral-mineral ubahan *kaolinite*, *illite*, *montmorillonite*, dan sementara zona alterasi argilik lanjut dicirikan oleh *alunite*, *pyrophyllite*, *halloysite*, *dickite* (Pirajno, Franco, 2016). Berdasarkan identifikasi tersebut maka hadirnya kelompok *alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, dan *pyrophyllite*,

dimasukkan ke dalam zona alterasi pada batuan asam (Hedenquist, 1996) dan (Arribas, 1995).

Zona propilit memiliki penyebaran di bagian luar / pinggir dari zona argilik, yang tersebar di bagian timur, utara dan selatan daerah penyelidikan. Alterasi propilit ini ditandai dengan hadirnya mineral klorit, sebagian besar mengandung pirit, dan berwarna kehijauan, salah satunya dijumpai di anak

sungai atau cabang timur Sungai Lantikia (Gambar 12). Identifikasi mineral ubahan dari analisis dengan PIMA menunjukkan kehadiran mineral *illite - chlorite* dalam zona propilit ini.



Gambar 12. Zona Propilit pada batuan lava andesit di Sungai Rakjing anak sungai Mateko (bagian selatan daerah penyelidikan)

Alterasi mineral di daerah Erelembang cukup menarik, dengan keberadaan zona

argilik-argilik lanjutnya yang memiliki sebaran cukup luas. Mineralisasi awal yang terbentuk adalah pirit secara tersebar. malakit dan kalkopirit hadir dalam bentuk *spotted* dengan tekstur *staining* (Gambar.13A), sedangkan kalkopirit jarang dijumpai (Gambar 13B). Jenis mineral sulfida tersebut terdapat dalam zona argilik-argilik lanjut Selain keterdapat logam dasar terutama Cu, indikasi kemungkinan adanya logam mulia (Au) dapat dilihat salah satu datanya yaitu ditemukannya *vuggy silica* di beberapa lokasi, terutama di bagian selatan jalur punggung Bulu Laheka. Meskipun hasil analisis laboratorium pada batuan menunjukkan kadar Au yang rendah (1 ppb s.d. 35 ppb), namun pola alterasi menunjukkan kecenderungan pola yang baik. Beberapa bukti lapangan yang cukup kuat menunjukkan bahwa mineralisasi di wilayah ini terkait dengan tipe sulfida tinggi yaitu adanya *Vuggy silica* yang dijumpai di bagian selatan Bulu Laheka tepatnya di lokasi GW/16MN/45 (Gambar14).



Gambar 13. Mineral malakit dengan tekstur *staining* lokasi Sungai Erelembang (A), kalkopirit *spotted*, Lokasi Sungai Karo-Karo (B)



Gambar 14. *Vuggy Silica* di bagian selatan Bulu Laheka (GW/16MN/045R)

Bongkahan *vuggy silica*, diameter 0,8 m menyudut yang ditemukan di sungai Karo-karo diduga merupakan longoran dari lereng bukit (gambar 15).



Gambar 15. *Vuggy silica* di Sungai Karo-karo

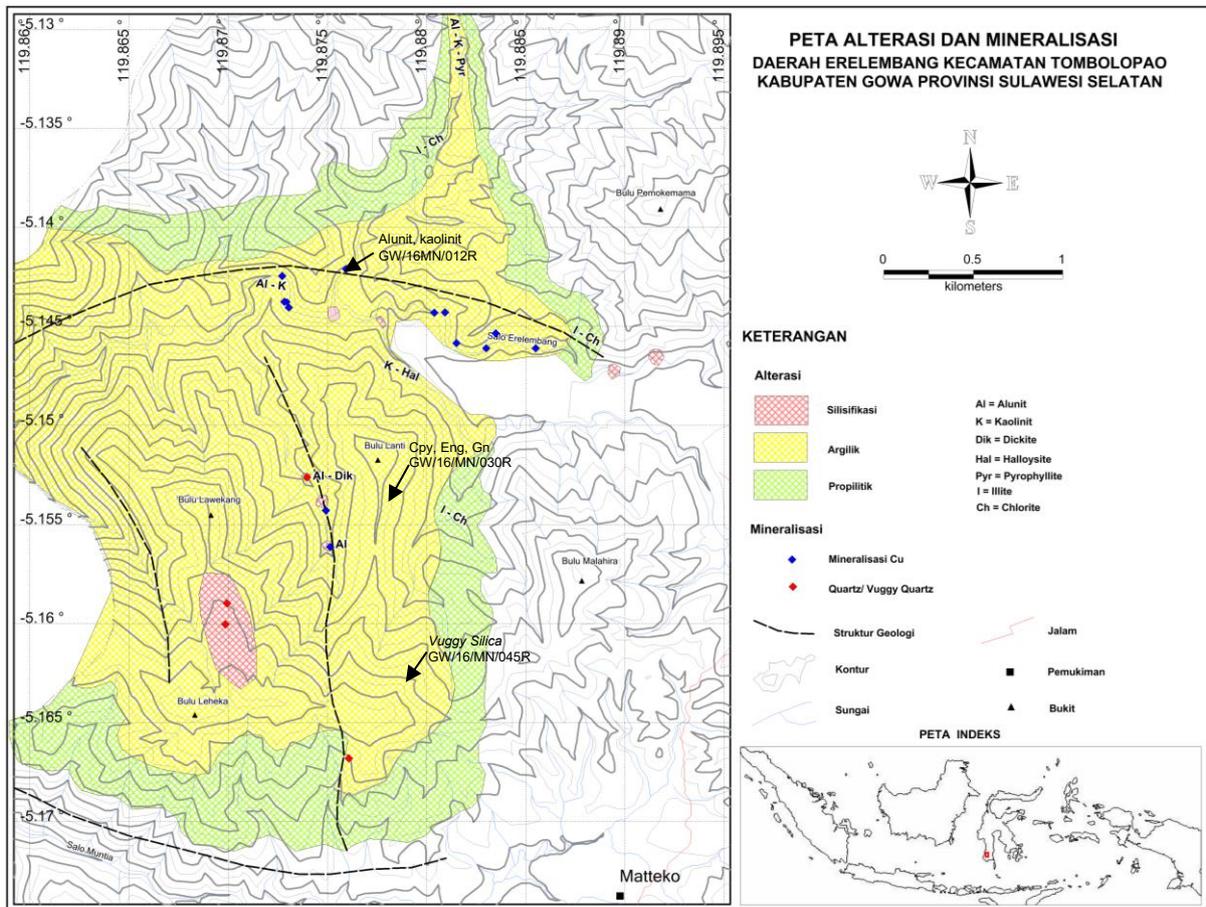
Boulder silika yang didapati di salah satu lereng Bulu Lawekang (*massive silica-*

vuggy) silika berwarna abu-abu hingga putih kemerahan (Gambar 16).



Gambar 16. *Silica boulder* sekitar lereng Bulu Lawekang

Gambaran atau pola sebaran alterasi dan mineralisasi daerah penyelidikan dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.



Gambar 17. Peta alterasi dan mineralisasi daerah penyelidikan

PEMBAHASAN

Zona alterasi yang luas terutama zona argilik-argilik lanjut, merupakan bagian atau keseluruhan *lithocap* dari suatu zona cebakan mineralisasi yang signifikan dari *hypogene silicic*, *advanced argillic* dan *argillic* alteration, batuan yang bisa terbentuk di atas dan dalam kondisi dangkal kompleks *hydro intrusive*. Pembentukan batuan tersebut dapat sebagai pembawa mineralisasi sulfida tinggi. Beberapa *overlay* dan sebagian *overprint* cebakan porfiri, atau juga dapat berada di atas urat sulfida menengah, dengan kedalaman yang bisa mencapailebih dari 1 km, bahkan mungkin melebihi 10 km dalam dimensi lateral (Silitoe, 1995).

Kehadiran mineral ubahan yang bersifat asam seperti *alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, dan *pyrophyllite* dalam zona argilik-argilik lanjut yang luasnya lebih dari 2 km² ini, menunjukkan zona batuan bersifat asam. Keterdapatannya *vuggy silica* dalam zona batuan asam tersebut menunjukkan terjadinya proses pelarutan. Residu kuarsa *vuggy* merupakan produk dari pelarutan yang ekstrim (Stoffregen, 1987).

Mineral bijih yang terdapat di daerah penyelidikan, dari hasil analisis mineragrafi didominasi oleh pirit, diikuti tetrahidrit, kovelit, enargit, serta *hydrous iron oxide*, (dalam jumlah bervariasi) dan sedikit kalkopirit, malakit, tenanit, galena dan hematit. Sementara, berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, selain pirit yang dominan, sering dijumpai mineral sulfida tembaga, terutama malakit, sementara kalkopirit sangat jarang keterdapatannya. Keseluruhan mineral bijih tersebut umumnya tersebar dalam zona argilik-argilik lanjut. Berdasarkan dari kandungan mineral ubahan yang bersifat asam yang disebutkan diatas (*alunite*, *halloysite*, *jarosite*, *kaolinite*, *dickite*, dan *pyrophyllite*) dan dari kandungan mineral bijihnya serta keterdapatannya *vuggy silica*, mencirikan endapan epitermal tipe sulfidasi

tinggi. Hal ini juga didukung bahwa daerah penelitian ini merupakan zona alterasi yang luas sebagai *lithocap*. Cebakan sulfidasi tinggi merupakan seluruh atau sebagian dari *lithocaps*, yaitu zona alterasi argilik dan argilik lanjut cukup luas yang dihasilkan di antara lingkungan intrusi *subvolcanic* dan permukaan (Silitoe, 1995).

Meski zona alterasi luas dan berkembang dengan intensif, namun hasil analisis kimia mineral pada conto batuan dan tanah tidak menunjukkan kadar yang signifikan dan gambaran geokimia yang berarti. Keseluruhan dari 76 conto batuan tersebut, kadar maksimalnya; Au 35 ppb, Ag 2,9 ppm, Cu 136 ppm, Pb 317 ppm, dan Zn 220 ppm. Sementara dari 31 conto tanah, kadar maksimumnya Au 24 ppb, Ag 2,2 ppm, Cu 120 ppm, Pb 90 ppm, Zn 189 ppm, As 26 ppm, Sb 10 ppm, dan Hg 163 ppb. Rendahnya kadar mineral logam tersebut, diduga kuat karena lokasi pengambilan conto tersebut merupakan zona batuan bersifat asam yang sudah terlarutkan (*Acid-leached zone*). Batuan asam-larut (*acid-leached*) berasal dari uap panas dan silisifikasi muka air purba umumnya *barren* dari logam mulia dan logam dasar, yang tidak rentan terhadap transportasi yang mudah berubah, berlaku di bawah kondisi suhu rendah dan di lingkungan yang dipanaskan dengan uap. Namun merkuri bersifat *mobile* dalam kondisi seperti itu dan dapat terkonsentrasi dalam batu asam-larut (*acid-leached*) sebagai *cinnabar* (Silitoe, 1999).

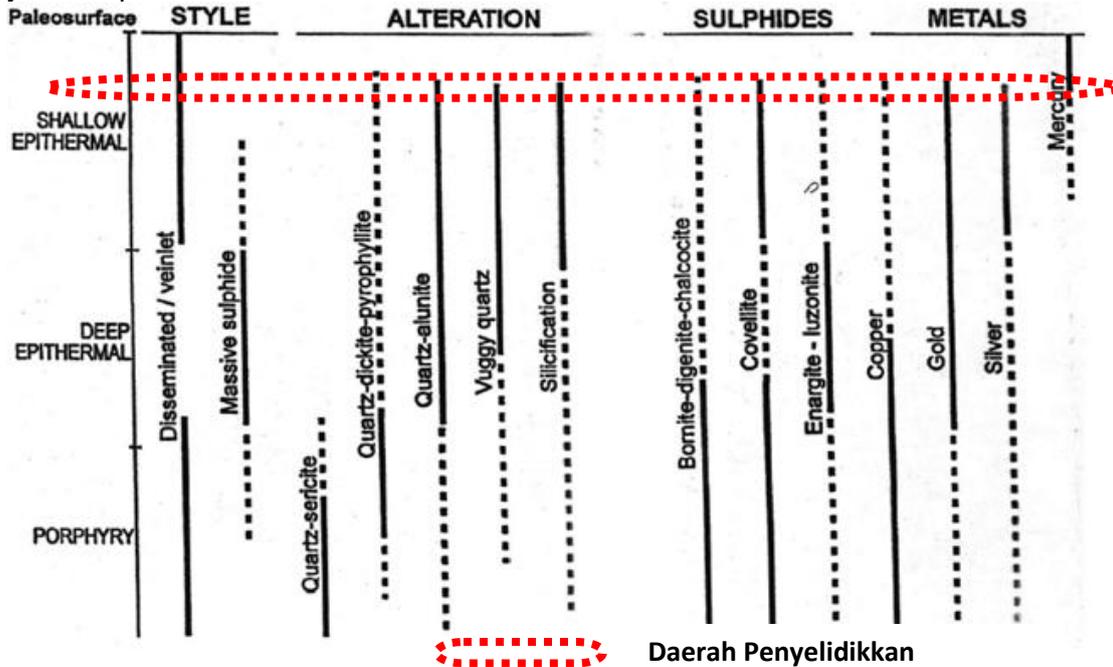
Hal menarik lainnya, adalah kemunculan anomali Hg yang terkonsentrasi di Pungungan Bulu Lawekang hingga percabangan dengan Bulu Laheka, yang relatif berbanding lurus dengan anomali Au dalam zona alterasi argilik-argilik lanjut dan silisifikasi. Namun kehadiran merkuri yang menunjukkan lingkungan endapan epitermal tipe sulfidasi tinggi tersebut diduga berada pada lingkungan yang dangkal.

Untuk memperkuat dugaan mengenai tipe dan lingkungan pengendapan mineralisasi di daerah penyelidikan, dapat dilihat dari

karakteristik endapannya dengan membandingkan zonasi tipe mineralisasi *High Sulfidation* (HS) menurut Sillitoe (1999) pada gambar 18, dan Hedenquist et.al. (2000) pada Tabel 1.

berdasarkan Sillitoe (1999) (skema rekonstruksi sistem HS dengan lingkungan porfiri sebagai dasar), termasuk ke dalam zona mineralisasi bagian atas, dari zona batuan yang bersifat asam (*Acid-leached zone*), seperti yang terlihat pada Gambar 19.

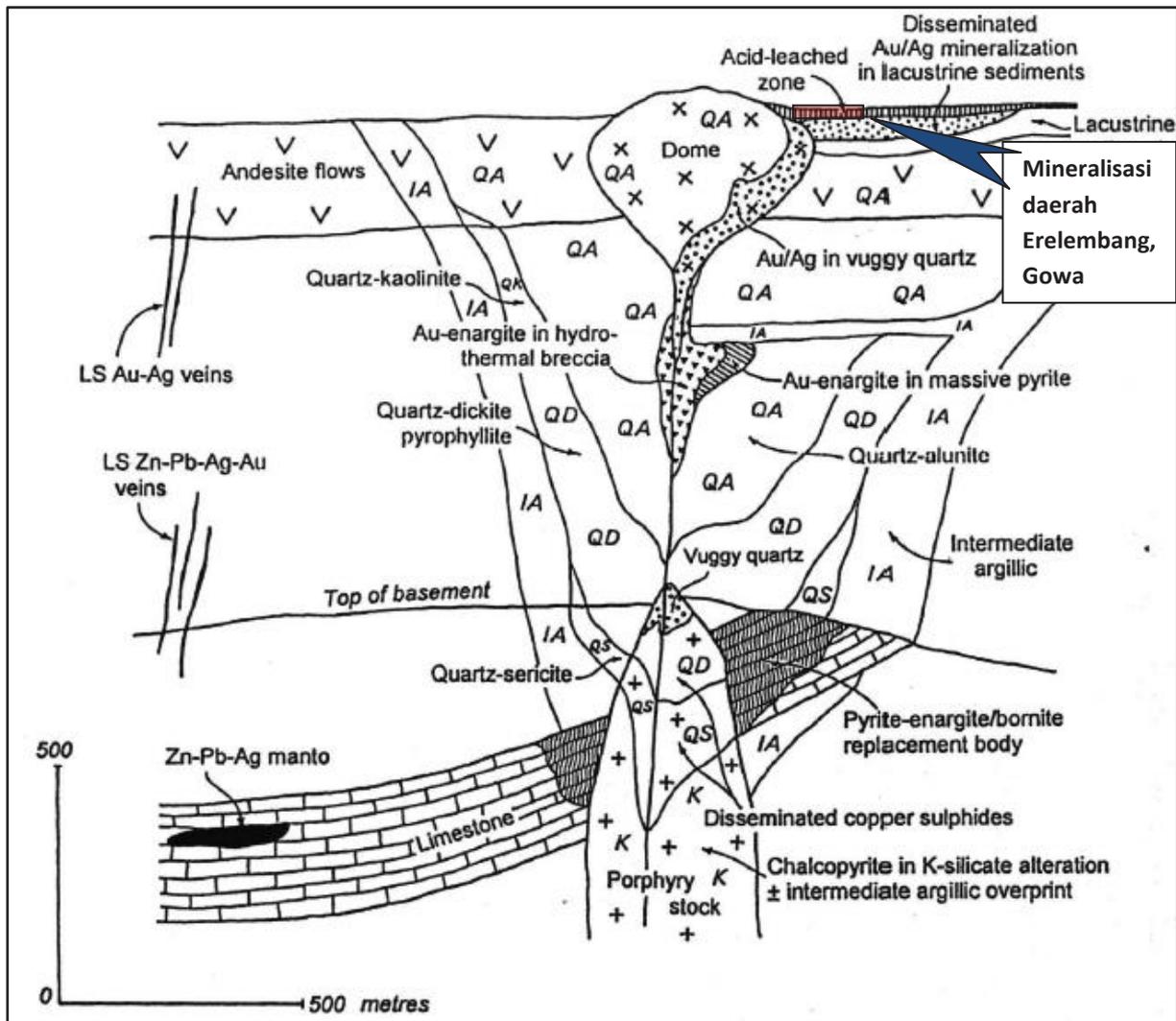
Model mineralisasi Erelembang, jika merujuk kepada model mineralisasi



Gambar 18. Aspek utama zonasi vertikal tipe mineralisasi sistem HS, jenis, macam sulfida dan logam dalam sistem HS (Sillitoe, 1999) dibandingkan dengan daerah penyelidikan.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik cebakan epitermal sulfidasi tinggi di daerah penelitian dengan model epitermal dari Hedenquist ,et.al, (2000).

	Cebakan epitermal sulfidasi tinggi (hedenquist dkk, 2000)			Daerah Penelitian
	Dangkal	Menengah	Dalam	
Kedalaman	<500 m	500 m s.d. 1000 m	>1000 m	<500 m
Host rock	Dome, piroklastik, batuan sedimen	Dome, diatrem, batuan vulkanik	Dome-diatrem, porfiri, vulkanik, batuan vulkanisklastik	Vulkanik (andesit)
Bentuk cebakan	Disseminated, breksi, veinlet	Vein sulfida masif, breksi, veinlet	Disseminated, veinlet, breksi	Disseminated
Tekstur bijih	Vuggy kuarsa	Sulfida masif, vein/breksi	replacement	Vuggy kuarsa
Alterasi	Selisik (vuggy) kuarsa-alunit	Silisik (vuggy), kuarsa-alunit, pirofillit-dickite-seridit	Pirofillit-serisit, kuarsa-serisit	Silisik (vuggy), alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, dan phirophyllite
Mineral ganque	Alunit, barit, kaolinit	Anhidrit, kaolin, dickite	Serisit, pirofillit	Alunit, kaolinit, dickite, pirofillit
Mineral sulfida	Enargit/luzonit, kovelit, pirit	Enargit/luzonit, kalkopirit, tetrahedrit/tenantit, sfalerit, kavelit, pirit	Bornit, diagenit, kalkosit, pirit	Pirit, enargit, kovelit, tetrahedrit, malakit, kalkopirit, tenantit, galena, hematit



Gambar 19. Posisi mineralisasi spekulatif daerah Erelembang berdasarkan model mineralisasi Sillitoe (1999)

KESIMPULAN

Batuan pembawa mineralisasi di daerah penyelidikan terjadi pada batuan vulkanik lava andesit.

Indikasi mineralisasi ditunjukkan dengan adanya zona alterasi yang luas berupa lithocap terdiri dari; zona silisifikasi (silika masif & silika vuggy), zona argilik-argilik lanjut, dan zona propilit. Kehadiran mineral ubahan menunjukkan lingkungan asam yang tinggi seperti alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, dan pyrophyllite dalam zona argilik-argilik lanjut. Keterdapatan silika vuggy dalam zona batuan asam tersebut menunjukkan terjadinya proses pelarutan.

Mineral bijih di daerah penyelidikan, didominasi oleh mineral pirit, dan diikuti adanya tetrahidrit, kovelit, enargit, serta hydrous iron oxide, dan sedikit kalkopirit, malakit, tenantit, galena dan hematit, yang pada umumnya tersebar (disseminated) dalam zona argilik-argilik lanjut.

Berdasarkan karakteristik dari mineral ubahan yang bersifat asam serta kandungan mineral bijihnya (enargit, tenantit, tetrahidrit, dan kovelit) dan keterdapatan silika vuggy, hal ini merupakan ciri dari endapan epitermal tipe sulfidasi tinggi. Konsentrasi anomali merkuri di Bulu Lawekang menguatkan dugaan bahwa lingkungan endapan epitermal sulfidasi tinggi tersebut,

teridentifikasi berada pada lingkungan mineralisasi di zona dangkal.

Dugaan kuat mineralisasi di wilayah ini diperkirakan masih jauh dari sumbernya, karena yang teramati masih merupakan zona bagian atas dari *style* mineralisasi sulfida tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- Arribas, A., 1995. *Epithermal High Sulfidation Mineralogical Ass. of Canada Short Course Vol.2*.
- Cooke DR, 2014, *Characteristics, origins and significance for porphyry and epithermal exploration*.
- Hedenquist, J.W., 1996, *Epithermal gold deposits: style, characteristics and exploration, Resources Geology Spec. Issue No1*.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., Jr., and Gonzalez-Urien, E., 2000, *Exploration for epithermal gold deposits: Reviews in Economic Geology*, v. 13.
- Kadarusman, Ade., Maruyama, S., 2014. *World's youngest blueschist belt from Leti Island in the non-volcanic Banda outer arc of Eastern Indonesia, Gondwana Research, Elsevier*.
- Monnier, C., Bellon, H., Girardeau, J., 1994. *Datation 40K-40Ar de l'ophiolite de l'ile de Sulawesi, Indonesia. Paris, Academi desSciences, Comptes Rendue, V 319, ser, 249-356*.
- Parkinson, C.D., and Silver 1998..An outline of thr petrology, structure and age of the Pompangeo Schict Complex of Central Sulawesi, Indonesia. *The Island Arc* 7, 1-2, 231-245.
- Pirajno, Franco, 2016, *Hydrothermal mineral system, Module Training 'Exploration and Development of Mineral Resources'*, KIGAM South Korea.
- Silitoe, RH, 1999, *Styles of High_Sulphidation Gold, Silver and Copper Mineralisation in Porphyry and Ephitermal Environments*, Bali.
- Stoffregen,. and Charles N., 1987, *Woodhouseite and Swnbergite in Hydrotermal Ore deposits Product of apatite during advance argillic alteration, The Canadian Mineralogist*.
- Sukanto, Rab dan Sam Supriatna, 1982, *Peta Geologi Lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi, Skala 1 : 250.000*. PPPG, Bandung.
- Van Leeuwen, T.M & Pieters , P.E., 2011, *Mineral Deposit of Sulawesi, Manado*.
- Zulkifli M.D., dan Moe'tamar., 2002, *Inventarisasi dan Evaluasi Mineral logam di Kabupaten Takalar dan Kabupaten Gowa, Propinsi Sulawesi Selatan, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Bandung*.

Diterima	: 28 Oktober 2019
Direvisi	: 5 November 2019
Disetujui	: 30 November 2019

**POTENSI GAMBUT UNTUK PENGEMBANGAN PLTU
DI KECAMATAN TELUK MERANTI, KABUPATEN PELALAWAN, PROVINSI RIAU**

**THE POTENTIAL OF PEAT FOR THE DEVELOPMENT OF A STEAM POWER PLANT
IN TELUK MERANTI SUBDISTRICT, PELALAWAN REGENCY, RIAU PROVINCE**

Agus Subarnas dan Eska P. Dwitama

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
agussubarnas@gmail.com

ABSTRAK

Sumber daya gambut di Indonesia cukup berlimpah. Terlepas dari pertentangan dalam pemanfaatannya, gambut dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), karena memiliki syarat yang bisa terpenuhi dan mempunyai karakteristik yang identik dengan batubara kalori rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah potensi sumber daya gambut dan estimasi suplai sebagai bahan bakar alternatif untuk PLTU. Lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Ketebalan gambut di daerah ini bervariasi antara 0,7 m sampai dengan 8,7 m dan memiliki nilai kalori rata-rata 5.070 kal/gram (adb). Cadangan terkira gambut yang digunakan untuk PLTU adalah gambut yang memiliki ketebalan kurang dari tiga meter sebesar 45.238.945 ton di Kecamatan Teluk Meranti. Untuk energi listrik dengan kapasitas terpasang 100 MW, gambut pada Blok Teluk Meranti dapat menyuplai bahan bakar untuk PLTU selama ± 114 tahun.

Kata kunci: gambut, sumber daya terduga, cadangan terkira, kalori, pembangkit listrik tenaga uap

ABSTRACT

Peat resources in Indonesia are quite abundant. Despite the conflict in the use of peat today, peat can be used as an alternative fuel for electric steam power plant, because it has conditions that can be fulfilled and has a property identical to low-calorie coal that is suitable if used for power plant. The purpose of this study is to find out the potential amount of peat resources and estimated supply as an alternative fuel for power plant. The researched location is in the Teluk Meranti Subdistrict, Pelalawan District, Riau Province. Peat thickness in the area varies from 0.7 m to 8.7 m, which has an average calorific value of 5,070 cal/gram (adb). Peat probable reserves used for power plant are peat which has a thickness of < 3 meters of 45.238.945 tons in Teluk Meranti District. For electricity with an installed capacity of 100 MW, the peat in the Teluk Meranti Block can supply fuel for the power plant for ± 114 years.

Keywords: peat, inferred resources, probable reserves, calorie, power plant

PENDAHULUAN

Gambut merupakan lapisan organik di permukaan, yang terbentuk dan terakumulasi dalam lingkungan asam, jenuh air, sedikit oksigen dan nutrisi (World Energy Council, 2013). Gambut mempunyai kandungan bahan organik yang cukup tinggi dan pada umumnya terjadi dari campuran fragmen-fragmen

material organik yang berasal dari tumbuhan yang telah mengalami pembusukan. Pada umumnya gambut berwarna coklat sampai coklat tua-kehitaman, tergantung tingkat pembusukannya. Gambut merupakan cikal bakal batubara yang mana endapan material organik sisa tumbuhan akan melalui tahapan penggambutan sebelum menuju proses pembatubaraan berikutnya.

Indonesia merupakan salah satu Negara dengan sumber daya gambut terbesar dunia setelah Rusia, bahkan lebih besar dari Amerika dan Negara-negara Eropa lainnya (Tabel 1). Sumber daya gambut Rusia mencapai sekitar 30% dari sumber daya gambut dunia, Indonesia 15,84%, sedangkan Finlandia dan Kanada hanya sekitar 7,07% (Tcvetkov, 2017).

Rusia dan Negara-negara di Eropa telah lama menggunakan gambut untuk pembangkit listrik. Lebih dari 80% ekstraksi gambut dunia dilakukan oleh Negara-negara Eropa dan kurang dari 5% oleh Amerika dan Kanada (Apuhtin dan Plakitkina, 2011). Finlandia merupakan salah satu Negara yang memanfaatkan gambut sebagai sumber energi dengan memproduksi 25,08% dari total produksi gambut dunia (Tcvetkov, 2017). Diikuti oleh Irlandia yang memproduksi 14,05% dan Swedia 12,04%. Hingga saat ini gambut di Indonesia belum dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Berdasarkan tinjauan kualitas, gambut dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), karena memiliki syarat yang bisa dipenuhi untuk kualifikasi bahan bakar PLTU dan memiliki karakteristik yang identik dengan batubara kalori rendah,

sehingga dapat dimanfaatkan untuk PLTU. Dalam *Energy Strategy of Russia until 2030* disebutkan bahwa biaya untuk menghasilkan 1 ton bahan bakar dari gambut akan lebih murah daripada menggunakan gas alam (Tcvetkov, 2017). Menurut kajian Clarke and Trinnaman (2010), gambut berketebalan 2 meter dengan luas 7.500 ha dapat menghasilkan listrik sekitar 120 MW selama 20 tahun. Saat ini, beberapa negara di antaranya Irlandia dan Finlandia sudah menggunakan gambut sebagai sumber energi, baik untuk pembangkit tenaga listrik, pemanas sentral maupun sumber energi untuk industri. Penggunaan gambut untuk energi di Finlandia memiliki porsi sekitar 7% dari total penggunaan energi pada Tahun 2003 (Kirkinen dkk, 2007).

Terlepas dari pertentangan dalam pemanfaatan gambut yang berkembang saat ini, penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui jumlah potensi sumber daya gambut dan estimasi suplai sebagai bahan bakar alternatif untuk PLTU. Lokasi penelitian terletak di daerah Teluk Meranti dan sekitarnya, termasuk dalam Kecamatan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Lokasi penelitian terletak sebelah timur Pekanbaru dengan jarak ±160 km (Gambar 1).

Tabel 1. Distribusi sumber daya gambut dunia (Institute of Peat Industry 2015, USGS 2016, Peat Resources Limited 2015, WEC 2013 dalam Tcvetkov, 2017)

Country	Total reserves (billion tonnes) ¹	Total area of peatland (million ha) ³	Total area of peatland (million ha) ⁴	Peat extraction in 2009 (thousand tonnes) ⁴	Peat extraction in 2014 (thousand tonnes) ²
Russia	175.6	150.0	139.00	1,287	1,500
Indonesia	78.5	26.0	20.69	*	*
USA	36.3	40.0	62.50	*	510
Canada	35.0	170.0	111.30	*	1,100
Finland	35.0	10.0	8.90	4,770	7,500
China	27.0	3.5	5.30	*	*
Malaysia	11.8	*	2.50	*	*
Sweden	11.2	*	2.50	*	*
Germany	7.3	*	1.30	*	3,000
Poland	6.0	*	1.25	*	760
Ireland	5.8	1.2	1.18	3,089	4,200
United Kingdom	5.7	*	2.75	20	*
Belarus	*	*	2.35	2,944	3,000
Other	49.7	12.3	34.08	713	4,730
Total	495.4 (12.0)²	420	397.35	13,524	29,900

*included in data for 'other countries'



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di daerah Teluk Meranti

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemetaan geologi dan pengeboran dengan kedalaman maksimal 10 meter, analisis laboratorium dari percontoh gambut, dan estimasi penggunaan gambut untuk PLTU, sedangkan data yang digunakan bersumber dari hasil kegiatan Subarnas (2018).

Pemetaan geologi dilakukan untuk menentukan batas sebaran endapan gambut dan kontak endapan gambut dengan litologi lainnya. Pemetaan ini disertai dengan pengeboran menggunakan alat bor khusus gambut jenis *fikelkarp auger*. Penentuan lokasi titik bor ditentukan dan diusahakan memotong pusat cekungan yang telah diprediksi sebelumnya berdasarkan peta topografi dan peta geologi. Pengeboran ini

di antaranya untuk mengetahui ketebalan endapan gambut, serta mengetahui variasi endapannya. Kegiatan analisis laboratorium dilakukan terhadap percontoh gambut hasil pemetaan dan pengeboran. Analisis yang dilakukan adalah analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori. Beberapa parameter yang diperlihatkan dari analisis tersebut diantaranya dapat menentukan nilai kalori, karbon tertambat, kadar abu, sulfur, zat terbang, kandungan air, kelembaban, keasaman dan *bulk density*.

GEOLOGI

Berdasarkan Subarnas (2018), daerah penelitian termasuk dalam zona dataran rendah dengan ketinggian antara 5 m sampai dengan 50 m dari permukaan laut. Morfologinya dapat dibagi dalam dua satuan, yaitu Morfologi Dataran Rendah dan Morfologi Perbukitan Bergelombang Landai.

Morfologi Dataran Rendah terutama pada bagian tengah hingga timur daerah penelitian, ke arah timur Satuan Morfologi Dataran Rendah berkembang menjadi endapan rawa dan endapan pantai yang seluruhnya ditempati oleh endapan gambut, sedangkan ke arah barat endapan gambut sudah tidak terbentuk. Hal ini dicerminkan oleh keadaan topografinya yang makin tinggi dan menjadi Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang Landai.

Di daerah penyelidikan terdapat beberapa buah sungai besar, yaitu Sungai Kampar dan Sungai Selat Panjang serta anak-anak sungainya. Sungai-sungai ini membentuk beberapa cekungan yang agak memanjang dengan arah barat hingga timur yang terisi oleh endapan gambut. Hampir semua sungai-sungai ini mengalir kebagian barat.

Stratigrafi pada lahan gambut umumnya berumur Kuartar. Urutan stratigrafis di daerah survei tinjau (Clarkedkk., 1982; Camerondkk., 1982; Silitonga dan Kastowo, 1995; Suwarna dkk., 1994) adalah sebagai berikut (Tabel 2):

- Aluvium. Endapan ini berada di pinggir sungai sebagai perluasan daratan. Endapan aluvial terdiri dari material lepas batulempung dan batupasir, tersingkap disekitar Sungai Kampar dan Sungai Selat Panjang.
- Endapan tanggul (*levee*) 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 terdiri dari material lempung, lanau dan pasir. Endapan tanggul di daerah survei tinjau merupakan Endapan Aluvial Tua (Qap)
- Undak sungai (Qrt), terjadi akibat erosi vertikal lebih dominan dibanding erosi lateral. Di daerah penyelidikan, undak sungai terdiri dari aluvium 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 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 penyelidikan termasuk dalam Endapan Rawa (Qs). Kenampakan endapan gambut pada daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.

Tabel 2. Stratigrafi daerah penyelidikan (Clarke dkk., 1982; Cameron, dkk., 1982; Silitonga dan Kastowo, 1995; Suwarna, dkk., 1994)

KUARTER	Holosen	Qac / Qs / Qp / Qrt	Aluvium dan Endapan Pantai : Pasir, lempung, lanau, lumpur dan kerakal, sisa tumbuhan, setempat gambut	Endapan Rawa : Lempung, lanau, lumpur, pasir dan gambut	Aluvium Tua : Kerikil, pasir, lempung, lanau, sisa tumbuhan dan rawa gambut	Undak Sungai : Kerakal, kerikil, pasir.
	Plistosen	Qpmi / Qtke				
	Pliosen		Formasi Minas : Kerakal, kerikil, pasir dan lempung	Formasi Kerumutan : Batupasir kuarsa, lempung tufaan, lempung pasiran		
TERSIER	Miosen	Akhir	Tma / Tmpm	Formasi Air Benakat : Perselingan batulempung, batupasir, serpih dan lanau, sisipan batubarabatubara	Formasi Muaraenim : Perselingan batulempung dengan batupasir dan Tufa, sisipan batubara	
		Tengah				
	Awal					
	Oligosen					
	Eosen / Paleosen					
PRA TERSIER	Kapur	Tmkin	Granit Pulau Kundur : Termineralisasi, mengandung Timah			



Gambar 2. Endapan gambut di daerah Teluk Meranti

Endapan dasar gambut substrat, umumnya terdiri dari lempung dengan kandungan partikel-partikel organik, berwarna abu-abu terang sampai gelap, plastis dan mengandung organik. Gambut diperkirakan berada di atas batulempung Formasi Minas dan di atas batulempung pasiran Formasi Kerumutan yang

dibuktikan dengan kenampakan batas antara gambut dan batulempung hasil pengeboran (Gambar 3). Kedua formasi tersebut berumur Plio hingga Plistosen. Berdasarkan pengamatan di lapangan tidak dijumpai adanya pengaruh struktur geologi di daerah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil pemetaan geologi didapat data sebaran gambut yang diperoleh dari 56 titik pengeboran (Tabel 3). Gambut pada cekungan ini terbentuk di

antara tanggul Sungai Kampar dan sebaran serta ketebalan gambut daerah penelitian disajikan dalam Peta Sebaran dan Isopach Gambut Blok Teluk Meranti Sekala 1 : 250.000, dengan ketebalan gambut antara 0,7 m sampai dengan 8,7 m (Gambar 4).

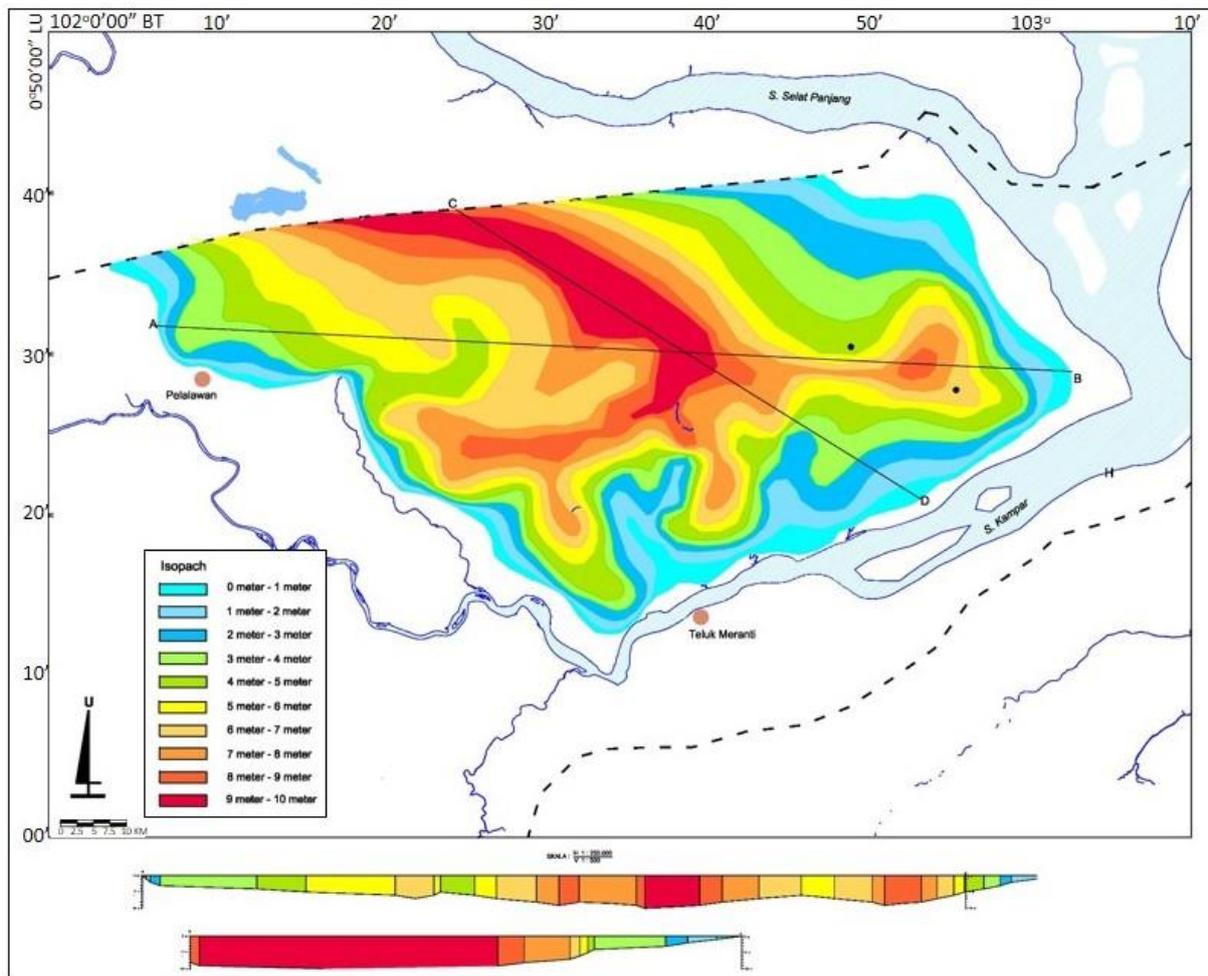


Gambar 3. Batas ketebalan gambut pada PL-46

Tabel 3. Data gambut hasil pengeboran blok Teluk Meranti

No	Titik pengamatan	Tebal (m)	Percontoh di uji	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.
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.

No	Titik pengamatan	Tebal (m)	Percontoh di uji	Pemerian
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.
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



Gambar 4. Peta sebaran dan isopach gambut Blok Teluk Meranti

Kualitas Gambut

Kualitas gambut ditentukan oleh hasil analisis kimia berupa analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori (Tabel 4). 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%.

Gambut di daerah Teluk Meranti pada umumnya juga telah mengalami dekomposisi menengah hingga tinggi antara H5 sampai H9 (Landva and Pheneey, 1980 in M. A. Rahgozar and M. Saberian, 2015). Persyaratan lain yang cukup baik dari gambut di daerah Teluk Meranti sebagai bahan bakar PLTU 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%.

Sumber Daya Gambut Blok Teluk Meranti

Secara administratif, Blok Gambut Teluk Meranti terletak di Kecamatan Teluk Meranti yang terdiri dari beberapa desa, di antaranya Pulau Muda, Gambut Mutiara dan Segamai. 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.

Luas sebaran gambut di daerah Teluk Meranti yang terpetakan pada kegiatan penyelidikan ini seluas 331.885,74 ha sampai isopah dengan tebal 10 meter, bahwa total sumber daya tereka gambut sebesar 327.619.732 ton gambut kering (Tabel 5).

Tabel 4. 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

Tabel 5. 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

Zona Ketebalan (m)	Blok Teluk Meranti			
	Luas (m ²)	Tebal (m)	Bulk Density (ton/m ²)	Sumber Daya (ton)
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

Pembahasan

Gambut telah banyak digunakan oleh negara-negara Eropa, Amerika, dan Kanada sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Seperti contohnya di Irlandia yang memiliki tiga pembangkit listrik yang menggunakan gambut sebagai bahan bakarnya, yang tertua adalah Edenderry Power Ltd dibuka Tahun 2000 memiliki kapasitas 120 MW dan menghabiskan 1 juta ton gambut/tahun (Mahoney dan Denny, 2010).

Gambut di Finlandia yang juga dimanfaatkan untuk PLTU memiliki karakteristik moisture 30% sampai dengan 60%, kadar abu 2% sampai dengan 10%, nilai kalori rata-ratanya 20 MJ/Kg (4.776 Kal/gr) (Lehtomäki, dkk, 1981).

Kajian gambut untuk PLTU

Pada kajian bahan bakar untuk PLTU terdapat beberapa faktor pembangkitan yang harus diperhitungkan, antara lain beban, ketersediaan, penggunaan, kapasitas, pelayanan dan gangguan keluar perawatan (Marsudi, 2005; Prasetyo, dkk., 2011). Dalam tulisan ini hanya dibahas dua faktor, yaitu beban dan kapasitas serta diperhitungkan efisiensi termal dari gambut.

Faktor beban

Faktor beban adalah perbandingan antara besarnya beban rata-rata untuk selang waktu tertentu terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama (misalnya satu hari atau satu bulan). Sementara beban rata-rata untuk suatu selang waktu tertentu adalah jumlah produksi KWH dalam selang waktu tersebut dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tersebut.

Faktor beban = beban rata-rata/beban puncak

Standar PLN, faktor beban tahunan berkisar antara 60% sampai dengan 80% (Marsudi, 2005 dalam Prasetyo, dkk., 2011).

Faktor kapasitas

Faktor kapasitas sebuah unit pembangkit menggambarkan seberapa besar sebuah unit pembangkit itu dimanfaatkan. Faktor kapasitas tahunan didefinisikan sebagai:

Faktor kapasitas = produksi KWH setahun/(daya terpasang MW x 8.760 jam)

Dalam pelaksanaannya, faktor kapasitas tahunan untuk unit PLTU hanya dapat mencapai angka antara 60% sampai dengan 80%, karena adanya masa pemeliharaan dan jika adanya gangguan atau kerusakan yang dialami oleh unit pembangkit tersebut (Marsudi, 2005 dalam Prasetyo, dkk., 2011).

Efisiensi termal

Menurut Moran dkk. (2014), dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. *Output* yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Jadi, efisiensi termal dapat dirumuskan dengan:

$$\eta_{th} \equiv \frac{\text{Berapa yang didapatkan}}{\text{Berapa yang dimasukkan}}$$

Berdasarkan hukum pertama termodinamika, *output* tidak bisa melebihi input, sehingga:

$$0 \leq \eta_{th} \leq 1$$

Efisiensi termal antara 0% sampai dengan 100%. Karena adanya inefisiensi seperti gesekan, hilangnya panas, dan faktor lainnya, efisiensi termal mesin tidak pernah mencapai 100%. Seperti contoh, mesin mobil bensin memiliki efisiensi 25%, dan mesin pembangkit listrik tenaga batubara yang besar memiliki efisiensi maksimum 46%. Mesin diesel terbesar di dunia memiliki efisiensi maksimum 51,7%.

Efisiensi termal PLTU di lapangan lebih kecil daripada hasil perhitungan dengan siklus kombinasi secara teoritis, karena analisis tersebut tidak memperhitungkan berbagai alat tambahan yang digunakan dalam PLTU. Berikut merupakan contoh efisiensi termal PLTU batubara berdasarkan nilai kalorinya, seperti tertera pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Efisiensi Termal PLTU Batubara (Sinambela, 2007)

Nilai Kalori (kkal/kg)	Efisiensi Termal (%)
4.000	29,60
4.400	32,57
5.300	39,23

Estimasi penggunaan gambut untuk PLTU di Blok Teluk Meranti

Berdasarkan 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 akan digunakan untuk PLTU pada blok Teluk Meranti adalah yang memiliki ketebalan kurang dari tiga meter. Total sumber daya tereka gambut di daerah tersebut sampai dengan isopah tebal 10 m adalah sebesar 327.619.732 ton. Sedangkan total sumber daya tereka gambut yang dapat digunakan karena memiliki ketebalan kurang dari 3 meter adalah sebesar 90.477.890 ton (Gambar 5).

Menghitung jumlah kebutuhan gambut untuk PLTU :

Konversi nilai kalori ke KWH

Pada acuan batubara 7.000 kkal/kg, 1 KWH = 0,123 kg batubara (Zhong, 2018). Dalam makalah ini acuan tersebut dipakai untuk gambut. Nilai kalori gambut Blok Teluk Meranti: 5.079 kal/gram (adb).

$$= 7.000/5.079 \times 0,123 \text{ kg coal equivalent} = 0,1695 \text{ kg peat equivalent}$$

Jadi 1 KWH gambut 5.079 kkal/kg = 0,1695 kg peat equivalent atau 1 kg = 5,899 KWH

Efisiensi PLTU 30%

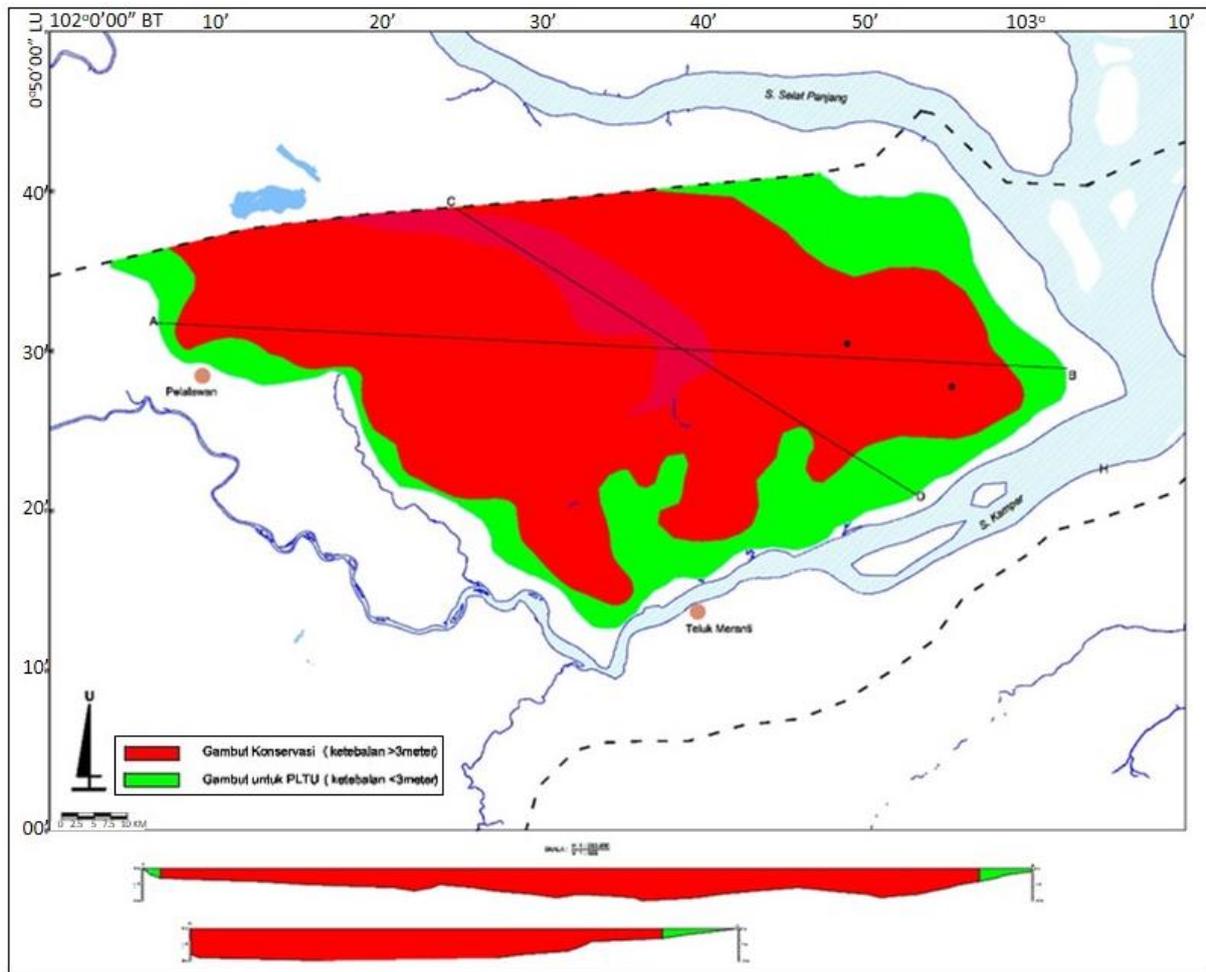
1 kg gambut nilai kalori 5.079 = 30% x 5,899 KWH = 1,7697 KWH atau 1 KWH = 0,5650 kg.

Untuk PLTU kapasitas 100 MW, gambut yang dibutuhkan adalah 100.000 x 0,5650 kg = 56.500 kg/jam.

Faktor Beban 80%

Kebutuhan 1 tahun = 56.500 kg/jam x 24 jam x 365 hari = 494.940.000 kg/tahun, yang dikalikan faktor beban 80% menjadi 395.952.000 kg/tahun atau 395.952 ton/tahun.

Dengan asumsi bahwa dari total sumber daya tereka gambut yang ada diperkirakan hanya 50% sebagai factor pengubah yang dapat digunakan secara efektif atau sebagai cadangan terkira gambut di Teluk Meranti, maka total gambut yang kemungkinan dapat digunakan sebesar 45.238.945 ton (90.477.890 ton x 50%). Dengan total ketersediaan gambut yang dapat dimanfaatkan sejumlah tersebut maka dapat memenuhi kebutuhan PLTU kapasitas 100 MW selama ± 114 tahun (45.238.945 ton/395.952 ton/tahun).



Gambar 5. Peta sebaran penggunaan lahan gambut

KESIMPULAN

Dengan memanfaatkan cadangan gambut yang memiliki ketebalan kurang dari tiga meter sebesar 45.238.945 ton pada sebaran gambut seluas di Kecamatan Teluk Meranti untuk energi listrik dengan kapasitas terpasang 100 MW, gambut pada Blok Teluk Meranti dapat menyuplai bahan bakar untuk PLTU selama ± 114 tahun.

SARAN

Penelitian ini hanya berbasis pada satu aspek kegiatan, yaitu sumber daya gambut. Untuk melengkapi kelayakan pengembangan gambut ini, kajian keekonomian dan lingkungan (teknis dan non teknis) sangat diperlukan untuk rencana pembangunan PLTU pada masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Tim Editor yang telah banyak membantu dalam penyempurnaan makalah dan kepada Dewan Redaksi atas dimuatnya makalah dalam buletin ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Apuhtin, P. A dan Plakitkina, L. S., 2011, *Peat Extraction in Russia and in the World: The Analysis of Russian and World Peat Industry Development in 2000 – 2009. Mining Industry Journal.*
 BPS Pelalawan, 2018, *Teluk Meranti Dalam Angka 2018.* Pelalawan.
 Cameron, N.R., Ghazali, S.A., Thompson, S.J., 1982, *Peta Geologi Lembar Siakriindrapura dan Tanjung Pinang, Sumatera.* Bandung.

- Clarke, M.C.G., Kartawa, W., Djunuddin, A., Suganda, E., Bagdja, M., 1982, Peta Geologi Lembar Pakanbaru, Sumatera. Bandung.
- Clarke, A.W., Trinnaman, J.A. (Eds.), 2010, Survey of Energy Resources. World Energy Council.
- Lehtomaki, K. J., Kortela, U. K. J. dan Luukkanen, J. J., 1981, New Estimation And Control Methods For Fuel Power In Peat Power Plants, (8th Triennial World Congress) Kyoto, Japan.
- Marsudi, I.D., 2005, Pembangkitan Energi Listrik. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Moran, M.J., Shapiro, H.N., Boettner, D.D., Bailey, M.B., 2014, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Eight Edit. ed. Wiley, New Jersey.
- Peraturan Pemerintah Nomor 57 Tahun 2016
- Prasetyo, E.G., Sulasno, Handoko, S., 2011, Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik. Univ. Diponegoro.
- Rahgozar, M. A. and Saberian, M., 2015, Physical and Chemical Properties of two Iranian of Type, Mires and Peat, Volume 16, Article 07, 1-17.
- Silitonga, P.H., K., 1995, Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera. Bandung.
- Sinambela, Y.T., 2007, Studi Operasional PLTU Embalut dan Pengaruhnya Terhadap Tarif Listrik Regional Kalimantan Timur. Stud. Oper. PLTU Embalut dan Pengaruhnya Terhadap Tarif List. Reg. Kalimantan Timur.
- Subarnas, A., 2018, Survei Tinjau Gambut, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Bandung.
- Suwarna, N., Budhitrisna, T., Santosa, S., Andi Manga, S., 1994, Peta Geologi Lembar Rengat, Sumatera. Bandung.
- Tcvetkov, P.S., 2017, The history, present status and future prospects of the Russian fuel peat industry, Mires and Peat, Volume 19, International Mire Conservation Group and International Peatland Society, DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.256
- World Energy Council (WEC), 2013, World Energy Resources: 2013 survey. World Energy Council. 11. https://doi.org/http://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf
- Zhong, J., 2018. Power System Economic and Market Operations. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.

Diterima	: 26 Maret 2019
Direvisi	: 23 Mei 2019
Disetujui	: 30 November 2019

KARAKTERISTIK DAN GENESA PENGAYAAN UNSUR-UNSUR TANAH JARANG PADA BATUBARA LAPANGAN BATUBARA MUARA TIGA BESAR UTARA, TANJUNG ENIM, CEKUNGAN SUMATERA SELATAN

CHARACTERISTICS AND GENESIS OF RARE EARTH ELEMENTS ENRICHMENT IN MUARA TIGA BESAR UTARA COAL FIELD, TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATRA BASIN

Ferian Anggara^{1,2}, Mutiara Cikasimi¹, Basuki Rahmat³, Sigit Arso Wibisono³, dan Rita Susilawati³

¹Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,

²Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-konvensional,
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

³Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
ferian@ugm.ac.id

ABSTRAK

Batubara telah menjadi salah satu sumber alternatif unsur-unsur tanah jarang (UTJ) seiring dengan meningkatnya permintaan terhadap kebutuhan unsur-unsur tersebut. Kondisi geologis spesifik menyebabkan pengayaan konsentrasi UTJ pada batubara. Keterdapatannya lapisan tipis material vulkanik (*tonstein*) pada Lapangan Batubara Muara Tiga Besar Utara, Formasi Muara Enim, Cekungan Sumatera Selatan menjadi salah satu indikasi terdapatnya pengayaan UTJ. Penelitian dilakukan menggunakan metode petrografi sayatan poles, analisis-analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), proksimat, dan geokimia; *Inductively Coupled Plasma-Mass/Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-MS/AES). Analisis geokimia menunjukkan pola distribusi UTJ didominasi oleh tipe UTJ Berat (*Heavy Rare Earth Elements, HREE*). Plot diagram nilai C_{out} dan REO_{ash} menunjukkan prospek pengayaan UTJ termasuk ke dalam daerah prospek. Pola distribusi UTJ dan anomali *redox sensitive* dan *redox non-sensitive* menunjukkan tipe genetik pengayaan UTJ adalah tufaan. Pengayaan UTJ terjadi oleh proses pencucian *alkaline tonstein* yang terendapkan pada fase penggabutan dalam pembentukan batubara.

Kata kunci: Unsur-unsur Tanah Jarang, batubara, *tonstein*, Muara Tiga Besar Utara

ABSTRACT

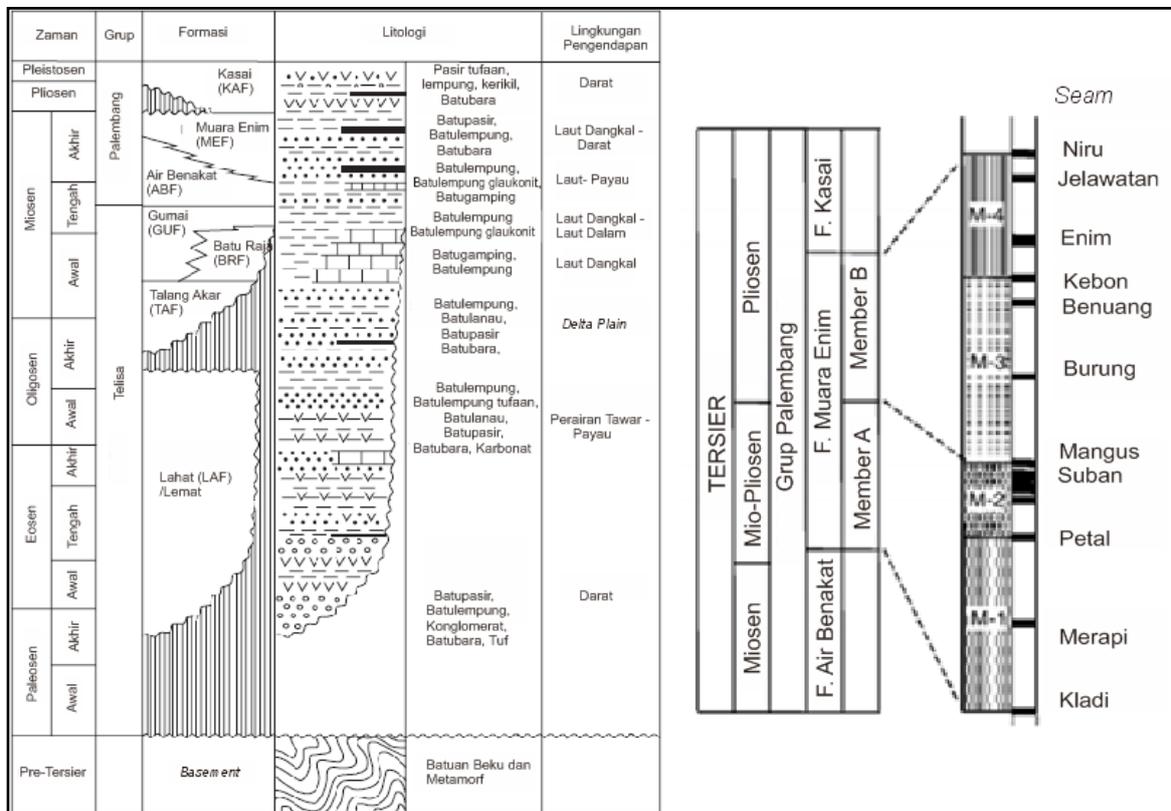
Coal has become one of the alternative sources of rare earth elements (REE) along with the increasing demand for them. Specific geological conditions cause enrichment of Rare Earth Elements (REE) concentrations in coal. Thin layer of volcanic material (*tonstein*) found at the Muara Tiga Besar Utara Coal Field, Muara Enim Formation, South Sumatra Basin is indicated the existence of REE enrichment. The study used petrographic method for polished section, analyses of *X-Ray Diffraction* (XRD), proximate, and geochemical; *Inductively Coupled Plasma-Mass / Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-MS / AES). Geochemical analysis shows that REE distribution patterns is dominated by heavy rare earth elements (HREE) type. C_{out} and REO_{ash} diagram plots show prospects for the enrichment of REE included in the promising area. The distribution patterns of REE and redox sensitive and non-sensitive redox anomalies indicate the genetic type of REE enrichment is tuffaceous. REE enrichment occurs by leaching of alkaline *tonstein* which is deposited in the peat swamp within the coal formation.

Keywords: Rare Earth Elements, coal, *tonstein*, Muara Tiga Besar Utara

PENDAHULUAN

Unsur-unsur tanah jarang/UTJ (*rare earth elements/REE*) merupakan sekumpulan unsur golongan kimia lantanida dan itrium (*yttrium*) (Humphries, 2011). Keterdapatan UTJ secara konvensional ditemukan pada endapan UTJ-besi (*iron-REE deposit*), endapan karbonatit (*carbonatite deposit*), endapan lateritik (*lateritic deposit*), endapan letakan (*placer deposit*), batuan beku peralkalin, dan pada urat (Castor dan Hedrick, 2006). Selain itu, UTJ dapat ditemukan pada batubara. Batubara telah menjadi salah satu deposit alternatif UTJ dengan konsentrasi yang dapat lebih tinggi dari deposit konvensional (Dai dan Graham, 2017). Keterdapatan UTJ pada batubara menjadi penting dan dipertimbangkan seiring meningkatnya permintaan akan kebutuhan UTJ. Studi mengenai batubara sebagai sumber UTJ telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Eskenazy, 1987; Dai dan Jiang, 2012; Seredin dan Dai, 2012; dan Anggara dan Amijaya, 2018). Menurut Seredin dan Dai

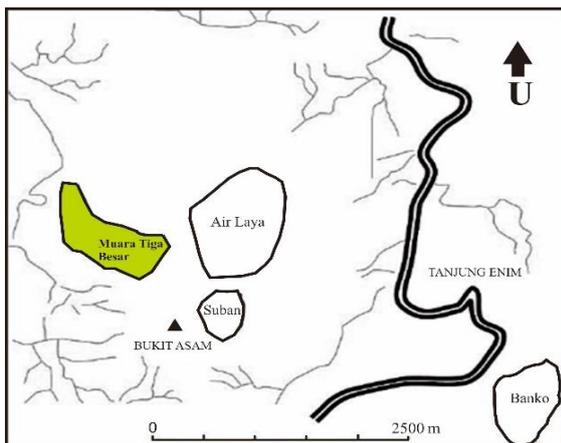
(2012) terdapat 4 tipe genetik proses pengayaan UTJ pada batubara, yakni 1) *terrigenous*, 2) *tuffaceous*, 3) infiltrasi, dan 4) hidrotermal. Formasi Muara Enim merupakan formasi pembawa lapisan batubara pada Cekungan Sumatera Selatan. Formasi ini terbentuk pada Miosen Akhir-Pliosen Awal (Baumann, 1973 dalam Shell Minjbouw, 1978). Pembentukan Formasi Muara Enim dipengaruhi oleh aktivitas vulkanisme Tersier di Sumatera (Gambar 1). Detritus vulkanik terbawa dan terdeposisi saat terjadi proses pengendapan, detritus vulkanik diindikasikan dengan lapisan *tonstein* yang terendapkan pada lapisan batubara Mangus, yakni Lapisan Batubara A1, B1 dan B2, C, dan di antara A1 dan A2 (Pujobroto, 1997). Studi yang dilakukan akan membahas mengenai tipe, konsentrasi, dan proses pengayaan UTJ pada batubara lapangan batubara Muara Tiga Besar Utara menggunakan data lapangan dan analisis laboratorium dengan memperhatikan kondisi geologis pada lokasi penelitian.



Gambar 1. Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan (Amijaya dan Littke, 2005), Anggota Formasi Muara Enim (Amijaya dan Littke, 2005)

METODOLOGI

Penelitian difokuskan pada Lapisan Batubara Mangus, Formasi Muara Enim, Lapangan Batubara Muara Tiga Besar Utara (Gambar 2). Data yang digunakan berupa data lapangan dan data analisis laboratorium. Data lapangan berupa hasil pengamatan lapangan yang meliputi: deskripsi litologi, kolom stratigrafi rinci, dan conto batubara dan non-batubara. Sebanyak 14 conto batubara dan 6 conto non-batubara diambil pada satu jalur pengukuran. Pengambilan conto dilakukan pada batubara dengan ketebalan 20 cm dari *parting* dan pada batubara setelah batas 20 cm tersebut sebagai conto *bulk*. Conto non-batubara yang diambil merupakan lapisan *parting* (*clay band*) dan lapisan sedimen *intraseam*.



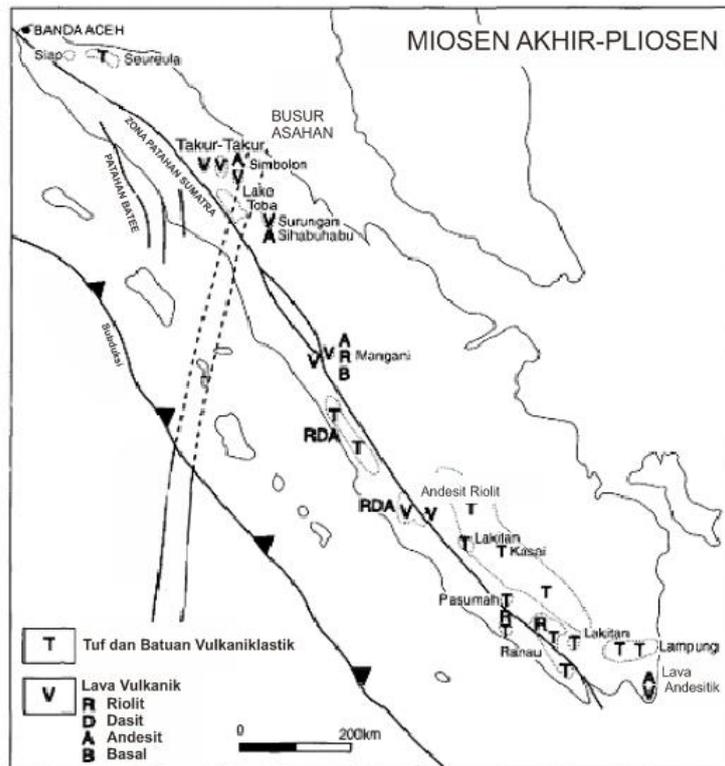
Gambar 2. Lokasi Penelitian (Susilawati dan Ward, 2006)

Analisis yang dilakukan berupa analisis kadar abu dan sulfur dengan metode proksimat yang mengacu pada ASTM D7582-12, analisis *x-ray diffraction* (XRD), analisis maseral dengan metode petrografi sayatan poles yang mengikuti klasifikasi menurut ICCP 1994; Sykorova dan Pickel, dkk., (2004); Pickel dan Kus, (2017) dan analisis geokimia dengan metode ICP-MS/AES.

GEOLOGI

Daerah penelitian berada di Cekungan Sumatera Selatan yang merupakan cekungan busur belakang dan terbentuk

sebagai hasil interaksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng mikro-Sunda (de Coster, 1974). Cekungan Sumatera Selatan tersusun oleh batuan sedimen Tersier yang terendapkan secara tidak-selaras di atas batuan metamorf dan batuan beku Pra-Tersier (Bishop, 2001). Menurut Barber (2005), secara fisiografis cekungan ini berarah barat laut-tenggara, yang dibatasi oleh Bukit Barisan di sebelah barat daya, Pegunungan Tiga Puluh di sebelah barat laut, Paparan Sunda di sebelah timur laut, dan Tinggian Lampung di sebelah tenggara. Batas barat daya Cekungan Sumatera Selatan yang dibatasi oleh Bukit Barisan merupakan penciri akhir siklus Neogen Tua (Oligosen Akhir-Miosen) proses vulkanisme di Sumatera yang ditandai dengan pengangkatan batuan Pra-Tersier pada Miosen Tengah (van Bemmelen, 1949 dalam Barber, 2005). Hal ini menunjukkan terdapat keterkaitan proses pengisian material sedimen pada Cekungan Sumatera Selatan dengan proses vulkanisme Tersier di Sumatera (Gambar 3). Penelitian berfokus pada Formasi Muara Enim sebagai formasi pembawa lapisan batubara. Formasi ini terbentuk pada Miosen Akhir-Pliosen Awal (Baumann, 1973 dalam Shell Minjbouw 1978). Formasi ini diendapkan secara menjeri dengan Formasi Air Benakat dengan ketebalan berkisar 450 sampai 750 m. Proses pengendapan Formasi Muara Enim diawali pada lingkungan laguna dan berubah menjadi lingkungan delta dan *tidal flat* (Pujobroto, 1997). Menurut Amijaya dan Littke (2005), secara umum pada Formasi Muara Enim dijumpai batulempung, batulanau, dan beberapa lapisan batupasir dengan lapisan batubara dengan ketebalan maksimal mencapai 140 m. Selama pembentukan Formasi Muara Enim pada Miosen Akhir hingga Pliosen Awal (Baumann, 1973 dalam Shell Minjbouw, 1978) detritus vulkanik terbawa dan terendapkan pada saat terjadi proses pengendapan, yang diindikasikan dengan lapisan *tonstein*. *Tonstein* yang terendapkan ini merupakan bukti peningkatan aktivitas vulkanisme (Pujobroto,1997).



Gambar 3. Peta persebaran material vulkanik proses vulkanisme Tersier periode Miosen Akhir hingga Pliosen di Sumatera (Barber, 2005)

HASIL

Data Lapangan

Hasil identifikasi di lapangan diperoleh data lapangan berupa deskripsi litologi, kolom stratigrafi rinci, dan pengambilan contoh batubara dan non-batubara. Batubara yang terdapat di lokasi pengamatan terdiri atas 2 lapisan, yakni A1 dan A2. Kedua lapisan tersebut dibatasi oleh lapisan *parting* berupa batupasir tufaan yang memiliki ketebalan 4 m.

Masing-masing lapisan batubara yang diamati memiliki *clay band* dengan ketebalan 3-20 cm, yakni *clay bands* 1, 2, dan 3 pada Lapisan Batubara A1, sedangkan pada A2 terdapat *clay band* 4. Keseluruhan *clay band* berperan sebagai *parting* atau lapisan pengotor di antara perlapisan batubara dengan litologi batulempung tufaan. Kolom stratigrafi di lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.

Analisis Mineralogi

Berdasarkan hasil analisis mineralogi dengan pengamatan megaskopis, petrografi sayatan poles, dan XRD (Tabel 1) secara umum conto batubara dan non-batubara di lokasi penelitian didominasi oleh mineral berikut:

Kuarsa

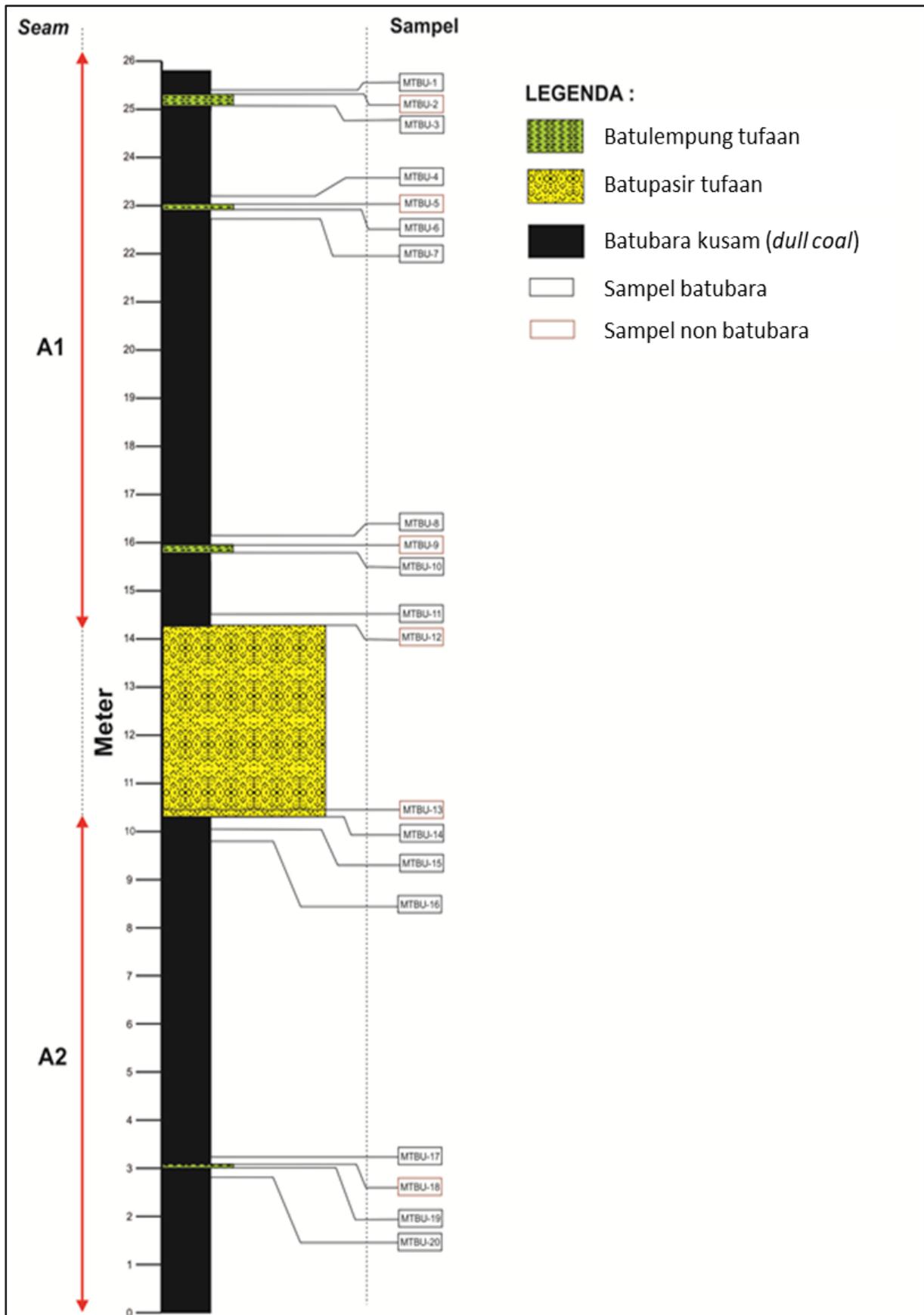
Kuarsa ditemukan dijumpai berbentuk butir melimpah pada *parting*, yakni pada litologi batupasir tufaan dan batulempung tufaan maupun mengisi rekahan pada conto batubara.

Pirit

Pirit dijumpai berbentuk butir dan mengisi rekahan pada conto batubara. Mineral ini hadir dengan kelimpahan yang lebih sedikit daripada kuarsa.

Kaolinit

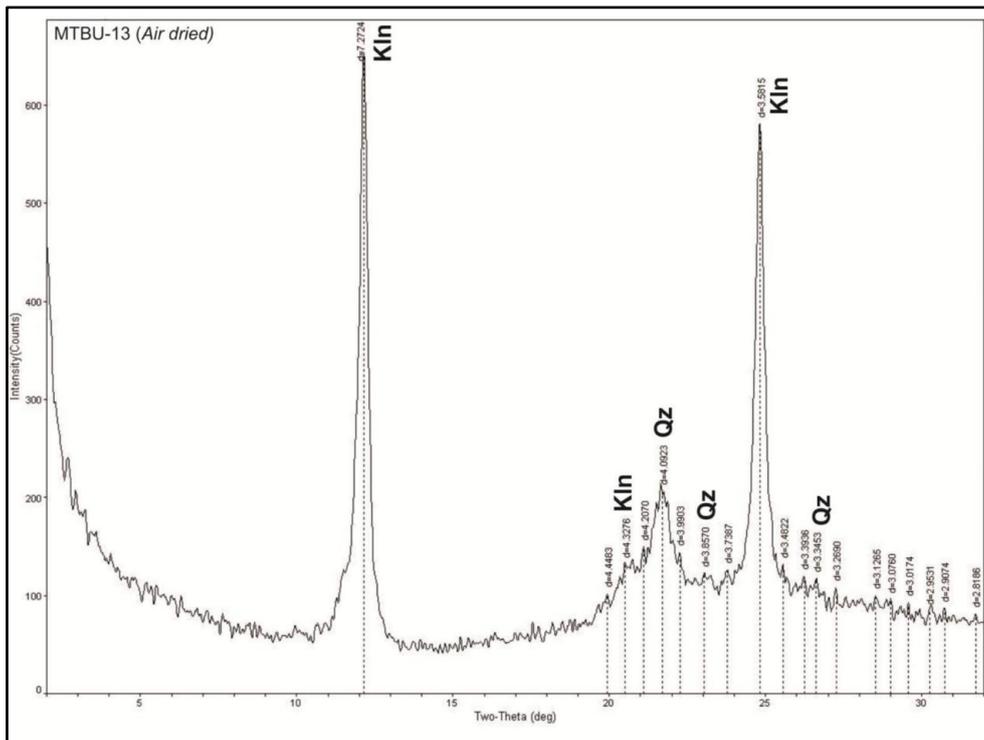
Kaolinit dijumpai hampir pada setiap conto *clay band*, yang dicirikan dengan nilai d 7.27, 4.32, 3.58 dan nilai 2-theta 12.3, 20.34, 24.82 (Gambar 5).



Gambar 4. Kolom stratigrafi di lokasi pengamatan

Tabel 1. Hasil analisis mineralogi dengan metode XRD pada conto non-batubara

Lapisan	Conto	Litologi	Mineral
A1	MTBU-02	Batulempung tufaan	Kuarsa, Kaolinit
A1	MTBU-05	Batulempung tufaan	Kuarsa, Kaolinit
A1	MTBU-09	Batulempung tufaan	Kuarsa, Kaolinit
A1	MTBU-12	Batupasir tufaan	Kuarsa, Kaolinit
A2	MTBU-13	Batupasir tufaan	Kuarsa, Kaolinit
A2	MTBU-18	Batulempung tufaan	Kuarsa, Kaolinit



Gambar 5. Diagram hasil analisis XRD

Analisis Maseral

Berdasarkan hasil pengamatan sayatan poles menggunakan mikroskop reflektan (*white light* dan *fluorescence*) pada 14 conto batubara diperoleh kandungan maseral terdiri atas kelompok maseral huminit, liptinit dan inertinit (Gambar 7 dan Gambar 8). Keterdapatn maseral pada keseluruhan conto didominasi oleh maseral huminit (48,9 s.d. 81,8%), diikuti oleh kelompok maseral liptinit (8,7 s.d. 31,3%) dan kelompok maseral inertinit (4,9 s.d. 17,5%)

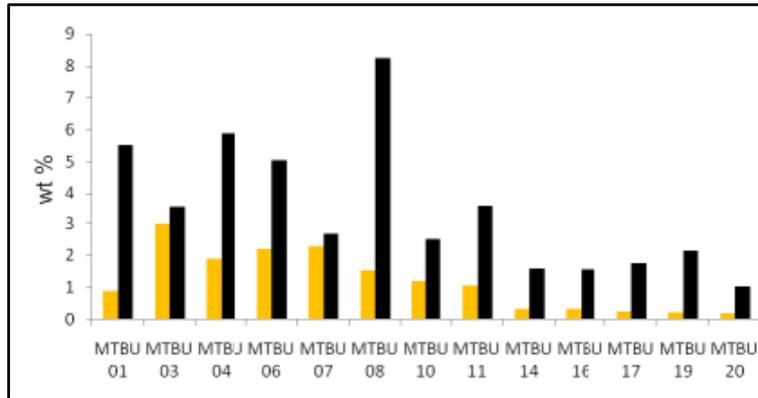
Analisis Kadar Abu dan Sulfur

Batubara di daerah penelitian memiliki kadar abu dan sulfur yang rendah (Gambar 6). Berdasarkan hasil analisis diperoleh rata-rata nilai kadar abu 3,45% dan rata-

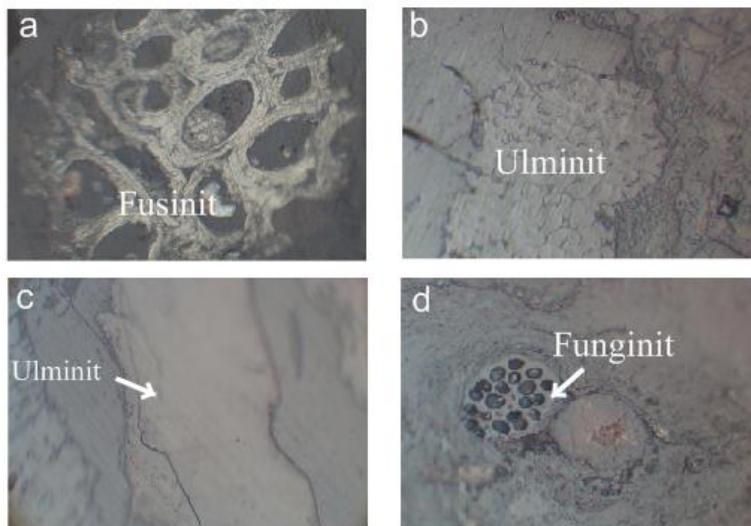
rata kadar sulfur 0,92%. Hal tersebut mencirikan batubara yang umum dijumpai di daerah Tanjung Enim.

Analisis Geokimia

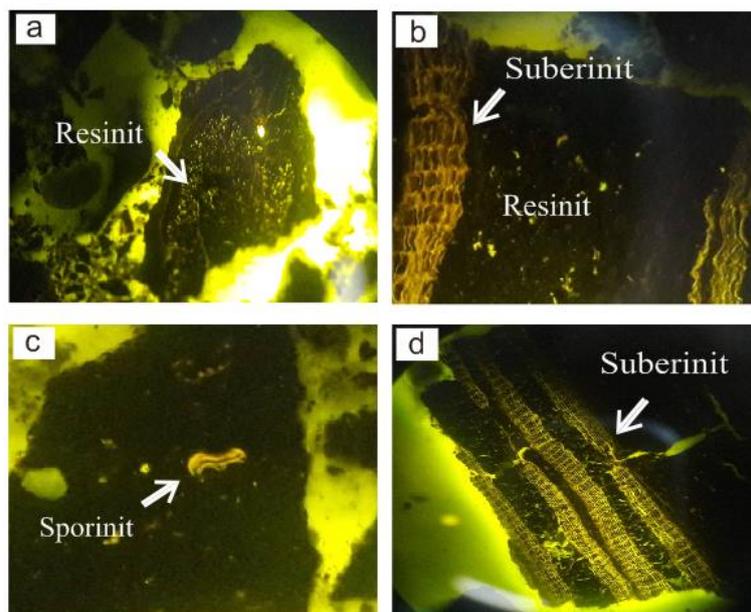
Analisis geokimia bertujuan untuk mengetahui komposisi batubara berupa konsentrasi UTJ dan senyawa oksida utama. UTJ yang dianalisis adalah La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Y, Ho, Er, Tm, Yb, dan Lu (Tabel 2). Konsentrasi UTJ berkisar dari 15,51 ppm s.d. 203,72 ppm. Senyawa oksida utama yang dianalisis adalah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, Cr₂O₃, TiO₂, MnO, P₂O₅, SrO, dan BaO. Kelimpahan dinyatakan dalam bentuk wt% (*weight percent*). Hasil analisis menunjukkan masing-masing conto memiliki kelimpahan SiO₂ dan Al₂O₃ yang dominan (Tabel 3).



Gambar 6. Kadar abu dan kadar sulfur pada keseluruhan contoh batubara (wt %)



Gambar 7. Kenampakan petrografi sayatan poles maseral grup inertinit: fusinit (a), funginit (d) dan grup huminit: ulminit (b dan c)



Gambar 8. Kenampakan petrografi sayatan poles kelompok maseral liptinit, resinit (a), resinit dan suberinit (b), sporinit (c), dan suberinit (d)

Tabel 2. Konsentrasi UTJ pada keseluruhan conto

No	Lapisan Batubara	Sampel	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Y ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	TOTAL REE
1	A1	MTBU 01	2,7	6,4	0,86	4,2	1,36	0,35	1,35	0,26	1,87	7,7	0,38	1,2	0,21	1,37	0,25	30,46
2	A1	MTBU 02	5,7	9,5	1,09	4,1	1,25	0,25	0,91	0,21	1,18	7,2	0,29	0,92	0,15	1,07	0,17	33,99
3	A1	MTBU 03	2,8	7,9	1,27	5,3	1,35	0,37	1,48	0,29	2,08	8,1	0,41	1,43	0,24	1,49	0,18	34,69
4	A1	MTBU 04	5,4	15,3	2,28	8,7	2,58	0,63	2,39	0,45	2,55	10,2	0,51	1,52	0,24	1,45	0,18	54,38
5	A1	MTBU 05	3,9	8,7	1,21	4	1,12	0,19	1,03	0,23	1,68	8,8	0,35	1,17	0,16	1,33	0,19	34,06
6	A1	MTBU 06	4,4	12,4	1,88	6,9	1,96	0,55	1,96	0,38	2,24	9,1	0,47	1,13	0,17	1,14	0,15	44,83
7	A1	MTBU 07	3	5,9	0,79	3,1	0,6	0,18	0,8	0,12	0,96	5,4	0,17	0,54	0,1	0,47	0,12	22,25
8	A1	MTBU 08	7,4	17,3	2,34	9,3	2,03	0,52	1,78	0,3	1,83	9,6	0,47	1,18	0,19	1,33	0,2	55,77
9	A1	MTBU 09	2,4	5,1	0,61	2,6	0,57	0,11	0,51	0,09	0,61	3,8	0,14	0,58	0,11	0,58	0,14	17,95
10	A1	MTBU 10	4	8,2	1,07	3,9	0,85	0,32	1,01	0,21	1,33	7,7	0,33	0,94	0,14	0,95	0,15	31,1
11	A1	MTBU 11	29,1	56,4	6,91	24,4	5,29	1,53	5,78	1,25	8,6	48,9	1,85	5,59	0,91	6,23	0,98	203,72
12	A2	MTBU 12	36	69,3	8,12	26,9	4,85	0,75	4,94	0,83	4,59	25,8	0,92	2,82	0,41	2,57	0,36	189,16
13	A2	MTBU 13	8,1	13,8	1,45	5,4	0,91	0,23	1,01	0,17	1,3	8,3	0,3	0,95	0,16	1,19	0,22	43,49
14	A2	MTBU 14	20,8	43,3	5,46	18,7	4,56	1,09	4,27	0,84	5,7	29,7	1,24	3,86	0,57	4,44	0,58	145,11
15	A2	MTBU 15	1,6	3,5	0,44	1,9	0,58	0,1	0,73	0,16	0,92	7,1	0,21	0,62	0,1	0,73	0,12	18,81
16	A2	MTBU 16	5	10,4	1,44	4,9	1,25	0,23	1,24	0,23	1,31	8,9	0,27	0,9	0,18	1,3	0,18	37,73
17	A2	MTBU 17	2,4	5	0,68	2,6	0,56	0,1	0,49	0,07	0,47	2,9	0,06	0,26	0,05	0,33	0,05	16,02
18	A2	MTBU 18	20,6	37,5	4,57	16,9	3,66	0,72	3,6	0,54	3,29	20,8	0,76	2,32	0,36	2,51	0,34	118,47
19	A2	MTBU 19	2,6	4,8	0,63	2,5	0,49	0,09	0,66	0,06	0,56	3,6	0,1	0,28	0,08	0,5	0,07	17,02
20	A2	MTBU 20	2,3	4,4	0,63	2,2	0,57	0,13	0,49	0,08	0,36	3,4	0,08	0,33	0,04	0,44	0,06	15,51

Batubara
 Batupasir tufaan
 Batulempung tufaan
 Batulempung

Tabel 3. Konsentrasi senyawa oksida utama pada keseluruhan conto

No	Lapisan Batubara	Sampel	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	Total Major Oxides	LOI
1	A1	MTBU 01	53,18	37,26	5,57	1,27	0,64	0,16	0,48	0,03	1,43	0,16	0,16	0,16	0,16	6,28	93,5
2	A1	MTBU 02	54,21	41,85	2,47	0,10	0,16	0,01	0,20	0,00	0,92	0,04	0,01	0,01	0,01	73,59	24,8
3	A1	MTBU 03	48,81	38,19	10,18	1,11	0,45	0,07	0,22	0,01	0,89	0,07	0,07	0,07	0,07	13,46	85,8
4	A1	MTBU 04	52,35	39,13	3,36	2,15	0,67	0,13	0,74	0,01	1,41	0,13	0,07	0,07	0,07	14,92	85,1
5	A1	MTBU 05	52,28	39,08	3,35	2,14	0,67	0,13	0,74	0,01	1,41	0,13	0,07	0,07	0,07	75,68	22,9
6	A1	MTBU 06	56,42	40,43	1,33	0,12	0,15	0,03	0,16	0,00	1,31	0,01	0,03	0,01	0,01	6,95	92,9
7	A1	MTBU 07	43,31	38,56	11,08	4,17	1,58	0,14	0,29	0,03	0,58	0,29	0,14	0,14	0,14	2,8	97
8	A1	MTBU 08	25,00	22,14	42,14	7,50	2,14	0,36	0,36	0,07	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	9,37	90,4
9	A1	MTBU 09	54,72	43,20	0,35	0,12	0,10	0,01	0,07	0,00	1,34	0,01	0,03	0,01	0,01	76,35	23,3
10	A1	MTBU 10	34,42	39,29	15,91	6,82	2,27	0,32	0,32	0,06	0,65	0,65	0,32	0,32	0,32	3,08	96,8
11	A1	MTBU 11	35,91	28,39	33,11	1,03	0,37	0,07	0,15	0,01	0,96	0,07	0,07	0,07	0,07	13,56	85,8
12	A1	MTBU 12	64,52	33,79	0,77	0,04	0,14	0,02	0,13	0,00	0,56	0,01	0,02	0,01	0,01	85,24	15,15
13	A2	MTBU 13	75,33	21,53	2,31	0,10	0,20	0,02	0,14	0,00	0,35	0,01	0,01	0,01	0,01	88,01	13,2
14	A2	MTBU 14	58,32	37,67	1,82	0,85	0,36	0,12	0,12	0,02	0,73	0,12	0,12	0,12	0,12	8,23	91,3
15	A2	MTBU 15	97,78	1,47	0,47	0,06	0,04	0,03	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	78,75	22,9
16	A2	MTBU 16	56,69	33,07	5,12	3,15	0,79	0,39	0,39	0,08	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	2,54	97,2
17	A2	MTBU 17	71,78	17,79	5,52	2,04	0,20	0,20	0,20	0,04	0,41	0,20	1,84	0,41	0,20	4,89	93,4
18	A2	MTBU 18	75,82	20,32	1,72	0,06	0,24	0,04	0,57	0,01	1,13	0,02	0,08	0,02	0,02	49,463	49
19	A2	MTBU 19	54,18	38,70	3,72	1,55	0,31	0,31	0,31	0,06	0,93	0,31	0,31	0,31	0,31	3,23	96,9
20	A2	MTBU 20	59,48	30,07	5,88	2,29	0,33	0,33	0,65	0,07	0,98	0,33	0,33	0,33	0,33	3,06	96,4

Batubara
 Batupasir tufaan
 Batulempung tufaan
 Batulempung

PEMBAHASAN

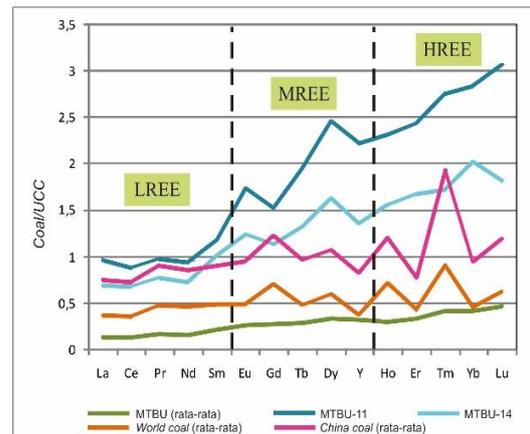
Konsentrasi UTJ Batubara

Nilai total konsentrasi UTJ pada keseluruhan conto berkisar 15,51 ppm s.d. 203,72 ppm (Gambar 10). Terdapat empat conto batubara dan non-batubara yang mengalami pengayaan konsentrasi UTJ jika dibandingkan dengan konsentrasi UTJ alami pada batubara menurut Ketriz dan Yudovich (2009) yakni 68,5 ppm. Pengayaan konsentrasi UTJ pada conto

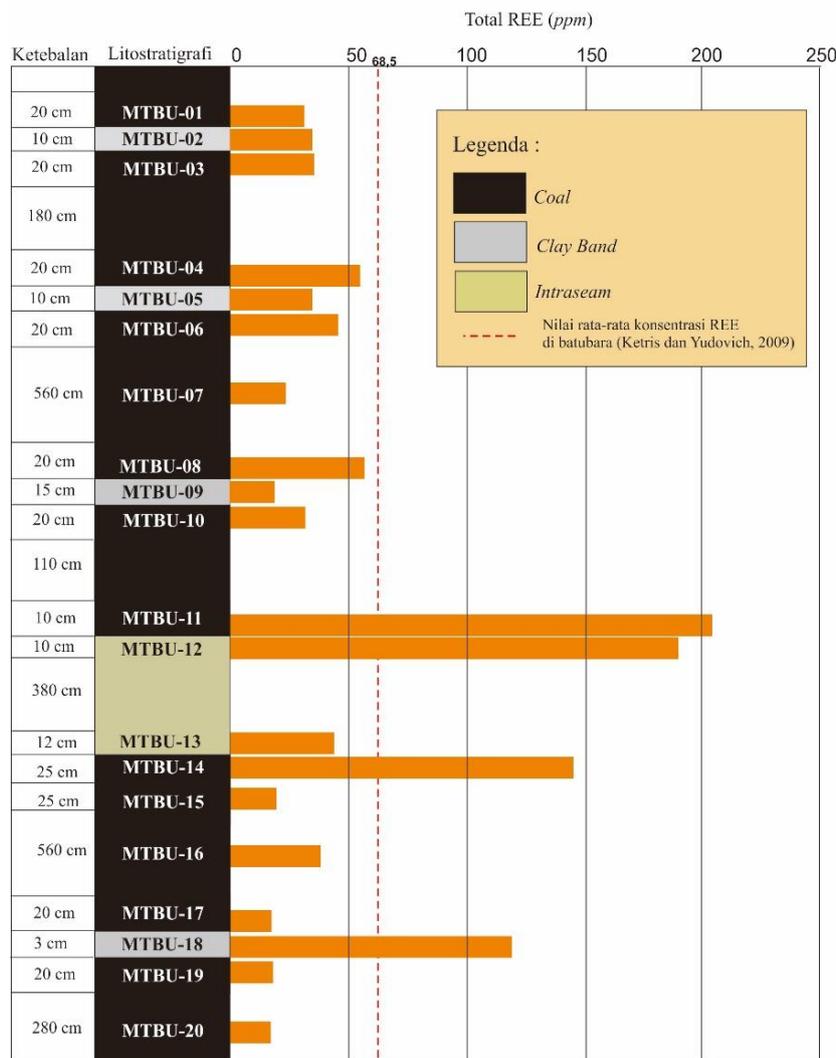
batubara terdapat pada conto MTBU-11 (203,72 ppm) dan conto batubara MTBU-14 (145,11 ppm). Conto non batubara yang mengalami pengayaan memiliki nilai konsentrasi tertinggi pada conto MTBU-12 dengan litologi batupasir tufaan (189,16 ppm) diikuti oleh conto MTBU-18 (118,47 ppm) dengan litologi batulempung tufaan (Tabel 2). Keterdapatn UTJ pada conto diklasifikasikan pada 3 jenis UTJ yakni UTJ Ringan (*Light Rare Earth Elements/LREE*), UTJ Menengah (*Medium Rare Earth Elements/MREE*), dan UTJ Berat (*Heavy*

Rare Earth Elements/HREE) menurut Seredin dan Dai (2012). Nilai konsentrasi UTJ selanjutnya dinormalisasi dengan nilai konsentrasi UTJ pada *Upper Continental Crust* (UCC).

Hasil analisis data konsentrasi UTJ menunjukkan UTJ pada keseluruhan conto didominasi oleh jenis UTJ Berat (HREE) (44,21%) kemudian diikuti oleh UTJ Menengah (MREE) (35,02%), dan UTJ Ringan (LREE) (20,78%). Conto batubara dengan nilai konsentrasi tertinggi (MTBU-11 dan MTBU-14) memiliki nilai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rata-rata konsentrasi UTJ pada batubara dunia menurut Ketris dan Yudovich (2009) dan batubara Cina (Dai dan Ren, 2012) (Gambar 9).



Gambar 9. Komparasi nilai konsentrasi UTJ pada batubara conto MTBU-11, MTBU-14, batubara Cina (Dai dan Ren, 2012) dan batubara dunia (Ketris dan Yudovich, 2009)



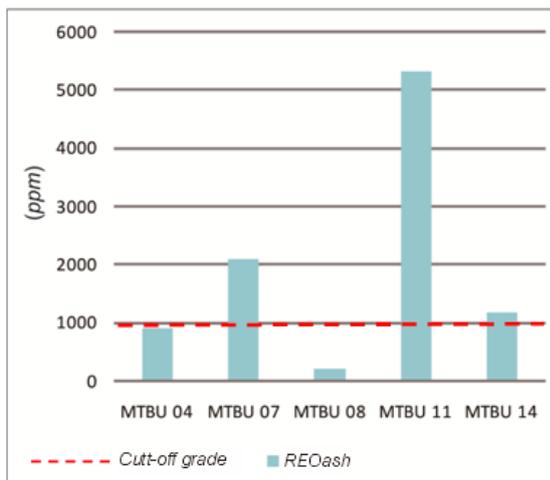
Gambar 10. Persebaran nilai konsentrasi UTJ pada keseluruhan conto

Evaluasi Pengayaan Batubara

Kondisi geologis tertentu dapat menyebabkan pengayaan UTJ dengan faktor yang mengontrol meliputi geokimia batuan sumber dari darat, kandungan fluida hidrotermal, pengaruh lingkungan laut, material vulkanik, dan lingkungan pengendapan gambut (Dai dan Graham, 2017). Nilai konsentrasi UTJ ditinjau dengan berbagai paramater untuk mengkaji prospek pengayaannya.

Perhitungan nilai REO_{ash}

Prospek industri pengayaan UTJ dapat ditinjau dengan nilai *cut-off grade* pada abu batubara (REO_{ash}) adalah ≥ 1.000 ppm atau ≥ 800 ppm untuk lapisan batubara dengan ketebalan >5 meter (Dai dan Graham, 2017). Analisis proksimat yang dilakukan menghasilkan data kadar abu yang digunakan untuk perhitungan konsentrasi UTJ pada abu (REO_{ash}). Perhitungan dilakukan pada keseluruhan conto dan ditinjau hasil perhitungan pada 3 conto *bulk*, yakni MTBU-04, MTBU-07, MTBU-08, dan pada conto dengan konsentrasi UTJ tertinggi, yakni MTBU-11 dan MTBU-14. Data yang diperoleh menunjukkan adanya pengayaan UTJ yang memenuhi nilai *cut-off grade* pada conto MTBU-07, MTBU-11, dan MTBU-14 (Gambar 11).

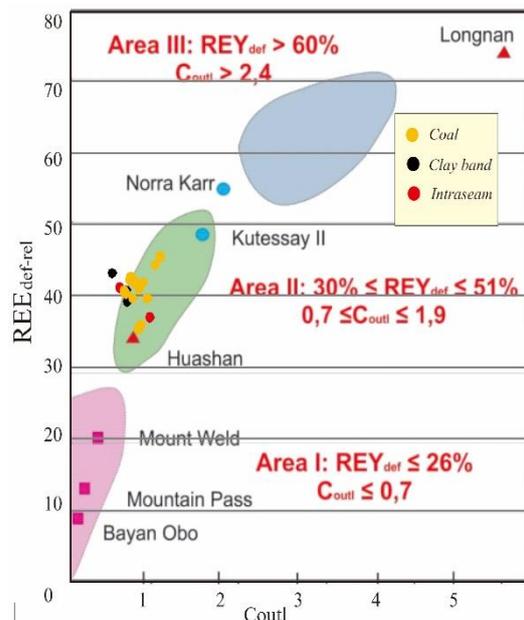


Gambar 11. Perbandingan konsentrasi UTJ pada conto MTBU, *world coal* (Ketris dan Yudivich, 2009), dan *China coal* (Dai dan Ren, dkk., 2012)

Perhitungan nilai C_{outl} dan $REE_{def-rel}$

Selain memenuhi nilai *cutt-off grade*, prospek pengayaan UTJ menurut tren pasar (dalam lingkup industri) ditinjau menggunakan perhitungan C_{outl} dan $REE_{def-rel}$. Perhitungan tersebut dilakukan untuk melihat apakah deposit UTJ mengandung unsur UTJ yang langka semaksimal mungkin. Menurut perhitungan yang dilakukan, dijumpai nilai C_{outl} tertinggi pada conto batubara MTBU-6 dengan nilai 1,20 dan rata-rata nilai C_{outl} 0,82. Nilai tersebut menunjukkan bahwa batubara di daerah MTBU mengandung lebih banyak unsur yang jarang ditemukan mengacu pada klasifikasi menurut Dai dan Graham, (2017) nilai C_{outl} $0,7 \leq C_{outl} \leq 2,4$ berada pada klasifikasi *promising area*. Nilai perhitungan C_{outl} kemudian diplot bersama nilai $REE_{def-rel}$ (*critical REE*/total *REE*) pada diagram menurut Seredin dan Dai, (2012).

Diagram yang dihasilkan menunjukkan konsentrasi UTJ pada conto secara dominan termasuk pada *promising area* (*cluster II*) yang dicirikan dengan nilai $30\% \leq REE_{def-rel} \leq 51\%$. Hal tersebut merupakan potensi yang baik pada skala industri dan telah diterapkan pada deposit Hutoshan dan Kutessay (Gambar 12).



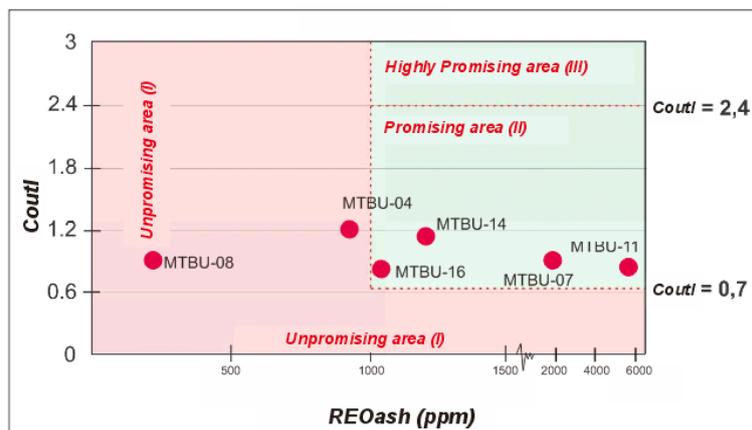
Gambar 12. Plot diagram $REE_{def-rel}$ dan C_{outl} menurut Dai dan Finkleman (2018)

Evaluasi pengayaan UTJ berdasarkan perhitungan C_{outl} selanjutnya ditinjau menggunakan diagram C_{outl} dan nilai REO_{ash} menurut Dai dan Finkleman (2018) pada conto *bulk* dan conto dengan konsentrasi UTJ tertinggi. Diagram yang dihasilkan mendukung nilai konsentrasi UTJ termasuk pada klasifikasi *promising area* kecuali pada conto MTBU-04 dan MTBU-08 yang memiliki nilai REO_{ash} di bawah 1000 ppm (Gambar 13).

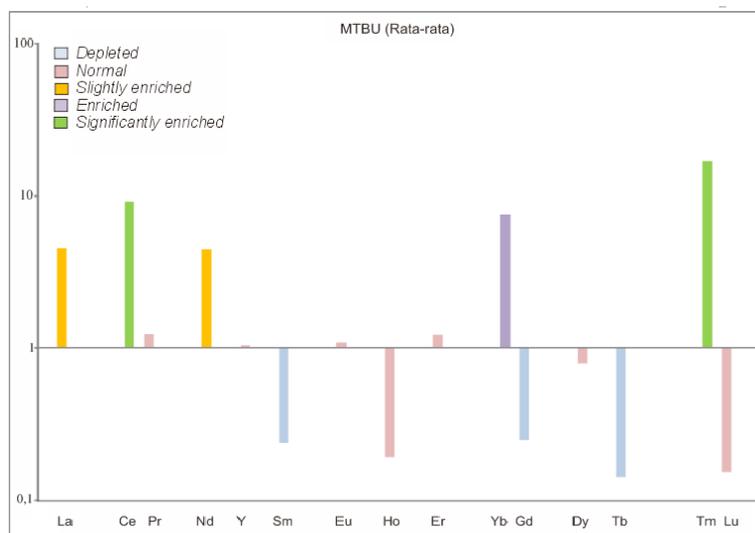
Perhitungan Concentration coefficient

Parameter untuk mengkaji pengayaan individu UTJ dapat diklasifikasikan menurut Dai dan Graham, (2017) berdasarkan perhitungan *concentration coefficient* (CC). CC merupakan rasio konsentrasi UTJ pada batubara yang diidentifikasi/rasio rata-rata

nilai UTJ pada batubara dunia menurut Ketris dan Yudovich (2009). Klasifikasi tersebut membagi pengayaan UTJ menjadi *unusually enriched* ($CC > 100$), *significantly enriched* ($10 < CC < 100$), *enriched* ($5 < CC < 10$), *slightly enriched* ($2 < CC < 5$), *normal* ($0,5 < CC < 2$), *depleted* ($CC < 0,5$). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata conto MTBU pada keseluruhan unsur UTJ Ringan, yakni (La, Ce, Pr, Nd, dan Sm) yang masuk pada klasifikasi terkayakan, kecuali pada unsur Sm. Unsur UTJ Menengah Eu, Dy, Y tergolong klasifikasi normal, dan unsur Gd dan Tb *depleted*. Unsur UTJ Berat secara umum tergolong *slightly enriched*, yakni Ho, Er, dan Lu berada pada klasifikasi normal, sedangkan Tm dan Yb terkayakan (Gambar 14).



Gambar 13. Plot diagram REO_{ash} dan C_{outl} menurut Dai dan Finkleman (2018)



Gambar 14. Diagram *concentration coefficient*

Tipe Genetik Pengayaan Batubara

Tipe distribusi UTJ

Tipe distribusi UTJ pada batubara menunjukkan hampir keseluruhan conto memiliki tipe H (Berat) ($L_{AN}/L_{UN} < 1$) (Gambar 15). Terdapat dua conto dengan tipe H dan M, yakni conto MTBU-4 dan MTBU-6. Tipe L ($L_{AN}/L_{UN} > 1$) dijumpai hanya pada conto MTBU.

Menurut Seredin dan Dai (2012), tipe distribusi UTJ yang menunjukkan tipe L ($L_{AN}/L_{UN} > 1$) memiliki tipe genetik tufaan, hal ini selaras pada conto MTBU-12 yang hadir sebagai *parting* pada batubara dengan litologi batupasir tufaan. Conto MTBU-12 memiliki konsentrasi total UTJ tertinggi pada keseluruhan conto non-batubara. Keseluruhan conto kecuali conto MTBU-12 memiliki tipe H. Pengayaan dengan tipe ini dapat terjadi dengan proses pengayaan yang bervariasi. Secara dominan, pengayaan dapat terjadi karena sirkulasi air di sekitar cekungan batubara seperti air laut, air dari darat yang bersifat alkalin, dan *vulcanogenic fluids* (Seredin dan Dai, 2012). Pengayaan UTJ dengan nilai total konsentrasi UTJ tertinggi (203,72 ppm) terdapat pada lapisan batubara yang berada di atas lapisan *parting*.

Pengayaan tersebut relevan dengan pernyataan Seredin dan Dai (2012), dengan pengayaan batubara dapat berasosiasi dengan keterdapatannya tonstein, khususnya pada *tonstein* tipe alkalin dan *silicic*. Keseluruhan conto *clay band* dengan litologi batulempung tufaan diplot pada diagram klasifikasi jenis *tonstein* oleh Dai dan Wang, (2011) berdasarkan perbandingan nilai Al_2O_3 dan TiO_2 . Menurut klasifikasi tersebut, dijumpai keseluruhan conto termasuk pada klasifikasi *alkaline tonstein* (Gambar 16).

Anomali *redox-sensitive* dan *redox non-sensitive*

Distribusi penyebaran unsur UTJ telah lazim digunakan untuk interpretasi genetik dan diferensiasi pada batuan beku dan

kajian terhadap batuan sedimen, termasuk batubara. Anomali *redox-sensitive* dan *redox non-sensitive* akan menunjukkan interpretasi genetik tertentu pada unsur yang dianalisis. Perhitungan anomali *redox-sensitive* dan *redox non-sensitive* dilakukan pada keseluruhan conto *bulk* dan conto dengan konsentrasi tertinggi. Anomali diamati pada diagram distribusi konsentrasi UTJ yang telah dinormalisasi terhadap *upper continental crust* pada tiap-tiap conto. Diagram yang dihasilkan menunjukkan terdapat anomali Ce negatif pada hampir keseluruhan conto. Dai dan Xie, (2017) menyatakan anomali Ce negatif merupakan anomali yang umum terjadi karena proses pencucian pada *parting* batubara.

Anomali Eu menunjukkan anomali positif. Hal tersebut dapat menjadi indikasi terdapatnya pengaruh temperatur yang tinggi pada proses penggabutan batubara (Dai dan Xie, 2017). Pengaruh temperatur yang tinggi dapat disebabkan oleh terdapatnya intrusi magmatik di sekitar lokasi penelitian (Amijaya dan Littke, 2005). Selama pembentukan batubara tidak terdapat intrusi air laut yang berarti, dicirikan dengan anomali Y negatif dan anomali Gd negatif. Hal tersebut juga didukung dengan kadar sulfur pada conto yang rendah. Anomali La menunjukkan positif dijumpai pada hampir keseluruhan conto yang mencirikan terdapat *input material* dengan kandungan Ti yang tinggi (Dai dan Xie 2017).

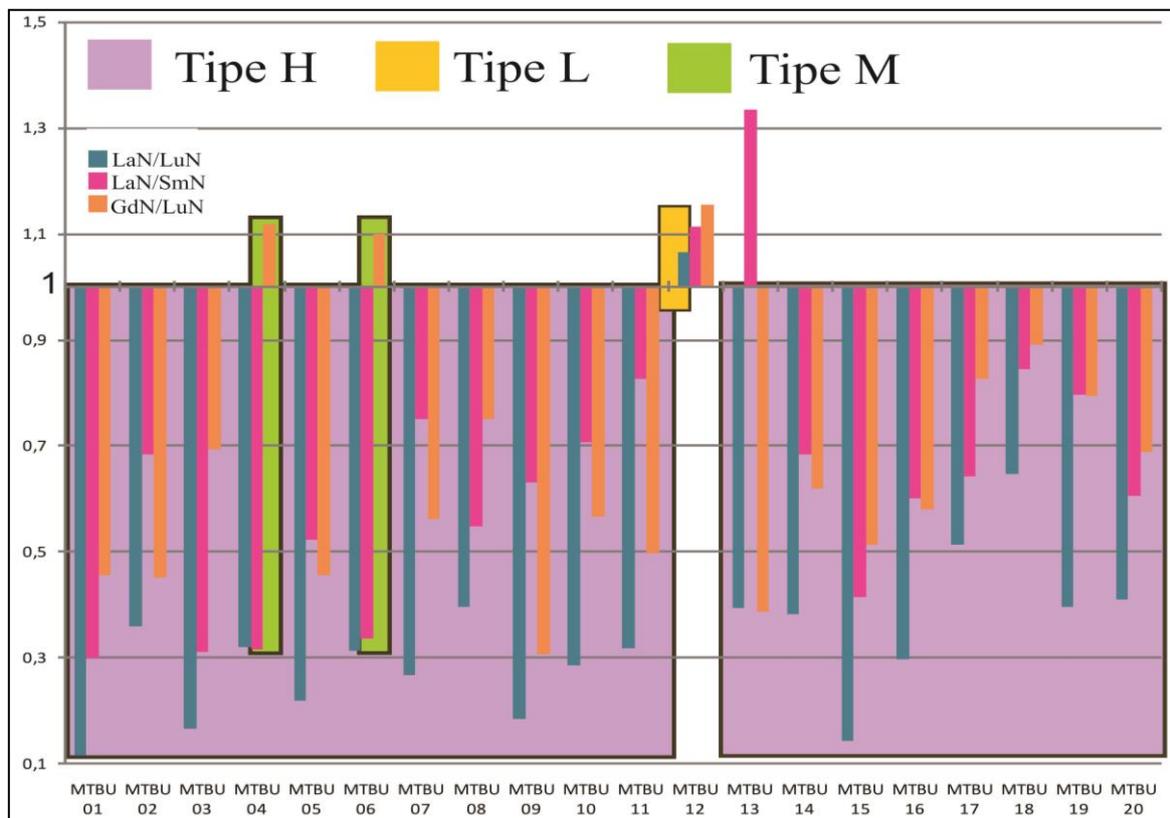
Proses Pengayaan UTJ

Proses pengayaan UTJ dianalisis melalui data yang berkaitan dengan komposisi batubara yakni hasil analisis geokimia, kadar abu dan kadar sulfur, kelimpahan maseral, dan kondisi geologis daerah penelitian. Berdasarkan hasil analisis geokimia diperoleh conto menunjukkan tipe distribusi tipe L dan H. Tipe tersebut menunjukkan tipe pengayaan tufaan yang berkaitan dengan proses sirkulasi air. Hasil analisis anomali Y dan Gd yang menunjukkan nilai negatif mengindikasikan pengayaan UTJ yang terjadi tidak

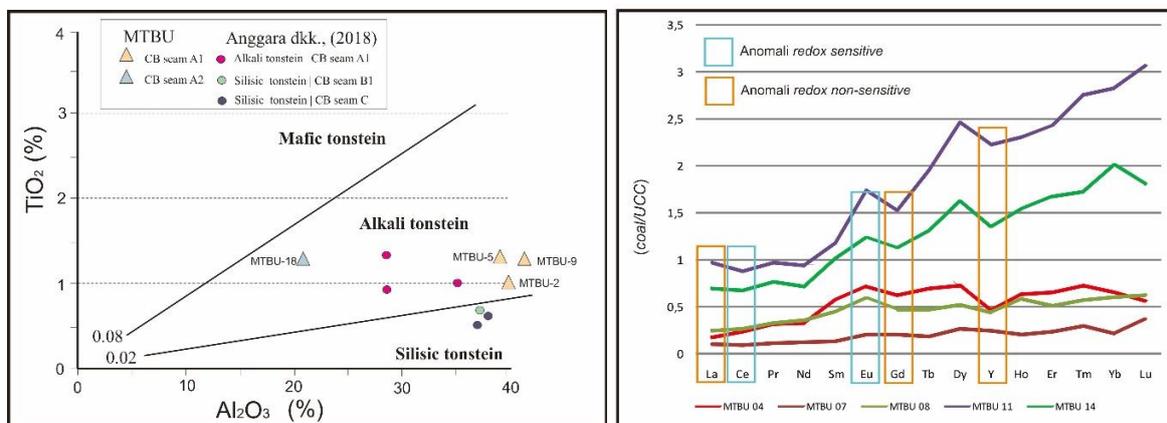
dipengaruhi oleh sirkulasi air laut, melainkan karena proses pencucian *parting* pada batubara yang dicirikan dengan anomali Ce negatif (Dai dan Xie, 2017).

Tidak terdapatnya pengaruh air laut selama proses pembentukan batubara didukung oleh konsentrasi sulfur yang rendah. Nilai total sulfur yang didapatkan berkisar 0,16-2,98% dengan nilai rata-rata 0,92%. Selain

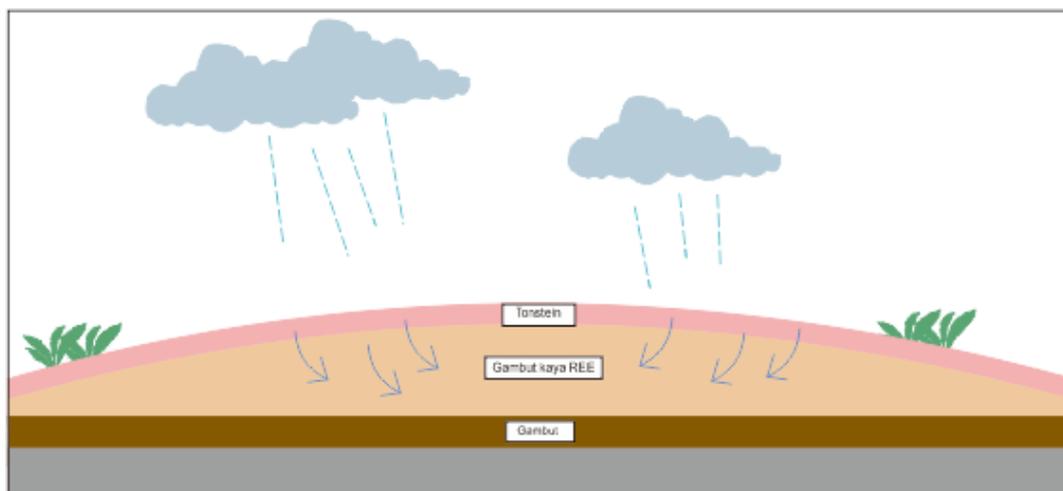
itu terdapat proses pengayaan yang berasal dari lapisan *interseam* berupa batupasir tufaan yang mengayakan UTJ pada batubara di atasnya bersama dengan sirkulasi air. Hasil analisis pola distribusi UTJ yang menunjukkan tipe L menunjukkan tipe genetik tufaan yang terkayakan pada fase pengangkutan pada proses pembentukan batubara (Gambar 17).



Gambar 15. Tipe distribusi UTJ



Gambar 16. Plot klasifikasi tonstein berdasarkan Dai (2011), diagram anomali redox-sensitive dan redox-non sensitive



Gambar 17. Model proses pengayaan UTJ

Menurut Seredin dan Dai (2012) tipe genetik tufaan mencirikan pengayaan UTJ terjadi pada *peat bog stage* pembentukan batubara. Kelimpahan maseral pada keseluruhan perlapisan batubara menunjukkan pada bagian bawah (Lapisan Batubara A2) didominasi oleh subgrup maseral telohuminit dan maseral liptinit, sedangkan pada bagian atas (Lapisan Batubara A1) didominasi oleh subgrup maseral telohuminit dan inertinit. Subgrup maseral telohumionit hadir berasosiasi dengan subgrup detrohumininit dengan persentase yang berimbang. Hal ini dapat mengindikasikan selama proses pengendapan batubara terdapat mekanisme fluktuasi permukaan air. Keterdapatn grup maseral liptinit dengan persentase yang tinggi mengindikasikan pembentukan batubara terjadi pada kondisi *sub-aquatic* dicirikan dengan kehadiran maseral liptodetrinit yang melimpah (2,4-13,6%) (Teichmuller, 1989 dalam Amijaya dan Littke, 2005). Kondisi *sub-aquatic* tersebut mengindikasikan *input* air intensif yang bersirkulasi membawa hasil pencucian *parting* (*tonstein*) yang menyebabkan pengayaan UTJ pada gambut, sehingga ketika terjadi proses pembatubaraan diperoleh batubara yang memiliki pengayaan UTJ. Pengayaan UTJ akan terkonsentrasi pada batubara di sekitar perlapisan *parting*, karena konsentrasi UTJ akan semakin berkurang jika semakin menjauhi sumber pengayaan UTJ.

KESIMPULAN

Batubara pada Lapangan Muara Tiga Besar Utara, Tanjung Enim, Cekungan Sumatera Selatan mengalami pengayaan UTJ tipe UTJ Berat dengan total konsentrasi tertinggi mencapai 203,72 ppm. Tipe genetik pengayaan UTJ tergolong pada tipe tufaan dan termasuk pada tipe distribusi UTJ tipe H yang berkaitan dengan sirkulasi air. Pengayaan UTJ merupakan hasil pencucian *alkaline tonstein* pada fase penggambaran batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Amijaya, H., and Littke, R., 2005, *Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal, South Sumatra Basin, Indonesia. Int. J. Coal Geol.*, 61. p. 7-221.
- Anggara, F., Amijaya, D.H., Harijoko, A., Tambaria, N.T., Sahri, A.A., and Asa, Z.A.N., 2018, *Rare earth element and yttrium content of coal in the Banko coalfield, South Sumatra Basin, Indonesia: Contribution from tonstein layers. Int. J. Coal Geol.*, 196. p. 159-172.
- Barber, A.J., Crow, M.J., and Milsom, J., 2005, *Sumatra: geology, resources and tectonic evolution: London, The Geological Society*, 290 p.

- Bohor, B.F., and Triplehorn, D., 1993, *Tonstein: altered volcanic ash layers in Coal Bearing Sequences: Geological Society of America Spec*, 285, p. 44.
- Castor, S.B., Hedrick, J.B., 2006, *Rare Earth Elements. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*, vol. 7 p. 769-792.
- Dai, S., Graham IT., and Ward C.R., 2017. A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. *Int. J. Coal Geol*, 159. p. 82–95.
- Dai, S., Ren, D., Chou, C.L., Finkelman, R.B., Seredin, V.V., Zhou, Y., 2011, *Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impact on human health, and industrial utilization. Int. J. Coal Geol*, 94. p. 3-21.
- Dai, S., Wang, X., Zhou, Y., Hower, J.C., Li, D., Chen, W., Zhu, X., and Zou, J., 2011, *Chemical and mineralogical compositions of silicic, mafic, and alkali tonsteins in the late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, Southwest China. Chemical Geology*, 282. p. 29–44.
- Dai, S., Weiguo, Z., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Song, W., Wang, X., Li, X., Zhao, L., Kang, H., Zheng, L., Wang, P., and Zhou, D., 2013, *Factors controlling geochemical and mineralogical compositions of coals preserved within marine carbonate sUCCesions: a case study from the Heshan Coalfield, Southern China: Int. J. Coal Geol*. 109-110, 77-100 p.
- Dai, S., Xie, P., Jia, S., Ward, C.R., Hower, J.C., Yan, X., and French, D. 2017, *Enrichment of U-Re-V-Cr-Se and rare earth elements in the Late Permian coals of the Moxinpo Coalfield, Chongqing, China: Genetic Implications from geochemical and mineralogical data: Int. J. Coal Geol*, 80.p. 1-17.
- de Coster, G.L., 1974, *The geology of Central and South Sumatra Basins. Proceedings Indonesian Petroleum Association 3rd Annual Convention. Jakarta. p. 77–110.*
- Humphries, M., 2011, *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain, Diane Publishing. 18 p.*
- Ketris, M.P., Yudovich, Ya.E., 2009, *Estimations of Clarks for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. Int. J. Coal Geol*, 78.p. 135-148.
- Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaistzidis, S., Christanis, K., Cardott, B.J., Miszkennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido, M., Crosdale, P., Wagner, N., ICCP, 2017, *Classification of liptinite. Int. J. Coal Geo.*, 169.p. 40-61.
- Pujobroto, A., 1997, *Organic petrology and geochemistry of Bukit Asam coal, South Sumatra, Indonesia: Unpublished Ph.D. thesis, University of Wollongong, Australia, 420 p.*
- Seredin, V. V., 1996. Rare Earth Element-Bearing Coals from the Russian Far East Deposits. *Int. J. Coal Geol*, 30.p. 101-129.
- Seredin, V.V., Dai, S., 2012, *Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. Int. J. Coal Geol*, 94.p. 67–93.
- Shell Mijnbouw, N.V., 1978, *Geological study of the Bukit Asam coal mines: Jakarta, 7-17 p. (unpublished).*
- Sykorova, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H., Flores, D., 2004, *Classification of huminite-ICCP System 1994. Int. J. Coal Geol*, 62. p.85-106.
- Susilawati, R., and Collin, R.W., *Metamorphism of mineral matter in coal from the Bukit Asam deposit, south Sumatera, Indonesia. Int. J. Coal Geol*, 68.p. 171-195.
- Triplehorn, D., 1990, *Applications of tonstein to coal geology: some examples from western United States. Int. J. Coal. Geol*, 16.p. 157-160.

Diterima	: 25 Oktober 2019
Direvisi	: 14 November 2019
Disetujui	: 30 November 2019

STUDI GEOKIMIA ENDAPAN SUNGAI AKTIF UNTUK MENDELINEASI AREA PROSPEK MINERALISASI LOGAM DI BAGIAN SELATAN KABUPATEN BLITAR, PROVINSI JAWA TIMUR**GEOCHEMICAL STUDY OF ACTIVE STREAM SEDIMENTS TO DELINEATE MINERALISATION PROSPECT AREA IN THE SOUTH PART OF BLITAR REGENCY, EAST JAVA PROVINCE**

**Calvin Nanda Suratman¹, Bambang Priadi¹, Sulaeman²,
dan Hartaja Muhamad Hatta W.²**

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

²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi
calvinanda2805@gmail.com

ABSTRAK

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada koordinat 112°05'09"- 112°15'45" Bujur Timur dan 8°11'53"- 8°18'47" Lintang Selatan atau 619625 – 639039 mT dan 9080860 – 9093645 mU zona 49S datum WGS1984 dengan luas 248,5 km².

Menurut pembagian zona fisiografi Jawa Timur, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan yang memiliki potensi mineral logam mulia dan logam dasar. Stratigrafi daerah penelitian berdasarkan literatur dari tua ke muda terdiri dari 6 satuan batuan, yaitu Formasi Mandalika, Formasi Campurdarat, Batuan Terobosan, Formasi Nampol, Formasi Wonosari, dan Aluvium.

Penelitian bertujuan untuk mendelineasi area prospek mineralisasi logam dengan menganalisis hubungan antara geologi dengan geokimia daerah penelitian. Data geokimia yang dianalisis pada penelitian ini berupa data kandungan unsur Ag, Mo, Pb, Zn, Mn, Cu, Au, dan As dari contoh endapan sungai aktif. Analisis Geokimia dilakukan ke dalam dua tahap yaitu analisis univariat yang bertujuan untuk menentukan nilai ambang unsur dan analisis multivariat yang bertujuan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur.

Analisis univariat yang dilakukan menghasilkan nilai ambang unsur sebagai berikut; Ag 0,06 ppm, Mo 5,89 ppm, Pb 17,8 ppm, Zn 232 ppm, Mn 2.883 ppm, Cu 77 ppm, Au 0,0733 ppm, dan As 31 ppm. Sedangkan hasil analisis multivariat menunjukkan terdapat dua kelompok asosiasi unsur pada daerah penelitian, yaitu; Ag-Mo-Pb dan Zn-Mn-Cu-Au- As. Tipe mineralisasi pada daerah penelitian yang diperoleh dari asosiasi unsur tersebut adalah tipe Carlin dan tipe epitermal. Hasil analisis geokimia kemudian dihubungkan dengan kondisi geologi daerah penelitian sehingga dapat ditentukan area prospek. Area prospek pada daerah penelitian ini terbagi ke dalam tiga kelompok yaitu, area prospek Ag-Mo-Pb yang terletak di hulu sungai pada daerah Ngrejo, Pasiraman, Kalibawang, Centung, Besole, dan Sumberglagah; area prospek Zn-Mn-Au-As yang terletak di hulu sungai pada daerah Sumberboto, Kepek, dan Sumberwringin; serta area prospek Cu yang terletak pada sungai di daerah Centung.

Kata kunci: Kabupaten Blitar, Geokimia, Endapan Sungai Aktif, Anomali, Asosiasi Unsur

ABSTRACT

The research area administratively located in Blitar Regency, East Java Province. Based on UTM coordinates, it is located at 112° 05'09"- 112°15'45" East Longitude and 8°11'53"- 8°18'47" South Latitude or 619625 - 639039 mE and 9080860 - 9093645 mU zone 49S datum WGS1984, with research area of 248.5 km².

According to the East Java's physiographic zone, the research area is part of the East Java Southern Mountain Zone which has the potential of preserving precious metal and base metal minerals. Stratigraphy of the research area based on literature from old to young consists of 6 units, namely Mandalika Formation, Campurdarat Formation, Intrusion Rocks, Nampol Formation, Wonosari Formation, and Alluvium.

The study aims to delineate metallic mineralisation prospect areas by analyzing the relationship between geology and geochemistry of the research area. The geochemical data analyzed consists of concentration dataset of Ag, Mo, Pb, Zn, Mn, Cu, Au and As elements from stream deposit samples. Geochemical analysis is carried out in two stages which are univariate analysis, aimed to determine the element threshold values and multivariate analysis, aimed to determine the element association groups.

Univariate analysis carried out produces element threshold values as follows; Ag is 0.06 ppm, Mo at 5.89 ppm, Pb is 17.8 ppm, Zn is 232 ppm, Mn is 2,883 ppm, Cu is 77 ppm, Au is 0.0733 ppm and As is 31 ppm. While the results of multivariate analysis show that there are two main groups of elemental associations in the research area, namely; Ag-Mo-Pb and ZnMn-Cu-Au-As. The mineralization types in the research area which obtained from that elemental association groups are Carlin Type and Epithermal. The relation between the results of geochemical analysis and the geological conditions of the research area are being used to determine the prospect area. The prospect area in this research area is divided into three groups, namely; the Ag-Mo-Pb prospect area which is located on upstream of Ngrejo, Pasiraman, Kalibawang, Centung, Besole, and Sumberglagah areas; the Zn-Mn-Au-As prospect area which is located on upstream of Sumberboto, Kepek and Sumberwringin areas; and the Cu prospect area which is located on stream of Centung area.

Keywords: *Blitar Regency, Geochemistry, Active Stream Sediments, Anomaly, Elements Association*

PENDAHULUAN

Daerah penelitian terletak di bagian selatan Kabupaten Blitar dengan iklim tropis sehingga memiliki tingkat pelapukan batuan yang tinggi. Hal ini menyebabkan singkapan batuan yang termineralisasi ditutupi oleh tanah tebal sehingga sulit diamati secara langsung. Pengambilan conto endapan sungai aktif dapat menjadi alternatif salah satu metode eksplorasi mineral logam yang berkaitan dengan cebakan bijih.

Bagian selatan Kabupaten Blitar merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Bagian Timur yang memiliki potensi mineral logam mulia dan logam dasar (van Bemmelen, 1949). Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan studi geokimia endapan sungai aktif di bagian selatan Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur untuk dapat mendelineasi area prospek potensi mineralisasi logam yang dilakukan dengan menginterpretasi hubungan antara pola persebaran anomali

dan asosiasi unsur logam dengan kondisi geologi daerah penelitian.

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kecamatan Wonotirto, Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur. Sedangkan secara geografis terletak pada koordinat 112°05'09" - 112°15'45" Bujur Timur dan 8°11'53" - 8°18'47" Lintang Selatan atau 9080860 mU s.d. 9093645 mU dan 619625 mT s.d. 639039 mT zona 49S datum WGS 1984 dengan luas 248,5 km² (Gambar 1).

Hasil penelitian sebelumnya oleh Widodo dan Simanjuntak (2002) menyatakan bahwa indikasi mineralisasi yang ditemukan di daerah penelitian adalah adanya anomali unsur Au dan Hg dari conto sedimen sungai, dan ubahan batuan didominasi oleh argilik – argilik lanjut, serta hasil analisis kimia batuan menunjukkan kandungan 2.081 ppm s.d.2.555 ppm Hg, 4950 ppb Au dan 2,767% Cu.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (Anonim, 2003)

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian berada di Jawa Timur yang secara fisiografi dapat dibagi menjadi tujuh zona dari utara ke selatan, yaitu Zona Rembang, Dataran Aluvial Jawa Utara, Zona Randublatung, Zona Kendeng, Zona Depresi Tengah Bagian Timur, Gunungapi Kuarter, dan Zona Pegunungan Selatan Bagian Timur. Daerah penelitian berada di Zona Pegunungan Selatan Bagian Timur. (van Bemmelen, 1949).

Stratigrafi regional daerah penelitian berurutan dari tua ke muda tersusun atas 6 satuan batuan (Sjarifudin dan Hamidi, 1992), yaitu Formasi Mandalika (Tomm), Formasi Campurdarat (Tmcl), Satuan Batuan Terobosan (Tomi), Formasi Nampol (Tmn), Formasi Wonosari (Tmwl), dan Aluvium (Qa). Struktur regional bagian selatan Kabupaten Blitar memperlihatkan empat pola struktur utama yang berkembang, yaitu struktur yang berarah timurlaut-baratdaya, baratlaut-tenggara, utara-selatan dan timurbarat (Gambar 2 dan Gambar 3) (Sjarifudin dan Hamidi, 1992).

Daerah penelitian terletak di Jawa timur yang dapat dibagi dalam lima provinsi tektonik dari utara ke selatan, yaitu lereng regional bagian utara terdiri dari Paparan Kontinen Stabil Rembang, Zona Transisi Randublatung, Punggungan Kendeng yang merupakan perpanjangan

Punggungan Bogor ke arah timur, Busur Gunungapi Kuarter, dan lereng regional bagian selatan yang merupakan area pengangkatan membentuk Busur Gunungapi Tersier atau Zona Pegunungan Selatan Bagian Timur (Darman dan Sidi, 2000).

Dari hasil analisis pola aliran sungai, daerah penelitian memiliki pola aliran sungai dendritik. Pola dendritik dicirikan dengan kenampakan bercabang menyerupai ranting pohon, dikontrol oleh faktor resistensi batuan yang relatif seragam dan lereng dengan kemiringan terjal (Howard, 1967).

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis geokimia unsur logam dan analisis statistik.

Analisis geokimia unsur logam dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorbption Spectrometry (AAS)* dan *Induced Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)* yang dilakukan oleh Laboratorium Kimia Mineral Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) terhadap 119 conto endapan sungai aktif. Adapun unsur-unsur yang dianalisis, yaitu Ag-Mo-Pb-Zn-Mn-Cu-Au-As.

Data kandungan unsur logam kemudian diolah dengan metode analisis statistik, yaitu analisis univariat dan multivariat.

Analisis univariat dilakukan untuk mengetahui nilai ambang unsur, sedangkan analisis multivariat dilakukan untuk mengetahui kelompok asosiasi unsur. Nilai ambang unsur dan kelompok asosiasi unsur selanjutnya dihubungkan dengan kondisi geologi daerah penelitian untuk mendelineasi area prospek yang mempunyai potensi ekonomis mineralisasi logam.

Analisis Univariat

Analisis univariat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Metode Simpangan Baku dan Metode Kurva Probabilitas.

Metode Simpangan Baku

Metode Simpangan Baku adalah metode penentuan nilai ambang dengan menggunakan parameter rata-rata (Suroto, 2005). Simpangan baku adalah gambaran penyebaran nilai-nilai dari data geokimia (Sinclair, 1987). Semakin besar nilai simpangan baku mencerminkan data yang dianalisis semakin tersebar heterogen dari nilai rata-rata data tersebut. Metode ini hanya digunakan pada data kandungan unsur yang terdistribusi normal. Nilai ambang yang didapat dari Metode Simpangan Baku

memiliki nilai sebesar 2,5% (Rose dkk., 1979).

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2 / (n - 1)}$$

$$\text{Nilai Ambang} = \bar{x} + 2SD$$

keterangan:

SD = standar deviasi/ simpangan baku

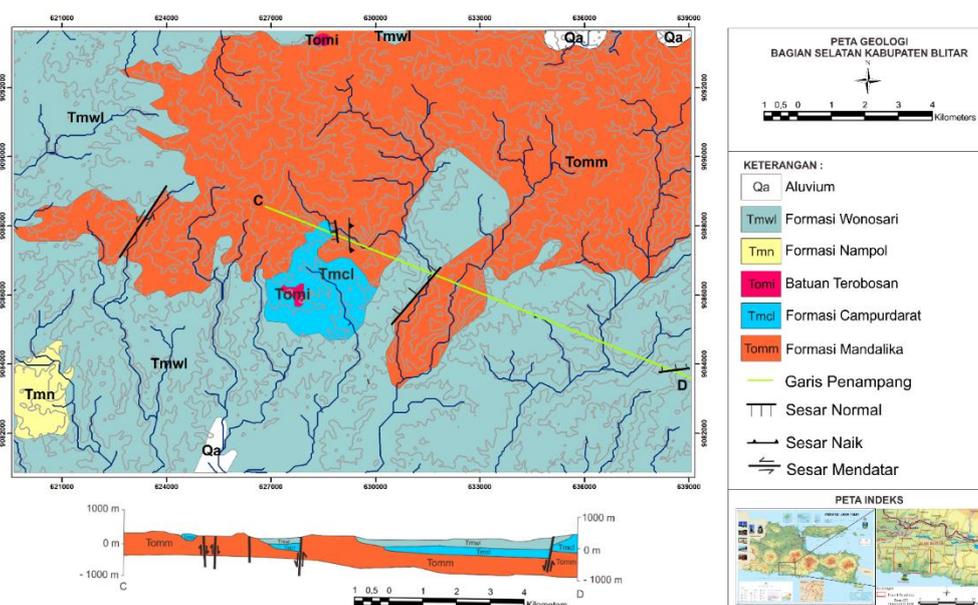
\bar{x} = rata-rata

x_i = data ke i

n = jumlah data

Metode Kurva Probabilitas

Metode ini merupakan metode yang digunakan dalam penentuan nilai ambang suatu unsur dengan cara membuat kurva probabilitas. Nilai ambang yang didapat digunakan untuk memisahkan data menjadi populasi anomali dan populasi latar belakang. Metode ini hanya digunakan pada data kandungan unsur yang tidak terdistribusi normal. Untuk mengplot data ke dalam grafik probabilitas, sebelumnya data harus diubah ke dalam nilai logaritma. Nilai ambang yang didapat dari Metode Kurva Probabilitas memiliki nilai sebesar 2,5% (Rose dkk., 1979).



Gambar 2. Peta dan penampang geologi regional bagian selatan Kabupaten Blitar (digambar ulang dari Sjarifudin dan Hamidi, 1992)

UMUR		SATUAN	KETEBALAN	SIMBOL	KETERANGAN	LINGKUNGAN PEMBENTUKAN	
Kuartar	Holosen	Aluvium	< 1 m		Satuan ini tersusun atas material lepas, terdiri dari andesit porfiri, breksi piroklastik, pumis, tuf terubah, dan gamping	Darat (Fluvial)	
	Pleistosen						
Tersier	Pliosen						
	Miosen	Akhir	Formasi Wonosari	80-200 m		Formasi ini tersusun atas boundstone, kalsilit, kalkarenit, napal, dan kalsirudit	Neritik
		Tengah	Formasi Nampol	50 m		Formasi ini tersusun atas perselingan batupasir karbonatan dan batulempung, dengan sisipan batupasir tufan dan napal	Litoral
Awal	Formasi Campurdarat	200 m		Formasi ini tersusun atas batugamping kristalin dengan sisipan batulempung dan diintrusi oleh dasit (da)	Platform Margin Reef		
Oligosen Akhir	Formasi Mandalika Batuan Terobosan	>500 m		Formasi ini tersusun atas lava andesitik, basalt, riolit, dasit, dan tuf serta diintrusi oleh tonalit (t)	Litoral		

Gambar 3. Kolom stratigrafi regional bagian selatan Kabupaten Blitar (diadaptasi dari Sjarifudin dan Hamidi, 1992)

Analisis Multivariat

Analisis multivariat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Metode Persentil dan Pengelompokan Hierarki.

Metode Persentil

Metode persentil dilakukan dengan melihat pola kandungan dari data unsur dengan memilih beberapa nilai tertinggi pada persentil tertentu (Surjadi, 1976). Nilai persentil berkisar dari 0 hingga 100. Misal untuk persentil 90 (P90), maka nilai konsentrasi tertinggi yang diambil adalah 10% dari jumlah data.

Metode Pengelompokan Hierarki

Pengelompokan hierarki merupakan metode kluster yang mengelompokkan data secara berurutan berdasarkan kemiripan korelasinya (Karypis dkk., 1999). Pada metode ini setiap unsur dianggap sebagai satu variabel yang terpisah. Variabel-variabel tersebut kemudian digabungkan berdasarkan kemiripan secara berurutan hingga menjadi satu kelompok atau kluster yang besar. Hasil dari analisis digambarkan dengan diagram pohon untuk menunjukkan kluster atau kelompok asosiasi unsur. Tingkat asosiasi antar unsur digambarkan oleh letak garis penghubung, semakin ke bawah garis penghubung berarti semakin kuat asosiasi antar unsur tersebut.

HASIL DAN ANALISIS

Data yang akan diolah secara statistik berupa hasil analisis geokimia unsur logam dari 119 conto endapan sungai aktif. Adapun unsur-unsur yang diolah dalam penelitian ini meliputi Ag-Mo-Pb-Zn-Mn-Cu-Au-As dalam satuan ppm. Ketelitian data kandungan tiap unsur conto endapan sungai aktif berbeda, unsur Ag dan unsur Mo memiliki dua angka di belakang koma; Pb, Cu, As memiliki satu angka di belakang koma; dan Au memiliki empat angka di belakang koma.

Analisis Univariat

Analisis univariat bertujuan untuk mendapatkan nilai ambang atau batas antara populasi anomali dan latar belakang.

Metode Simpangan Baku

Metode ini hanya digunakan pada data kandungan unsur yang terdistribusi normal, yaitu ketika nilai rata-rata lebih besar daripada nilai simpangan baku (Tabel 1). Adapun unsur-unsur yang terdistribusi normal, yaitu Pb, Zn, Mn, dan Cu. Berikut merupakan hasil penentuan nilai ambang dengan Metode Simpangan Baku:

Tabel 1. Hasil penentuan nilai ambang dengan Metode Simpangan Baku

No	Unsur	Nilai Rata-rata (ppm)	Simpangan Baku (ppm)	Nilai Ambang (ppm)
1	Ag	0,01	0,06	-
2	Mo	1,26	1,80	-
3	Pb	9,9	4,0	17,8
4	Zn	128	52	232
5	Mn	1.802	540	2.883
6	Cu	51,0	13,0	77,0
7	Au	0,0074	0,0282	-
8	As	10,6	10,9	-

Metode Kurva Probabilitas

Metode ini hanya digunakan pada data kandungan unsur yang tidak terdistribusi normal-yaitu Ag, Mo, Au, dan As (Tabel 2). Pada penentuan nilai ambang dengan metode ini dihasilkan dua nilai ambang, yaitu nilai ambang 1 dan nilai ambang 2. Nilai ambang 1 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan nilai ambang 2. Berikut merupakan hasil penentuan nilai ambang dengan Metode Kurva Probabilitas:

Tabel 2. Hasil penentuan nilai ambang dengan Metode Kurva Probabilitas

No	Unsur	Nilai Ambang (ppm)	
		Kurva Probabilitas	
		1	2
1	Ag	0,06	0,02
2	Mo	5,89	1,82
3	Au	0,0733	0,0014
4	As	31,0	4,4

Penentuan Nilai Ambang

Nilai ambang yang telah didapat dari Metode Simpangan Baku dan Kurva Probabilitas kemudian dibandingkan dibandingkan dengan nilai kandungan rata-rata tiap unsur di dalam kerak bumi/nilai latar belakang regional menurut Rose dkk. (1979). Hal ini dilakukan untuk menghasilkan nilai ambang akhir yang paling baik (Tabel 3).

Analisis Multivariat

Analisis Multivariat bertujuan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur berdasarkan tingkat kekerabatan antar unsur.

Metode Persentil

Metode ini digunakan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur dengan melihat konsentrasi tinggi pada persentil tertentu. Suatu unsur dapat dikatakan berasosiasi dengan unsur lainnya apabila konsentrasi tinggi pada unsur tersebut mencapai setengah atau lebih dari jumlah konsentrasi unsur tersebut pada persentil

tertentu. Berikut merupakan tingkat asosiasi antar unsur yang dihasilkan dari Metode Persentil:

Warna menunjukkan pada persentil berapa kedua unsur berasosiasi. Warna hijau menunjukkan persentil 90, jingga menunjukkan persentil 85, dan kuning menunjukkan persentil 80. Tabel di bawah menunjukkan adanya dua asosiasi unsur, yaitu **Pb-Mo-Ag** dan **Zn-Mn** (Tabel 4).

Metode Pengelompokan Hierarki

Metode ini digunakan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur dengan menghitung nilai kemiripan antar unsur. Penghitungan dilakukan dengan Metode *Ward Linkage*. Hasil dari analisis digambarkan dengan diagram pohon untuk menunjukkan kluster atau kelompok asosiasi unsur (Gambar 4). Tingkat asosiasi antar unsur digambarkan oleh letak garis penghubung, semakin ke bawah garis penghubung berarti semakin kuat asosiasi antar unsur tersebut.

Tabel 3. Hasil penentuan nilai ambang akhir

No	Unsur	Nilai Ambang (ppm)			Nilai Latar Belakang Regional (ppm)	Nilai Ambang (ppm)	
		Simpangan Baku	Kurva Probabilitas			1	2
1	Ag	-	0,06	0,02	0,05	0,06	-
2	Mo	-	5,89	1,82	1,50	5,89	1,82
3	Pb	17,8	-	-	10,0	17,8	-
4	Zn	232	-	-	70	232	-
5	Mn	2883	-	-	950	2883	-
6	Cu	77,0	-	-	50,0	77,0	-
7	Au	-	0,0733	0,0014	0,0030	0,0733	-
8	As	-	32,0	4,4	2,0	31,0	4,5

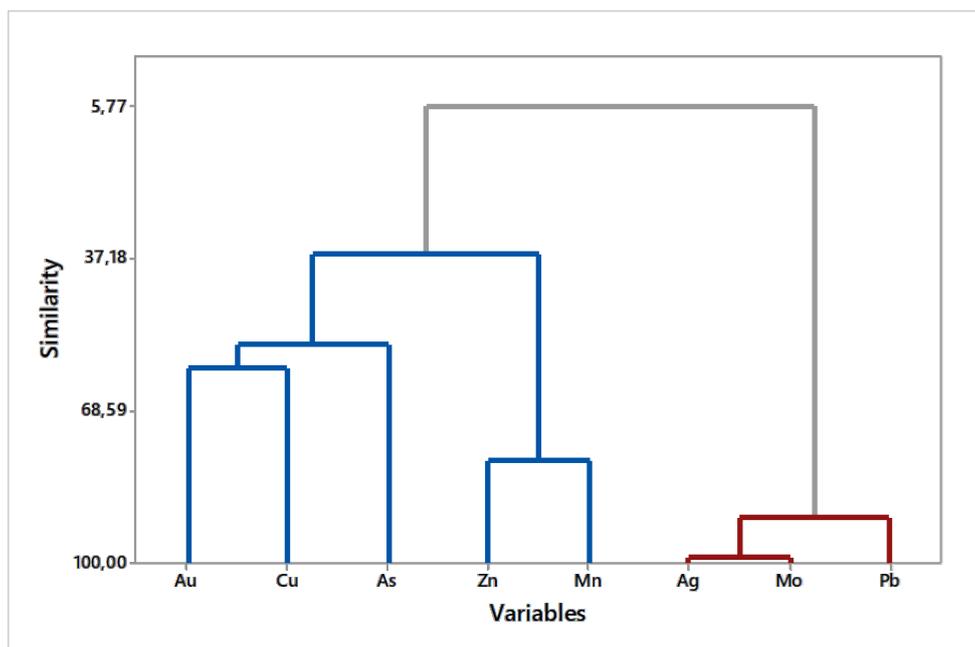
keterangan: ¹Rose, dkk. (1979)

Tabel 4. Tingkat asosiasi antar unsur dengan Metode Persentil

Unsur	Ag	Mo	Pb	Cu	As	Zn	Mn	Au
Ag		P90	P90	X	X	X	X	X
Mo			P90	X	X	X	X	X
Pb				X	X	X	X	X
Cu					X	X	X	X
As						X	X	X
Zn							P90	X
Mn								X
Au								

Keterangan:

- P90 Persentil 90
- P85 Persentil 85
- P80 Persentil 80



Gambar 4. Diagram pohon kelompok asosiasi unsur dengan Metode Pengelompokan Hierarki

Warna pada gambar 4 menunjukkan kluster atau asosiasi unsur. Warna merah menunjukkan asosiasi Ag-Mo-Pb dan biru menunjukkan asosiasi Zn-Mn-Cu-Au-As.

Penentuan Kelompok Asosiasi Unsur

Kelompok asosiasi unsur yang telah didapat dari Metode Persentil dan Pengelompokan Hierarki kemudian dibandingkan (Tabel 5). Unsur-unsur yang muncul pada kedua metode tersebut dijadikan sebagai asosiasi akhir, sedangkan unsur yang hanya muncul di salah satu metode diberi tanda kurung yang menunjukkan bahwa unsur tersebut berasosiasi relatif lemah dengan unsur-unsur lainnya dalam suatu asosiasi. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan kelompok akhir asosiasi unsur yang lebih baik. Misalnya kelompok unsur yang didapat dari Metode Persentil adalah **Zn-Mn**, sedangkan kelompok unsur yang didapat dari Metode Pengelompokan Hierarki adalah **Zn-Mn-Cu-Au-As**. Kelompok akhir asosiasi unsur adalah **Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As)** yang ditunjukkan oleh unsur Cu, Au, As berasosiasi relatif lemah dengan Zn dan Mn dibandingkan asosiasi antara Zn dan Mn itu sendiri.

Tabel 5. Hasil penentuan kelompok akhir asosiasi unsur

Metode	Kelompok asosiasi unsur		Kelompok akhir asosiasi unsur	
Persentil	Ag-Mo-Pb	Zn-Mn		
Pengelompokan hierarki	Ag-Mo-Pb	Zn-Mn-Cu-Au-As	Ag-Mo-Pb	Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As)

PEMBAHASAN DAN INTERPRETASI DATA

Persebaran Anomali Unsur

Data geokimia yang dianalisis pada penelitian ini berupa data kandungan unsur Ag, Mo, Pb, Zn, Mn, Cu, Au, dan As dari conto endapan sungai aktif.

Perak [Ag]

Unsur Ag memiliki nilai kandungan dengan rentang 0,01 ppm-0,68 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Ag memiliki populasi anomali dengan nilai ambang sebesar 0,06 ppm. Populasi anomali unsur Ag terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Ag berasosiasi dengan unsur Pb dan Mo.

Molibdenum [Mo]

Unsur Mo memiliki nilai kandungan dengan rentang 0,09 ppm-17,75 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Mo memiliki populasi anomali dengan nilai ambang 1 sebesar 5,89 ppm dan nilai ambang 2 sebesar 1,82 ppm. Populasi anomali unsur Mo terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Mo berasosiasi dengan unsur Pb dan Ag.

Timbal [Pb]

Unsur Pb memiliki nilai kandungan dengan rentang 3,4 ppm-31,8 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Pb memiliki populasi anomali dengan nilai ambang sebesar 17,8 ppm. Populasi anomali unsur Pb terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Pb berasosiasi dengan unsur Mo dan Ag.

Seng [Zn]

Unsur Zn memiliki nilai kandungan dengan rentang 30 ppm-291 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Zn memiliki populasi anomali dengan nilai ambang sebesar 232 ppm. Populasi anomali unsur Zn terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Zn berasosiasi dengan Cu, As, Au, dan Mn.

Mangan [Mn]

Unsur Mn memiliki nilai kandungan dengan rentang 541 ppm-3720 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Mn memiliki populasi anomali dengan nilai ambang 2883 ppm. Populasi anomali unsur Mn terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Mn berasosiasi dengan Cu, As, Au, dan Zn.

Tembaga [Cu]

Unsur Cu memiliki nilai kandungan dengan rentang 16,4 ppm-80,4 ppm.

Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Cu memiliki populasi anomali dengan nilai ambang sebesar 77,0 ppm. Populasi anomali unsur Cu hanya terdapat pada Formasi Wonosari. Unsur Cu berasosiasi dengan As, Au, Zn, dan Mn.

Arsen [As]

Unsur As memiliki nilai kandungan dengan rentang 1,3 ppm-70,0 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur As memiliki populasi anomali dengan nilai ambang 1 sebesar 31,0 ppm dan nilai ambang 2 sebesar 4,4 ppm. Populasi anomali unsur As terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur As berasosiasi dengan Cu, Au, Zn, dan Mn.

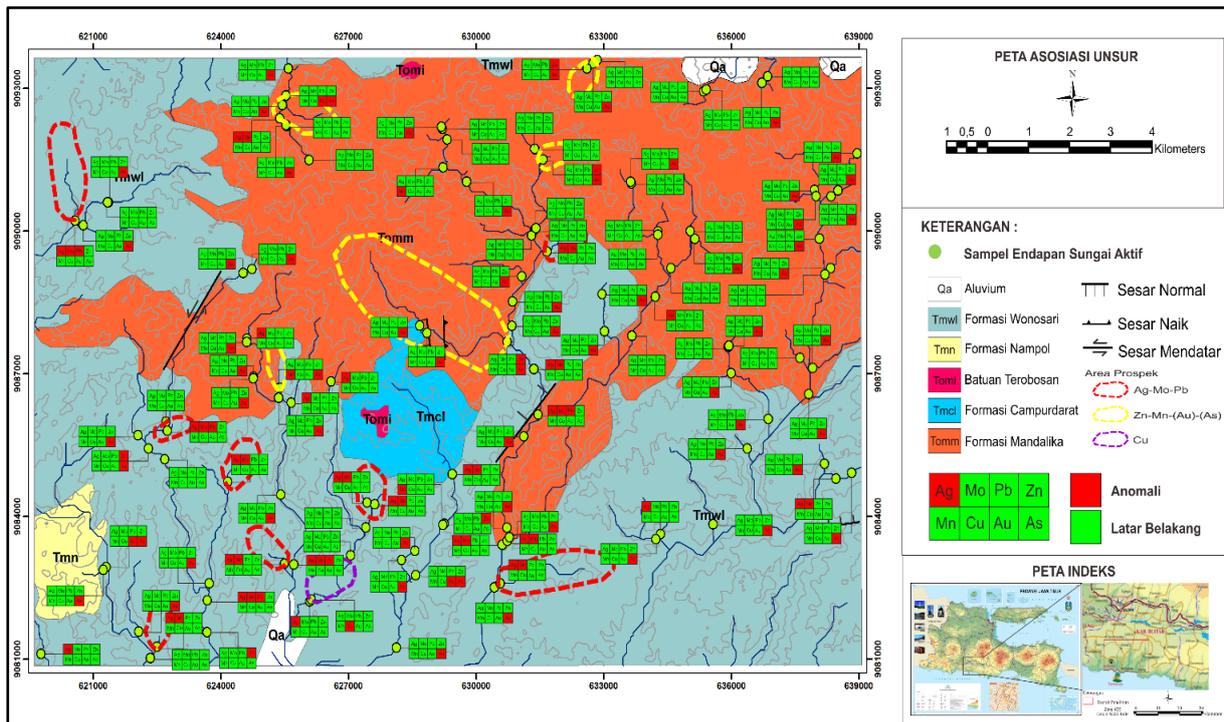
Emas [Au]

Unsur Au memiliki nilai kandungan dengan rentang 0,0005 ppm-0,2620 ppm. Berdasarkan analisis univariat yang dilakukan, unsur Au memiliki populasi anomali dengan nilai ambang sebesar 0,0733 ppm. Populasi anomali unsur Au terdapat pada Formasi Mandalika dan Formasi Wonosari. Unsur Au berasosiasi dengan Cu, As, Zn, dan Mn.

Persebaran Asosiasi Unsur

Pengolahan data yang digunakan dalam analisis penentuan kelompok asosiasi unsur ialah Metode Persentil dan Metode Pengelompokan Hierarki. Kelompok asosiasi unsur yang terdapat pada daerah penelitian berdasarkan perpaduan dari kedua metode tersebut adalah **Ag-Mo-Pb** dan **Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As)**.

Persebaran anomali unsur yang telah ditentukan kemudian dibandingkan secara spasial dengan persebaran satuan batuan (Gambar 5). Hal ini dilakukan untuk menginterpretasi hubungan antara persebaran asosiasi unsur dan kondisi geologi daerah penelitian.



Gambar 5. Tumpang tindih peta asosiasi unsur dan geologi regional bagian selatan Kabupaten Blitar

Berdasarkan Gambar 5, maka dapat dinyatakan bahwa kemungkinan anomali dari asosiasi Ag-Mo-Pb memiliki hubungan yang kuat dengan Formasi Wonosari, sedangkan anomali dari asosiasi Zn-Mn-(Au)-(As) kemungkinan memiliki hubungan yang kuat dengan Formasi Mandalika. Anomali unsur Cu terbentuk pada Formasi Wonosari sehingga diinterpretasikan memiliki pembentukan yang berbeda di dalam asosiasi Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As).

Tipe Mineralisasi

Kelompok asosiasi unsur pada daerah penelitian kemudian dibandingkan dengan tipe-tipe mineralisasi menurut literatur yang ada (Tabel 6). Hal ini dilakukan untuk menginterpretasi tipe mineralisasi yang terjadi di daerah penelitian.

Warna pada Tabel 6 menunjukkan asosiasi unsur. Warna merah menunjukkan asosiasi Ag-Mo-Pb dan biru menunjukkan asosiasi Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As).

Tabel 6. Perbandingan asosiasi unsur dengan tipe mineralisasi

Tipe Mineralisasi	Asosiasi Unsur
Orthomagmatik ¹	PGE (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt), Ni, Cu , V, Ti, Cr, Fe
Pegmatit ¹	Ce, Nb, Ta, Th, U, REE, Li, Be, Cs
Tipe Carlin ²	Li, Cu, Mn , Ba, Mo , Cr, Co, Ag, Cd, Ni, Zn, Pb
Epitermal ³	Cu, Pb, Zn, Au , Sb, Hg, Ag, Se, Bi, As, Mn
Ni-Laterit (Supergen) ⁴	Ni, Co, Mn , Fe, Cr, Al, Mg, Si

keterangan:
¹Evans, 1993
²Nelson, 1990
³Levinson, 1980; Suprpto, 2006
⁴Sutisna dkk., 2006

Berdasarkan tabel di atas, maka dapat diinterpretasikan bahwa anomali Zn-Mn-(Au)-(As) pada Formasi Mandalika diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi epitermal. Anomali Ag-Mo-Pb pada Formasi Wonosari diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi tipe Carlin. Anomali unsur Cu pada asosiasi Zn-Mn-(Cu)-(Au)-(As) diinterpretasikan tidak terbentuk akibat mineralisasi epitermal, melainkan terbentuk akibat mineralisasi tipe Carlin yang secara umum berada pada Formasi Wonosari.

Hal ini dapat dibuktikan dengan Formasi Mandalika yang tersusun atas batuan vulkanik sebagai *host rock* dalam tipe epitermal dan Formasi Wonosari yang tersusun atas batugamping sebagai *host rock* dalam tipe Carlin, serta posisi stratigrafi Formasi Mandalika yang lebih tua dari Formasi Wonosari (Gambar 3).

Urutan Kejadian Mineralisasi

Hubungan antara geokimia dan kondisi geologi daerah penelitian yang telah ditentukan kemudian dikaitkan dengan umur aktivitas magmatik menurut literatur yang ada (Tabel 7). Hal ini dilakukan untuk menginterpretasi urutan kejadian mineralisasi.

Tabel 7. Urutan Kejadian Mineralisasi

Anomali Unsur	Satuan Batuan	Umur	Tipe Mineralisasi
Cu	Formasi Wonosari	Miosen Akhir ¹	Tipe Carlin
Ag-Mo-Pb	Formasi Wonosari	Miosen Akhir ¹	Tipe Carlin
Zn-Mn-(Au)-(As)	Formasi Mandalika	Miosen Awal ²	Epitermal

keterangan:

¹Widodo dan Simanjuntak, 2002

²Sjarifudin dan Hamidi, 1992

Sintesis Geologi

Sejarah geologi daerah penelitian diawali dengan aktivitas magmatik pada Oligosen Akhir-Miosen Awal yang menghasilkan material gunungapi berupa lava andesitik, basalt, riolit, dasit, dan tuf membentuk Formasi Mandalika. Hal ini disebabkan oleh penunjaman Lempeng Samudera India-Australia ke bawah Lempeng Benua Eurasia. Kemudian pada Miosen Awal terjadi penurunan diikuti genang laut yang mengendapkan Formasi Campurdarat secara tidak selaras di atas Formasi Mandalika. Selanjutnya terjadi aktivitas pasca magmatik menghasilkan terobosan andesit, dasit, dan tonalit membentuk Satuan Batuan Terobosan yang menerobos Formasi Mandalika dan Formasi Campurdarat (Sjarifudin dan Hamidi, 1992). Hal ini mengakibatkan terjadinya mineralisasi epitermal pada

Formasi Mandalika membentuk anomali Zn-Mn-(Au)-(As).

Pada Miosen Tengah-Miosen Akhir terjadi pengendapan Formasi Nampol diikuti Formasi Wonosari pada lingkungan laut dangkal (zona neritik) yang tersusun atas batugamping mudstone, wackestone, boundstone, dan kalsilit (Sjarifudin dan Hamidi, 1992). Kemudian terjadi mineralisasi tipe Carlin pada Formasi Wonosari membentuk anomali Ag-Mo-Pb (Widodo dan Simanjuntak, 2002). Anomali unsur Cu pada Formasi Wonosari diinterpretasikan terbentuk akibat peristiwa mineralisasi yang serupa tetapi terbentuk setelah anomali unsur Ag-Mo-Pb pada Miosen Akhir.

Area Prospek

Area prospek merupakan area yang diinterpretasikan mempunyai potensi ekonomis mineralisasi logam. Delineasi area prospek ditentukan berdasarkan peta persebaran anomali unsur dengan cara menelusuri bagian hulu sungai dari titik lokasi conto yang memiliki nilai anomali. Hulu sungai yang telah ditelusuri kemudian dibatasi oleh daerah aliran sungai (DAS) sehingga diperoleh delineasi area prospek.

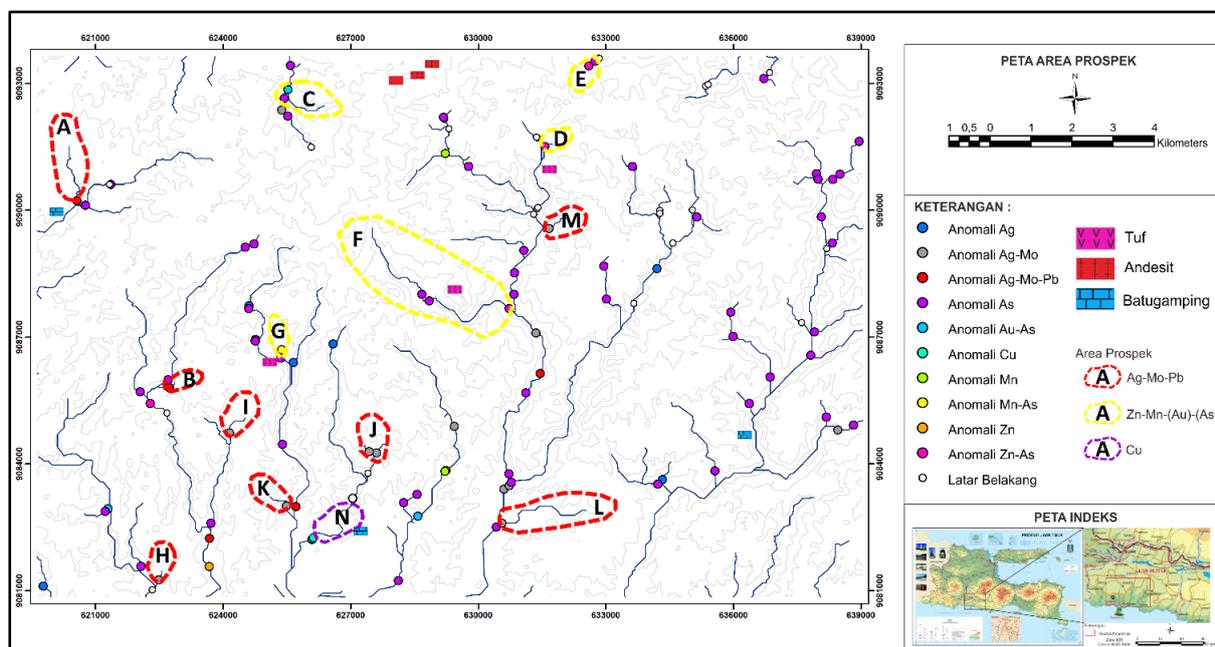
Pada penelitian ini terdapat 14 area prospek yang diurutkan tingkat keekonomisannya berdasarkan besarnya nilai anomali unsur dan banyaknya unsur yang memiliki nilai anomali dalam suatu asosiasi. Tabel 8 menunjukkan area prospek di daerah penelitian yang diurutkan berdasarkan tingkat keekonomiannya. Area A merupakan area potensial dengan tingkat keekonomian paling tinggi dan sebaliknya area N merupakan area potensial dengan tingkat keekonomian paling rendah. Peta area prospek dapat dilihat pada Gambar 6.

Area prospek yang telah ditentukan dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian tahap penyelidikan geokimia selanjutnya. Penyelidikan geokimia rinci dapat dilakukan pada area potensial untuk

menentukan lokasi tubuh bijih.

Tabel 8. Area Prospek Logam

Area Prospek	Koordinat Area		Asosiasi Unsur	Tipe Mineralisasi	Satuan Batuan	Lokasi
	X (mT)	Y (mU)				
A	620449	9090890	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Ngrejo
B	623100	9085860	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Pasiraman
C	625818	9092430	Zn-Mn-(Au)-(As)	Epitermal	Formasi Mandalika	Sumberwringin
D	631643	9091560	Zn-Mn-(Au)-(As)	Epitermal	Formasi Mandalika	Kepek
E	632574	9093400	Zn-Mn-(Au)-(As)	Epitermal	Formasi Mandalika	Kepek
F	629158	9087820	Zn-Mn-(Au)-(As)	Epitermal	Formasi Mandalika	Sumberboto
G	625365	9086740	Zn-Mn-(Au)-(As)	Epitermal	Formasi Mandalika	Sumberboto
H	622559	9081410	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Kalibawang
I	624272	9085010	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Pasiraman
J	627529	9084360	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Centung
K	625190	9083150	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Centung
L	631918	9083000	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Besole
M	631918	9089720	Ag-Mo-Pb	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Sumberglagah
N	626719	9082600	Cu	Tipe Carlin	Formasi Wonosari	Centung



Gambar 6. Peta Area Prospek

KESIMPULAN

Anomali Zn-Mn-(Au)-(As) pada Formasi Mandalika diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi epitermal. Anomali Ag-Mo-Pb pada Formasi Wonosari diinterpretasikan terbentuk akibat mineralisasi tipe Carlin. Anomali unsur Cu pada Formasi Wonosari kemungkinan terbentuk akibat peristiwa mineralisasi tipe Carlin dalam rentang waktu Miosen Akhir tetapi anomali Ag-Mo-Pb terbentuk terlebih dahulu dibandingkan anomali Cu.

Potensi area prospek mineralisasi logam di daerah penelitian dapat dibagi menjadi

14 area, yaitu area prospek Ag-Mo-Pb yang terletak di hulu sungai pada daerah Ngrejo, Pasiraman, Kalibawang, Centung, Besole, dan Sumberglagah; area prospek Zn-Mn-(Au)-(As) yang terletak di hulu sungai pada daerah Sumberboto, Kepek, dan Sumberwringin; serta area prospek Cu yang terletak pada sungai di daerah Centung.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Kepala Bidang Mineral, Kepala Subbidang

Mineral Logam, serta semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (2003) : Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional, Provinsi Jawa Timur.

Darman, H. dan Sidi, F.H. (2000): An Outline of The Geology Indonesia, Ikatan Ahli Geologi Indonesia.

Evans, A.M. (1993): Ore Geology and Industrial Minerals an Introduction. Edisi Ketiga. Blackwell Scientific Publications, London.

Howard, A. D. (1967): Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. AAPG bulletin, 51(11), 2246-2259.

Karypis, G., Han, E., dan Kumar, V. (1999): Chameleon: hierarchical clustering using dynamic modeling. IEEE Computer, Vol. 32, Issue 8, Aug 1999.

Levinson, A.A. (1980): Introduction to Exploration Geochemistry. Edisi Kedua. Applied Publishing, Illinois.

Nelson, C.E., 1990. Comparative geochemistry of jasperoids from Carlin type gold deposits of The Western United States. In: J.W. Hedenquist, N.C. White and G. Siddeley (Editors), Epithermal gold mineralization of The Circum Pacific: Geology, geochemistry, origin and exploration, II. Journal of Geochemical Exploration 36: 171-195.

Rose, A.W., Hawkes, H.E., dan Webb, J.S. (1979): Geochemistry in Mineral Exploration. Edisi Kedua. Academic Press, London.

Sinclair, A.J. (1987): Statistical Interpretation of Soil Geochemical Data, Exploration, The Association of Exploration Geochemists, Vol. 4.

Sjarifudin, M.Z. dan Hamidi, S. (1992): Geologi Lembar Blitar, Jawa skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Suprpto, S. J. (2006): Geokimia regional Sulawesi bagian Utara percontohan endapan sungai aktif-80 mesh. Indonesian Journal on Geoscience, 1(2), 73-82.

Surjadi, P.A. (1976): Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statistika. Penerbit ITB, Bandung.

Suroto, M.I. (2005): Prospeksi geokimia berdasarkan analisis statistik data konsentrasi conto endapan sungai aktif dan konsentrat dulang di daerah Sungai Mentebah dan sekitarnya, Kalimantan Barat, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Sutisna, D.T., Sunuhadi, D.N., Pujobroto, A., dan Herman, D.Z. (2006): Perencanaan eksplorasi cebakan nikel laterit di daerah Wayamli, Teluk Buli, Halmahera Timur sebagai model perencanaan eksplorasi cebakan nikel laterit di Indonesia. Buletin Sumberdaya Geologi, Vol.1 Nomor 3, hlm. 48-56.

van Bemmelen, R.W. (1949): General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, The Hague, Martinus Nijhoff, Vol. 1A, Netherlands.

Widodo, W., & Simanjuntak, S. (2002). Hasil Kegiatan Eksplorasi Mineral Logam Kerjasama Teknik Asing Daerah Pegunungan Selatan Jawa Timur (JICA/MMAJ-Jepang) dan Cianjur (KIGAM-Korea). Kolokium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DIM) TA.2002.

Diterima	: 27 September 2019
Direvisi	: 28 Oktober 2019
Disetujui	: 30 November 2019

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasama yang baik dalam mereview artikel-artikel yang diterima oleh sekretariat selama tahun 2019. Kami mengucapkan terima kasih kepada para mitra bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Dr. 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. Agus Didit Haryanto, M.T, Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DESS, Dr. Asep Kurnia Permana, S.T, M.T, Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T dan Edi Suhanto, S.Si, M.T.

Selanjutnya, ucapan terima kasih disampaikan kepada semua unsur Dewan Redaksi atas usaha yang sangat baik dalam menyelesaikan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.14 sebanyak tiga edisi di Tahun 2019. Semoga hadirnya Buletin Sumber Daya Geologi dalam bentuk cetakan maupun digital secara *on line* dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang perkembangan ilmu kebumian khususnya yang berhubungan dengan potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 14 Nomor 3 Tahun 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

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

Ahmad Zarkasyi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: zarkasyiahmad@gmail.com

Bambang Nugrogo Widi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: widizero@yahoo.com

Basuki Rahmat
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: basuki77@gmail.com

Edya Putra
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: edgeo.putra@gmail.com

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

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

Iqbal Takodama
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: iqbal.takodama@esdm.go.id

Mutiara Cikasimi
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada,
Departemen Teknik Geologi
Universitas Gajah Mada
Email:

Rudy Gunradi
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: r_gunradi@yahoo.com

Sigit Arso Wibisono
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: sigit_102@yahoo.com

Siti Sumilah Rita Susilawati
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: wink2proud@gmail.com

Tony Rahadinata
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: tony.rahadinata@gmail.com

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 14 Nomor 3 Tahun 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

- Alterasi 157, 167, 170-172, 175, 177-179, 181-184, 232, 234
 Anomali 156, 159-162, 164, 165, 167, 168, 170, 175, 177, 182, 184, 198-210, 214, 215, 217, 219, 221-225, 235
 Asosiasi Unsur 214, 215, 217, 219-223, 225
 Batubara 156, 168, 170, 172, 173, 185-187, 190, 195, 197-211, 214, 216, 225
 Cadangan terkira 186, 159
 Endapan Sungai Aktif 214-216, 218-222, 224, 226
 Epitermal 170-172, 174, 176, 178, 180, 182-184, 214, 223-225
 Erelembang 170-176, 178-180, 182-184
 Gambut 186-198, 207, 209-211
 Gaya Berat 156-158, 160, 164, 167, 168
 Geokimia 168, 182, 198, 200, 203, 207, 209, 214-222, 224, 226, 234
 Kabupaten Blitar 214-218, 223
 Kalori 186, 187, 189, 193-195
 Koreksi Topografi 156, 157, 159, 161-163, 167
 Magnetotelurik 156, 157, 161, 235
 Mineralisasi 170-172, 175, 177, 178, 180-185, 190, 214-218, 220, 222-225
 Muara Tiga Besar Utara 198-200, 211
 Panas Bumi 156-158, 161, 163, 167, 168, 170, 185-198, 214, 216, 225
 Pantar 156-158, 161, 163, 166-168
 Pembangkit listrik tenaga uap 186, 187
 Sulfidasi tinggi 170, 182-184
 Sumber daya tereka 186, 193, 195
Tonstein 198-200, 209-212
 Unsur-unsur Tanah Jarang 198-200, 204, 206, 208, 210, 212

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : November 2019

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

DDC:

Tony Rahadinata, Iqbal Takodama, dan Ahmad Zarkasyi
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara Dan Panas Bumi)

**PENERAPAN KOREKSI TOPOGRAFI PADA DATA
MAGNETOTELLURIK DAN ANALISIS DATA GAYA
BERAT DALAM INTERPRETASI DAERAH PANAS BUMI
PANTAR, KABUPATEN ALOR, PROVINSI NUSA
TENGGARA TIMUR**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2019 Vol. 14 No. 3 Hal. 156 - 168

Pantar berada pada lingkungan vulkanik Kuartar yang memiliki potensi panas bumi yang diindikasikan dengan adanya manifestasi panas bumi berupa fumarola, solfatara, tanah panas dan air panas. Survei geofisika magnetotelurik (MT) dan gaya berat dilakukan untuk mengklarifikasi sistem panas bumi di daerah ini. Teknik pemodelan data MT menggunakan inversi 3 dimensi (3-D) dengan dan tanpa koreksi topografi untuk optimalisasi hasil. Pemisahan anomali Bouguer pada metode gaya berat dilakukan dengan teknik trend surface analysis dan upward continuation. Hasil pemodelan MT dan gaya berat akan dikombinasikan untuk menginterpretasi sistem panas bumi. Penerapan koreksi topografi pada inversi 3D data MT yang dikombinasikan dengan metode gaya berat memberikan hasil yang lebih optimal. Kedua hasil metode tersebut secara jelas menunjukkan keberadaan lapisan penudung, zona reservoir dan sumber panas. Lapisan bertahanan jenis rendah yang diinterpretasikan sebagai lapisan penudung termodelkan di sekitar Gunung Beang sampai dengan kedalaman 750 meter. Lapisan bertahanan jenis medium yang diinterpretasikan sebagai zona reservoir dimodelkan mulai kedalaman 750-1000 meter. Zona anomali tinggi yang termodelkan pada kedua metode mempertegas adanya tubuh vulkanik muda yang diinterpretasikan sebagai sumber panas sistem panas bumi.

Kata kunci: Pantar, Panas Bumi, Koreksi Topografi, Gaya Berat, Magnetotelurik

DDC:

Edya Putra, Bambang Nugroho Widi, dan Rudy Gundradi
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

**KARAKTERISTIK CEBAKAN EPITERMAL TIPE
SULFIDASI TINGGI DI DAERAH ERELEMBANG,
TOMBOLO PAO, KABUPATEN GOWA, PROVINSI
SULAWESI SELATAN**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2019 Vol. 14 No. 3 Hal. 170 - 185

Mineralisasi di wilayah Erelembang, Tombolo Pao, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan merupakan salah satu tipe mineralisasi yang cukup menarik di kawasan ini. Penciri utama proses mineralisasi adalah munculnya alterasi

silisifikasi, argilik-argilik lanjut, dan propilitik yang membentuk suatu zona. Kehadiran mineral alterasi spesifik yang teridentifikasi meliputi alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, dan pyrophyllite, sebagai zona argilik-argilik lanjut, dengan luas sebarannya lebih dari 2 km², menunjukkan zona ubahan bersifat asam. Selain itu, hal lain yang menonjol adalah tekstur vuggy silica dalam zona batuan berubah karena proses pelarutan.

Hasil pengamatan pada sayatan poles diketahui mineral sulfida yang teridentifikasi adalah pirit, tetrahidrit, kovelit, enargit, serta hydrous iron oxide, dan sedikit kalkopirit, malakit, tenanit, galena dan hematit yang terdapat secara tersebar dalam zona argilik-argilik lanjut. Korelasi mineral ubahan yang spesifik (alunite, halloysite, jarosite, kaolinite, dickite, pyrophyllite), dengan mineral bijihnya (enargit, tenanit, tetrahidrit, dan kovelit) serta vuggy silica dapat memberikan gambaran mineralisasinya tipe epitermal sulfidasi tinggi. Munculnya konsentrasi anomali merkuri di wilayah tertentu, menunjukkan bahwa model cebakannya adalah tipe epitermal sulfidasi tinggi yang terbentuk pada lingkungan yang dangkal. Penelitian ini akan memberikan informasi baru terkait dengan konsep eksplorasi yang akan diterapkan di wilayah ini.

Kata kunci: Epitermal, sulfidasi tinggi, alterasi, mineralisasi, Erelembang

DDC:

Agus Subarnas dan Eska P. Dwitama
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

**POTENSI GAMBUT UNTUK PENGEMBANGAN PLTU DI
KECAMATAN TELUK MERANTI, KABUPATEN
PELALAWAN, PROVINSI RIAU**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2019 Vol. 14 No. 3 Hal. 186 - 197

Sumber daya gambut di Indonesia cukup berlimpah. Terlepas dari pertentangan dalam pemanfaatannya, gambut dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), karena memiliki syarat yang bisa terpenuhi dan mempunyai karakteristik yang identik dengan batubara kalori rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah potensi sumber daya gambut dan estimasi suplai sebagai bahan bakar alternatif untuk PLTU. Lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Teluk Meranti, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Ketebalan gambut di daerah ini bervariasi antara 0,7 m sampai dengan 8,7 m dan memiliki nilai kalori rata-rata 5.070 kal/gram (adb). Cadangan terkira gambut yang digunakan untuk PLTU adalah gambut yang memiliki ketebalan kurang dari tiga meter sebesar 45.238.945 ton di Kecamatan Teluk Meranti. Untuk energi listrik dengan kapasitas terpasang 100 MW, gambut pada Blok Teluk Meranti dapat menyuplai bahan bakar untuk PLTU selama ± 114 tahun.

Kata kunci: gambut, sumber daya tereka, cadangan terkira, kalori, pembangkit listrik tenaga uap

DDC:

Ferian Anggara^{1,2}, Mutiara Cikasimi¹, Basuki Rahmat³, Sigit Arso Wibisono³, dan Rita Susilawati³ (¹Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, ²Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-konvensional, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, dan ³Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK DAN GENESA PENGAYAAN UNSUR-UNSUR TANAH JARANG PADA BATUBARA LAPANGAN BATUBARA MUARA TIGA BESAR UTARA, TANJUNG ENIM, CEKUNGAN SUMATERA SELATAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2019 Vol. 14 No. 3 Hal. 198 - 212

Batubara telah menjadi salah satu sumber alternatif unsur-unsur tanah jarang (UTJ) seiring dengan meningkatnya permintaan terhadap kebutuhan unsur-unsur tersebut. Kondisi geologis spesifik menyebabkan pengayaan konsentrasi UTJ pada batubara. Keterdapatannya lapisan tipis material vulkanik (tonstein) pada Lapangan Batubara Muara Tiga Besar Utara, Formasi Muara Enim, Cekungan Sumatera Selatan menjadi salah satu indikasi terdapatnya pengayaan UTJ. Penelitian dilakukan menggunakan metode petrografi sayatan poles, analisis-analisis X-Ray Diffraction (XRD), proksimat, dan geokimia; Inductively Coupled Plasma-Mass/Atomic Emission Spectroscopy (ICP-MS/AES). Analisis geokimia menunjukkan pola distribusi UTJ didominasi oleh tipe UTJ Berat (Heavy Rare Earth Elements, HREE). Plot diagram nilai Coutl dan REOash menunjukkan prospek pengayaan UTJ termasuk ke dalam daerah prospek. Pola distribusi UTJ dan anomali redox sensitive dan redox non-sensitive menunjukkan tipe genetik pengayaan UTJ adalah tufaan. Pengayaan UTJ terjadi oleh proses pencucian alkaline tonstein yang terendapkan pada fase penggambaran dalam pembentukan batubara.

Kata kunci: Unsur-unsur Tanah Jarang, batubara, tonstein, Muara Tiga Besar Utara

DDC:

Calvin Nanda Suratman¹, Bambang Priadi¹, Sulaeman², dan Hartaja Muhamad Hatta W.² (¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung dan ²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi)

STUDI GEOKIMIA ENDAPAN SUNGAI AKTIF UNTUK MENDELINEASI AREA PROSPEK MINERALISASI LOGAM DI BAGIAN SELATAN KABUPATEN BLITAR, PROVINSI JAWA TIMUR

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG November 2019 Vol. 14 No. 3 Hal. 214 - 226

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada koordinat 112°05'09"- 112°15'45" Bujur Timur dan 8°11'53"- 8°18'47" Lintang Selatan atau 619625 – 639039 mT dan 9080860 – 9093645 mU zona 49S datum WGS1984 dengan luas 248,5 km².

Menurut pembagian zona fisiografi Jawa Timur, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan yang memiliki potensi mineral logam mulia dan logam dasar. Stratigrafi daerah penelitian berdasarkan literatur dari tua ke muda terdiri dari 6 satuan batuan, yaitu Formasi Mandalika, Formasi Campurdarat, Batuan Terobosan, Formasi Nampol, Formasi Wonosari, dan Aluvium.

Penelitian bertujuan untuk mendelineasi area prospek mineralisasi logam dengan menganalisis hubungan antara geologi dengan geokimia daerah penelitian. Data geokimia yang dianalisis pada penelitian ini berupa data kandungan unsur Ag, Mo, Pb, Zn, Mn, Cu, Au, dan As dari contoh endapan sungai aktif. Analisis Geokimia dilakukan ke dalam dua tahap yaitu analisis univariat yang bertujuan untuk menentukan nilai ambang unsur dan analisis multivariat yang bertujuan untuk menentukan kelompok asosiasi unsur.

Analisis univariat yang dilakukan menghasilkan nilai ambang unsur sebagai berikut; Ag 0,06 ppm, Mo 5,89 ppm, Pb 17,8 ppm, Zn 232 ppm, Mn 2.883 ppm, Cu 77 ppm, Au 0,0733 ppm, dan As 31 ppm. Sedangkan hasil analisis multivariat menunjukkan terdapat dua kelompok asosiasi unsur pada daerah penelitian, yaitu; Ag-Mo-Pb dan Zn-Mn-Cu-Au-As. Tipe mineralisasi pada daerah penelitian yang diperoleh dari asosiasi unsur tersebut adalah tipe Carlin dan tipe epitermal. Hasil analisis geokimia kemudian dihubungkan dengan kondisi geologi daerah penelitian sehingga dapat ditentukan area prospek. Area prospek pada daerah penelitian ini terbagi ke dalam tiga kelompok yaitu, area prospek Ag-Mo-Pb yang terletak di hulu sungai pada daerah Ngrejo, Pasiraman, Kalibawang, Centung, Besole, dan Sumberglagah; area prospek Zn-Mn-Au-As yang terletak di hulu sungai pada daerah Sumberboto, Kepek, dan Sumberwringin; serta area prospek Cu yang terletak pada sungai di daerah Centung.

Kata kunci: Kabupaten Blitar, Geokimia, Endapan Sungai Aktif, Anomali, Asosiasi Unsur



Sesar Normal pada lapisan batubara Formasi Muaraenim di Bukit Jempol, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan (Rd. Maria Ulfa, 2019)



Slickenside pada lapisan batubara Formasi Muaraenim, Kabupaten Tanjung Enim, Provinsi Sumatera Selatan (Rd. Maria Ulfa, 2019)

GALERI FOTO



Mata Air Panas Marapokot dengan temperatur manifestasi 75,56°C,
Kabupaten Nagekeo, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Widya Asoka, 2019)



Endapan belerang yang keluar dari mata air hangat, Desa Batu Belerang,
Kabupaten Sinjai, Provinsi Sulawesi Selatan (Santia Ardi, 2018)



Singkapan Satuan Lava Buluporong di dalam Tahura Abdul Latif, Kabupaten Sinjai, Provinsi Sulawesi Selatan (Santia Ardi, 2018)



Manifestasi panas bumi berupa fumarol di Kawah Gunung Papandayan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat (Santia Ardi, 2018)

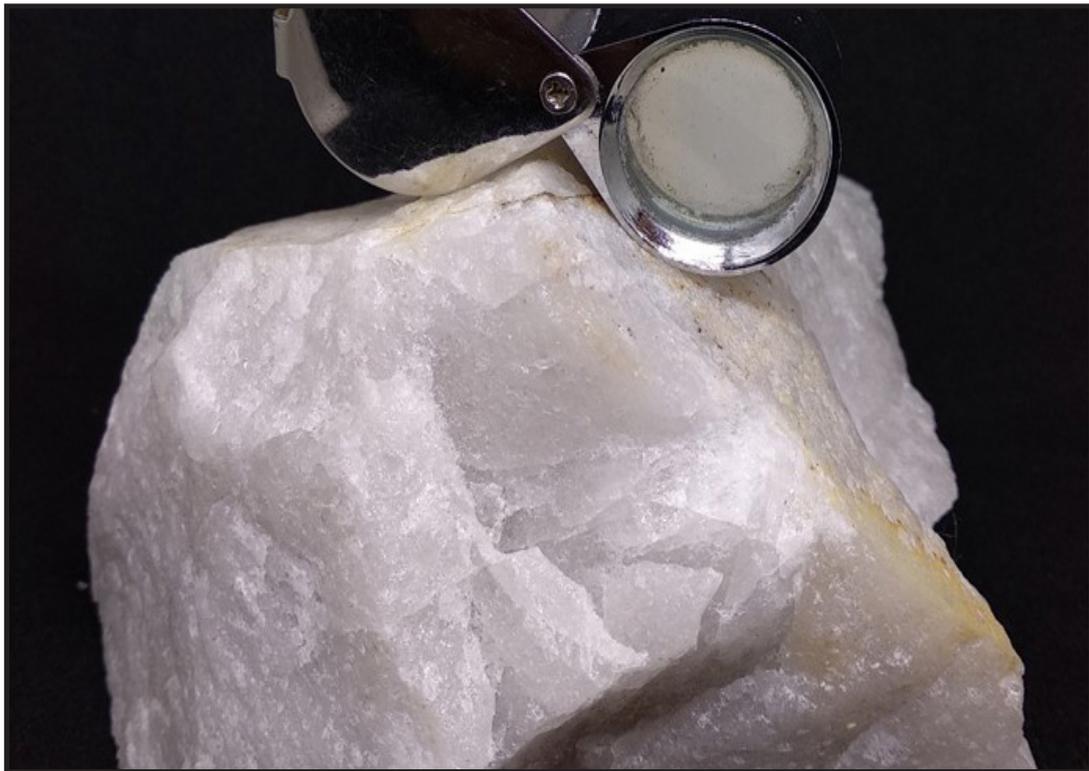
GALERI FOTO



Danau Biru Lurraya merupakan danau kawah asam, Kabupaten Gowa, provinsi Sulawesi Selatan (Santia Ardi, 2018)



Danau Kaolin, berupa endapan kaolin dan pasir kuarsa, di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Wawan Setiyawan, 2015)



Kuarsit, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung (John Mauritz, 2018)



Singkapan Kalsit di Desa Selamat, Kecamatan Tenggulun, Kabupaten Aceh Tamiang, Provinsi Aceh. (Irwan Muksin, 2019)

GALERI FOTO



Singkapan Dolomit di Desa Talul, Kecamatan Tamiang Hulu, Kabupaten Aceh Tamiang, Provinsi Aceh. (Irwan Muksin, 2019)



Singkapan Travertin Gunung Peyek, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Widya Asoka, 2019)



Sinter pada mata air panas Gunung Peyek, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Widya Asoka, 2019)



Mata Air Panas Nangadhero yang berbatasan dengan laut di Kabupaten Nagekeo, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Widya Asoka, 2018)

GALERI FOTO



Mata Air Panas Niff (dalam lingkaran) yang muncul pada lingkungan batugamping, Kabupaten Bula, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Widya Asoka, 2019)



Mata Air Panas Gunung Peyek Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Widya Asoka, 2019)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

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

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

FORMAT

UMUM

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

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

PEDOMAN PENULISAN

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

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

Jurnal

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

Buku

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

Bab dalam Buku

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

Prosiding

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

Skripsi/Tesis/Disertasi

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

Informasi dari Internet

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

Wewenang Redaksi

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

Pengiriman Naskah

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

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

SERTIFIKAT

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



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

Jakarta, 9 Juli 2018
Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan



Dr. Muhammad Dimiyati
NIP. 195912171984021001



Alamat Redaksi

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

