

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 13 No. 2, Agustus 2018



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 13	No. 2	Halaman 70 - 140	Bandung Agustus 2018	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 21/E/KPT/2018
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Batuan porfiritik mengandung malakit tersebar
dan mengisi rekahan, lokasi PM.01. (Sabtanto Joko Suprpto. dkk.)

Terakreditasi sebagai Majalah Berkala Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan majalah berkala ilmiah terakreditasi LIPI 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 Candra, S.T Eko Suryanto, S.Kom Resmi Novianti, S.T Rijal Ahmad Taufik, S.T Ernawati, A.Md
Editorial Board	Dedi Budiman, S.H 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. Edi Suhanto, S.Si., M.T Indra Sukmayana, S.T
Peer-Reviewer	Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T Dr. Ir. Susilohadi Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D Prof. Dr. Ir. Binarko Santoso Dr. Adang Saputra, S.T., S.Si., M.Si Dr. Eng. Suryantini, S.T., M.Sc Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D Dr. Nana Suwarna Prof. Dr. Ir. Ildrem Syafri, DEA. Dr. Ir. Bambang Priadi Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., 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 yang telah memberi kesempatan untuk menghadirkan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.13, Nomor.2 Tahun 2018. Buletin ini berisi lima artikel tentang hasil penyelidikan yang menggunakan beberapa metode dalam eksplorasi sumber daya mineral dan energi. Artikel-artikel ini menarik untuk dicermati yang meliputi kajian litologi, alterasi dan mineralisasi di Pulau Merah, Banyuwangi, zonasi nikel laterit di Pomalaa, kajian karakteristik dan lingkungan pengendapan batubara di Jonggon, Kutai Kartanegara, eksplorasi potensi panas bumi dengan metode Magnetotelurik dan analisis geokimia dan petrografi organik untuk mengetahui karakteristik dan lingkungan pengendapan gambut di Indragiri Hilir, Riau.

Kajian tentang mineral logam ditampilkan dalam dua artikel berupa hasil penyelidikan pada sebuah pulau di bagian selatan Banyuwangi yang disebut Pulau Merah dengan tinjauan ilmiah berupa gejala alterasi dan mineralisasinya hingga estimasi prospek mineral emas dan tembaga tipe porfiri. Kajian tentang zonasi endapan laterit nikel di Pomalaa mengulas tentang pengaruh topografi dalam proses lateritisasi sehingga di daerah tersebut dapat terbagi menjadi tiga blok yang perbedaan profilnya dipengaruhi proses pengayaan nikel.

Ulasan tentang sumber daya energi hadir dalam tiga artikel yang berbeda. Artikel pertama berupa pemanfaatan metode petrografi untuk mengenal peringkat dan tipe serta lingkungan pengendapan batubara di Jonggon, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Artikel lainnya berupa kajian panas bumi yang mengulas pemanfaatan metode inversi 2 Dimensi Data Magnetotelurik untuk menghasilkan pemodelan reservoir panas bumi di daerah Dua Saudara, Kota Bitung, Sulawesi Utara. Artikel terakhir berupa ulasan tentang endapan gambut di Indragiri Hilir, Riau yang diidentifikasi berupa tipe gambut ombrogenus diendapkan pada lingkungan yang dipengaruhi surut air dengan material pembentuknya didominasi oleh tetumbuhan berbatang lunak.

Pada kesempatan ini, Dewan Redaksi menyampaikan terimakasih dan penghargaan kepada para Penulis, Editor dan Mitra Bestari atas partisipasinya dalam menghadirkan edisi ini. Kami pun mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi dan pihak manajemen yang telah memfasilitasi pengelolaan Buletin Sumber Daya Geologi sehingga selalu hadir diantara para pembaca. Semoga kehadiran Buletin ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan untuk para pembaca dalam bidang ilmu kebumih.

Salam hangat,

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 70 - 83 **ALTERASI DAN MINERALISASI DI PULAU MERAH, KECAMATAN PESANGGARAN, KABUPATEN BANYUWANGI, PROVINSI JAWA TIMUR**
ALTERATION AND MINERALIZATION IN RED ISLAND, PESANGGARAN DISTRICT, BANYUWANGI REGENCY, EAST JAVA PROVINCE
Oleh : Sabtanto Joko Suprpto, Dodid Murdohardono, Suparno, Oman Abdurahman, dan Agung Tri Subekti
- 84 - 105 **PROFIL ENDAPAN LATERIT NIKEL DI POMALAA, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**
PROFILE OF NICKEL LATERITS IN POMALAA, KOLAKA REGENCY, SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE
Oleh : Hashari Kamaruddin, Riko Ardiansyah I.K., Mega F. Rosana, Nana Sulaksana, dan Euis Tintin Y.
- 106 - 116 **KARAKTERISTIK DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN BATUBARA BERDASARKAN ANALISIS PETROGRAFI ORGANIK, DAERAH JONGGON, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**
CHARACTERISTICS AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENT OF COAL BASED ON ORGANIC PETROGRAPHY ANALYSIS, JONGGON AREA, KUTAI KARTANEGARA REGENCY, EAST KALIMANTAN PROVINCE
Oleh : Agus Maryono dan Sigit A. Wibisono
- 118 - 127 **PEMODELAN RESEVOIR PANAS BUMI DAERAH DUA SAUDARA, KOTA BITUNG, PROVINSI SULAWESI UTARA, DENGAN MENGGUNAKAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK**
MODELING OF DUA SAUDARA GEOTHERMAL RESERVOIR, BITUNG CITY, NORTH SULAWESI PROVINCE, USING 2-D MAGNETOTELURIC DATA INVERSION
Oleh : Ahmad Zarkasyi dan Rina Wahyuningsih
- 128 - 140 **KARAKTERISTIK GAMBUT BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN PETROGRAFI ORGANIK DI KABUPATEN INDRAGIRI HILIR, PROVINSI RIAU**
THE CHARACTERISTICS OF PEAT BASED ON ANALYSIS OF ORGANIC GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY IN INDRAGIRI HILIR DISTRICT, RIAU PROVINCE
Oleh : Priyono dan Sigit A. Wibisono

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**ALTERASI DAN MINERALISASI DI PULAU MERAH, KECAMATAN PESANGGARAN,
KABUPATEN BANYUWANGI, PROVINSI JAWA TIMUR**

**ALTERATION AND MINERALIZATION IN RED ISLAND,
PESANGGARAN DISTRICT, BANYUWANGI REGENCY, EAST JAVA PROVINCE**

**Sabtanto Joko Suprpto¹, Dodid Murdohardono¹, Suparno¹,
Oman Abdurahman², dan Agung Tri Subekti³**

¹Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

²Museum Geologi

³Dinas ESDM, Provinsi Jawa Timur

sabtanto_js@yahoo.com

SARI

Pulau Merah berada di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, pada jarak sekitar 200 meter dari garis pantai Desa Sumberagung, memiliki indikasi mineralisasi logam. Penelitian di Pulau Merah bertujuan untuk mendapatkan tipe mineralisasi dan alterasi, serta sebaran tubuh bijih. Metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari pengamatan litologi, alterasi, mineralisasi, dan pengambilan contoh batuan untuk analisis kandungan mineral dan kimia. Morfologi Pulau Merah berbentuk bukit kecil. Pada tebing bagian timur menghadap laut dangkal yang dapat diseberangi saat laut surut, terdapat singkapan luas batuan teralterasi dan mineralisasi. Pada bagian tenggara sampai bagian tengah terdapat singkapan cebakan tembaga porfiri, di bagian utara terdapat singkapan cebakan emas epitermal tipe *high sulphidation*. Cebakan tembaga porfiri mempunyai kadar 0,32% s.d. 2,14% Cu, 285 ppb s.d. 1.502 ppb Au, 1,4 ppm s.d. 9,4 ppm Ag dan 2 ppm s.d. 4 ppm Mo. Cebakan emas epitermal *high sulphidation* mempunyai kadar 189 ppb s.d. 1.843 ppb Au, 1 ppm s.d. 21,4 ppm Ag dan 24 ppm s.d. 123 ppm As. Pulau Merah sesuai dengan Undang-undang Nomor 1 tahun 2014 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, termasuk ke dalam kriteria Pulau Kecil, oleh karena itu tidak dapat dimanfaatkan untuk kegiatan tambang. Obyek langka Pulau Merah berupa cebakan tembaga dan cebakan emas yang mudah dijangkau dan merupakan bagian dari tujuan wisata maka layak untuk dapat dijadikan cagar alam geologi.

Kata kunci: Pulau Merah, deposit tembaga, deposit emas, alterasi, mineralisasi

ABSTRACT

Red Island is located in Sumberagung Village, Pesanggaran District, Banyuwangi Regency, at a distance of about 200 meters from Sumberagung Village's coastline, has indication of metallic mineralization. The aim of the research in Red Island, obtain type of mineralization and alteration, and ore body distribution. Research methodology used is consist of observing lithology, alteration, mineralization, and rock sampling for analysis of mineral and chemical contents. Morphology of the Red Island is small hill. The eastern cliffs facing the shallow sea can be crossed at low tide, found extensive outcrops of altered and mineralized rocks. In the southeastern to the central part is encounterd a porphyry copper deposit outcrop, in the northern part encounterd a high sulphidation epitermal gold outcrop. The porphyry copper deposit consists of 0.32% to 2.14% Cu, 285 ppb to 1,502 ppb Au, 1.4 ppm to 9.4 ppm Ag, 2 ppm to 4 ppm Mo. The high sulphidation epithermal gold deposits consists 189 ppb to 1,843 ppb Au, 1 ppm to 21.4 ppm Ag, 24 ppm to 123 ppm As. The Red Island in accordance with the Law no. 1 of 2014 on Management of Coastal Areas and Small Islands, is included in the criteria of Small Island, therefore it prohibited for mining activities. The Red Island phenomena

are copper deposits and gold deposits, easily accessible, and a part of a tourist destination, feasible of being a geoheritage.

Keywords: Red Island, copper deposit, gold deposit, alteration, mineralization

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pulau Merah terletak di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Banyuwangi pada kordinat $8^{\circ}36'18''$ LS dan $114^{\circ}1'34''$ BT. Daerah ini merupakan bagian dari obyek wisata pantai Desa Pesanggaran yang berjarak sekitar 200 meter dari garis pantai dan dapat dijangkau dengan berjalan kaki pada saat laut surut. Nama Pulau Merah menjadi ikon dari obyek wisata tersebut dengan nama Obyek Wisata Pulau Merah (Gambar 1).

Di sekitar Pulau Merah dijumpai bongkah-bongkah silikaan dengan tekstur *vuggy*, sebagai indikasi alterasi tipe *high sulphidation* dan bongkah-bongkah batuan mengandung *stockwork* urat kuarsa yang mengindikasikan mineralisasi dan alterasi tipe porfiri. Keterdapatan bongkah-bongkah tersebut menjadi alasan dilakukan penelitian ini mengidentifikasi alterasi dan mineralisasi di Pulau Merah.



Gambar 1. Pulau Merah difoto dari arah tenggara (Sopian 2017)

Cebakan tembaga porfiri di dunia umumnya menempati jalur Asia-Pasifik (Sinclair 2004). Indonesia yang terletak di jalur vulkanik Circum Pacific, mempunyai jalur vulkanik terpanjang di dunia yaitu 15.000 km, sepanjang 7.000 km telah terbukti sebagai daerah penghasil emas dan tembaga (Carlile dan Mitchell 1994) dan (Hammarstrom dkk. 2013).

Di Indonesia cebakan tembaga tipe porfiri dijumpai di beberapa lokasi di Pulau Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Lombok, Sumbawa, Maluku Utara, dan Papua (Suprpto 2008). Cebakan tersebut terdapat pada daerah terpencil dengan morfologi pegunungan, sehingga sulit dijangkau,. Demikian juga keterdapatan cebakan emas tipe *high sulphidation*.

Penelitian di Pulau Merah dimaksudkan untuk mendapatkan data tentang sebaran mineral ekonomi dan mineral ubahan dengan melakukan pemetaan, pengambilan conto dan analisis laboratorium. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan data sebaran tipe mineralisasi dan alterasi di Pulau Merah serta sebaran tubuh bijih yang dapat digunakan sebagai acuan bagi pelaksanaan praktek eksplorasi di lapangan dan wisata pendidikan.

Genesa

Pembahasan genesa diperlukan untuk menjadi panduan dalam penelitian dan dasar analisis data hasil penelitian. Genesa mineral menyangkut aspek keterdapatan, proses pembentukan, komposisi, model, kedudukan, dan faktor-faktor pengendali terbentuknya mineral. Pembahasan tentang genesa dibatasi meliputi dua tipe mineralisasi yaitu: pembentukan cebakan tembaga tipe porfiri dan pembentukan cebakan emas epitermal tipe *high sulphidation* (Gambar 2).

Genesa alterasi dan mineralisasi cebakan tembaga dan emas berkaitan dengan aktivitas magma (Sillitoe 2000). Magma bergerak naik dari kedalaman menyebabkan tekanan dan temperatur turun, bahan volatil terpisah serta bermigrasi naik ke arah puncak dapur magma. Proses pemisahan tersebut menyebabkan perubahan seperti pH (keasaman), Eh (oksidasi), dan viskositas. Turunnya tekanan dan mendinginnya

magma, disertai dengan kristalisasi, menyebabkan dapur magma memiliki empat fasa, terdiri dari gas, sisa magma yang masih cair, larutan air, dan padatan (kristal). Beberapa jenis logam masing-masing terpisah ke dalam fasa yang berbeda, sebagai contoh Cr terbentuk paling awal. Cu terpisah menyatu dengan larutan garam (*brine*), sedangkan Au cenderung menyatu dengan gas dan larutan air.

Cebakan tembaga porfiri terbentuk pada dapur magma dari aktivitas gunungapi. Dapur magma mendingin dari arah luar menuju ke dalam, terjadi kristalisasi mineral-mineral seperti feldspar dan kuarsa, menyebabkan magma cair yang masih tersisa menjadi kaya kandungan logam dan volatil. Unsur volatil bergerak/bermigrasi ke arah puncak dapur magma.

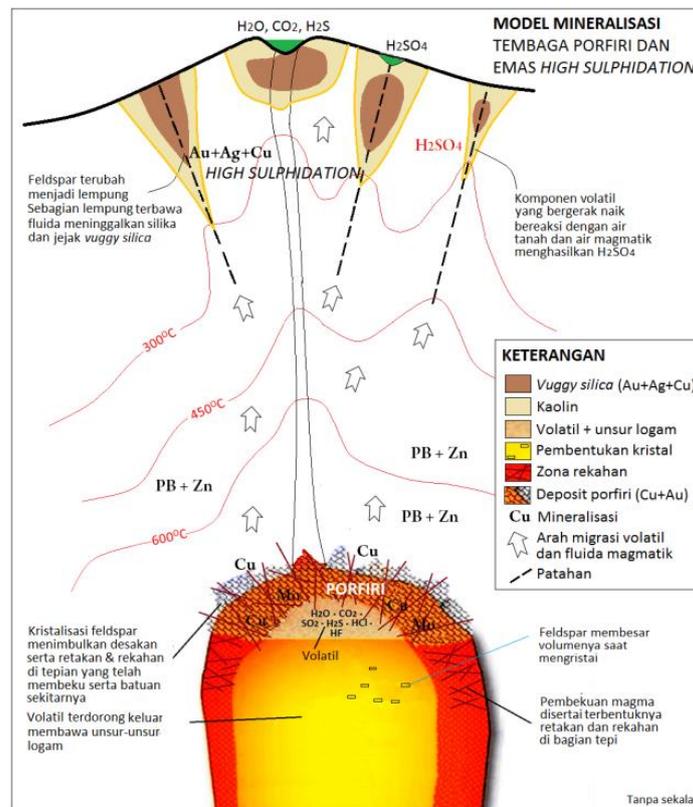
Bahan-bahan volatil magmatik (H_2O , H_2S , SO_2 , CO_2 , HF dan HCl) bermigrasi dengan membawa unsur-unsur logam. Logam-logam (tembaga, molibdenum, perak, emas) tertransport di dalam volatil, berupa kompleks klorin – $CuCl$. Uap panas dengan temperatur $600^\circ C$ secara bertahap mengalami kondensasi menjadi air garam (*brine*) kaya kandungan logam, bermigrasi ke arah atas dan ke arah luar (lateral). Pada kondisi fluida dan volatil menjadi lebih dingin ($350^\circ C$ s.d. $250^\circ C$) maka logam-logam mengendap yang diawali oleh Mo dan Cu, diikuti Zn dan Pb (Jackson 2015).

Fluida *high sulphidation* berasal langsung dari unsur-unsur volatil pada magma yang

terdorong naik mencapai lingkungan epitermal. Selama bergerak naik meskipun ada percampuran dengan air tanah ataupun percampuran dengan kandungan dari batuan samping yang terlewati akan tetapi dalam jumlah yang sangat terbatas. Bersamaan dengan naiknya fluida tersebut maka terjadi penurunan tekanan, komponen volatil magmatik bereaksi dengan air tanah dan air magmatik serta oksigen yang menghasilkan peningkatan H_2SO_4 pada kondisi suhu lebih rendah ($<300^\circ C$), (Corbett 2002).

Selanjutnya fluida asam, panas, sebagian berupa uap, bergerak naik dari magma sebagai sumbernya yang bermigrasi menuju ke permukaan dan bereaksi dengan batuan yang terlewati. Sebagai akibatnya batuan teralterasi akan mengalami *leaching*, feldspar berubah menjadi lempung dan sebagian lempung tersebut terbawa fluida yang meninggalkan bekas berupa lobang-lobang *vuggy* dan menyisakan silika. Hal ini terjadi karena silika tahan terhadap HCl dan H_2S . Silika yang tersisa memiliki tekstur yang disebut *vuggy silica* atau *muggy silica* (Jackson 2015).

Mekanisme alterasi dan mineralisasi pada pembentukan cebakan emas *high sulphidation* dikontrol oleh penurunan suhu dan perubahan pH (keasaman) akibat interaksi dengan batuan samping dan air tanah pada lingkungan epitermal. Akibat interaksi fluida *high sulphidation* tersebut menyebabkan pengendapan Au-Ag-Cu dan sulfida (Corbett 2002).



Gambar 2. Model mineralisasi tembaga porfiri dan emas epitermal *high sulphidation* (Sinclair 2004) dan (Jackson 2015)

METODOLOGI

Penelitian dibagi dalam dua tahapan, yaitu pengumpulan data sekunder dan pengumpulan data primer. Pengumpulan data sekunder berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan di Pulau Merah dan sekitarnya, serta peraturan perundang-undangan. Pengumpulan data primer dengan melakukan penelitian litologi, alterasi, dan mineralisasi serta pengambilan contoh batuan untuk analisis fisika dan kimia mineral.

Pengambilan contoh untuk analisis kandungan unsur logam dilakukan dengan metode *chip sampling*, sedangkan untuk analisis alterasi menggunakan metode *grab sampling*. Analisis kimia mineral untuk mengetahui kandungan unsur Cu, Au, Ag menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)* dan untuk analisis unsur Mo dan As menggunakan metode kolorimetri. Sedangkan analisis fisika mineral untuk alterasi dan mineralisasi menggunakan mikroskop

serta analisis mineral lempung menggunakan *Portable Infrared Mineral Analyzer (PIMA)*.

Kegiatan penelitian di lapangan dilaksanakan pada tanggal 5 dan 6 Juli 2017. Penentuan waktu kegiatan lapangan mempertimbangkan periode pasang-surut laut. Hal ini agar dapat menyeberang ke Pulau Merah dengan berjalan kaki, serta dengan surutnya air laut didapatkan singkapan batuan lebih luas. Pada saat pelaksanaan penelitian, lama waktu surut laut pada siang hari sekitar tiga jam.

Mengingat keterbatasan waktu di lapangan, maka target penelitian hanya pada singkapan di sepanjang pantai Pulau Merah dan pulau-pulau kecil di seberangnya serta dataran di seberang timur yang dapat dijangkau dengan berjalan kaki saat laut surut. Untuk menafsirkan alterasi dan mineralisasi pada bagian arah zona puncak Pulau Merah berdasarkan pada bongkah yang dijumpai di sepanjang pantai dan kaki tebing.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian meliputi data hasil penelitian terdahulu dan data primer hasil pengamatan di lapangan dan di laboratorium. Secara garis besar terdiri dari geologi, alterasi, mineralisasi, dan *overprint*.

Geologi

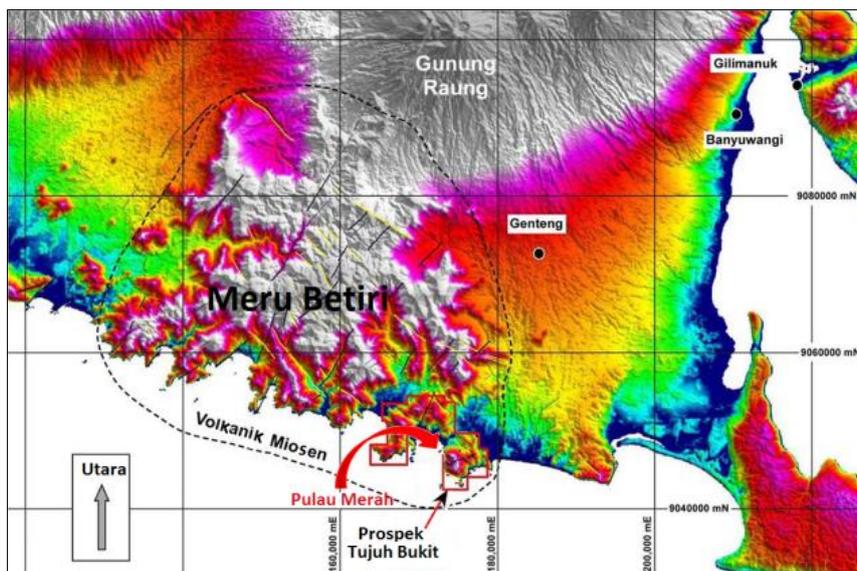
Morfologi Pulau Merah berupa bukit kecil berbentuk kerucut dengan lereng pada bagian selatan dan barat umumnya terjal dan sebagian berupa tebing tegak. Sedangkan pada lereng bagian utara dan timur relatif lebih landai dengan puncak tertinggi 45 meter di atas permukaan laut. Bentuk pelamparan Pulau Merah mendekati lonjong memanjang timurlaut – baratdaya dengan garis diameter terpanjang 300 meter dan lebar 150 meter. Berdasarkan Undang-Undang nomor 1 tahun 2014 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, Pulau Merah termasuk ke dalam kriteria pulau kecil. Jarak terdekat dari garis pantai daratan utama Pulau Jawa sekitar 200 meter yang dapat diseberangi dari arah timur saat laut surut. Bahkan pada bagian selatan dari jalur penyeberangan saat surut tidak terendam air laut sama sekali. Bagian selatan, utara, dan barat Pulau Merah

berlereng sangat terjal, menghadap ke arah laut dalam (Gambar 1 dan 11).

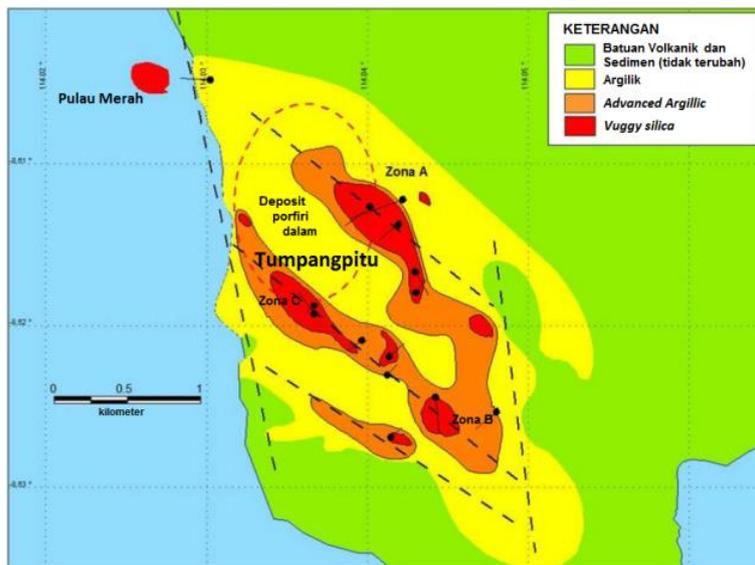
Pulau Merah berada pada tepi tenggara dari zona sisa-sisa endapan gunung api tipe strato berumur Miosen yang mempunyai lebar sebaran mencapai 50 km dengan bagian tengah berupa Kubah Meru Betiri. Topografi daerah ini telah mengalami erosi kuat (Gambar 3), dan telah ditemukan beberapa daerah prospek mineralisasi tembaga dan emas (Hellman 2011).

Di sekitar Pulau Merah didominasi batuan vulkanik berupa breksi vulkanik, tuf, batupasir, dan lava andesit, serta terdapat sisipan batugamping. Batuan tersebut termasuk dalam Formasi Batuampar, diterobos oleh pluton dan retas-retas magma kalk-alkali tipe-I. Batuan terobosan terdiri dari diorit mikro, diorit, diorit hornblende, diorit kuarsa-hornblende, andesit hornblende porfiri, dan tonalit.

Alterasi di sekitar Pulau Merah sangat luas dan intensif. Penelitian di sekitar Tumpang Pitu menemukan sebaran alterasi silika, argilik, dan *advanced argilic* (Hellman 2011) dan (Maryono, dkk., 2016) Dari pola sebaran alterasi di daratan utama tersebut, diperkirakan sebaran alterasi yang sama menerus ke arah barat sampai di Pulau Merah (Gambar 4).



Gambar 3. Peta sebaran batuan Vulkanik Miosen dan Kuarter di Daerah Meru Betiri dan sekitarnya (modifikasi dari Hellman, 2011)



Gambar 4. Sebaran alterasi di Pulau Merah dan sekitarnya (modifikasi dari Hellman, 2011)

Alterasi

Pulau Merah tersusun atas batuan vulkanik berumur Miosen (Gambar 3), berada di bagian barat kompleks Tumpang Pitu, dibatasi oleh patahan yang membentuk kelurusan garis pantai dengan arah baratlaut-tenggara (Gambar 4).

Berdasarkan peta sebaran alterasi (Hellman 2011), seluruh Pulau Merah digambarkan sebagai zona *vuggy silica*.

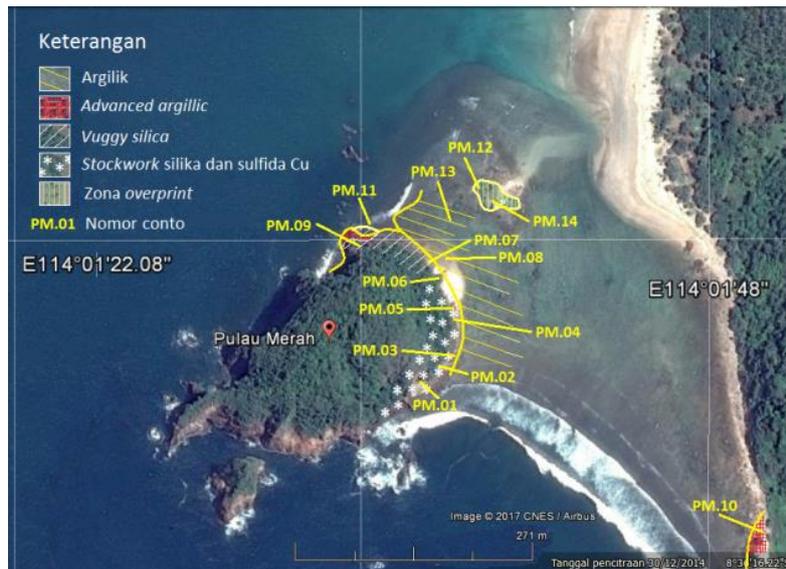
Zona argilik mempunyai penyebaran luas di Daerah Tumpang Pitu dan sekitarnya. Hasil analisis conto yang diambil di sebelah timur Pulau Merah, mengindikasikan bahwa sebaran alterasi argilik menerus ke arah Pulau Merah, pada sebelah barat jalur patahan menempati zona yang apabila saat pasang terendam air laut.

Alterasi di Pulau Merah dapat dikelompokkan ke dalam empat zona yakni; zona bagian selatan pulau, zona bagian utara pulau, zona di seberang timurlaut pulau dan zona seberang timur pulau (Gambar 5). Singkapan zona bagian selatan dapat dijumpai pada tebing sepanjang pantai dari bagian tenggara ke arah utara sampai bagian tengah, zona utara tersingkap di sepanjang tebing bagian utara pulau, sedangkan zona seberang timurlaut berada di pulau-pulau kecil di seberang timurlaut Pulau Merah,

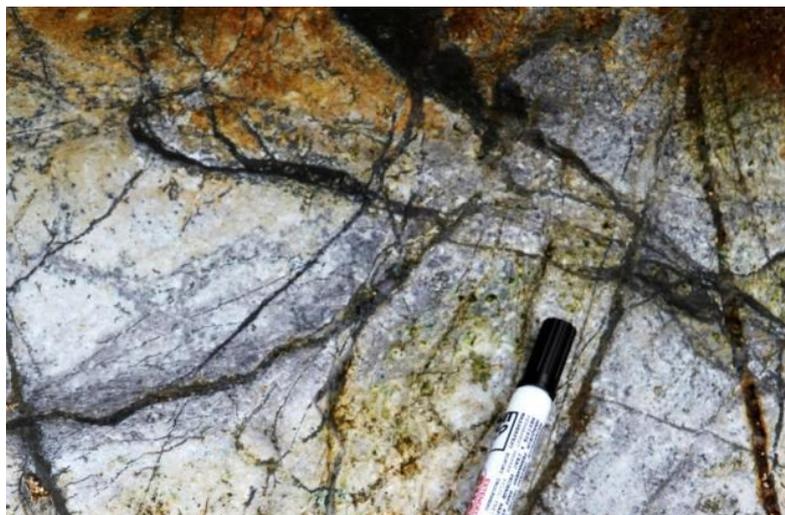
dan zona seberang timur berada di lepas pantai timur Pulau Merah.

Pada zona bagian selatan mineral ubahan berupa silika tersebar maupun mengisi rekahan (*fracture filling*) serta sebagai *replacement*, menggantikan mineral dari batuan induk. Umumnya silika mengisi rekahan membentuk *stockwork* pada batuan dengan tekstur porfiritik yang mengandung sulfida tembaga tersebar serta mengisi rekahan (Gambar 6). Hasil analisis PIMA conto dari lokasi PM.02 mengandung *dickite + kaolinite + jarosite*, conto PM.03 mengandung *dickite + halloysite + kaolinite*.

Pada zona bagian utara komposisi mineral ubahan dominan silika, teralterasi sangat kuat, sehingga sulit diidentifikasi batuan asalnya. Umumnya terdapat tekstur *vuggy silika* (Gambar 7). Batuan sangat keras, membentuk permukaan tebing dengan tonjolan runcing dan tajam. Sebaran alterasi ini terdapat di lokasi PM.07 sampai di sekitar lokasi PM.09. Hasil analisis PIMA dari conto mengandung lempung, nomor lokasi PM.09 didapat kandungan *dickite + pyrophyllite + nacrite*, merupakan zona alterasi tipe *advanced argillic*. Bongkah-bongkah di sepanjang kaki tebing pada zona ini terdiri dari batuan alterasi silika, dengan tekstur *vuggy silika*.



Gambar 5. Peta lokasi contoh dan alterasi Pulau Merah



Gambar 6. Batuan porfiri terpotong urat-urat silika dan sulfida tembaga, mineral alterasi lempung berupa *dickite*, *kaolinite*, *jarosite*, lokasi PM.02

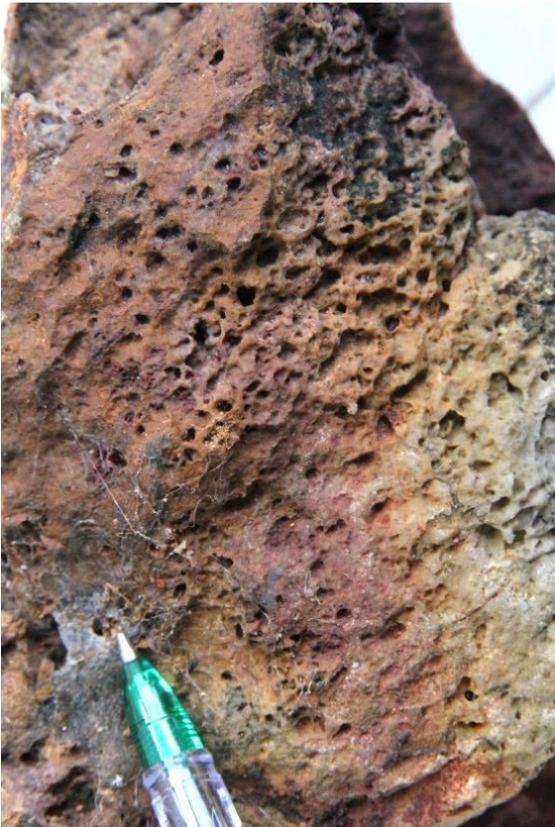
Zona di seberang timur pantai Pulau Merah terdapat dataran dengan batuan penyusun berupa batuan porfiritik, berwarna putih sampai dengan abu cerah, pada saat laut pasang, terendam air. Hasil analisis PIMA conto PM.08 dan PM.13 mengandung *dickite* + *halloysite* merupakan zona argilik.

Ubahan silika masif tidak hanya dijumpai di Pulau Merah akan tetapi terdapat juga di lepas pantai seberang timurlaut (Gambar 12). Zona silikaan ini membentuk tonjolan-tonjolan runcing, membentuk pulau-pulau kecil dengan diameter beberapa meter. Sebaran silika masif, tekstur *vuggy silica*, terdapat urat-urat silika struktur menjaring.

Bongkah-bongkah batuan berupa material runtunan dari tebing, tersebar melimpah di sepanjang pantai timur sampai di bagian utara Pulau Merah. Ukuran bongkah beberapa sentimeter sampai dengan lebih dari satu meter. Seluruh bongkah merupakan batuan teralterasi. Komposisi bongkah terdiri dari dua kelompok utama. Kelompok pertama berupa bongkah batuan porfiritik, terpotong *stockwork* silika (*porphyry style*) dan *stockwork* mengandung sulfida tembaga dijumpai di pantai timur bagian selatan (Gambar 8).

Kelompok kedua berupa bongkah batuan tersilikakan kuat dan masif, terdapat tekstur

vuggy silica. Sebaran kelompok kedua ini dapat dijumpai di sepanjang pantai Pulau Merah mulai dari bagian tenggara dan cenderung lebih melimpah di bagian utara. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat zona *vuggy silica* di bagian puncak, asal dari bongkah runtuhan tersebut.



Gambar 7. Tekstur *vuggy silica* di lokasi PM.09

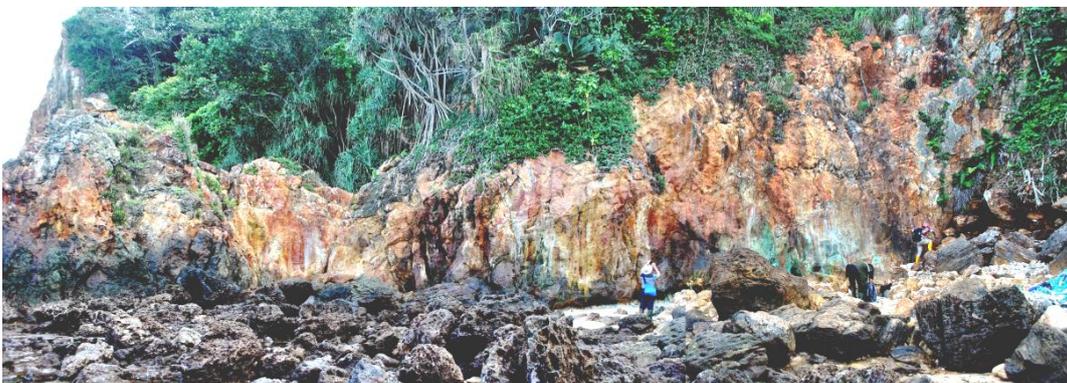
Singkapan batuan porfiritik terpotong urat-urat silika dan sulfida tembaga, terdapat melimpah di tebing timur bagian selatan

Pulau Merah. Bagian bawah singkapan batuan apabila saat laut pasang berada di bawah permukaan air laut, mempunyai warna abu-abu cerah. Sedangkan singkapan batuan yang berada di atas permukaan air laut berwarna coklat, merah hati, dan hijau (Gambar 9).



Gambar 8. Bongkah terpotong urat-urat silika dengan pola menjaring (*stockwork*)

Indikasi mineralisasi tembaga dapat diamati di lapangan dengan dijumpainya mineral malakit melapisi permukaan lereng tebing timur bagian selatan, sehingga memberikan warna hijau pada permukaan tebing, serta terdapat *stockwork* mengandung malakit, kalkosit, kalkopirit, bornit, dan azurit. Sebaran malakit dijumpai lebih menonjol dibandingkan mineral tembaga jenis yang lain, selain menutup permukaan singkapan di tebing timur bagian selatan Pulau Merah, malakit dijumpai juga mengisi rekahan, membentuk pola struktur menjaring (*stockwork*) (Gambar 10).



Gambar 9. Singkapan batuan mengandung silika, malakit, kalkosit, dan kalkopirit, serta pirit, lokasi PM.01



Gambar 10. Batuan porfiritik mengandung malakit tersebar dan mengisi rekahan, lokasi PM.01.

Mineral-mineral tembaga jenis yang lain dapat teramati dengan jelas menggunakan lensa pembesar atau menggunakan mikroskop binokuler. Pengamatan menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran 5 kali sampai dengan 104 kali, didapatkan kenampakan sebaran mineral-mineral tembaga lebih jelas dan lengkap. Kandungan kalkopirit, kalkosit, bornit dijumpai tersebar maupun mengisi rekahan. Sebagian kalkopirit membentuk pola kelurusan dan *stockwork* seperti pada Gambar 15.B. Malakit umumnya tersebar di sekitar sulfida tembaga yang lain (Gambar 15. A, D, & F). Mineral azurit membentuk selaput tipis menutup permukaan rongga (Gambar 15.H). Mineral bornit tersebar maupun mengisi rongga membentuk urat halus. Demikian juga mineral kalkosit tersebar dan mengisi rongga membentuk urat-urat halus (Gambar 15.G).

Hasil analisis kimia, semua conto dari zona mineralisasi, mengandung Cu, Au, dan Ag tinggi, sebagaimana umumnya kadar pada cebakan tembaga dan emas yang dapat diusahakan secara ekonomis. Jumlah conto yang dianalisis kandungan logamnya sebanyak 14, terdiri dari 11 conto dari hasil identifikasi di lapangan terdapat indikasi mineralisasi, sedangkan tiga conto dari zona alterasi argilik dan *advanced argillic*. Kandungan tembaga tinggi terdapat pada lokasi PM.01 sampai PM.06, menempati bagian selatan dari tebing timur Pulau Merah. Hasil analisis kimia conto bijih tembaga diperoleh kadar 0,32% s.d. 2,14% Cu, 285 ppb s.d. 1.502 ppb Au, 1,4 ppm s.d.

9,4 ppm Ag dan , 2 ppm s.d. 4 ppm Mo (Gambar 11). Berdasarkan indikasi lapangan berupa batuan porfiritik, terpotong *stockwork* mengandung silika dan sulfida tembaga, serta indikasi alterasi lempung berupa mineral dikit, halosit, dan kaolin, kandungan tinggi tembaga, emas dan perak maka zona mulai dari lokasi PM.01 sampai PM.06 merupakan cebakan bijih tembaga-emas tipe porfiri.

Zona mineralisasi di bagian utara Pulau Merah, mulai dari sekitar lokasi PM.07 sampai PM.13, merupakan deposit epitermal. Hasil analisis kimia bijih emas mempunyai kadar 189 ppb s.d. 1.843 ppb Au, 1 ppm s.d. 21,4 ppm Ag dan 24 ppm s.d. 123 ppm As. Kandungan emas tinggi di lokasi PM.11 yaitu 1.843 ppb Au dan lokasi PM.12 yaitu 1.037 ppb Au. Lokasi PM.11 berada sekitar 50 meter di utara lepas pantai Pulau Merah dan PM.12 di sekitar 100 meter di timurlaut lepas pantai Pulau Merah (Gambar 11). Zona mineralisasi di bagian utara dicirikan oleh adanya alterasi silika masif, tekstur *vuggy silica*, dengan kandungan lempung pada tubuh bijih di lokasi PM.09 berupa *dickite + pyrophyllite + nacrite*, merupakan cebakan emas epitermal tipe "*high sulphidation*". Cebakan emas epitermal tipe *high sulphidation*, disebut juga tipe "asam sulfat" (White dan Hedenquist 1995). Kehadiran *dickite + pyrophyllite + nacrite* mengindikasikan lingkungan asam sampai menengah dengan suhu 200°C s.d. 300°C (Chen, Wang, dan Yang 2001).

Oksida besi berupa hematit, jarosit, dan limonit melapisi permukaan singkapan deposit bijih tembaga maupun bijih emas. Kandungan besi berupa pirit teramati pada mikroskop binokuler (Gambar 15.B). Kehadiran oksida besi menutupi permukaan singkapan pada dinding tebing dan lereng Pulau Merah memberikan kenampakan warna coklat dan merah hati. Singkapan warna coklat dan merah hati tersebut dapat dijumpai di tebing timur bagian selatan, tebing barat, serta bagian bawah tebing sepanjang pantai Pulau Merah. Lereng timur bagian utara relatif lebih landai tertutup oleh rimbunan pohon,

sehingga tidak memberikan kenampakan warna merah.



Gambar 11. Peta lokasi conto, kandungan logam, dan sebaran singkapan mineralisasi.

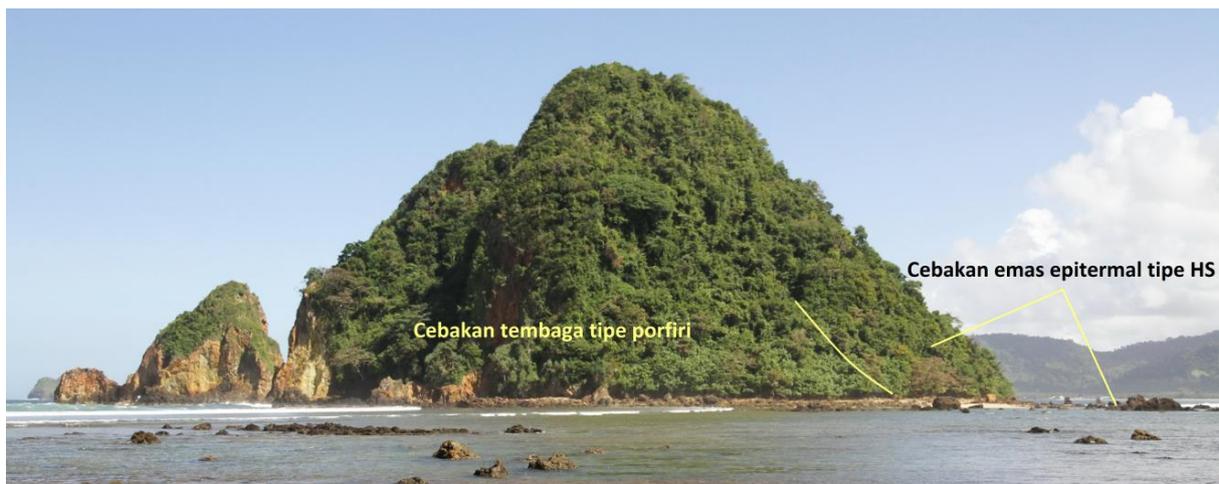
Overprint

Di bagian timur laut Pulau Merah terdapat indikasi adanya zona *overprint*. Pada zona tersebut, dijumpai ciri khas dari dua tipe mineralisasi tersebut (Gambar 13 dan 14). Terdapat jejak salah satu ciri khas mineralisasi tembaga tipe porfiri, yaitu jejak-jejak pola *stockwork* (Gambar 13 A) yang sebagian terisi silika, serta jejak berupa rongga-rongga kosong membentuk pola *stockwork* (Gambar 13 B dan C),

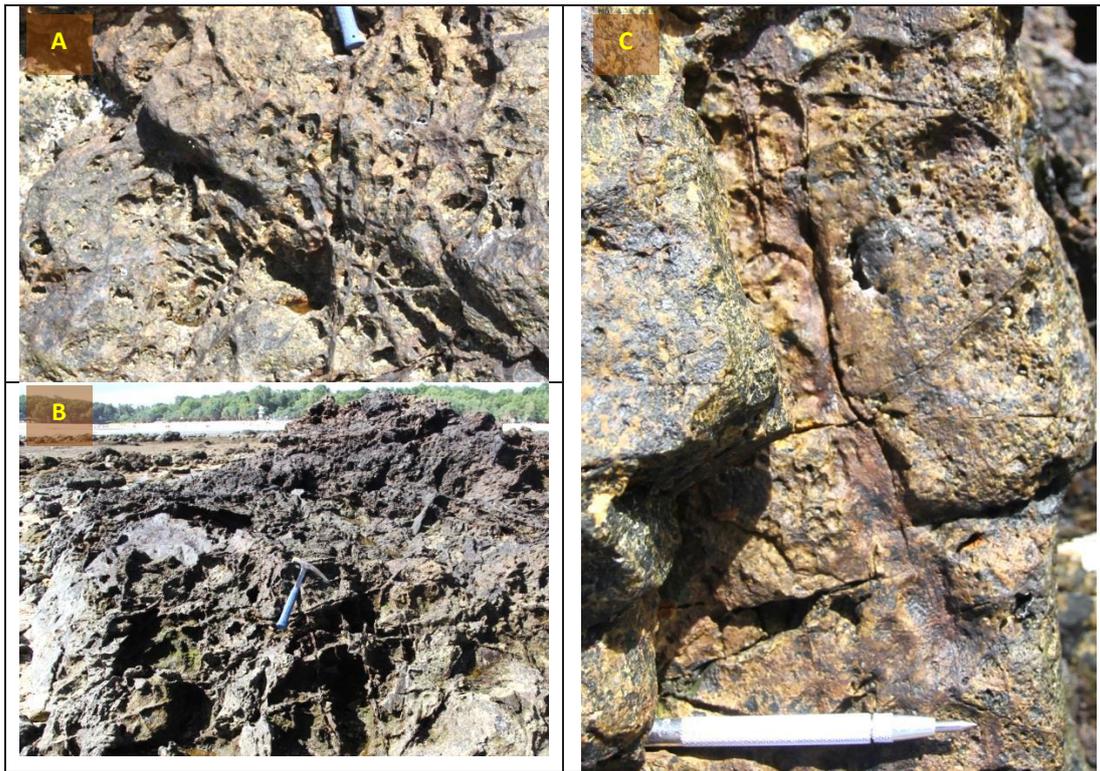
terdapat tekstur *vuggy silica*, ciri khas mineralisasi emas *high sulphidation* (Gambar 13 A dan C).

Secara genesa zona *overprint* dihasilkan ketika bijih tembaga porfiri telah terbentuk, proses pendinginan magma masih berlanjut sampai mencapai suhu <math><300^{\circ}\text{C}</math>. Cebakan bijih tembaga porfiri yang telah terbentuk sebelumnya pada suhu >math>>600^{\circ}\text{C}</math> tersebut, berubah kembali oleh aktifitas hidrotermal dalam lingkungan asam sulfat, suhu <math><300^{\circ}\text{C}</math>, menghasilkan alterasi silika masif dengan tekstur *vuggy silica* atau berubah kembali oleh hidrotermal dari sumber magmatik yang berbeda. Hal ini mengingat di sekitar Pulau Merah terjadi beberapa kali terobosan magma (Hellman 2011) dan (Maryono, dkk., 2016), sehingga sumber hidrotermal yang mengontrol proses alterasi dan mineralisasi bisa terdiri dari lebih dari satu generasi intrusi yang berbeda.

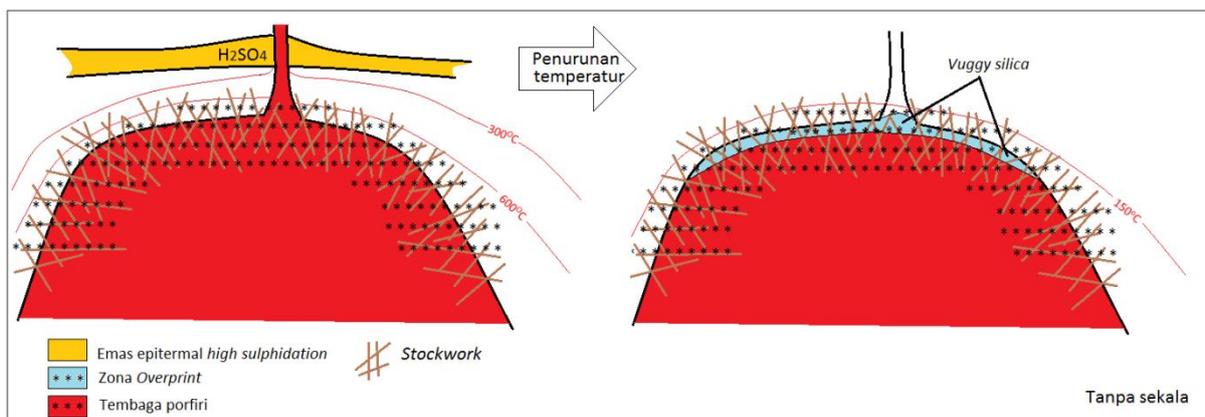
Zona *overprint* dijumpai di seberang timurlaut Pulau Merah, sekitar 100 meter dari tepi pantai, membentuk morfologi berupa tonjolan-tonjolan pulau kecil dengan diameter beberapa meter. Saat laut pasang maksimum, sebagian besar berada di bawah permukaan air.



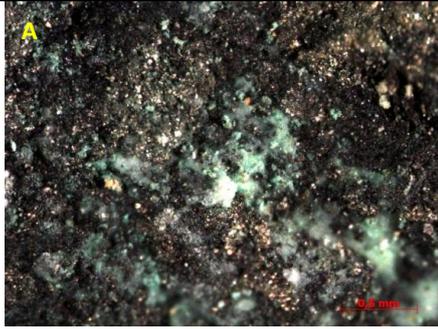
Gambar 12. Cebakan tembaga tipe porfiri dan cebakan emas epitermal tipe *high sulphidation* Pulau Merah, difoto dari arah tenggara



Gambar 13. Zona *overprint* di seberang timurlaut Pulau Merah membentuk tonjolan dan pulau-pulau kecil. A di lokasi PM.14, terdapat jejak *stocwork* silika. B di lokasi PM. 13 dan C lokasi PM. 14 terdapat jejak rongga-rongga membentuk pola *stocwork*. Pada A dan C terdapat tekstur *vuggy silica*.



Gambar 14. Diagram *overprint* Pulau Merah



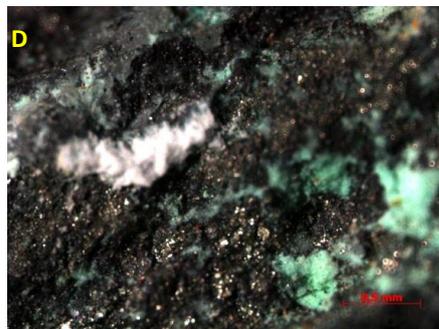
PM.01. Kandungan mineral kalkopirit (kuning), kalkosit (abu-abu gelap) dan malakit (hijau), perbesaran 58 x.



PM.01. Kelurusan-kelurusan warna kuning emas, mineral pirit dan kalkopirit mengisi rekahan, perbesaran 39 x.



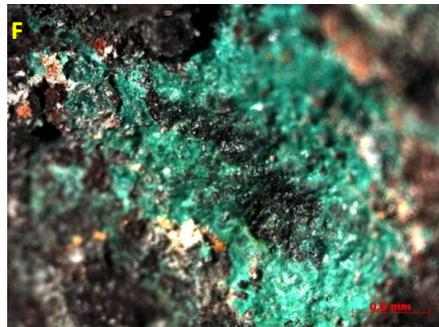
PM.01. Mineral bornit tersebar dan mengisi rekahan, perbesaran 64 x



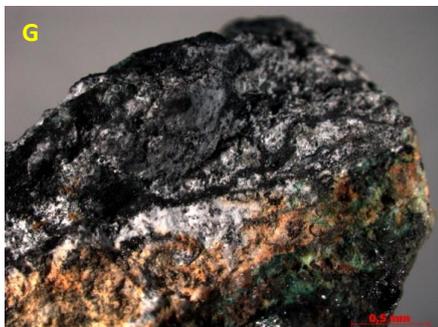
PM.01. Mineral bornit (ungu) dan malakit (hijau), perbesaran 46 x



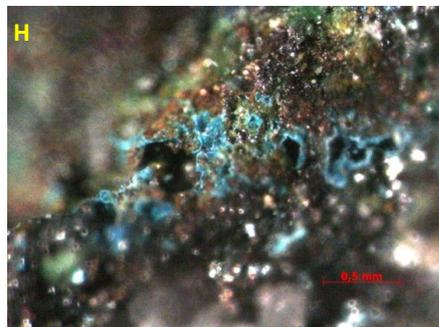
PM.03. Mineral kalkosit (abu-abu gelap) tersebar, perbesaran 30 x.



PM.05. Mineral kalkosit (abu-abu gelap) dikelilingi malakit (hijau), perbesaran 25 x



PM.05. Mineral kalkosit (abu-abu gelap) mengisi rekahan, perbesaran 5 x.



PM.05. Azurit (biru), perbesaran 104 x

Gambar 15. Hasil perbesaran menggunakan mikroskop binokuler, contoh cebakan tembaga porfiri

KESIMPULAN DAN SARAN

Keseluruhan Pulau Merah merupakan tubuh dari cebakan bijih. Terdapat dua tipe alterasi dan mineralisasi yang terbentuk yaitu tembaga porfiri Cu-Au dan emas epitermal tipe *high sulphidation*. Alterasi epitermal *high sulphidation* dicirikan oleh alterasi silika masif, dengan tekstur *vuggy silica*. Di bagian utara Pulau Merah zona *vuggy silica* berbatasan dengan zona *advanced argillic*. Sedangkan tipe porfiri dicirikan oleh *stockwork* silika dan *stockwork* sulfida tembaga, pada bagian timur Pulau Merah berbatasan dengan zona argilik.

Cebakan tembaga porfiri Cu-Au mempunyai kadar 0,32% s.d. 2,14% Cu, 285 ppb s.d. 1.502 ppb Au, 1,4 ppm s.d. 9,4 ppm Ag dan 2 ppm s.d. 4 ppm Mo. Cebakan bijih emas epitermal *high sulphidation* mempunyai kadar 189 ppb s.d. 1.843 ppb Au, 1 ppm s.d. 21,4 ppm Ag dan 24 ppm s.d. 123 ppm As. Pada bagian arah puncak pulau diperkirakan terdapat zona *vuggy silica*. Di antara dua tipe mineralisasi tersebut terdapat zona *overprint*, yaitu cebakan tembaga porfiri yang telah terbentuk sebelumnya di-*overprint* epitermal *high sulphidation*.

Fenomena geologi Pulau Merah berupa tubuh cebakan bijih tembaga porfiri Cu-Au dan cebakan bijih emas epitermal *high sulphidation* yang berada pada satu lokasi dengan singkapan lengkap dan luas, mudah dijangkau, serta berada pada lingkungan obyek wisata, maka hal tersebut merupakan fenomena geologi yang langka di Indonesia. Sehingga Pulau Merah layak untuk dijadikan cagar alam geologi agar dapat dilestarikan kondisi alaminya dan dapat dimanfaatkan sebagai obyek wisata pendidikan geologi (geowisata).

DAFTAR PUSTAKA

- Carlile, J. C., dan Mitchell, A.H.G. 1994. "Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia." *Journal of Geochemical Exploration* 50 (1-3): 91-142. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90022-1).
- Chen, P.Y., Yuan, M.K., dan Yang, D.S. 2001. "Mineralogy of Dickite and Nacrite from Northern Taiwan." *Clay Minerals* 49 (6): 586-95.
- Corbett, G.J. 2002. "Epithermal Gold for Explorationists." *AIG Journal, Applied Geoscientific Practice and Research in Australia*, no. February: 2002-01. <http://www.korearth.net/down/doc/Corbett.pdf>.
- Hammarstrom, J.M., Bookstrom, A.A., Dicken, C.L., Drenth, B.J., Ludington, S., Robinson, G.R., Bambang, T.S., dkk. 2013. "Porphyry Copper Assessment of Southeast Asia and Melanesia." *Global Mineral Resource Assessment*, no. Scientific Investigations Report 2010-5090-D: 352.
- Hellman, P.L. 2011. "Tujuh Bukit Project Report on Mineral Resources, Technical Report for Interpid Mines Limited." NSW. <http://member.afraccess.com/media?id=CMN://6A437115&filename=20090204/00924543.pdf>.
- Jackson, A. 2015. "Porphyry Copper Deposits." 2015. <http://sprottglobal.com/natural-resource-investing/investment-university/ore-deposits-101-part-3>.
- Maryono, A., Harrison, R., Rompo, I., Priowasono, E., Norris, M. 2016. "Successful Techniques in Exploring The Lithocap Environment of The Sunda Magmatic Arc, Indonesia." In *Proceedings of Unconventional Exploration Targets & Latest Techniques and New Tools in Mineral and Coal Mgei 8 Annual Convention 2016*, edited by Darlius E.Y., 7-13. Bandung: MGEI.

- Sillitoe, R.H. 2000. "Gold -Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Generic Models and Their Role in Exploration and Discovery." *SEG* 13 (2000): 315–45.
- Sinclair, W.D. 2004. "Porphyry Deposits." *Distribution* 33 (2004): 1–14.
- Sopian, A. 2017. "Surga Surfing Di Pantai Merah." 2017. <https://maritimeneews.id/surga-surfing-di-pantai-merah>.
- Suprpto, S.J. 2008. "Pertambangan Tembaga Di Indonesia." *Warta Geologi*, September 2008. <http://www.bgl.esdm.go.id/index.php/koleksi-warta-geologi/242-warta-geologi-volume-iii-no-3>.
- White, N.C. dan Hedenquist, J.W. 1995. "Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration." *Published in SEG Newsletter* 1 (23): 9–13. <https://doi.org/10.1080/00207540410001683261>.

Diterima	: 24 Januari 2018
Direvisi	: 19 Juli 2018
Disetujui	: 13 Agustus 2018

**PROFIL ENDAPAN LATERIT NIKEL DI POMALAA, KABUPATEN KOLAKA,
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

**PROFILE OF NICKEL LATERITS IN POMALAA, KOLAKA REGENCY,
SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE**

**Hashari Kamaruddin¹, Riko Ardiansyah I.K.¹,
Mega F. Rosana², Nana Sulaksana², dan Euis Tintin Y.²**

¹PT. Aneka Tambang Tbk., Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran

²Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran
hashari.kamaruddin@antam.com

ABSTRAK

Geologi daerah Pomalaa merupakan bagian dari batuan ultramafik Ophiolit Sulawesi Timur di lengan tenggara Sulawesi. Di daerah tersebut endapan laterit nikel Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan asal ultramafik yang didominasi oleh harzburgit terserpentinisasi dan memiliki karakteristik tipe endapan laterit nikel *hydrous Mg silicate*. Lateritisasi terbentuk pada morfologi perbukitan bergelombang rendah dengan sudut kelerengan berkisar 10° sampai dengan 25°. Proses lateritisasi berlangsung dengan baik terutama pada topografi yang cenderung lebih landai yaitu 10° sampai dengan 15°, yang memungkinkan terbentuknya lateritisasi yang cukup dalam dengan zona saprolit yang tebal.

Zonasi profil laterit daerah Pomalaa secara spasial dapat dibagi menjadi tiga blok yaitu: Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan. Perbedaan profil di ketiga blok tersebut turut dipengaruhi oleh proses pengayaan (*enrichment*) Ni yang dialami. Di Blok Utara pengayaan Ni terjadi tepat di bawah batas tengah muka air tanah, sedangkan di Blok Tengah dan Blok Selatan pengayaan Ni terbentuk antara 2 meter sampai dengan 3 meter di bawah garis tersebut atau mendekati batas terbawah muka air tanah. Penciri utama yang membedakan Blok Selatan dengan Blok Utara dan Blok Tengah, adalah kelimpahan *boulder-boulder* batuan ultramafik, yaitu batuan serpentinit dan harzburgit dengan ukuran diameter mencapai lebih dari 2 meter pada zona saprolit.

Kata kunci: Pomalaa, Laterit, Nikel, Profil, Zonasi

ABSTRACT

The geology of Pomalaa is a part of the ultramafic rocks of East Sulawesi Ophiolite in southeast arm of Sulawesi. The deposit was developed by weathering of ultramafic rocks which is dominated by serpentinized harzburgite as the source rock and exhibit the characteristics of hydrous Mg silicate nickel laterite deposit type. Lateritization is found on the morphology of undulation hills with a slope angle 10° - 25°. The laterite formation are takes place on gentle topographic rather than the steep one, the gentle slope allows the formation of deep laterite profile that likely will develop thicker saprolite zones.

The laterite profile of Pomalaa area classified into three blocks, namely: North Block, Central Block and South Block. It was influenced by the differential enrichment process of Ni in each block. In North Block the Ni enrichment formed just below the middle boundary of the groundwater level while in the Central and South Blocks the Ni enrichment were formed 2 - 3 meters below the line or near the bottom of the groundwater level. The main identifier that distinguishes the South Block with the North and Central Pomalaa Blocks, is the boulders abundance of more than 2 meters in the Saprolite Zone.

Keywords: Pomalaa, Laterite, Nickel, Profile, Zonation

PENDAHULUAN

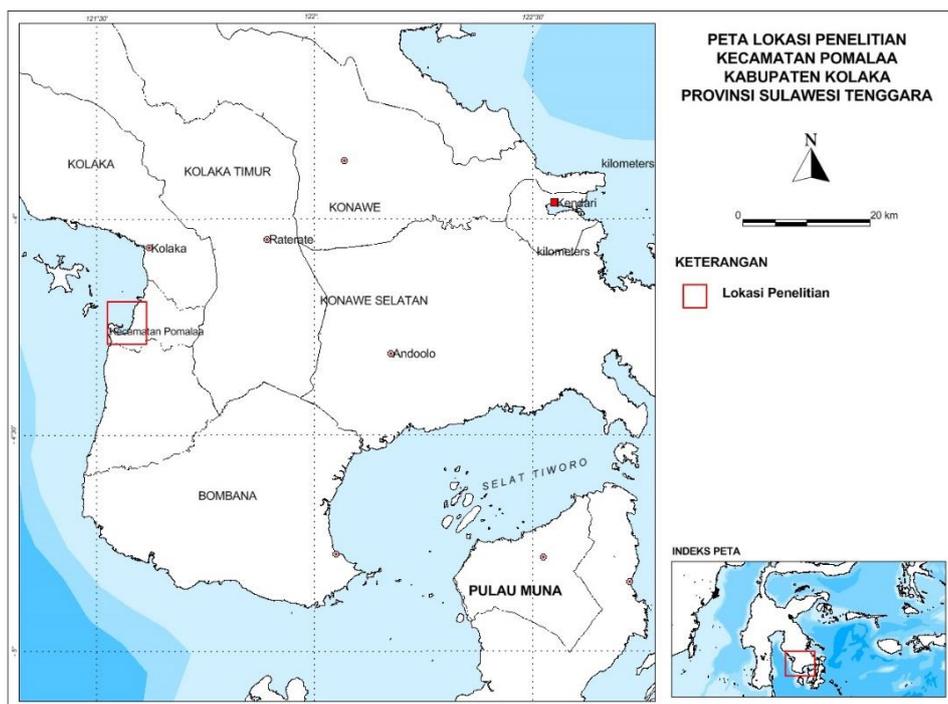
Publikasi ilmiah tentang endapan laterit nikel di Sulawesi didominasi oleh hasil penelitian endapan nikel di daerah Soroako sejak akhir tahun 1970 (Golightly and Arancibia 1979) hingga kini (Sufriadin *dkk.*, 2011; Ilyas *dkk.*, 2012). Penelitian yang telah dilakukan, secara berurutan menguraikan tentang profil laterit nikel Soroako, karakterisasi distribusi Ni berdasarkan analisis geostatistik, topografi dan air tanah-purba, serta pemodelan distribusi kadar bijih nikel, terutama mengacu kepada karakterisasi geomorfologi, mineralogi dan kimiawi bijih saprolit dan implikasinya terhadap pengolahan bijih.

Meskipun merupakan salah satu endapan laterit nikel yang telah lama diketahui keberadaannya, namun endapan laterit nikel Pomalaa belum pernah diteliti dan dipublikasikan secara menyeluruh terkait zonasi dan profilnya. Penelitian endapan laterit nikel Pomalaa telah berlangsung di wilayah IUP PT. ANTAM, Tbk.

Lokasi penelitian secara geografis terletak di dekat garis khatulistiwa pada kisaran

koordinat 4°11'30" - 4°17'30" Lintang Selatan dan 121°31'30" - 121°37' Bujur Timur. Secara administratif daerah Pomalaa termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 1).

Daerah tersebut secara geologi termasuk ke dalam Kompleks Ofiolit di lengan tenggara Sulawesi yang merupakan bagian dari Ofiolit Sulawesi Timur (OST). Ofiolit sendiri berasal dari bahasa Yunani, merupakan terminologi yang telah lama digunakan pada batuan ultramafik. Pada awalnya ofiolit (*ophi* = ular) digunakan untuk batuan serpentinit yang menunjukkan kilap menyerupai sisik kulit ular. Kemudian secara lebih spesifik digunakan untuk batuan ultramafik terserpentinisasi sebelum akhirnya digunakan sebagai terminologi asosiasi kerabat batuan mafik, ultramafik dan sedimen laut dalam (*pelagic sediments*) yang didominasi ultramafik dengan dominasi utama selalu berupa peridotit (serpentin) bersama subordinat gabro, diabas atau norit maupun batuan-batuan yang berhubungan lainnya (Ahmad 2008; Van Leeuwen and Pieters 2011; Martosuwito 2012; Suroño 2013).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

Penelitian mengenai pembentukan endapan nikel laterit telah banyak dilakukan diantaranya oleh (Golightly, 1981; Brand, Butt dan Elias, 1998; Freyssinet dkk., 2005; Ahmad, 2008; Thorne, Roberts dan Herrington, 2012; Butt dan Cluzel, 2013). Endapan nikel laterit didefinisikan sebagai sisa tanah/residu dari hasil proses pelapukan panjang, melalui proses pelapukan kimiawi dan pengayaan supergen, utamanya dari batuan ultramafik di bawah kondisi suhu yang cukup panas dan curah hujan yang cukup tinggi dan dikontrol oleh pergerakan fluktuatif muka air tanah pada saat pembentukannya. Pencucian unsur bergerak (*mobile*) dalam batuan ultramafik seperti silika dan magnesium menyebabkan konsentrasi sisa/residu pada unsur tidak bergerak (*immobile*) seperti besi, nikel dan kobalt.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui profil dan zonasi endapan laterit nikel Pomalaa baik secara lateral maupun vertikal, sehingga dapat menjadi acuan dalam mengembangkan penelitian dan pemanfaatan endapan laterit nikel di Pomalaa khususnya dan lengan tenggara Sulawesi umumnya.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan melakukan pemetaan dan pengamatan singkapan laterit, analisis petrografi dan analisis mineragrafi serta analisis geokimia.

Pemetaan dengan menggunakan GPS bertujuan untuk memetakan sebaran zonasi laterit dan batuan dasar. Pemetaan disertai pemercontaan singkapan untuk analisis petrografi dan analisis mineragrafi serta analisis geokimia. Hasil pemetaan kemudian dikompilasi dengan data pengeboran untuk mengetahui kemenerusan zonasi laterit secara vertikal.

Analisis petrografi dan analisis mineragrafi menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengidentifikasi komposisi mineral penyusun serta ubahan yang dialami oleh

batuan dasar di Pomalaa akibat lateritisasi. Analisis dilakukan di Laboratorium Fisik Unit Geomin ANTAM, menggunakan mikroskop polarisasi Nikon tipe ECLIPSE LV.100.POL. Analisis geokimia data pengeboran menggunakan data hasil eksplorasi ANTAM yang dilakukan dengan metode XRF dan ICP-OES.

GEOLOGI

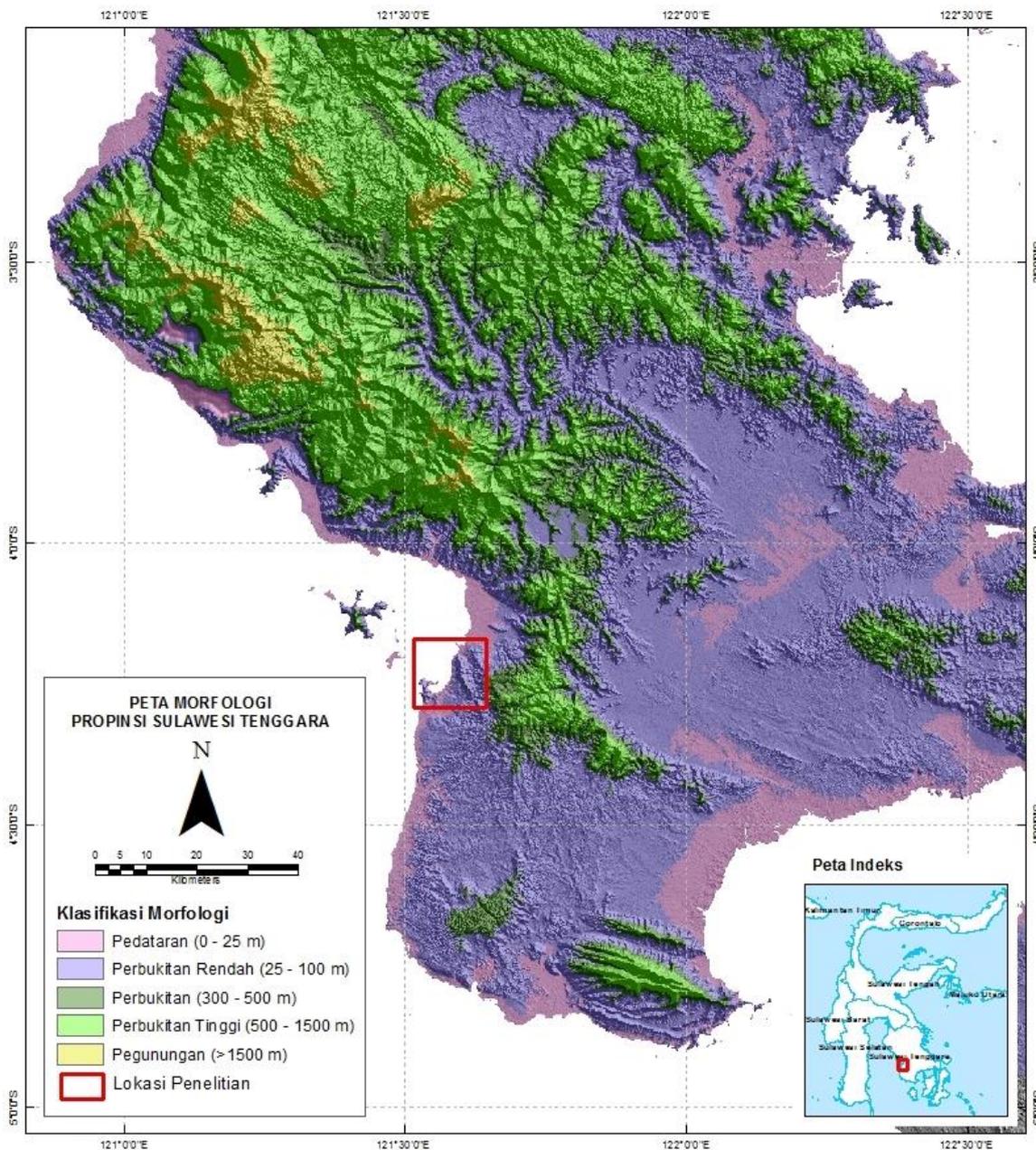
Fisiografi

Pulau Sulawesi terdiri dari empat semenanjung sempit yang terdiri atas lengan-lengan, leher dan batang yang dikelilingi oleh teluk dalam dan tepian cekungan laut marginal. Lengan-lengan tersebut terdiri dari lengan selatan, lengan utara, lengan timur dan lengan tenggara. Pada bagian leher dan batang merupakan kemenerusan dari lengan utara yang membelok tajam $\sim 90^\circ$ ke arah selatan (leher) melewati bagian tengah (batang) yang menghubungkan dan menjadi titik pertemuan ketiga lengan lainnya. Sebagian besar wilayah Sulawesi merupakan pegunungan dengan ketinggian di atas 500 meter di atas permukaan laut (dpl), bahkan 20% dari luas total yang memiliki ketinggian 1000 meter terutama di Sulawesi Tengah dan bagian utara lengan selatan. Puncak tertinggi terdapat pada gunung non-vulkanik Gunung Latimojong yang memiliki ketinggian 3450 meter di atas permukaan laut (dpl). Daerah dataran rendah terdapat di bagian tengah lengan selatan-barat, dekat Teluk Bone dan bagian selatan lengan tenggara. Paling tidak terdapat tujuh belas gunung berapi dijumpai di lengan utara serta satu gunung berapi lainnya di Teluk Tomini. Daerah Pomalaa terletak di lengan tenggara Pulau Sulawesi yang memiliki fisiografi dataran rendah. Simandjuntak dkk, 1993 selanjutnya membagi morfologi lengan tenggara Sulawesi ke dalam lima satuan morfologi, yaitu morfologi pegunungan, morfologi perbukitan tinggi, morfologi perbukitan rendah, morfologi pedataran dan morfologi karst (Gambar 2).

a. Morfologi Pegunungan.

Satuan morfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini, terdiri atas rangkaian pegunungan yang mempunyai ketinggian tertinggi hingga 2790 meter dpl di Gunung Mekongga. Satuan morfologi ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi dan mempunyai pola yang hampir sejajar berarah barat-laut-tenggara sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini sebagai cerminan bentuk morfologi erat hubungannya dengan sesar regional. Satuan morfologi

pegunungan terutama disusun oleh batuan malihan dan setempat oleh batuan ofiolit. Morfologi yang disusun oleh batuan malihan, memiliki rangkaian punggung gunung rendah yang seolah terputus tidak menerus dengan lereng yang tidak rata walaupun bersudut tajam. Sementara itu, morfologi yang disusun oleh batuan ofiolit mempunyai punggung gunung yang panjang dan lurus dengan lereng relatif lebih rata, serta kemiringan yang tajam.



Gambar 2. Klasifikasi morfologi lengan tenggara Sulawesi

b. Morfologi Perbukitan Rendah

Morfologi perbukitan rendah melampar luas di utara Kendari dan ujung selatan lengan tenggara Sulawesi. Satuan ini terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang. Batuan penyusun satuan ini terutama batuan sedimen klastika Mesozoikum dan Tersier disertai batuan ultramafik.

c. Morfologi Pedataran

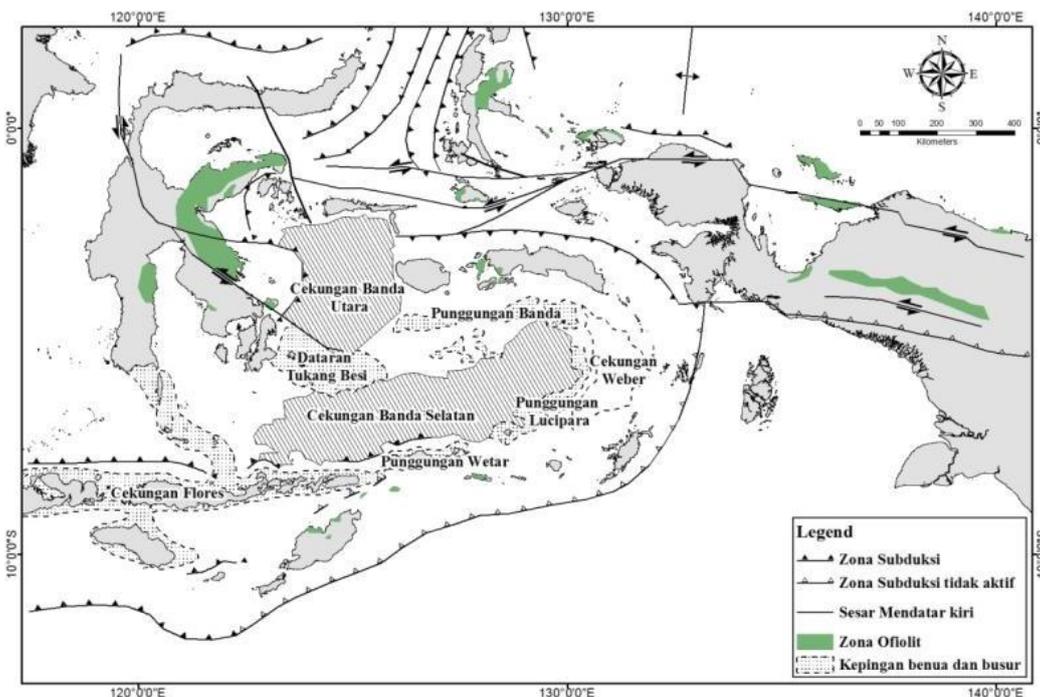
Morfologi dataran rendah dijumpai di bagian tengah ujung selatan lengan tenggara Sulawesi. Tepi selatan Dataran Wawotobi dan Dataran Sampara berbatasan langsung dengan morfologi pegunungan. Penyebaran morfologi ini tampak sangat dipengaruhi oleh sesar geser mengiri (Sesar Kolaka dan Sistem Sesar Konawe).

Terletak relatif di bagian utara sebelah barat dari lengan tenggara, daerah Pomalaa termasuk ke dalam satuan wilayah fisiografi perbukitan rendah.

Tektonik dan Geologi Regional

Pertemuan antara tiga lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Asia menghasilkan kumpulan kompleks kepulauan, cekungan marjinal, fragmen benua dan ofiolit yang tercampur oleh pengaturan batas lempeng yang berulang di Indonesia bagian timur (Gambar 3). Konvergensi Lempeng Indo-Australia dari baratdaya sebagian besar telah diserap sepanjang sistem parit Busur Sunda, sedangkan konvergensi Lempeng Pasifik dari timur telah berkembang oleh pergerakan sekuensial di sepanjang deretan zona subduksi dan pusat penyebaran yang berumur pendek membentuk kompleks pertemuan antar lempeng di wilayah ini.

Sulawesi memiliki bentuk yang khas menyerupai huruf “K” terdiri atas empat semenanjung yang disebut “lengan-lengan” yang terpisahkan oleh teluk yang dalam dan bergabung di bagian tengah Sulawesi. Bentuk menyerupai huruf-K tersebut diyakini merupakan bentukan hasil tumbukan dan akresi mikroblok yang berasal dari timur dengan tepi Eurasian yang mengikutinya.

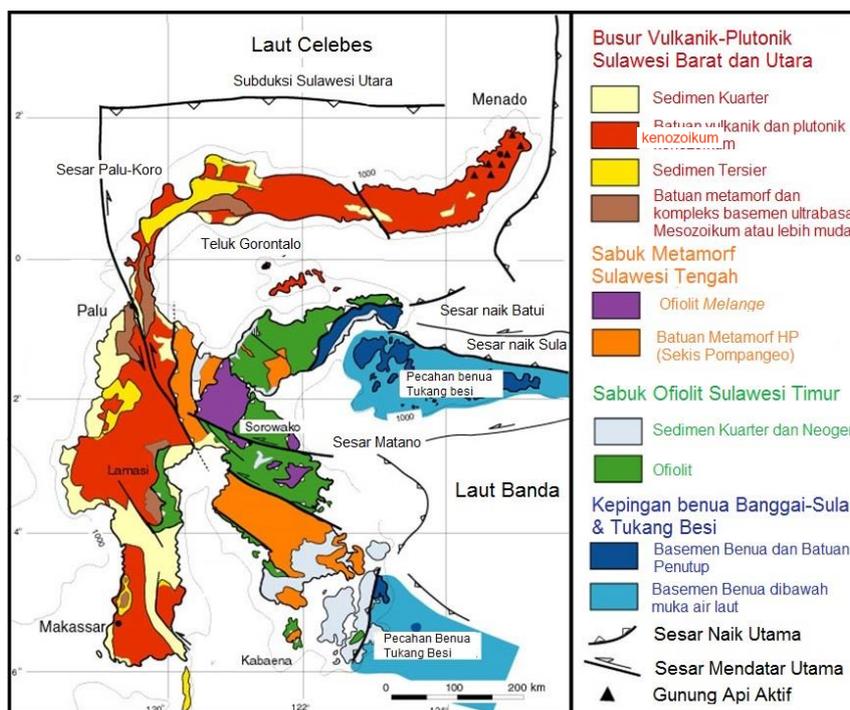


Gambar 3. Peta tektonik wilayah Indonesia bagian timur yang dipengaruhi oleh tumbukan lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Asia (dimodifikasi oleh Harris, 2003 dari Hamilton, 1979)

Penelitian tentang latar tektonik dan kaitannya dengan pembentukan sabuk ofiolit di Pulau Sulawesi telah banyak dilakukan oleh sejumlah peneliti diantaranya (Kadarusman et al. 2004; Van Leeuwen and Pieters 2011; Martosuwito 2012; Monnier, C., Girardeau, J., Maury, R. C., & Cotten 1995; Parkinson 1998; Silver et al. 1983). Secara umum Pulau Sulawesi dapat dibagi menjadi empat provinsi geologi dan metalogeni, yaitu (i) Sulawesi Bagian Utara, (ii) Sulawesi Bagian Barat dan (iii) Sulawesi Bagian Timur serta (iv) Banggai Sula. Provinsi Bagian Utara dan Bagian Barat Sulawesi dianggap sebagai sebuah unit stratigrafi-tektonik atau lithotektonik yang disebut Busur Vulkanik-Plutonik Sulawesi Barat, sedangkan Provinsi Sulawesi Bagian Timur umumnya dibagi dua menjadi Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah dan Sabuk Ofiolit Sulawesi bagian Timur; dan Provinsi Banggai-Sula yang juga meliputi Tukang Besi dan Buton juga dikenal sebagai *allochthonous continental terranes* yang tidak diklasifikasikan sebagai sebuah stratigrafi-lithotektonik sehingga Pulau Sulawesi dari tinjauan stratigrafi-tektonik terbagi menjadi 3 litotektonik (Gambar 4).

Ketiga litotektonik hadir di Pulau Sulawesi berupa:

- (i). Busur Vulkanik-Plutonik Sulawesi Barat merupakan material akresi pra-Kapur di bagian barat Sulawesi yang kemudian berkembang menjadi busur vulkanik Neogen; Busur vulkanik terdiri atas kompleks batuan-dasar mid-Mesozoik, busur vulkanik Kapur Akhir- Eosen Tengah, sekuen non-vulkanik batuan karbonat Eosen Atas - Miosen Bawah dan busur vulkanik Miosen - Kuartar. Fase Neogen vulkanik tersebar di bagian barat Sulawesi.
- (ii). Sabuk Metamorfik Sulawesi Tengah merupakan sabuk batuan metamorfik yang berkembang di Sulawesi bagian tengah dan bagian lengan tenggara. Sabuk metamorfik tersebut terdiri atas kumpulan facies metamorfik sekis hijau dan sekis biru, dengan sekis biru meningkat kelimpahannya ke arah barat. Tepi bagian barat sabuk ini merupakan tempat kumpulan batuan tekanan tinggi terpisahkan dari batuan-batuan sekis temperatur-tinggi, gneis dan granitik.



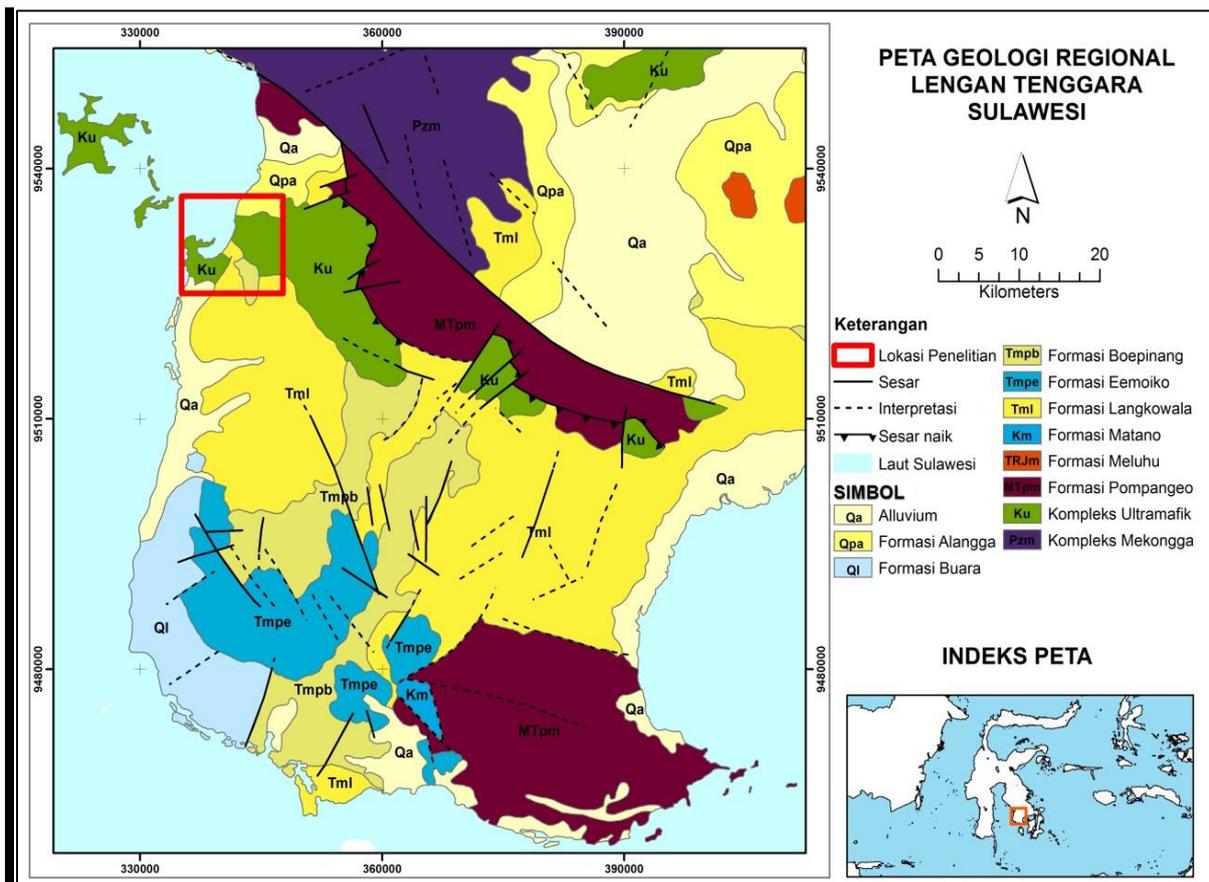
Gambar 4. Geologi Regional Pulau Sulawesi yang menunjukkan sebaran Ofiolit Sulawesi Timur (Kadarusman dkk., 2004)

(iii). Kompleks batuan ofiolit yang dikenal sebagai Ofiolit Sulawesi bagian Timur (OST) berkembang di lengan bagian timur dan menerus hingga lengan bagian tenggara Sulawesi. Kompleks tersebut didominasi oleh ofiolit bertubuh besar yang telah terganggu dan mengalami peristiwa tektonik. OST terpisahkan secara geografis ke segmen bagian utara dan selatan. Segmen bagian utara muncul di lengan bagian timur Sulawesi dan mengandung ofiolit yang cukup lengkap meskipun telah mengalami peristiwa tektonik. Pada segmen bagian selatan hanya dijumpai pada kontak sesar dengan batuan kristalin utamanya terdiri atas harzburgit dan harzburgit terserpentinisasi.

Singkatan batuan ultramafik pada kelompok lengan timur dan tenggara

Sulawesi hadir dalam tiga bentuk (Van Leeuwen dan Pieters, 2011), yaitu:

- (i). Sebagai sebuah tubuh besar dengan bentuk tidak beraturan yang mencapai ratusan kilometer. Yang terbesar adalah daerah-daerah danau masif yang menutupi beberapa ratus kilometer persegi daerah ultramafik.
- (ii). Sebagai lapisan-lapisan terimbikasi mengikuti pola-pola umum struktur zona melange subduksi.
- (iii). Berupa tubuh-tubuh kecil ultramafik tidak beraturan dan terisolir yang umumnya muncul secara terbatas yang memanjang mengikuti kemenerusan regional berarah timurlaut seperti di Sua-sua, Pao-pao dan Pomalaa (Gambar 5).



Gambar 5. Geologi regional lengan tenggara Sulawesi yang menunjukkan tubuh-tubuh kecil ultramafik tidak beraturan dan terisolir yang muncul secara terbatas secara memanjang mengikuti kemenerusan regional berarah timurlaut (Simandjuntak dkk, 1993)

Batuan ultramafik di kompleks ofiolit tersebut didominasi oleh harzburgit, dunit, werlit, lherzolit, websterit, serpentinit dan piroksenit. Batuan ultramafik pada ofiolit tersebut merupakan sumber yang baik untuk pembentukan laterit sebagaimana yang dijumpai di Pomalaa. Batuan ultramafik di daerah Pomalaa didominasi oleh peridotit yang umumnya berupa harzburgit dan dunit yang sebagian telah mengalami serpentinisasi. Komposisi mineral penyusun batuan peridotit didominasi oleh olivin, klinopiroksen, orthopiroksen, kadang-kadang disertai oleh kromit. Kandungan olivin pada harzburgit yang terserpentinisasi tersebut merupakan sumber yang baik untuk terbentuknya endapan laterit nikel. Hampir seluruh litologi di daerah ini telah mengalami lateritisasi dengan morfologi bergelombang yang ikut dikontrol oleh struktur-struktur geologi dengan struktur utama berupa sesar geser kiri berarah umum N 305° E yang merupakan bagian dari Sesar Kolaka. Secara umum disampaikan kondisi geologi secara regional atau geologi lokasi penelitian yang berkaitan dengan topik tulisan (termasuk peta yang berkaitan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi

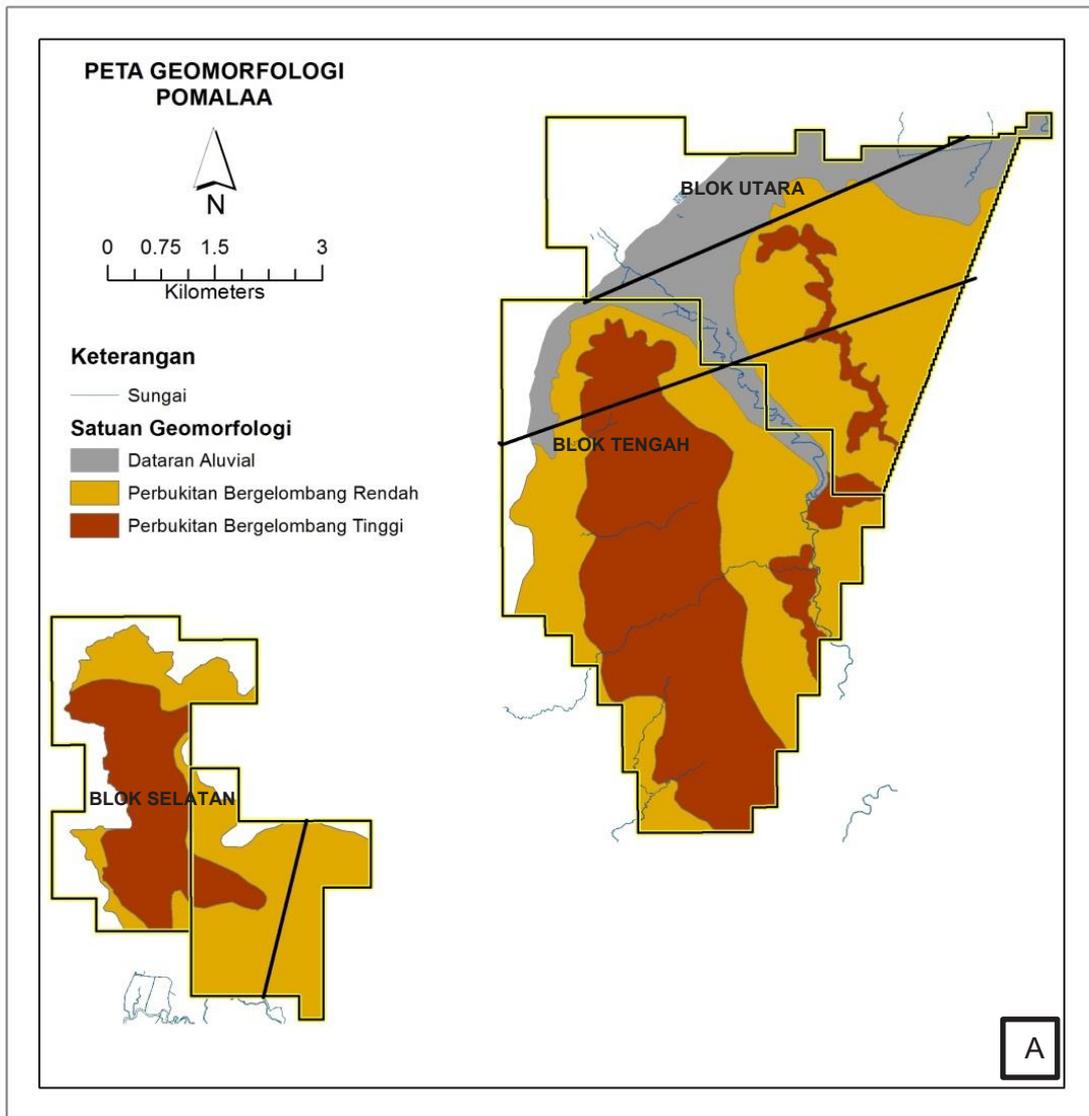
Geomorfologi pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: (i) Dataran Aluvial; (ii) Perbukitan Bergelombang Rendah; (iii) Perbukitan Bergelombang Tinggi.

Dataran Aluvial berkembang terutama di sekitar Sungai Komoro yang mengalir ke arah barat laut dengan topografi yang relatif datar menempati sekitar 10% daerah

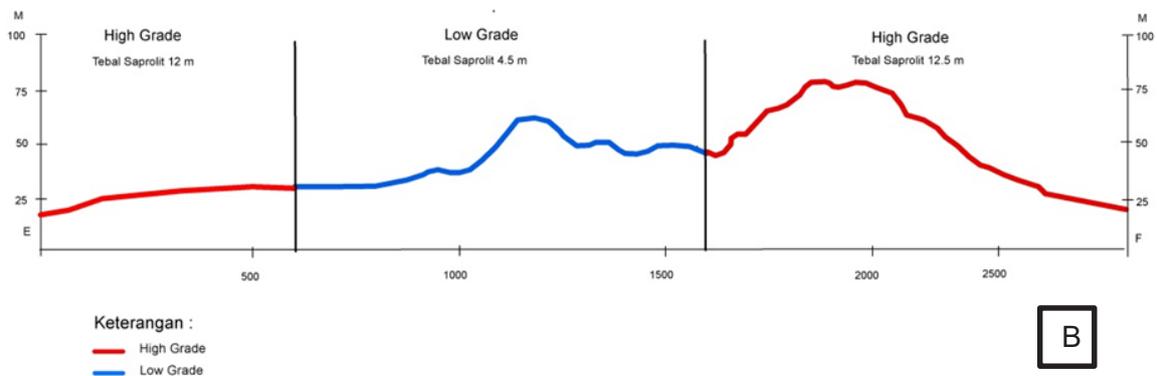
penelitian. Sedangkan morfologi Perbukitan Bergelombang Rendah menempati sebagian besar daerah penelitian (~ 70%) berupa perbukitan kecil dengan kelerengan landai 10° sampai dengan 25°. Morfologi ini memanjang timurlaut-baratdaya dan dipotong oleh dataran aluvial di sekitar Sungai Komoro pada bagian tengah, serta mengelilingi Perbukitan Bergelombang Tinggi yang mengelompok di bagian tengah daerah penelitian. Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut menempati hampir 20% daerah penelitian memiliki kelerengan yang terjal hingga 70° di beberapa tempat.

Bentukan morfologi daerah Pomalaa turut mempengaruhi ketebalan dari zona laterit yang terbentuk (Gambar 6a).

Pada dataran aluvial laterit tidak berkembang, hanya dijumpai erosi laterit yang tertransportasi ke daerah tersebut. Pada bagian lereng bukit morfologi perbukitan bergelombang dengan kelerengan >20° umumnya keterdapatan zona lateritnya relatif tipis, akan tetapi pada bagian perbukitan bergelombang relatif datar dengan kelerengan berkisar 10° sampai dengan 15° zona laterit berkembang lebih baik (Gambar 6b). Pada Zona Perbukitan Bergelombang Tinggi lateritisasi juga tidak dapat berkembang dengan baik. Bahkan di beberapa tempat dapat dijumpai singkapan batuan dasar yang muncul ke permukaan. Namun demikian, di dataran yang relatif landai pada Zona Perbukitan Bergelombang Tinggi tersebut masih dapat dijumpai lateritisasi berkembang secara terbatas sebagaimana terlihat di bagian tengah daerah Pomalaa.



**Penampang Morfologi Blok Selatan Endapan Nikel Laterit Pomalaa
H : V = 1 : 5**



**Gambar 6. (A) Peta Geomorfologi Pomalaa
(B) Penampang Morfologi Daerah Pomalaa ditumpangsusunkan
dengan kuantitas tebal zona saprolit.**

Lateritisasi Nikel Pomalaa

Endapan laterit nikel Pomalaa secara keseluruhan memiliki lima zonasi perlapisan. Dari atas ke bawah zonasi tersebut terbagi menjadi: pedolit/tanah tutupan (*top soil*), limonit, transisi, saprolit dan batuan dasar. Namun zona transisi hanya berkembang di bagian utara Pomalaa berupa *yellow limonite* yang terdapat diantara zona limonit (*red limonite*) dan zona saprolit.

Tanah Penutup

Disusun oleh material lepas berukuran pasir-lempung yang umumnya berwarna coklat dengan kandungan organik yang tinggi dan oksida besi berupa nodul-nodul Fe maupun tanah. Ketebalan tanah tutupan berkisar 1 meter sampai dengan 2 meter dan umumnya tidak mengandung nikel yang berarti. Variasi ketebalan laterit di endapan laterit nikel Pomalaa relatif dikendalikan oleh bentuk geomorfik area setempat yang pada kondisi lereng dengan gradien >25%, tanah laterit dijumpai relatif tipis, dengan kehadiran *bedrock* dipermukaan, sebaliknya pada morfologi bergelombang landai, perkembangan laterit berkembang dengan baik.

Zona Limonit

Merupakan zona yang mengandung pengayaan besi residual pada profil laterit yang utamanya disusun oleh oksida besi terhidrasi (Gambar 7). Materialnya sangat lunak dan didominasi oleh mineral

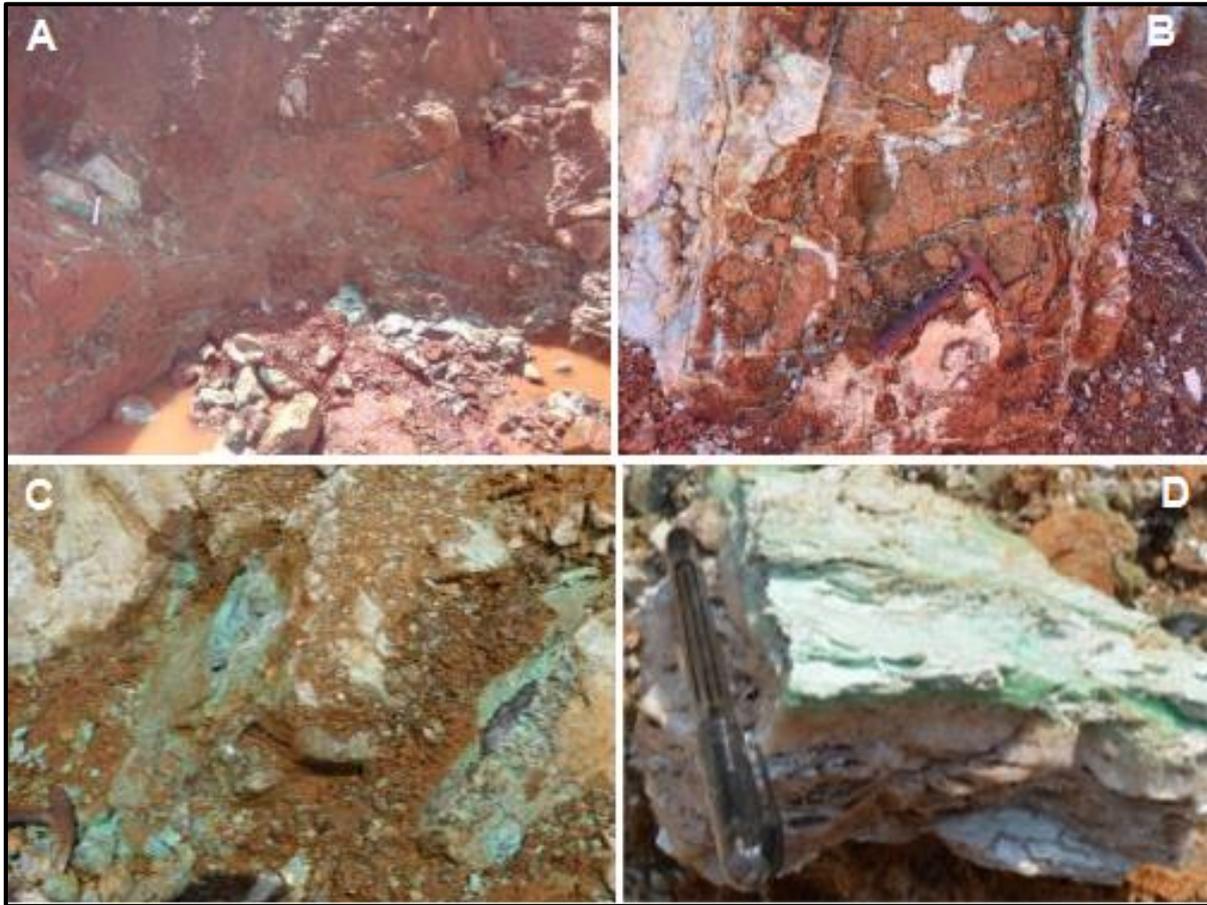
lempung. Bagian atas umumnya berwarna kehitaman dan mengandung hematit. Nikel dapat terikat pada struktur *goethite* bersama sejumlah unsur seperti aluminium, mangan dan kromium. Hasil analisis geokimia menunjukkan zona ini memiliki kadar nikel pada kisaran 0,4% sampai dengan 1,2% Ni dengan ketebalan 3 meter sampai dengan 7 meter, namun pada beberapa tempat ketebalannya mencapai ~ 24 meter. Ketebalan zona limonit berkisar antara 2 meter sampai dengan 7 meter di blok utara dan tengah sedangkan di blok selatan dapat mencapai 25 meter.

Zona Transisi

Dijumpai secara setempat pada profil laterit di bagian utara endapan nikel laterit Pomalaa berupa *yellow limonite*. Pada bagian atas zona transisi terdapat zona *red limonite*, sedangkan di bagian bawahnya terdapat zona saprolit. Secara megaskopis zona transisi didominasi oleh limonit berwarna kuning kemerahan yang mengandung mineral-mineral smektit, hematit dan silika. Relik tekstur batuan asal masih tersimpan secara setempat pada bagian yang belum runtuh. Ketebalan zona transisi berkisar antara 1 meter sampai dengan 2 meter. Hasil analisis geokimia menunjukkan kandungan nikel zona transisi berkisar antara 1,5% sampai dengan 2% Ni, lebih tinggi dibandingkan zona *red limonite* di atasnya.



Gambar 7. Zona limonit endapan laterit Pomalaa yang tersingkap di permukaan dicirikan oleh dominasi oksida besi terhidrasi yang memberikan ciri warna coklat kemerahan hingga kehitaman



Gambar 8 (A) Zona saprolit yang menunjukkan *relict* batuan dasarnya (*rocky saprolit*) dengan zonasi rekahan yang telah terisi oleh garnierit dan silika; (B) urat-urat silika membentuk tekstur *boxwork* mengisi rekahan-rekahan struktur batuan asalnya pada zona saprolit yang dijumpai di bagian tengah laterit Pomalaa, (C) zona saprolit dengan *relict* batuan asal dan rekahan-rekahan yang terisi oleh krisopras dan garnierit; (D) Kenampakan silika (pada singkapan saling berpotongan membentuk tekstur *boxwork*) yang ke arah luar seringkali berangsur berubah menjadi krisopras

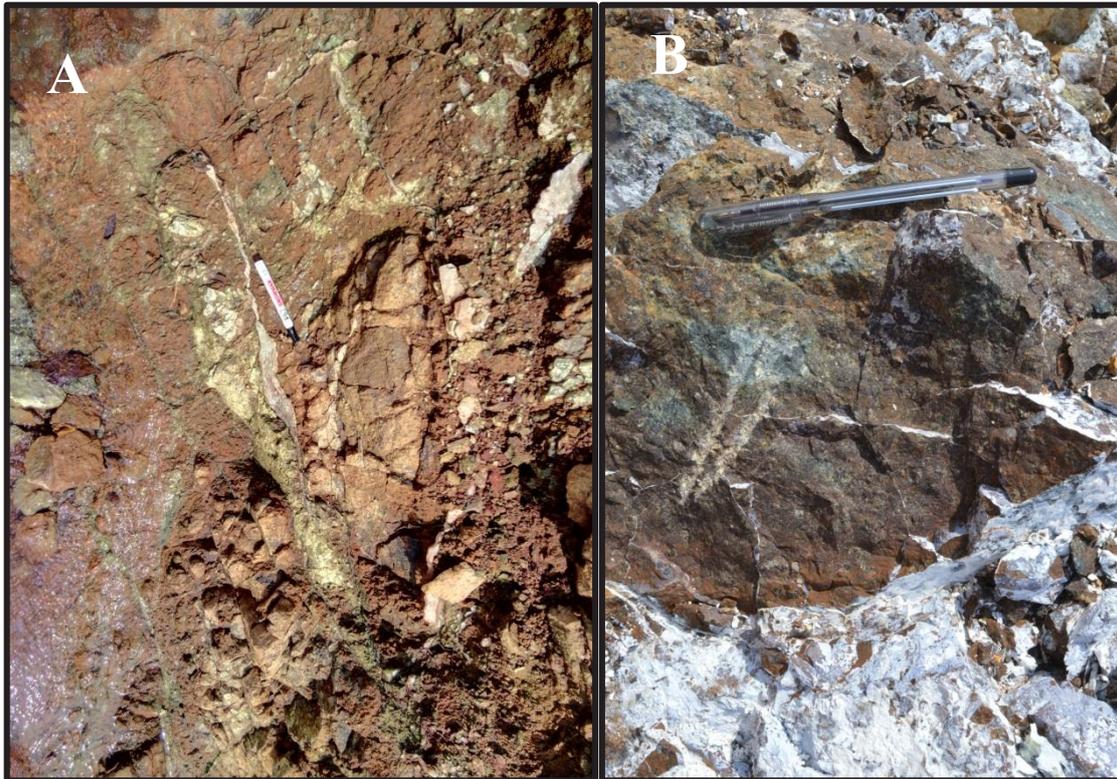
Zona Batuan Dasar

Secara umum zona ini menunjukkan intensitas rekahan yang tinggi. Berwarna abu-abu kecoklatan, dengan tekstur batuan yang cenderung kasar disusun oleh olivin-piroksen dan serpentin (Gambar 9).

Bagian atas terdapat *boulder* peridotit yang telah mengalami pelapukan pada bagian tepi. Rekahan-rekahan berbentuk tidak teratur dan sebagian terisi berupa urat oleh silika dan garnierit. Dari inti bor diketahui kedalaman batuan dasar dari permukaan berkisar 30 meter. Secara umum batuan

dasar memperlihatkan intensitas rekahan sangat tinggi berwarna abu kehijauan agak kusam, tekstur kasar-sedang, kompak, tersusun oleh mineral olivin, piroksen serta layer halus mineral serpentin. Urat silika dan garnierit umumnya berkembang mengisi rekahan pada zona ini.

Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa harzburgit disusun oleh olivin disertai piroksen, baik klinopiroksen maupun orthopiroksen (Gambar 10 A-H) dan sejumlah mineral berat residual seperti kromit (Gambar 10 C & D).



Gambar 9. Batuan dasar yang tersingkap di bagian utara endapan laterit Pomalaa: (A) menunjukkan batuan telah mengalami pelapukan kuat meski masih menunjukkan komponen batuan asalnya dengan rekahan-rekahan yang terisi oleh silika; (B) menunjukkan batuan relatif tidak mengalami pelapukan dan masih menunjukkan komposisi asli peridotit namun terselubungi oleh silika

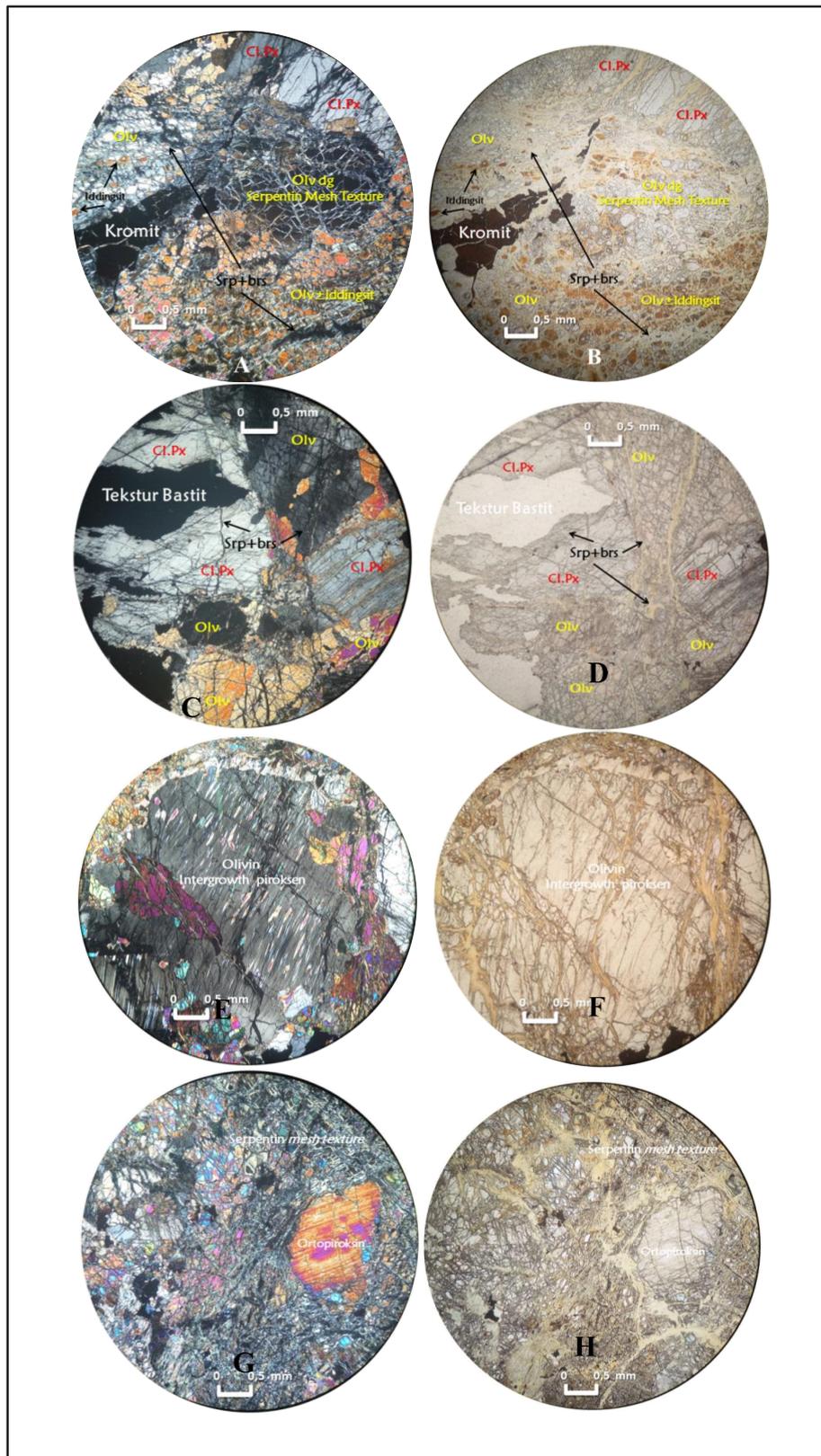
Harzburgit tersebut umumnya telah mengalami serpentinisasi dengan intensitas yang berbeda. Serpentinisasi umumnya dimulai dengan pengisian rekahan antar butir olivin dengan penggantian oleh serpentin sehingga membentuk tekstur *mesh*. Butiran olivin juga secara perlahan mengalami ubahan oleh serpentin berupa idingsit meskipun masih meninggalkan relik bentuk olivin. Pada klino-piroksen nampak belum mengalami serpentinisasi yang berarti (Gambar 10. A-B).

Lebih lanjut ubahan pada klinopiroksen juga diawali oleh penggantian pada rekahan bagian dalam yang sejajar. Serpentin dan brusit semakin intens mengisi rekahan. Tekstur bastit juga nampak terbentuk sebagai akibat dari

ubahan. Seiring peningkatan intensitas lateritisasi, magnetit pun mulai muncul mengisi rekahan-rekahan yang terputus (Gambar 10 C-D).

Pada *intergrowth* olivin dan piroksen proses serpentinisasi juga lebih dominan terjadi pada rekahan antar mineral yang terkadang memotong serpentin (Gambar 10. E-F).

Ortopiroksin yang muncul setempat, umumnya lebih stabil dibandingkan olivin. Meskipun olivin telah mengalami serpentinisasi pada rekahan antar butir yang telah meluas dan juga butiran olivin telah mengalami ubahan, namun terlihat ortopiroksin belum mengalami serpentinisasi (Gambar 10. G-H).



Gambar 10. Foto pengamatan mikroskop optik melintang (A-C-E-G) dan sejajar nikol (B-D-F-H) batuan harzburgit yang dijumpai di Pomalaa.

Profil Zonasi Laterit Pomalaa

Secara fisik, endapan nikel laterit yang berkembang pada Blok Tambang Utara, Blok Tambang Tengah dan Blok Tambang Selatan memperlihatkan ketebalan yang bervariasi, berdasarkan kenampakan fisik, warna, tekstur dan mineralnya.

Berdasarkan lokasi keterdapatannya dan karakteristik zonasi lateritnya, profil laterit endapan Pomalaa selanjutnya dibagi menjadi tiga, yaitu: Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan.

Profil Laterit Blok Utara

Endapan laterit Pomalaa di bagian utara (Blok Utara), profil lateritnya memiliki kelima zona lateritisasi yaitu: zona tanah penutup, zona limonit (*red limonite*), zona transisi, zona saprolit dan batuan dasar (Gambar 11). Penciri utama Blok Utara adalah kehadiran zona transisi berupa *yellow limonite* yang tidak ditemukan pada profil laterit di blok lainnya.

Profil Laterit Blok Tengah

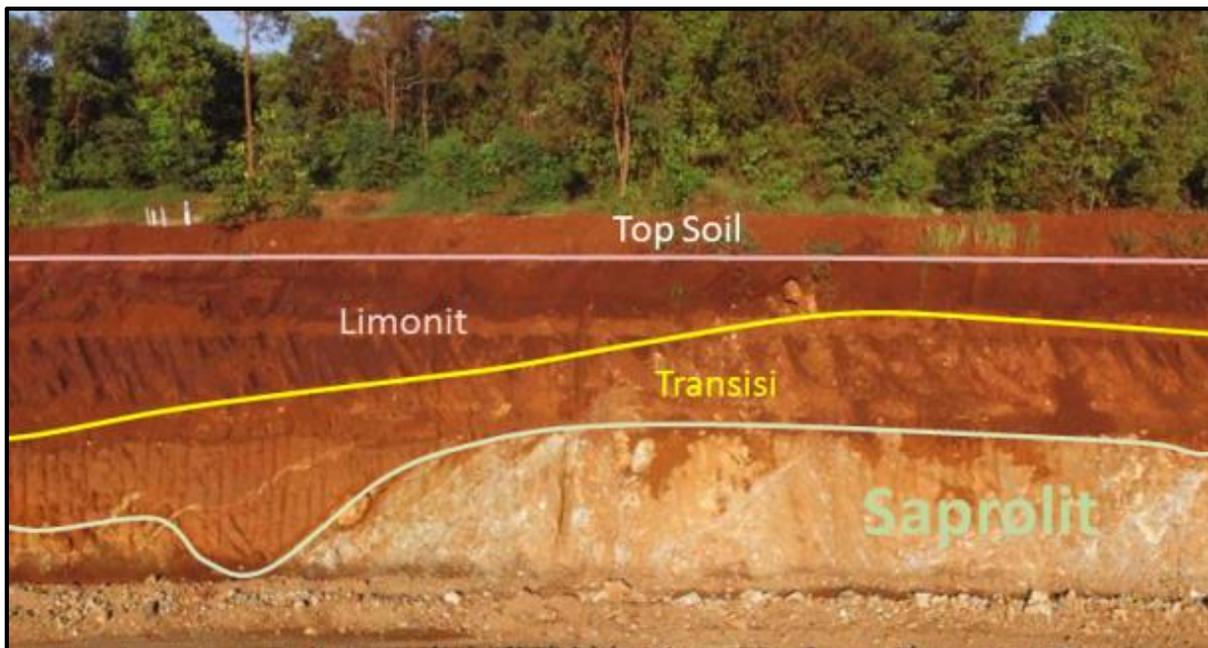
Profil laterit pada bagian tengah (Blok Tengah) terdapat empat zona laterisasi,

yaitu: zona tanah penutup, zona limonit, zona saprolit dan batuan dasar tanpa kehadiran zona transisi (Gambar 12). Penciri utama Blok Tengah adalah urat-urat silika dengan tekstur *boxwork* yang sangat mencolok berkembang dibandingkan Blok Utara maupun Blok Selatan.

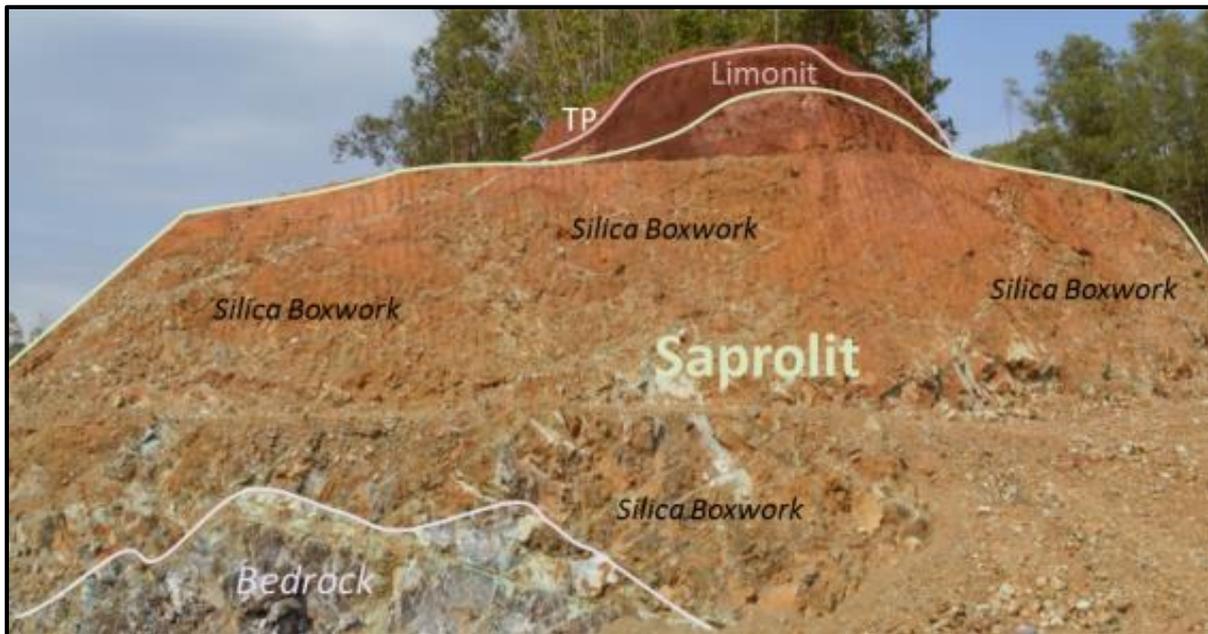
Profil Laterit Blok Selatan

Sebagaimana di Blok Tengah, profil laterit Pomalaa di bagian selatan (Blok Selatan) terdapat empat zona lateritisasi, yaitu: zona tanah penutup, zona limonit, zona saprolit dan batuan dasar tanpa kehadiran zona transisi (Gambar 13). Namun berbeda dengan Blok Tengah, silika *boxwork* tidak berkembang luas di Blok Selatan. Adapun penciri utama yang membedakan Blok Selatan dengan laterit Pomalaa Blok Utara dan Blok Tengah adalah kelimpahan boulder-boulder batuan ultramafik yaitu serpentinit dan harzburgit dengan ukuran diameter mencapai lebih dari 2 meter pada zona saprolitnya.

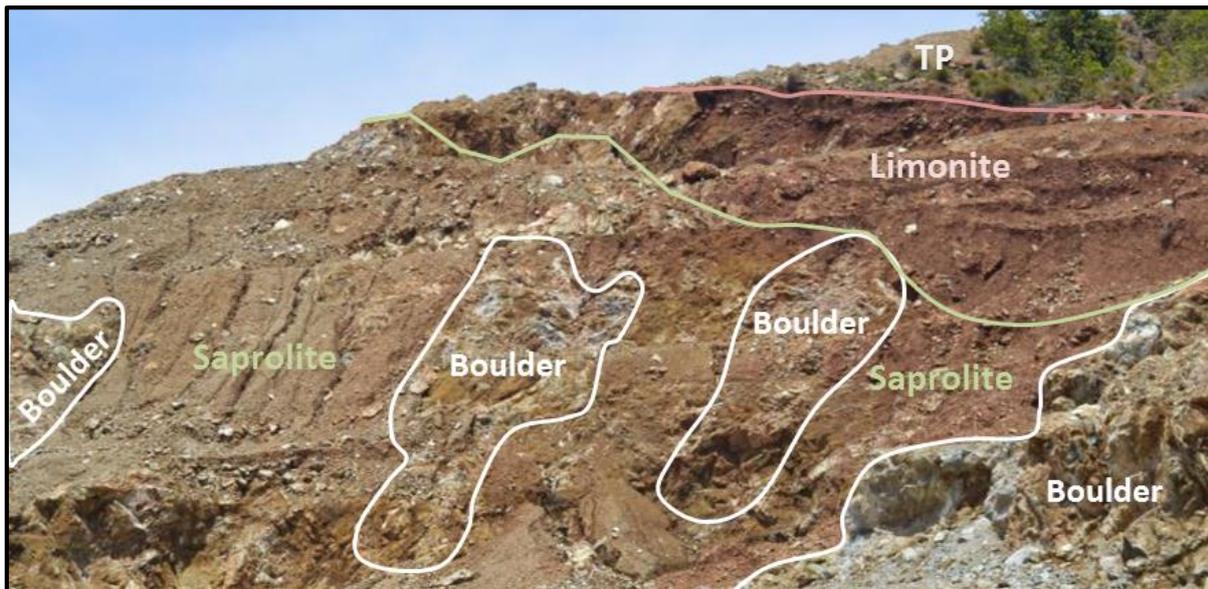
Hasil estimasi sumber daya dan cadangan nikel laterit daerah Pomalaa dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 (Indra Kusuma dkk., 2015).



Gambar 11. Profil zonasi laterit Blok Utara daerah Pomalaa



Gambar 12. Profil zonasi laterit Blok Tengah daerah Pomalaa



Gambar 13. Profil zonasi laterit Blok Selatan daerah Pomalaa

Tabel 1. Hasil Estimasi Sumberdaya daerah Pomalaa

Lokasi	Prospek	Klasifikasi	CoG	Juta Ton (wmt)	Juta Ton (dmt)	Ni (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)
Kolaka	Pomalaa	Terukur	Ni > 1, %	2,6	2,0	2,16	12,63	42,28	22,46
		Tertunjuk		1,1	0,9	2,00	11,70	42,80	23,40
		Tereka		1,0	1,0	2,00	11,70	43,20	22,70
Total Sumber Daya Saprolit				4,7	1,9	2,05	12,01	42,76	22,85

Tabel 2. Hasil Estimasi Cadangan daerah Pomalaa

Lokasi	Prospek	Klasifikasi	CoG	Juta Ton (wmt)	Juta Ton (dmt)	Ni (%)	Fe (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)
Kolaka	Pomalaa	Terbukti	Ni >	3,1	2,3	2,13	16,31	39,61	18,94
		Terkira	1, %	1,0	1,0	2,00	14,20	40,60	20,90
Total Sumber Daya Saprolit				4,1	3,3	2,07	15,26	40,11	19,92

Profil Geokimia

Profil geokimia endapan laterit Pomalaa merupakan cerminan dari suatu kondisi bahwa perilaku/kecenderungan kimiawi unsur ke arah dalam yang dipengaruhi oleh proses lateritisasi. Perilaku tersebut dipengaruhi oleh mobilitas kimiawi unsur-unsur pada profil laterit nikel yang diketahui dari tingkat di mana unsur tertentu berpindah (*removed*) akibat aliran air.

Perilaku yang terjadi selama proses lateritisasi berlangsung meliputi: (i) pelindian (*leaching*) terutama terhadap MgO, SiO₂ dan Ca; (ii) proses pengayaan (*supergene*) terutama terhadap unsur Ni, Mn dan Co; (iii) serta residual unsur yang terutama dialami oleh Fe, Cr dan Al.

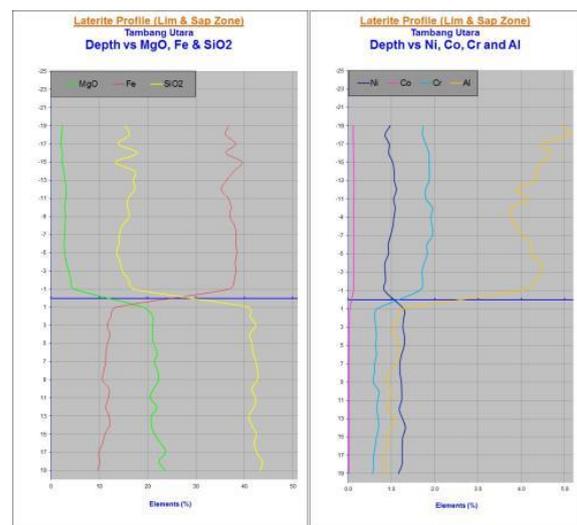
Untuk mengetahui profil geokimia Pomalaa maka digunakan kombinasi dari ketiga perilaku kimiawi baik pelindian (SiO₂ dan MgO), pengayaan (Ni dan Co) serta residual (Fe, Cr dan Al). Selanjutnya parameter kimiawi tersebut dibagi ke dalam 2 (dua) kelompok berdasarkan kelimpahan kehadirannya (prosentase) dalam komposisi laterit menjadi elemen mayor (SiO₂, MgO dan Fe) dan minor (Ni, Co, Cr & Al).

Adapun pembagian profil geokimia endapan laterit Pomalaa dibagi menjadi tiga mengikuti pembagian profil zonasi laterit yang telah dibagi menjadi Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan.

Profil Geokimia Blok Utara

Berdasarkan profil kimiawi batas zona limonit dan saprolit di Blok Utara ditunjukkan oleh prosentase MgO yang meningkat tajam dari nilai rata-rata 2%

sampai dengan 4% MgO pada zona limonit menjadi 7% sampai dengan 8% kemudian stabil pada kisaran 20% sampai dengan 24% MgO di zona saprolit (Gambar 14). Komposisi SiO₂ di bagian atas menunjukkan fluktuasi kadar rata-rata yang relatif stabil pada kisaran 14% sampai dengan 18% SiO₂ pada zona limonit, lalu meningkat tajam menuju 42% dan kemudian nampak berfluktuasi relatif stabil pada kisaran 41% sampai dengan 44% di zona saprolit. Sedangkan komposisi Fe di bagian atas laterit pada zona limonit memiliki prosentase kadar rata-rata yang cenderung lebih tinggi yaitu pada kisaran 35% sampai dengan 40% Fe, lalu menurun drastis saat memasuki zona saprolit dengan nilai rata-rata 25% sampai dengan 26% Fe, kemudian akhirnya berfluktuasi stabil pada kisaran 9% sampai dengan 12% Fe di zona saprolit tersebut. Jelas terlihat bahwa profil SiO₂ berbanding lurus dengan MgO; dan profil SiO₂ dan MgO berbanding terbalik dengan Fe.

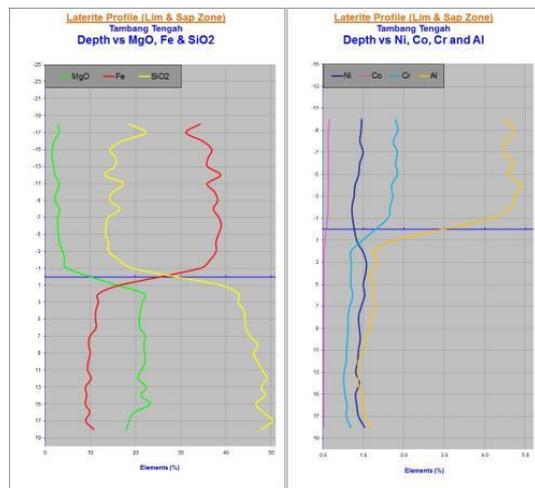


Gambar 14. Profil geokimia Blok Utara Pomalaa

Profil Geokimia Blok Tengah

Di Blok Tengah, perilaku MgO sebagaimana yang terjadi di Blok Utara kadar rata-ratanya berada pada kisaran 2% sampai dengan 4% lalu meningkat tajam menuju kisaran 20% sampai dengan 23% dengan perilaku penurunan lemah menuju 18% mendekati ke bagian bawah zona saprolit. Berbanding lurus dengan perilaku SiO₂ di bagian paling atas yang bergerak dari 18% sampai dengan 22% kemudian menurun tajam menuju 14% lalu berfluktuatif stabil kembali di antara 13% sampai dengan 18% kemudian kembali meningkat signifikan menjadi 43% dan selanjutnya bergerak naik perlahan pada kisaran 43% sampai dengan 50%.

Berbanding terbalik dengan MgO dan SiO₂ perilaku Fe di bagian paling atas kadar rata-ratanya bergerak perlahan dari 34% menjadi 31% kemudian kembali meningkat menjadi 36% sebelum berfluktuatif cukup stabil pada kisaran 36% sampai dengan 39%. Selanjutnya kadar Fe menurun drastis menjadi 12% lalu bergerak turun perlahan secara fluktuatif pada kisaran 9% sampai dengan 12% (Gambar 15).



Gambar 15. Profil geokimia Blok Tengah Pomalaa

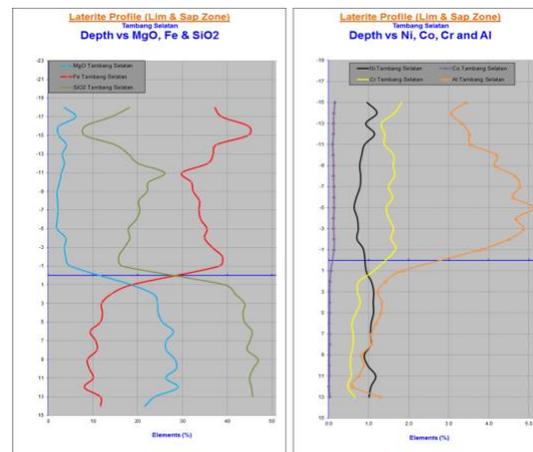
Profil Geokimia Blok Selatan

Di Blok Selatan perilaku MgO di bagian atas kadar rata-ratanya bergerak dari 4% menuju 6% kemudian perlahan turun menjadi 2% dan selanjutnya relatif stabil berfluktuasi pada kisaran 2% sampai

dengan 4%. Kemudian komposisi MgO pada laterit meningkat tajam menuju kisaran 24% dan berfluktuasi relatif stabil pada kisaran 24% sampai dengan 29% mendekati ke bagian bawah zona saprolit (Gambar 16).

Berbanding lurus dengan perilaku SiO₂ di bagian paling atas yang kadar rata-ratanya bergerak turun dari 18% menjadi 8% dan meningkat kembali menjadi 26% yang kemudian berfluktuasi turun menjadi 16%. Selanjutnya komposisi SiO₂ pada laterit meningkat tajam menjadi 41% dan selanjutnya bergerak naik perlahan pada kisaran 41% dan 46% SiO₂.

Berbanding terbalik Fe di bagian paling atas bergerak perlahan dari 38% menjadi 46% di bagian paling atas kemudian bergerak turun menjadi 30% sebelum berfluktuasi naik cukup stabil pada kisaran 30% dan 39%. Selanjutnya kadar Fe menurun drastis menjadi 12% lalu bergerak turun perlahan secara fluktuatif pada kisaran 8% dan 12% di bagian bawah profil laterit.



Gambar 16 Profil geokimia Blok Selatan Pomalaa

DISKUSI

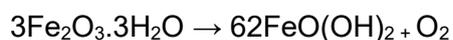
Topografi ikut mengontrol infiltrasi airtanah melalui rekahan batuan yang dibentuk melalui proses tektonik yang panjang yang mempengaruhi suatu daerah dan menghasilkan interaksi air tanah dengan lapisan pembawa nikel. Kontrol topografi

ikut meningkatkan pengisian (*recharge*), infiltrasi dan reaksi air tanah dalam proses lateritisasi. Lapisan menjadi lebih tebal sepanjang wilayah aliran air tanah-purba karena mengalami interaksi air-batuan dengan durasi terpanjang. Proses tektonik yang terjadi dalam waktu yang panjang tersebut menyebabkan perkembangan rekahan dan kekar yang memudahkan peningkatan pelapukan olivin yang tidak stabil pada kondisi pelapukan di dekat permukaan (Ahmad, 2008; Thorne dkk, 2009; Ilyas dkk, 2016). Di Pomalaa laterisasi terbentuk dengan baik pada daerah perbukitan bergelombang dengan kelerengan berkisar 10° dan 15°. Morfologi berbukit dengan kemiringan lereng relatif landai tersebut terbukti baik untuk terbentuknya pelapukan kimiawi dengan pengayaan supergen nikel yang tinggi.

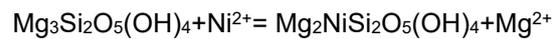
Topografinya memungkinkan aliran cepat (*run-off*) air hujan di permukaan tidak berlebihan serta memiliki aliran sub permukaan yang baik sehingga memungkinkan air tanah yang melarutkan nikel bergerak ke arah dalam. Dengan kemiringan yang landai, air hujan berpeluang untuk penetrasi ke dalam *soil*. Di bagian permukaan zona lateritisasi, yaitu pada zona limonit, umumnya didominasi oleh oksida-hidroksida besi. Konsentrasi residual Fe melibatkan pula pelindian komponen silikat nikel - serpentin dan akan membentuk lebih banyak gutit. Pada profil geokimia, hal ini ditunjukkan oleh prosentase Fe yang dominan tinggi dan cenderung stabil pada zona limonit. Hal ini disebabkan oleh perilaku Fe yang tidak terlarutkan oleh airtanah namun sangat mudah bereaksi dengan oksigen untuk membentuk oksida besi, melalui reaksi:



Proses hidrasi oksida besi tersebut dalam lingkungan reduksi akibat pelapukan umumnya akan menyebabkan pembentukan mineral gutit oleh reaksi kimiawi:



Seiring proses pelapukan yang terjadi, maka beberapa mineral utama terutama olivin, serpentin dan juga piroksen mengalami ketidakstabilan ikatan kimiawi yang tinggi dan mengalami dekomposisi. Di zona saprolit, dekomposisi tersebut terutama ditunjukkan oleh pelarutan silikat magnesita dan menyebabkan presipitasi Ni maupun penggantian ion Mg oleh Ni pada serpentin.



Hal ini dapat terjadi disebabkan sifat Mg yang cenderung lebih stabil pada air soil (*soil water*) sedangkan Ni lebih stabil pada serpentin dan didukung peningkatan pH ke arah dalam di zona laterit (Golightly, 1981; Freyssinet dkk., 2005; Ahmad, 2008; Butt dan Cluzel, 2013). Transisi antara zona saprolit dan zona limonit ditandai oleh peningkatan yang tajam pada kandungan MgO dari kisaran 0 meningkat hingga 20% wt (Myagkiy dkk., 2017). Berdasarkan hal tersebut, batas naik turunnya muka air tanah yang mengontrol endapan nikel pada saprolit dapat ditunjukkan oleh peningkatan tajam prosentase MgO sebagai cerminan titik batas tertinggi muka air tanah yang mengontrol proses laterisasi dan titik prosentase kestabilan baru dari prosentase kandungan MgO sebagai cerminan titik terendah muka air tanah tersebut. Titik tersebut menjadi acuan penarikan garis batas tertinggi muka air tanah yang di Blok Utara berada pada nilai MgO 5% dan batas terendah pada nilai MgO 20%. Sedangkan garis tengah muka air tanah dicerminkan oleh titik perpotongan garis profil SiO₂ dan Fe. Profil geokimia SiO₂ dan Fe sangat jelas menunjukkan cerminan bentuk yang bertolak belakang, dan titik perpotongan tersebut menjadi acuan penarikan garis tengah muka air tanah yang di Blok Utara berada pada nilai 11% MgO yang kemudian dijadikan titik nol.

Titik peningkatan tajam MgO yang menjadi acuan penarikan garis batas tertinggi muka air tanah di Blok Tengah berada pada nilai MgO 4% dan batas terendah pada nilai MgO 20%. Pada garis tengah muka air tanah di Blok Selatan berada sejajar

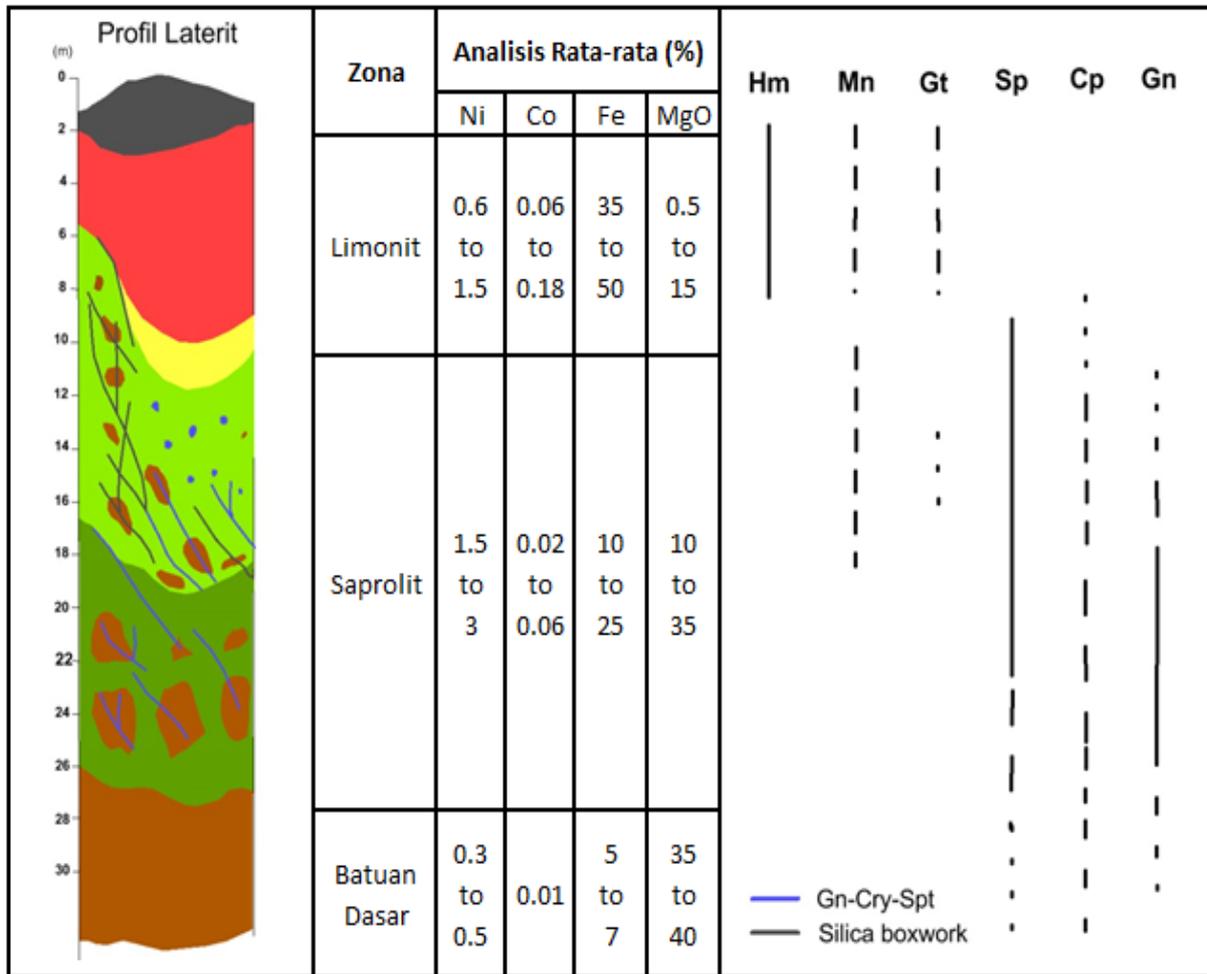
dengan titik perpotongan SiO₂ dan Fe sebagai titik nol dengan komposisi MgO 11%. Sementara titik peningkatan tajam MgO yang menjadi acuan penarikan garis batas tertinggi muka air tanah di Blok Selatan berada pada nilai MgO 4% dan batas terendah pada nilai MgO 24%. Sedangkan garis tengah muka air tanah di Blok Selatan berada sejajar dengan titik perpotongan SiO₂ dan Fe sebagai titik nol dengan komposisi MgO 12%.

Hal ini menunjukkan adanya perbedaan proses pengayaan (*enrichment*) Ni di ketiga blok. Di Blok Utara pengayaan Ni terjadi tepat di bawah batas tengah muka air tanah sedangkan di Blok Tengah dan Blok Selatan pengayaan Ni terbentuk 2 meter sampai dengan 3 meter di bawah garis tersebut atau mendekati batas terbawah muka air tanah. Penciri utama yang membedakan laterit Pomalaa Blok Selatan dengan Blok Utara dan Blok Tengah, adalah kelimpahan *boulder-boulder* batuan ultramafik yaitu serpentin dan harzburgit dengan ukuran diameter mencapai lebih dari 2 meter pada zona saprolit. Secara lateral intensifikasi laterisasi diduga mengalami peningkatan dari arah Blok Selatan ke Blok Utara.

Kelimpahan *boulder* pada zona saprolit akan berpengaruh terhadap nilai kadar Si yang tinggi, nilai Fe rendah serta nilai Mg yang tinggi. Hal tersebut merupakan kriteria

nilai unsur yang ideal bagi proses di pengolahan selain kandungan kadar nikel >1,8%. Profil dan zonasi secara vertikal endapan laterit Pomalaa pada zona limonit didominasi oleh mineral hematit ± *manganese* oksida dan gutit. Pada zona saprolit dominan mineral serpentin – garnierit ± klinopiroksen, *manganese* oksida dan sedikit gutit. Sedangkan pada zona batuan dasar dijumpai mineral klinopiroksen dan serpentin. Silika *boxwork* dijumpai di bagian bawah zona limonit ke arah zona transisi hingga bagian atas zona saprolit. Sedangkan mineral garnierit dijumpai mengisi kekar-kekar ataupun bersama alterasi mineral serpentin dan talk. *Boulder – boulder* batuan dasar juga dijumpaiberada di zona limonit dan dominan pada zona saprolit bagian bawah yang berbatasan dengan batuan dasar (Gambar 17). Kadar pada zona limonit untuk Ni: 0,6 - 1,5%, Co: 0,06 – 0,18%, Fe: 35 - 50% dan MgO: 0,5 - 15%. Zona saprolit memiliki kadar Ni: 1,5 - 3%, Co: 0,02 - 0,06%, Fe: 10 - 25%, dan MgO: 10 - 35%. Zona batuan dasar memiliki kadar Ni : 0,3 - 0,5%, Co: 0,01%, Fe: 5 - 7%, dan MgO 35 - 40%.

Karakteristik endapan nikel laterit Pomalaa yang berasal dari batuan harzburgit terserpentinisasi dengan kehadiran mineral garnierit tersebut berdasarkan klasifikasi Butt dan Cluzel, 2013 merupakan penciri tipe deposit nikel laterit *hydrous Mg silicate*.



Gambar 17. Profil endapan laterit nikel Pomalaa

Berkaitan dengan kadar $Fe/Ni > 7$ di dalam proses pengolahan akan terjadi *klinker* yaitu penggumpalan besi di *kiln*, sehingga akan menyumbat proses di *kiln*. Jika $Si/Mg > 2,1$ maka akan mengikis bagian di *furnace* sehingga secara terus menerus akan mengakibatkan kebocoran pada dinding *furnace*. Kedua faktor tersebut jika terjadi maka akan menghambat proses pengolahan yang sedang berlangsung.

KESIMPULAN

Endapan laterit nikel Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan asal ultramafik yang didominasi oleh harzburgit yang umumnya telah mengalami serpentinisasi dengan tingkat yang berbeda. Proses lateritisasi berlangsung dengan baik terutama pada topografi yang cenderung lebih landai, yaitu 10° sampai dengan 15° , yang

memungkinkan terbentuknya lateritisasi yang cukup dalam dengan zona saprolit yang tebal.

Bentuk topografi tersebut mengontrol sebaran endapan laterit terutama secara lateral maupun vertikal.

Secara vertikal lateritisasi membentuk zonasi laterit yang lengkap yang terdiri atas (i) tanah penutup; (ii) zona *red* limonit; (iii) zona transisi (*yellow* limonit); (iv) zona saprolit; dan (v) batuan dasar. Zona mineralisasi pengayaan nikel supergen utamanya dijumpai pada zona saprolit dengan urat-urat garnierit dan *boxwork* silika. Zona ini memiliki kisaran ketebalan 2 meter sampai dengan 7 meter, setempat mencapai 10 meter dengan kisaran kadar 1,8% sampai dengan 2,2% Ni.

Berdasarkan karakteristik zonasinya, profil laterit di Pomalaa selanjutnya dapat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan sebaran keterdapatannya, yaitu: Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan.

Dari profil geokimia masing-masing blok maka diduga pengayaan (*enrichment*) Ni di Blok Utara terjadi tepat di bawah batas tengah muka air tanah, sedangkan di Blok Tengah dan Blok Selatan pengayaan Ni terbentuk 2 meter sampai dengan 3 meter di bawah garis tersebut atau mendekati batas terbawah muka air tanah. Intensifikasi lateritisasi diduga meningkat dari blok selatan ke arah Blok Utara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Aneka Tambang, Tbk. atas persetujuan yang diberikan untuk penulisan artikel ini.

Juga kepada personil Tim Eksplorasi Nikel Pomalaa: Dedi Sunjaya, Muhammad Hamdhani Astas, Muhammad El Zahir, Nadia Soraya dan Naafiakra Nouval Wibowo atas dukungan dan bantuannya yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Waheed. 2008. *Nickel Laterites: Fundamental of Chemistry, Mineralogy, Weathering Processes, Formation, and Exploration*. Vale Inco – VITSL.

Brand, N. W., C. R. M. Butt, and M. Elias. 1998. "Nickel Laterites: Classification and Features." *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics* 17(4):81–88.

Butt, Charles R. M. and Dominique Cluzel. 2013. "Nickel Laterite Ore Deposits: Weathered Serpentinities." *Elements* 9(2):123–128.

Freyssinet, Ph, C. R. M. Butt, R. C. Morris, and P. Piantone. 2005. "Ore-Forming Processes Related to Lateritic Weathering." *Economic Geology 100th Anniversary* 1:681–722.

Golightly, J. Paul. 1981. "Nickeliferous Laterite Deposits." *Economic Geology 75th Anniversary* 710–35.

Golightly, J. Paul and O. N. Arancibia. 1979. "The Chemical Composition and Infrared Spectrum of Nickel-and Iron-Substituted Serpentine from a Nickeliferous Laterite Profile, Soroako, Indonesia." *The Canadian Mineralogist* 17 (4):719–28.

Hamilton, Warren. 1979. "Tectonics of the Indonesian Region." *Geological Society of Malaysia, Bulletin* 6:3–10.

Harris, R. O. N. 2003. "Geodynamic Patterns of Ophiolites and Marginal Basins in the Indonesian and New Guinea Regions, In: Y. Dilek and P.T. Robinson (Editors), Ophiolite in Earth History." *Geological Society Special Publication* 481–505.

Ilyas, Asran, Koki Kashiwaya, and Katsuaki Koike. 2016. "Ni Grade Distribution in Laterite Characterized from Geostatistics, Topography and the Paleo-Groundwater System in Sorowako, Indonesia." *Journal of Geochemical Exploration* 165:174–88.

Ilyas, Asran and Katsuaki Koike. 2012. "Geostatistical Modeling of Ore Grade Distribution from Geomorphic Characterization in a Laterite Nickel Deposit." *Natural Resources Research* 21(2):177–91.

Indra Kusuma, RA, H. Kamaruddin, R. Wibawa, and M. .. Kamil. 2015. *Geological Prospect, Resource and Ore Reserve Estimation in Pomalaa, Kolaka, Southeast Sulawesi*. Balikpapan: MGEI.

Kadarusman, Ade, Sumio Miyashita, Shigenori Maruyama, Christopher D. Parkinson, and Akira Ishikawa. 2004. "Petrology, Geochemistry and Paleogeographic Reconstruction of the East Sulawesi Ophiolite, Indonesia." *Tectonophysics* 392(1–4):55–83.

- Van Leeuwen, T. M. and P. E. Pieters. 2011. "Mineral Deposits of Sulawesi." *Proceedings of the Sulawesi Mineral Resources* (December):1–10.
- Martosuwito, Surono. 2012. "Tectonostratigraphy of the Eastern Part Of Sulawesi, Indonesia, in Relation to the Terrane Origins." *Geologi Dan Sumberdaya Mineral* 22(4):199–207.
- Monnier, C., Girardeau, J., Maury, R. C., & Cotten, J. 1995. "Back-Arc Basin Origin for the East Sulawesi Ophiolite (Eastern Indonesia)." *Geology* 23(9):851–54.
- Myagkiy, Andrey, Laurent Truche, Michel Cathelineau, and Fabrice Golfier. 2017. "Revealing the Conditions of Ni Mineralization in the Laterite Profiles of New Caledonia: Insights from Reactive Geochemical Transport Modelling." *Chemical Geology* 466:274–84.
- Parkinson, Chris. 1998. *Emplacement of the East Sulawesi Ophiolite: Evidence from Subophiolite Metamorphic Rocks*. Vol. 16.
- Silver, E. A., R. McCaffrey, Y. Joyodiwiryo, and S. Stevens. 1983. "Ophiolite Emplacement by Collision between the Sula Platform and the Sulawesi Island Arc, Indonesia." *Journal of Geophysical Research* 88(B11):9419–35.
- Simandjuntak T.O, Surono, Sukido. 1993. "Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi." Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sufriadin, Arifudin Idrus, Subagyo Pramumijoyo, I. Wayan Warmada, and Akira Imai. 2011. "Study on Mineralogy and Chemistry of the Saprolitic Nickel Ores From Soroako , Sulawesi , Indonesia : Implication for the Lateritic Ore." *SE Asian Appl. Geol.* 3(1):23–33.
- Surono. 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Bandung, Indonesia: Badan Geologi Kementerian ESDM.
- Thorne, Robert, R. Herrington, and Stephen Roberts. 2009. *Composition and Origin of the Çaldağ Nickel Laterite, W. Turkey*. Vol. 44.
- Thorne, Robert, Stephen Roberts, and R. Herrington. 2012. *Climate Change and the Formation of Nickel Laterites*.

Diterima	: 11 Mei 2018
Direvisi	: 17 Mei 2018
Disetujui	: 28 Agustus 2018

**KARAKTERISTIK DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN BATUBARA
BERDASARKAN ANALISIS PETROGRAFI ORGANIK, DAERAH JONGGON,
KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

**CHARACTERISTICS AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENT OF COAL
BASED ON ORGANIC PETROGRAPHY ANALYSIS, JONGGON AREA,
KUTAI KARTANEGARA REGENCY, EAST KALIMANTAN PROVINCE**

Agus Maryono dan Sigit A. Wibisono

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

ABSTRAK

Karakteristik (peringkat dan tipe) serta lingkungan pengendapan batubara di daerah Jonggon dan sekitarnya diteliti dengan menggunakan metode petrografi batubara (analisis reflektansi vitrinit dan komposisi maseral). Analisis dilakukan terhadap 13 contoh batubara formasi Balikpapan. Secara megaskopis batubara berwarna hitam, keras, goresan hitam, agak kusam, pecahan blocky, terdapat getah damar, ketebalan berkisar 0,40 m s.d. 3,30 m. Analisis reflektansi vitrinit (Rv) menunjukkan bahwa batubara di daerah penelitian memiliki nilai Rv berkisar antara 0,25% s.d. 0,45% sehingga dapat diklasifikasikan pada peringkat lignit - subbituminous. Secara mikroskopis, analisis komposisi maseral menunjukkan bahwa tipe batubara di daerah penelitian didominasi oleh kelompok maseral huminit (67,60% s.d. 95,80%), diikuti oleh maseral inertinit (1,20 s.d. 26,40%) serta sebagian kecil maseral liptinit (0,20% s.d. 5,60%). Lebih jauh, hasil analisis komposisi maseral melalui nilai *Tissue Preservation Index* (TPI), *Gelification Index* (GI), dan *Ground Water Index* (GWI) mengindikasikan bahwa material organik pembentuk batubara di daerah penelitian didominasi oleh tumbuhan berkayu yang mengalami tingkat oksidasi rendah serta terendapkan pada lingkungan telmatik.

Kata kunci: batubara, petrografi organik, lingkungan pengendapan, reflektansi vitrinit

ABSTRACT

Characteristics (rank and type) as well as the coal depositional environment in Jonggon and surrounding areas were investigated using coal petrographic methods (vitrinite reflectance and maceral composition analyses). The analysis was conducted on 13 coal samples of Balikpapan formation. Megascopically coal has black appearance, hard, black streaks, slightly dull, blocky, contain resin, with thickness ranging from 0.40 to 3.30 m. Vitrinite reflectance (Rv) analysis shows that coal in the study area has Rv values ranging from 0.25 - 0.45% so that it is classified into lignite - subbituminous rank. Microscopically, maceral composition analyses show that coal in the area is dominated by the huminite maceral group (67.60 - 95.80%), followed by inertinite maseral (1.20 - 26.40%) and a small portion of liptinite maseral (0.20 - 5.60%). Furthermore, the results of the maceral composition analysis through the value of Tissue Preservation Index (TPI), Gelification Index (GI), and Ground Water Index (GWI) indicate that the coal-forming organic material in the research area is dominated by woody plants that experience low oxidation and deposited in telmatic environment.

Keywords: coal, organic petrographic, depositional environment, vitrinite reflectance

PENDAHULUAN

Batubara didefinisikan sebagai kelompok batuan sedimen organik yang terdiri atas material tumbuhan yang telah mengalami proses pematubaraan dan dibedakan menjadi jenis humik serta sapropelik (Diessel, 1992). Batubara humik umumnya diendapkan di lingkungan darat dengan proses pengendapan di tempat asal terbentuknya (*autochthonous*) atau telah mengalami proses transportasi (*allochthonous*), sedangkan batubara sapropelik umumnya diendapkan di lingkungan laut dan lingkungan lakustrin air tawar, seperti *cannel coal* dengan proses pengendapan apungan (Diessel, 1992).

Material organik dalam batubara yang dapat teramati di bawah mikroskop disebut sebagai maseral. Berdasarkan komposisi kimia, warna pantul, bentuk morfologi, ukuran, relief, struktur dalam, intensitas refleksi, dan tingkat pematubaraan, maseral dikelompokkan menjadi 3 grup utama yaitu vitrinit, liptinit, dan inertinit (Stach dkk., 1982).

Secara fisik, karakteristik batubara dapat tergambar melalui tingkat kematangan (peringkat batubara) dan komposisi material organik penyusunnya. Pemahaman mengenai peringkat dan tipe batubara dapat membantu dalam memberikan arahan pemanfaatan dan pengolahan batubara maupun strategi eksplorasi batubara di masa yang akan datang-

Analisis petrografi batubara merupakan satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik batubara berupa peringkat dan tipe batubara. Lebih jauh, komposisi maseral atau tipe batubara juga biasa digunakan untuk menentukan lingkungan pengendapan batubara (Cook, 1982; Diessel, 1992; Amijaya dan Littke, 2005; Baihaqi dkk., 2017). Lingkungan pengendapan batubara dapat diidentifikasi berdasarkan nilai TPI dan GI. TPI atau indeks jaringan terawetkan merupakan perbandingan antara struktur jaringan maseral yang terawetkan dengan struktur

jaringan yang tidak terawetkan atau terdegradasi, sedangkan GI atau indeks gelifikasi merupakan perbandingan antara maseral yang terbentuk akibat proses gelifikasi dan maseral yang terbentuk karena proses oksidasi yang berhubungan dengan kontinuitas kelembapan pada suatu lahan gambut. Gabungan antara nilai TPI dan GI dapat digunakan dalam penentuan lingkungan pengendapan dan memperkirakan derajat dekomposisi (Diessel, 1992). Diessel (1992), membagi lingkungan pengendapan batubara menjadi tiga yaitu lingkungan pengendapan telmatik (terrestrial), limnik, dan laut (*marine*).

Selain itu, komposisi maseral dapat dipergunakan pula untuk mengidentifikasi vegetasi yang tumbuh pada lahan gambut berdasarkan nilai GWI dan VI. GWI atau indeks air tanah merupakan perbandingan antara jaringan yang mempunyai tingkat gelifikasi kuat terhadap jaringan yang mengalami gelifikasi lemah. Nilai GWI dapat digunakan untuk memperlihatkan tingkat gelifikasi yang mengindikasikan keadaan pH dan suplai air pada suatu lahan gambut. VI atau indeks vegetasi dapat digunakan sebagai petunjuk dalam mengindikasikan asal mula pembentukan suatu lahan gambut (Diessel, 1992).

Analisis petrografi batubara dilakukan terhadap batubara Formasi Balikpapan di daerah Jonggon dan sekitarnya (Gambar 1) dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik peringkat dan tipe batubara serta untuk memperkirakan lingkungan pengendapan batubara di daerah tersebut

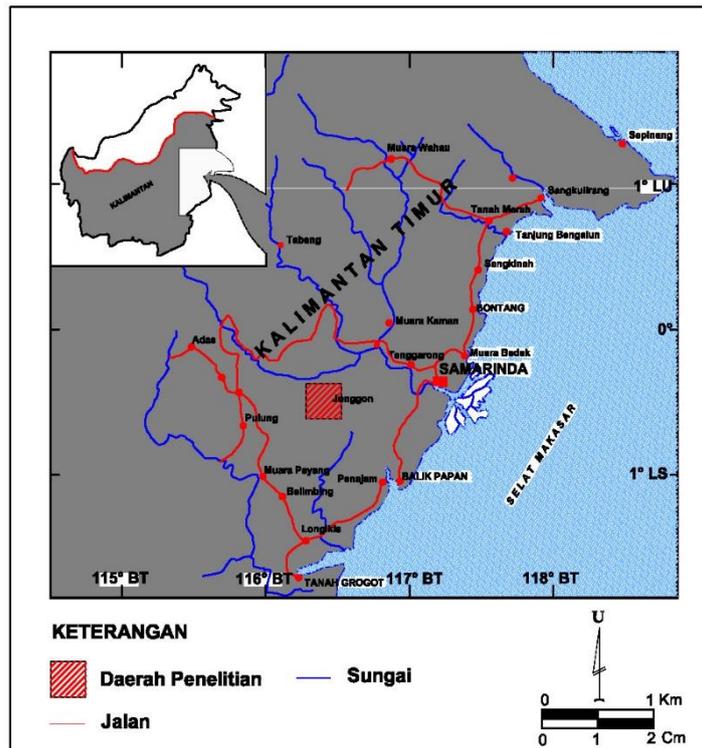
GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian merupakan bagian dari Cekungan Kutai (Gambar 2) yang dibatasi oleh Cekungan Tarakan di bagian utara, bagian selatan dibatasi oleh Cekungan Barito, bagian timur dibatasi oleh Selat Makassar, dan bagian barat dibatasi oleh Cekungan Ketungau dan Cekungan Melawi (Satyana dkk., 1999). Struktur yang berkembang di daerah penelitian berupa perlipatan (Supriatna dkk., 1995).

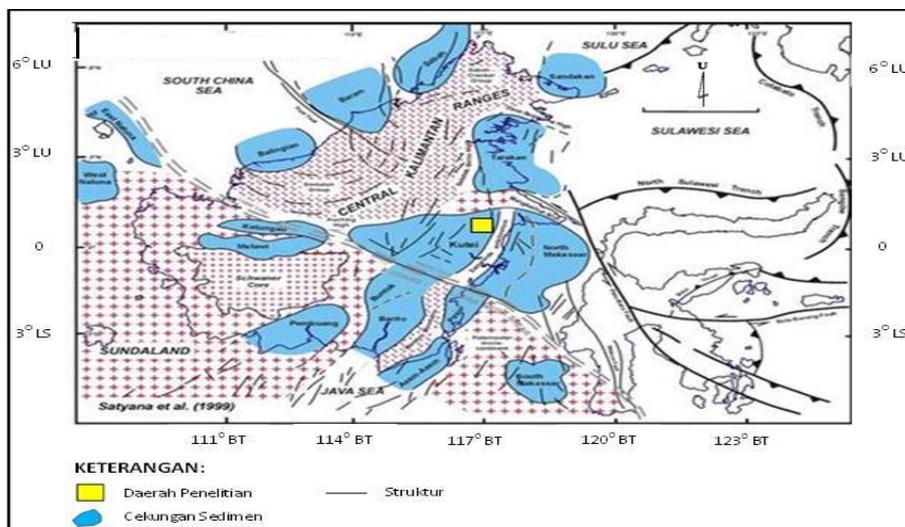
Stratigrafi daerah penelitian terdiri atas tiga Formasi dari tua ke muda yaitu Formasi Pamaluan (Tomp), Formasi Pulubalang (Tmpb), dan Formasi Balikpapan (Tmbp). Batubara pada daerah penelitian ditemukan pada Formasi Balikpapan (Tmbp) berumur Miosen Tengah - Miosen Akhir (Gambar 3).

Formasi Balikpapan (Tmbp) terdiri atas litologi batupasir, batulempung,

batugamping, dan batubara (Supriatna dkk., 1995). Batubara yang ditemukan di daerah penelitian mempunyai beberapa ciri kenampakan megaskopis yaitu berwarna hitam, keras, goresan hitam, agak kusam, pecahan *blocky*, terdapat getah damar, kontak atas tegas dengan batupasir, dan kontak bawah tegas dengan batulempung, dengan tebal berkisar 0,40 m s.d. 3,30 m.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Peta fisiografi Pulau Kalimantan (Satyana dkk., 1999)

DATA DAN METODOLOGI

Identifikasi karakteristik dan lingkungan pengendapan batubara di daerah penelitian didasarkan pada hasil analisis petrografi organik terhadap 13 conto yang mewakili 7 *seam* batubara pada Formasi Balikpapan yang dilakukan di laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP).

Analisis petrografi organik berupa analisis reflektansi vitrinit untuk penentuan *rank* atau peringkat batubara dan analisis komposisi maseral untuk mengetahui tipe dan lingkungan pengendapan batubara. Pengukuran nilai reflektansi vitrinit mengacu pada ASTM D2798 (2011). Hasil analisis komposisi maseral digunakan untuk menentukan nilai TPI, GI, GWI, dan VI dengan mengadopsi formula dari Diessel (1992) yang telah dimodifikasi oleh Amijaya dan Littke (2005) untuk klasifikasi batubara peringkat rendah (*brown coal*). Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$(1) \text{ TPI} = \frac{(\text{Telohuminit} + \text{Telo inertinit})}{(\text{Humodetrinit} + \text{Humokolinit} + \text{Inertodetrinit} + \text{Geloinertinit})}$$

$$(2) \text{ GI} = \frac{(\text{Huminit} + \text{Geloinertinit})}{(\text{Inertinit})}$$

$$(3) \text{ GWI} = \frac{\text{Korpohuminit} + \text{Bahan Mineral}}{\text{Telinit} + \text{Ulminit} + \text{Detrohuminit}}$$

$$(4) \text{ VI} = \frac{\text{Telohuminit} + \text{Semifusinit} + \text{Fusinit} + \text{Suberinit} + \text{Resinit}}{\text{Detrohuminit} + \text{Inertodetrinit} + \text{Liptodetrinit} + \text{Sporinit} + \text{Kutinit} + \text{Algininit}}$$

Analisis petrografi organik batubara dilakukan pada blok poles batubara dengan menggunakan mikroskop sinar pantul Carl Zeiss Axioplan yang terkoneksi dengan komputer dan alat penghitung maseral digital.

Pembuatan blok poles mengacu pada AS (Australian Standard) 2856.2 (1998). Blok poles batubara disiapkan dari sekitar 15 gram conto batubara yang sudah dihancurkan serta lolos saringan 1 mm. Hancuran batubara kemudian dicampur dengan resin epoksi dan dicetak berbentuk lingkaran. Setelah conto mengeras,

kemudian digosok menggunakan ampelas nomor 600-1200, kemudian dipoles untuk mendapatkan permukaan conto yang halus dan siap digunakan untuk analisis petrografi. Pengukuran reflektansi vitrinit mengacu pada ASTM D2798 (2011).

Pengukuran dilakukan pada 100 titik pengamatan. Hasil pengukuran kemudian diolah kembali dengan menggunakan perhitungan statistik guna mendapatkan nilai reflektansi vitrinit rata-rata, sedangkan penentuan komposisi maseral pada setiap conto polis blok batubara di bawah mikroskop, dilakukan pada 500 titik pengamatan dengan mode sinar putih dan juga sinar fluoresens. Mode sinar fluoresens digunakan untuk mengidentifikasi maseral liptinit yang tidak semuanya bisa jelas terlihat dengan menggunakan mode sinar putih.

Studi pustaka menunjukkan bahwa batubara di daerah penyelidikan termasuk batubara peringkat rendah, sehingga untuk analisis komposisi maseral, klasifikasi maseral yang digunakan adalah klasifikasi maseral untuk batubara peringkat rendah (ICCP, 2001).

HASIL ANALISIS

Pengukuran Reflektansi Vitrinit

Pengukuran reflektansi vitrinit terhadap 13 conto batubara di daerah penelitian menunjukkan nilai $R_{\bar{v} \max}$ 0,25% s.d. 0,45% dengan nilai rata-rata 0,38% (Tabel 1).

Analisis Komposisi Maseral

Hasil analisis komposisi maseral dan mineral conto batubara di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Kelompok maseral huminit (67,20% s.d. 95,80%) mendominasi komposisi maseral batubara daerah penelitian diikuti oleh kelompok maseral liptinit (0,20% s.d. 4,60%) dan kelompok maseral inertinit (1,20% s.d. 26,40%). Kelompok maseral vitrinit didominasi oleh subkelompok maseral humotelinit (10,00% s.d. 72,80%), sedangkan kelompok maseral

liptinit didominasi oleh kutinit (0,20% s.d. 4,60%), sementara kelompok maseral inertinit—didominasi oleh sub maseral teloinertinit (1,40% s.d. 19,60%).

Kandungan mineral pada conto batubara teranalisis relatif rendah (rata-rata <5%). Hanya dua conto yang menunjukkan kandungan mineral cukup tinggi (>10%). Mineral yang paling banyak ditemukan pada conto batubara di daerah penelitian adalah mineral lempung (0,20% s.d. 23,80%) dan diikuti oleh oksida besi (0,40% s.d. 6,00%).

Perhitungan Nilai TPI dan GI

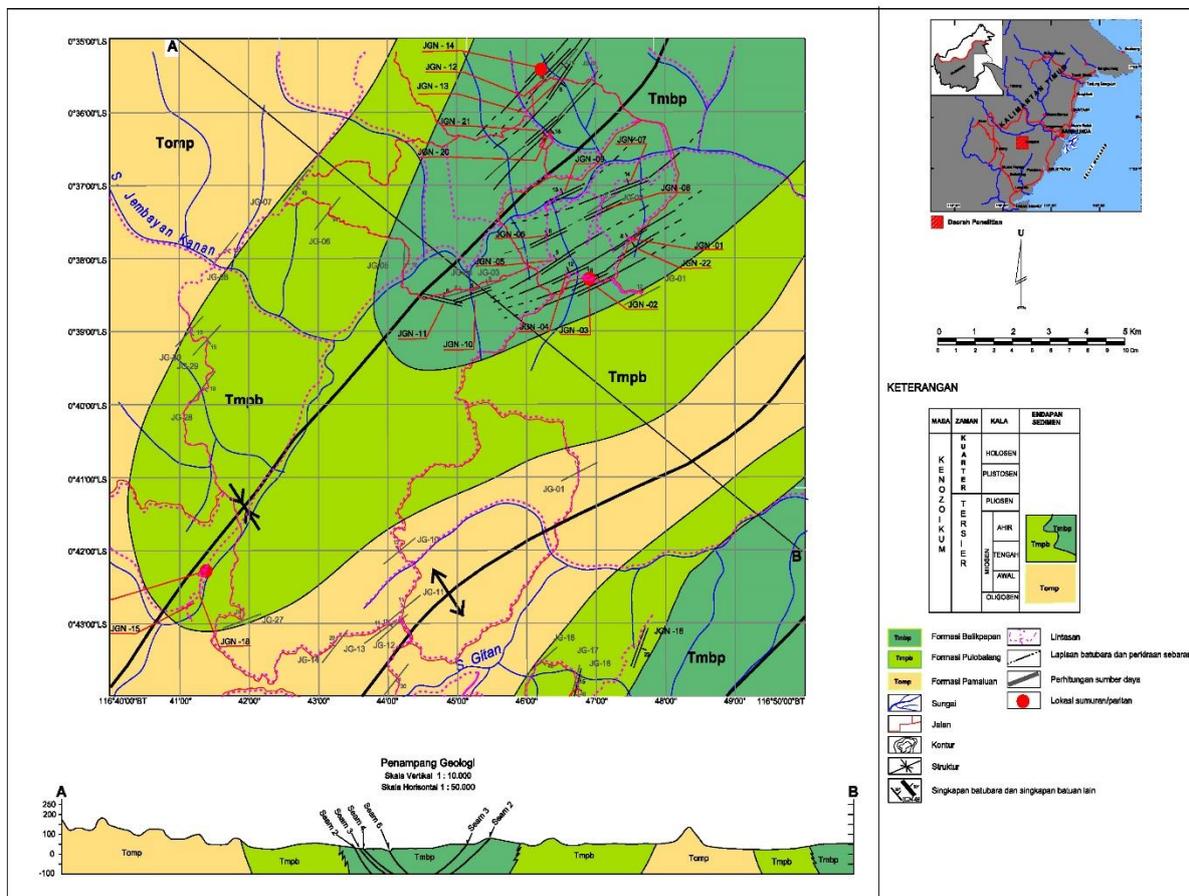
Hasil perhitungan nilai TPI dan GI dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai TPI untuk conto batubara Formasi Balikpapan di daerah penelitian berkisar antara 0,20 s.d. 3,41 dengan nilai rata-rata 3,03. Pada umumnya hampir semua conto batubara di daerah penelitian memiliki nilai TPI yang relatif sama (3,00 s.d. 3,35), satu conto JGN-23

mempunyai nilai TPI 2,61 sedangkan conto JGN-01 mempunyai nilai TPI yang jauh berbeda yaitu 0,20.

Nilai TPI yang rendah untuk kedua conto batubara JGN-01 dan JGN-23 diperkirakan dengan kandungan mineral pada kedua conto yang relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan conto batubara lainnya (Tabel 2). Nilai GI untuk conto teranalisis menunjukkan kisaran nilai antara 2,56 s.d. 79,83.

Perhitungan Nilai GWI dan VI

Perhitungan nilai GWI dan VI seluruh conto teranalisis dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai GWI untuk conto teranalisis di daerah penelitian berkisar antara 0,01 s.d.- 0,45 dengan nilai rata-rata 0,06, sedangkan nilai VI untuk conto teranalisis menunjukkan kisaran nilai yang bervariasi antara 0,20 s.d. 3,34 dengan nilai rata-rata 2,79.



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Modifikasi dari Supriatna dkk., 1995)

Tabel 1. Hasil pengukuran reflektansi rata-rata vitrinit dan kelompok maseral.

No. Conto	Litologi	Reflektansi Vitrinit Rata ² (Rv _{max}), %	Huminit, %	Liptinit, %	Inertinit, %
JGN-01	Batubara	0,25	68,00	0,20	1,40
JGN-02	Batubara	0,33	67,60	5,60	26,40
JGN-03	Batubara	0,45	87,00	5,60	6,60
JGN-04	Batubara	0,36	87,20	1,60	10,00
JGN-05	Batubara	0,36	93,80	1,60	3,20
JGN-07	Batubara	0,41	88,60	5,20	5,00
JGN-09	Batubara	0,41	86,40	3,20	8,00
JGN-12	Batubara	0,45	89,80	0,80	7,80
JGN-13	Batubara	0,43	87,80	1,60	9,60
JGN-14	Batubara	0,44	85,20	0,40	12,40
JGN-20	Batubara	0,38	90,60	0,40	7,40
JGN-23	Batubara	0,37	84,80	0,60	2,60
JGN-24	Batubara	0,36	95,80	1,00	1,20

Tabel 3. Hasil perhitungan TPI dan GI di daerah penelitian.

No. Conto	TPI	GI
JGN-01	0,20	48,71
JGN-02	3,39	2,56
JGN-03	3,33	13,18
JGN-04	3,34	8,72
JGN-05	3,41	29,31
JGN-07	3,29	17,72
JGN-09	3,37	10,80
JGN-12	3,10	11,54
JGN-13	3,31	9,17
JGN-14	3,40	6,87
JGN-20	3,41	12,24
JGN-23	2,61	32,62
JGN-24	3,18	79,83

Tabel 4. Hasil perhitungan GW dan VI di daerah penelitian.

No. Conto	GW	VI
JGN-01	0,45	0,20
JGN-02	0,01	3,00
JGN-03	0,01	2,71
JGN-04	0,02	2,97
JGN-05	0,01	3,18
JGN-07	0,01	2,93
JGN-09	0,03	2,98
JGN-12	0,02	3,05
JGN-13	0,01	3,05
JGN-14	0,02	3,20
JGN-20	0,02	3,34
JGN-23	0,14	2,54
JGN-24	0,02	3,09

Tabel 2. Komposisi maseral batubara di daerah penelitian

Komposisi Petrografi		Kode Conto												
Kelompok Maseral	Sub Kelompok Maseral (Vol. %)	JGN-01	JGN-02	JGN-03	JGN-04	JGN-05	JGN-07	JGN-09	JGN-12	JGN-13	JGN-14	JGN-20	JGN-23	JGN-24
Humotelinit	Tekstinit	14,2	9,8	8,6	11,8	10,2	7,8	9,2	7,4	12,8	20	9,2	12,4	12,4
	Ulminit	10	38,8	60,2	59,4	61	59	60,6	60,2	62	54,8	50	52,8	60,2
	Atrinit	25	11,8	7,2	7,2	9,6	8,2	9,4	9,6	7	10,2	10,2	9,2	9
Humodetrinit	Densinit	33,2	1,2	9,8	12	11,4	8,6	9,8	10,2	8,6	10,6	10	13,6	14,2
	Total	58,2	13	17	19,2	21	18	18	19,6	18,2	17,6	20,2	22,8	23,2
Humokolinit	Gelinit	1,6				1,4		0,8		0,2				
Total Huminit		68,2	67,6	87	87,2	93,8	88,6	86,4	89,8	87,8	85,2	90,6	84,8	95,8
Teloinertinit	Fusinit	6,6			0,4	1	1,2	0,2	0,8	1				0,2
	Semifusinit	1,4	9,6	0,8	2,8	1,4	0,8	1,2	2,4	2,4	3,8	4,2	1	0,4
	Funginit	3,4	1,2	1,2	3,6	0,8	0,8	2	1,8	2,2	3	1,6	0,2	0,6
Inertinit	Detroidetrinit	6,8	4,6	3,2	3,2	1	2,4	3,6	3,2	4	4,6	1,6	1,4	
Geloinertinit	Makrinit							0,2		0,2				
Total Inertinit		1,4	26,4	6,6	10	3,2	5	8	7,8	9,6	12,4	7,4	2,6	1,2
	Resinit	0,4	0,8			0,2	1	0,8						0,4
	Kutinit	0,2	2,2	4,6	1,6	1,4	4	2,4	0,8	1,6	0,4	0,4	0,6	0,6
	Sporinit		0,6	0,2										
Liptinit	Suberinit	0,6												
	Liptodetrinit													
	t	0,8												
	Eksudatinit		1											
Total Liptinit		0,2	5,6	5,6	1,6	1,6	5,2	3,2	0,8	1,6	0,4	0,4	0,6	1
Total Maseral		69,8	99,6	99,2	98,8	98,6	98,8	97,6	98,4	99	98	98,4	88	98
	Lempung	23,8			1,2	0,2	0,4	1	0,2	0,4	0,4	0,8	4,4	0,4
Mineral (%)	Oksida Besi	6	0,4	0,8	0,8	1,2	2,4				1	0,8	7	1,6
	Pirit	0,6				0,8		0,6	0,8	0,6			0,6	
Total Mineral		30,4	0,4	0,8	2	1,4	1,2	2,4	1,6	1	2	1,6	1,2	2

PEMBAHASAN

Mengacu pada klasifikasi ASTM (1986), berdasarkan hasil analisis reflektansi vitrinit (Rv 0,25% s.d. 0,45%), peringkat batubara di daerah penelitian termasuk pada peringkat lignit - subbituminus (Gambar 4).

Kandungan humotelinit yang dominan serta nilai TPI>1 menunjukkan bahwa batubara di daerah penelitian berasal dari tumbuhan kayu. Keberadaan material sub kelompok humotelinit yang lebih banyak dibanding humodetrinit dan humokolinit juga mengindikasikan bahwa derajat pengawetan jaringan sel tumbuhan di daerah penelitian cukup tinggi yang diperkirakan berhubungan dengan lingkungan pengendapan gambut yang selalu dalam kondisi basah dan pH rendah (Calder dkk., 1991; Diessel, 1992).

Dominasi tumbuhan berkayu sebagai material pembentuk batubara di daerah penelitian juga dikuatkan oleh nilai VI contoh batubara di daerah penelitian yang lebih besar dari 3 (Gambar 6). Mengacu pada Calder dkk (1991) nilai VI<3,00 menunjukkan dominasi tumbuhan batang lunak (*herbaceous* atau *marginal aquatic*) sebagai material pembentuk batubara sedangkan nilai VI>3,00 mengindikasikan dominasi tumbuhan kayu. Adanya contoh batubara mempunyai nilai VI<3 (Gambar 6) mengindikasikan bahwa batubara di daerah penelitian sebagian kecil berasal dari tumbuhan air yang mempunyai batang lunak (*herbaceous*).

Kandungan inertinit dan nilai GI dapat menggambarkan tingkat oksidasi yang dialami material pembentuk batubara. Kandungan inertinit yang tinggi kemungkinan disebabkan karena material organik dalam gambut terpapar udara, gambut mengalami pengangkatan ataupun terbakar. Menurut Diessel (1992),

rendahnya derajat oksidasi pada lingkungan pengendapan batubara ditunjukkan oleh rendahnya kandungan inertinit serta tingginya nilai GI.

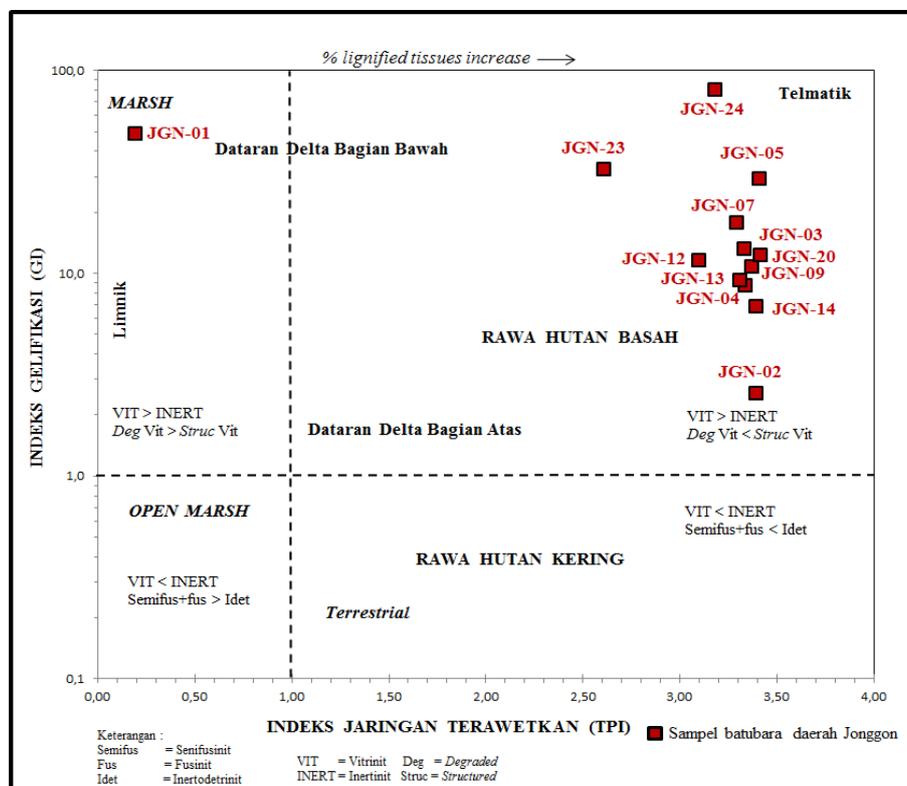
Secara umum, kandungan inertinit batubara di daerah penelitian relatif rendah (<5%). Hanya dua contoh yang memiliki kandungan inertinit relatif tinggi yaitu contoh JGN-02 (26,04%) dan JGN-14 (12,40%) (Tabel 2 dan Tabel 3). Kandungan inertinit yang tinggi serta nilai GI yang rendah mengindikasikan bahwa proses oksidasi yang berlangsung pada material pembentuk batubara berlangsung signifikan (Diessel, 1992). Di daerah penelitian, rendahnya kandungan inertinit berasosiasi dengan tingginya nilai GI (Tabel 2 dan Tabel 3). Secara umum, batubara cenderung memiliki kandungan inertinit rendah dengan nilai GI yang relatif tinggi (Tabel 2 dan Tabel 3). Berdasarkan hal tersebut diatas, disimpulkan bahwa proses oksidasi pada material organik pembentuk batubara di daerah penelitian kemungkinan tidak berlangsung signifikan.

Hasil plot silang antara nilai TPI dan GI dalam diagram hasil modifikasi dari Diessel (1992) serta Amijaya dan Littke (2005), didukung oleh nilai GWI (<5), mengindikasikan bahwa secara umum, contoh batubara di daerah penelitian diendapkan pada lingkungan telmatik kecuali contoh JGN-01 yang terendapkan pada lingkungan limnik (Gambar 5).

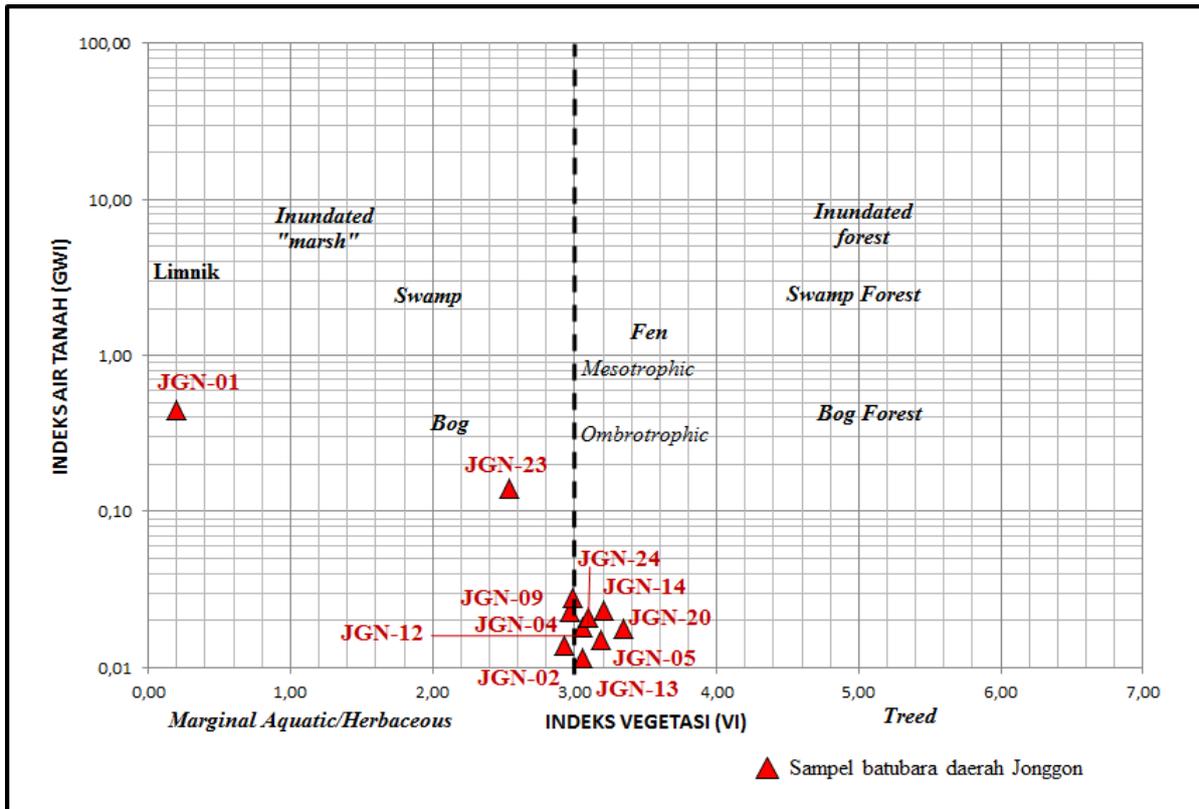
Plot hasil analisis maseral pada diagram modifikasi dari Diessel (1992) serta Amijaya dan Littke (2005), mengindikasikan bahwa gambut di daerah penelitian merupakan tipe ombrotropik yang hanya menerima suplai air hujan sehingga miskin akan nutrisi dan mempunyai kandungan mineral yang rendah (Gambar 6).

Peringkat Batubara	Reflektansi Vitrit (VRo%)	Nilai Panas BTU/lb (daf)	Zat Terbang (daf)
Gambut			(70)
Lignit	B	8.300	(60)
	A		
Sub-Bituminus	C	0,36	8.300
	B	0,41	9.500
	A	0,47	10.500
Bituminus	C	0,49	11.500
	B	0,51	13.000
	B	0,69	14.000
	A	0,73	14.250
Bituminus Zat Terbang tinggi		1,11	15.000
Bituminus Zat Terbang sedang			30
Bituminus Zat Terbang rendah		1,60	20
Semi - Antrasit		2,04	10
Antrasit		2,40	
Meta - Antrasit		5,0	
Graposit			00

Gambar 4. Peringkat batubara di daerah penelitian (Modifikasi dari ASTM, 1986)



Gambar 5. Plot silang antara nilai TPI dan GI contoh batubara di daerah penelitian. Diagram yang digunakan adalah diagram hasil modifikasi dari Diessel (1992) dan Amijaya dan Littke (2005)



Gambar 6. Plot silang antara nilai GWI dan VI conto batubara di daerah penelitian. Diagram yang digunakan adalah diagram hasil modifikasi dari Amijaya dan Littke (2005)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis petrografi, batubara Formasi Balikpapan di daerah penelitian mempunyai nilai Rv yang termasuk pada peringkat lignit – subbituminus dengan komposisi kelompok maseral terdiri dari huminit (67,20% s.d. 95,80%), inertinit (1,20 s.d. 26,40), dan liptinit (0,20 s.d. 5,60).

Batubara di daerah penelitian sebagian besar berasal dari tumbuhan berkayu yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan huminit, nilai rata rata TPI>1 serta nilai VI>3. Material organik pembentuk batubara tidak mengalami tingkat oksidasi yang signifikan ditunjukkan oleh kandungan inertinit yang rendah serta nilai GI yang relatif tinggi.

Plot silang TPI terhadap GI dan GWI terhadap VI mengindikasikan bahwa batubara terendapkan pada lingkungan telmatik, sedangkan tipe gambut

pembentuk batubara termasuk dalam tipe ombrotropik.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

Amijaya, H. dan Littke, R., (2005): Microfasies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal, South Sumatra Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 61, 197-221.
 AS 2856.2 (1998): Coal petrography part 2: Maceral analysis, Standards Association of Australia, The Crescent, Homebush, NSW.

- ASTM D2798 (2011): Standard test method for microscopical determination of the vitrinite reflectance of coal, PA.
- ASTM (1986): *Annual book of ASTM standards*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 388, PA.
- Baihaqi, A., Susilawati, R., Fauzielly, L., dan Muljana, B., I. (2017): Studi perbandingan karakteristik kimia dan petrografi batubara lapangan x, Cekungan Sumatera Selatan dan lapangan y Cekungan Sumatera Tengah, Indonesia, *Buletin Sumber Daya Geologi*, 12, 87-102, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung.
- Calder, J. H., Gibling, M. R., dan Mukopadhyay, P. K., (1991): Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrohic and raised paleo-mires: *Bulletin de la Socie´te´ Ge´ologique de France*, 162/2, 283-298.
- Cook, A. C. (1982): *The origin and petrology of organic matter in coal, oil shales and petroleum source rocks*, University of Wollongong, Wollongong, New South Wales.
- Diessel, C. F. K. (1992): *Coal-bearing depositional systems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- ICCP (2001): *The new inertinite classification (ICCP System 1994)*, Fuel, 80, 459-471.
- Satyana, A. H., Nugroho D., dan Surantoko I. (1999): Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins, *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 99-122.
- Supriatna, S., Sukardi, dan Rustandi, E. (1995): *Peta geologi lembar Samarinda, Kalimantan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung-Indonesia.
- Stach, E., Malkowskey, M-Th., Teichmuller, M. Taylor, G. H., Chandra, dan D. Teichmuller (1982): *Stach’s textbook of coal petrology*, Edisi 3, Gebruder Bornreger, Berlin Stuttgart, 535.

Diterima	: 12 September 2017
Direvisi	: 29 Oktober 2017
Disetujui	: 31 Agustus 2018

**PEMODELAN RESEVOIR PANAS BUMI DAERAH DUA SAUDARA,
KOTA BITUNG, PROVINSI SULAWESI UTARA,
DENGAN MENGGUNAKAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK**

**MODELING OF DUA SAUDARA GEOTHERMAL RESERVOIR, BITUNG CITY,
NORTH SULAWESI PROVINCE, USING 2-D MAGNETOTELURIC DATA INVERSION**

Ahmad Zarkasyi dan Rina Wahyuningsih

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

ABSTRAK

Hasil survei geologi, geokimia dan geofisika gaya berat dan TDEM, di daerah panas bumi Dua Saudara, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara belum dapat secara akurat mendelineasi area dan dimensi prospek panas bumi di daerah ini. Sistem panas bumi di daerah ini berasosiasi dengan aktivitas vulkanik Gunung Tangkoko-Batuangus berumur Kuartar. Litologi daerah ini didominasi oleh endapan vulkanik berupa piroklastik dan lava. Selain batuan teralterasi, mata air panas muncul dengan temperatur 34°C -61°C, dari fluida air panas didapat penghitungan temperatur bawah permukaan mencapai 150°C. Pemodelan 2D inversi dilakukan pada data survei Magnetotelurik di 35 titik ukur dengan spasi 1000 hingga 1500 m yang difokuskan di lokasi manifestasi mata air panas. Hasil inversi menggunakan perangkat lunak WinGLink menunjukkan adanya lapisan resistivitas rendah (<10 ohm-m) yang ditafsirkan sebagai lapisan penudung dari system panas bumi Dua Saudara. Lapisan ini berasosiasi dengan lapisan konduktif yang terletak pada kedalaman sekitar 750 meter hingga 1000 meter. Zona resistivitas tinggi (25-100 ohm-m) ditafsirkan sebagai batuan panas yang kemungkinan adalah reservoir dari sistem tersebut. Dari model ini disimpulkan bahwa daerah survei masih merupakan zona *outflow*, sedangkan zona *upflow* diduga ke arah tenggara menuju Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko.

Kata kunci: Panas bumi, Dua Saudara, magnetotelurik, inversi 2D, Sulawesi

ABSTRACT

Data resulted from 3G surveys include gravity and TDEM, at Dua Saudara geothermal area, Bitung City, North Sulawesi Province has not been able to accurately delineate the area and dimensions of geothermal prospects in this area. The geothermal system here is associated with Quaternary Mount Tangkoko-Batuangus volcanic activities. The lithology of this area is dominated by volcanic deposits namely pyroclastic and lava rocks. In addition to altered rocks, hot springs appear with temperatures of 34-61°C. By using geothermometer calculation of the hot spring fluid, obtained, an estimated subsurface temperature reach 150°C. 2D inversion modeling was carried out on Magnetotelluric survey data gained from 35 measuring points with 1000 to 1500m spacing where focused on the location of hot spring manifestations. The results of inversion using WinGLink software shows a low resistivity layer (<10 ohm-m) interpreted as impermeable/cap rocks of the geothermal system. This layer is associated with a conductive layer located at a depth of about 750-1000 meters. High resistivity zones are interpreted as hot rocks that lead to the reservoir. From this model it is concluded that the survey area is still an outflow zone, while the upflow zone is assumed to be southeast towards Dua Saudara Mountain and Tangkoko Mountain.

Keywords: Geothermal, Dua Saudara, magnetotelluric, 2D inversion, Sulawesi

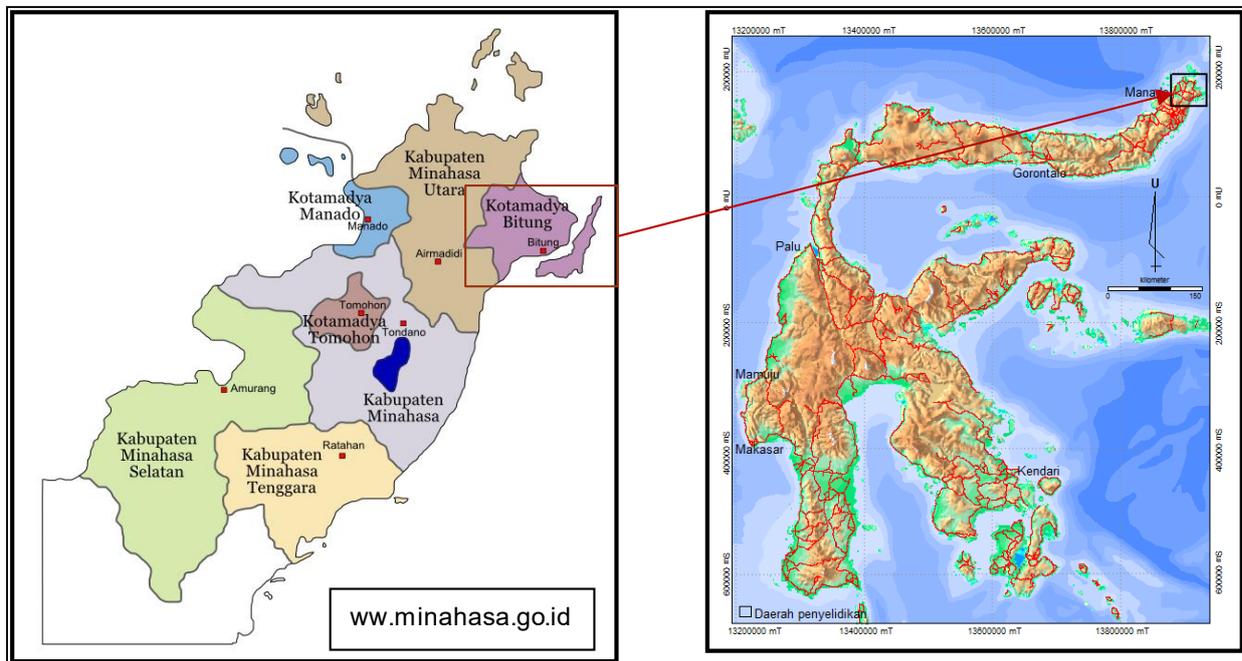
PENDAHULUAN

Daerah panas bumi Dua Saudara yang berada di wilayah Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 1) telah dilakukan survei rinci geologi, geokimia dan geofisika (gaya berat dan TDEM) oleh Badan Geologi pada tahun 2013. Ditinjau dari tataguna lahan, daerah panas bumi ini sebagian masuk ke dalam wilayah hutan konservasi.

Sistem panas bumi di daerah ini diindikasikan dengan munculnya beberapa manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan batuan ubahan. Mata air panas dengan temperatur 34°C s.d. 61°C muncul di sekitar lereng Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko yang merupakan dua gunungapi aktif berumur Kuarter (Anonim, 2013) sehingga sistem ini diduga kuat berkaitan dengan aktivitas vulkanisme di daerah tersebut (Gambar 2).

Tatanan tektonik daerah panas bumi Dua Saudara berada pada bagian busur magmatik, di lingkungan vulkanik yang masih aktif. Susunan stratigrafi batuan terbagi menjadi Vulkanik Tua Tondano, Vulkanik Toka Tindung, Aliran Piroklastik Klabat, Produk Gunung Dua Saudara (Aliran Piroklastik dan Lava), Lava Tembaan koka, Lava Tawau, Produk Gunung Tangkoko (lava, aliran dan jatuhnya Piroklastik, Lava Batu Angus, dan Endapan Pantai) (Anonim, 2013).

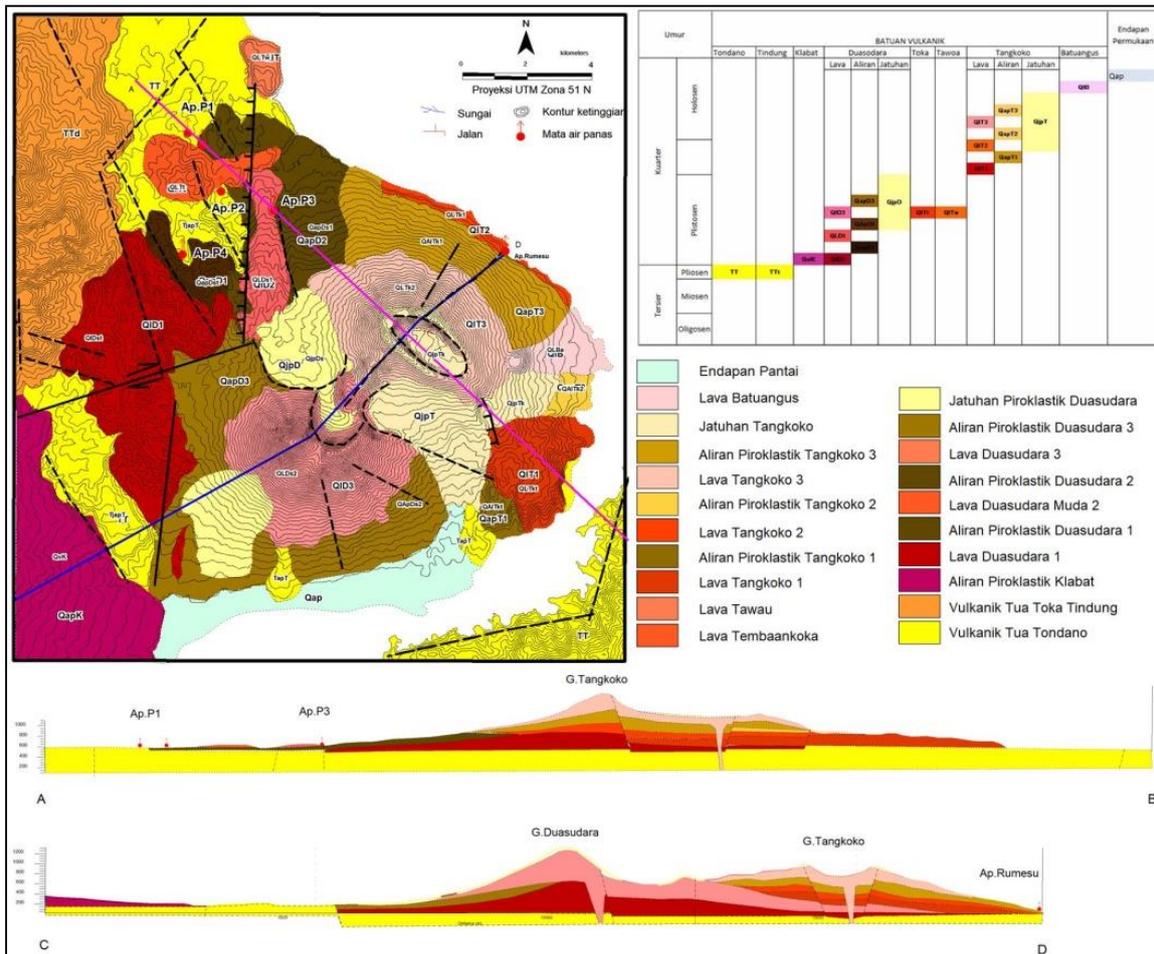
Struktur geologi utama yang berkembang di daerah ini berarah baratdaya-tenggara dan utara-selatan. Kontrol struktur utama berupa sesar normal di sekitar Batuputih dengan bagian turun di sisi timur (GunungTangkoko). Struktur vulkanik berupa kaldera di Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko dan struktur kawah di Gunung Batu Angus. Sumber panas diperkirakan dari sisa aktivitas vulkanik dari produk vulkanik Kuarter Tembaankoka dan vulkanik Batu Angus. (Anonim, 2013).



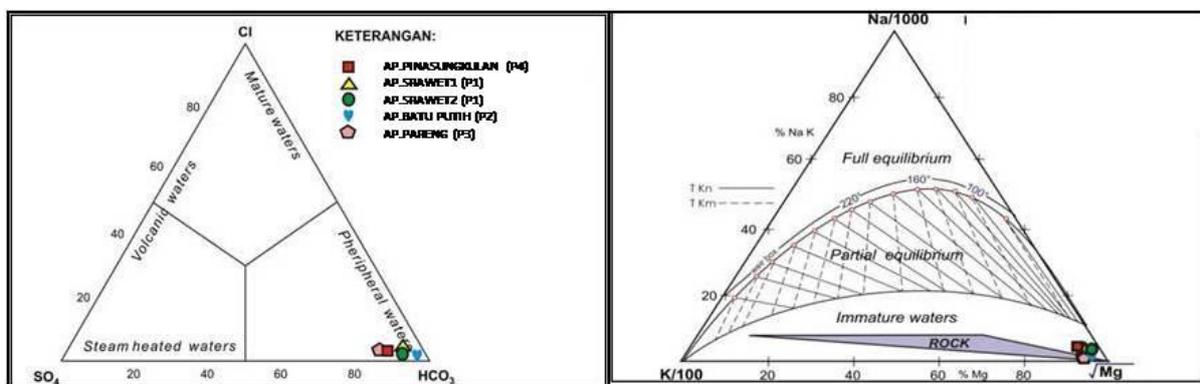
Gambar 1. Peta Lokasi Dua Saudara

Berdasarkan hasil analisis kimia, fluida panas bumi yang muncul di permukaan (Gambar 3) relatif tidak menunjukkan sebagai air reservoir, karena mempunyai kandungan silika yang rendah. Dari hasil

penghitungan geothermometer dan pertimbangan kondisi geologi, diperkirakan temperatur di bawah permukaan sebesar 150°C (Anonim, 2013).



Gambar 2. Peta geologi daerah Dua Saudara, dimodifikasi dari Peta Geologi daerah panas bumi Dua Saudara, oleh Anonim, 2013a.



Gambar 3. Segitiga geokimia Cl-SO₄-HCO₃ dan Na-K-Mg, dimodifikasi dari hasil analisis air Cl-SO₄-HCO₃ dan Na-K-Mg daerah panas bumi Dua Saudara, oleh Anonim, 2013a.

Hasil dari survei geofisika gaya berat dan TDEM juga kurang akurat untuk mendeliniasi area prospek panas bumi di daerah ini. Luas area prospek hasil kompilasi anomali gaya berat dan TDEM memiliki luas sekitar 6 km² yang kemungkinan masih membuka ke arah selatan dan barat dari daerah survei (Anonim, 2013).

Survei TDEM pada umumnya hanya dapat mendeteksi anomali hingga kedalaman yang cukup dangkal. Pada daerah Dua Saudara, zona anomali hanya bisa terdeteksi pada kedalaman sekitar 200 meter. Untuk itu perlu dilakukan survei lanjutan yang dapat mendeteksi batuan sampai dengan kedalaman lebih dari 1000 meter. Untuk itu diperlukan metode survei yang dapat mendeliniasi reservoir panas bumi yang umumnya mencapai kedalaman lebih dari 1000 meter; dalam hal ini adalah Magnetotelurik. Namun demikian, data TDEM akan berfungsi juga sebagai alat koreksi dalam pengolahan data Magnetotelurik.

Pada tahun 2014, Badan Geologi melakukan survei geofisika dengan menggunakan metode Magnetotelurik. Data hasil survei magnetotelurik ini diharapkan dapat mempertegas deliniasi zona prospek panas bumi baik dari segi luasan juga dari segi kedalaman.

Analisis data magnetotelurik dalam makalah ini berupa pemrosesan data pemodelan tahanan jenis dengan Teknik inversi 2D. Hasil pemodelan akan diperlihatkan dalam bentuk penampang vertikal dan juga sebaran horizontal

METODE MAGNETOTELURIK (MT)

Metode MT mengukur variasi waktu medan magnetik di permukaan bumi. Metode MT ini memanfaatkan variasi medan magnet bumi yang dihasilkan dari kilat, aktivitas ionosfer dan *solar wind*. Sumber tersebut menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi yang sangat lebar, yaitu antara 10⁻⁵-10⁴ Hz (Daud, 2010).

Fluktuasi medan magnet menyebabkan arus listrik sedangkan variasi konduktivitas listrik berarah lateral dan vertikal di kerak bumi disebabkan oleh adanya ion atau benda konduktif padat (Zhdanov, 2002).

Tahanan jenis atau resistivitas diperoleh dari perbandingan besarnya medan listrik dan medan magnet yang dikenal dengan persamaan Cagniard (Cagniard, 1953). Persamaan ini dihasilkan dari persamaan Maxwell dengan asumsi gelombang bidang.

$$\rho_a = \frac{1}{5} f x \left| \frac{E}{H} \right|^2$$

- ρ_a : tahanan jenis semu (Ohm-m)
- f : frekuensi (Hz)
- E : Besarnya medan listrik (mV/km)
- H : Besarnya medan magnet (nT)

Kedalaman efektif dalam metode MT bergantung kepada tahanan jenis batuan dan frekuensi yang digunakan. Penetrasi kedalaman efektif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Zhdanov, 2009):

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}}$$

- δ : skin depth (m)
- ω : frekuensi sudut
- σ : konduktivitas (S/m)
- μ : permeabilitas magnet (H/m)

Ketika tahanan jenis berubah terhadap kedalaman, maka tahanan jenis semu akan berubah terhadap frekuensi (gelombang elektromagnetik). Frekuensi tinggi tidak dapat menjangkau penetrasi yang cukup dalam, sebaliknya frekuensi rendah dapat mencapai penetrasi lebih dalam.

Pemodelan data MT dapat menggunakan inversi 1D, 2D dan 3D. Pemodelan inversi 1D dapat memberikan gambaran kasar mengenai penyebaran resistivitas bawah permukaan, meskipun dengan batas tepi yang masih belum akurat dan sempurna (Cumming and Mackie, 2010).

Pemodelan inversi 2D merupakan salah satu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk memperoleh distribusi sifat fisis batuan di bawah permukaan (Qahhar dkk., 2015). Metode yang digunakan adalah NLCG (*NonLinear Conjugate Gradient*) yang dapat secara langsung meminimalisasi problem yang bukan kuadratik, membebaskan kerangka iterasi dan inversi linear (Rody & Mackie, 2001). Metode ini mengevaluasi fungsi *forward* untuk setiap model terbaru. Oleh karena itu, setiap satu kali iterasi pada inversi untuk setiap lintasan menyelesaikan dua atau tiga problem *forward* (Siripunvaraporn, 2012).

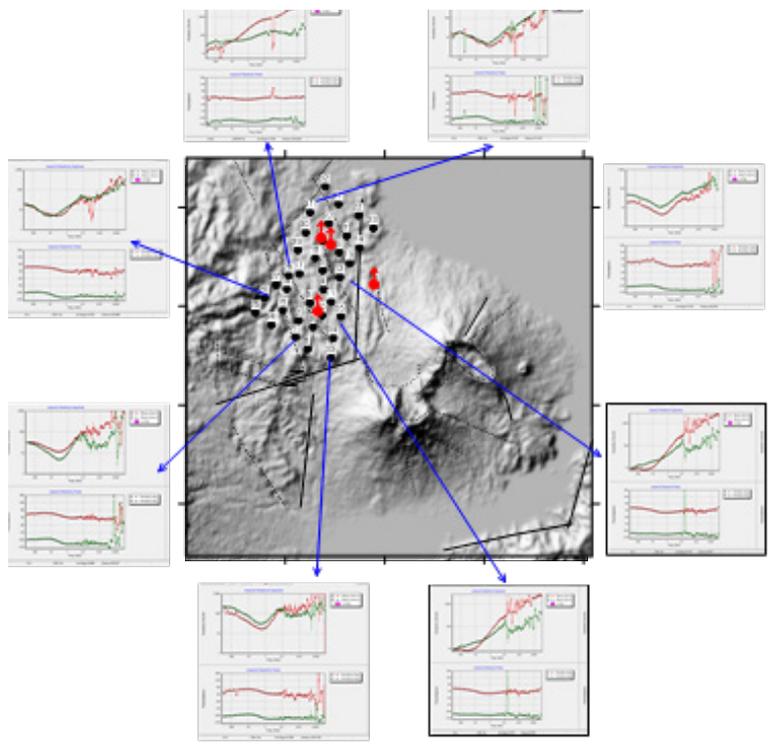
Dari penjelasan ini, dapat diketahui, bahwa inversi 2-Dimensi akan memberikan gambaran kondisi di bawah permukaan.

PENGOLAHAN DATA

Pada pra pengolahan data dan inversi 2D menggunakan komponen data yang diukur dalam akuisisi data yaitu medan magnet

(Hx, Hy dan Hz) dan komponen medan listrik (Ex dan Ey). Sebelum melakukan pemodelan, data terlebih dahulu diproses melalui tahapan penyeleksian data *time series*. Proses pra pengolahan ini menggunakan program *Synchro Time Series Viewer*. Data *time series* MT yang diperoleh pada masing-masing stasiun, diproses menggunakan *statistically robust algorithms* (Jones et al, 1989), dan dilanjutkan pada MT Editor untuk penyeleksian *cross power*. Pada proses ini, rentang frekuensi data magnetotelurik yang diambil mulai dari 320 Hz hingga 0,01 Hz.

Data MT yang digunakan dalam proses pemodelan berasal dari 35 titik ukur. Jarak antar titik ukur berkisar 500 meter hingga 1500 meter dengan sebaran titik melingkupi lokasi mata air panas yang diduga sebagai area keprospekan panas bumi. Kualitas data mayoritas bagus pada frekuensi tinggi (320 Hz) sampai dengan frekuensi sekitar 0,1 Hz. Sedangkan frekuensi < 0,1 Hz kualitas data yang peroleh mulai mendapatkan *noise* (Gambar 4).



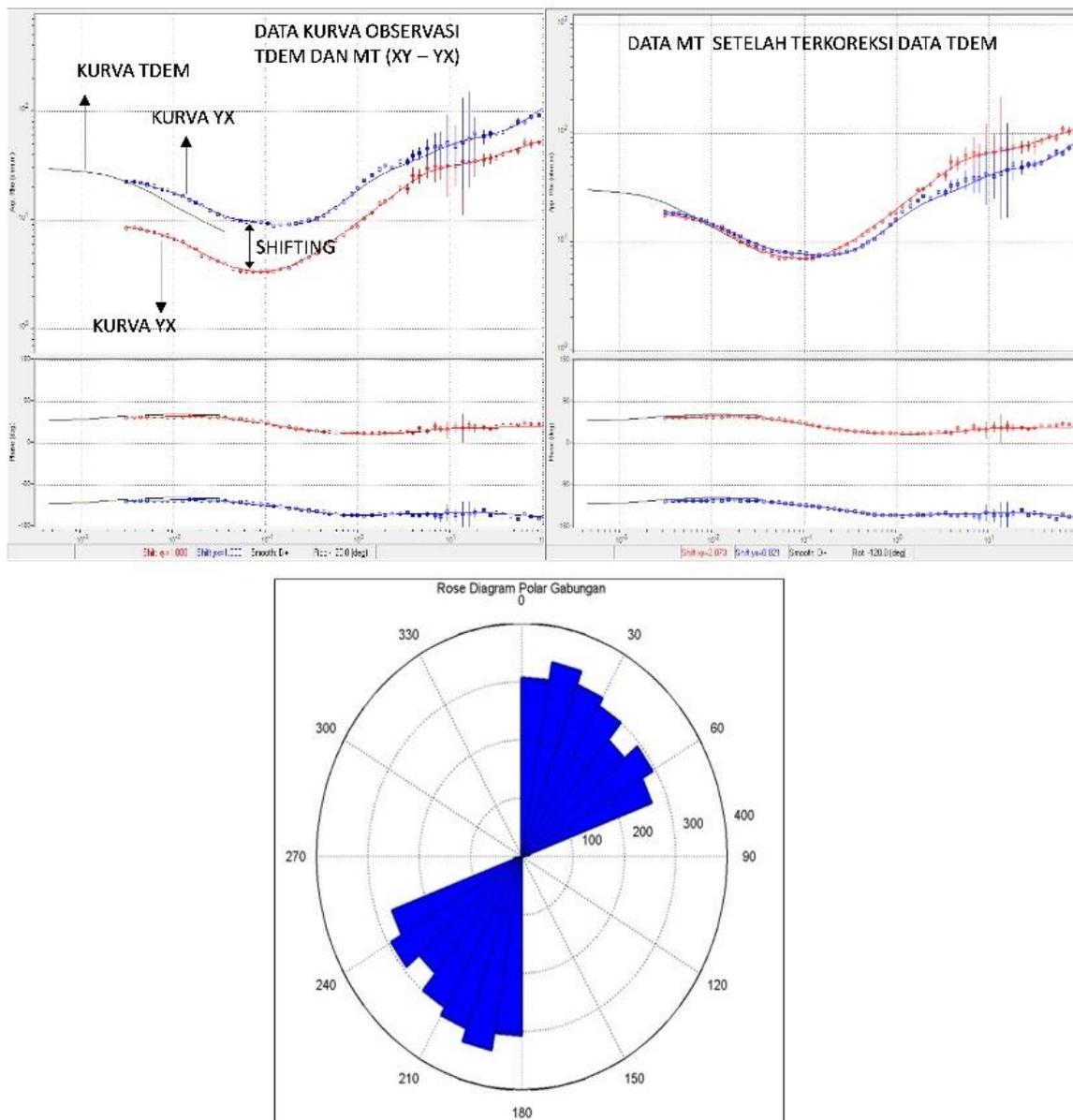
Gambar 4. Sebaran titik dan data MT

Penentuan arah rotasi dilakukan dengan menggunakan metode tensor impedansi. Metode ini menganalisis nilai impedansi yang dihasilkan dari komponen Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} dan Z_{yy} pada semua titik dan frekuensi dalam bentuk *rose diagram*. Arah rotasi hasil analisis menunjukkan rentang arah 0° - 60° atau -120° - 180° dan kemudian dipilih arah -120° .

Untuk mengkoreksi efek statik dari data MT, digunakan data hasil pengolahan metode TDEM. Efek statik ini dapat terjadi, karena beberapa keadaan seperti

heterogenitas batuan di dekat permukaan, *vertical contac*, dan efek topografi. Efek statik ini dapat mengakibatkan terjadinya *shifting splitting* pada kurva MT. Penggunaan data TDEM untuk koreksi dapat menjadi salah satu solusi dalam mengatasi efek statik ini (Gambar 5).

Setelah melalui *editing data* rotasi dan koreksi statik, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan melalui teknik Inversi data 2-Dimensi menggunakan software WinGlink.



Gambar 5. Contoh data MT terkoreksi data TDEM dan penentuan arah rotasi

HASIL PENGOLAHAN DAN DISKUSI

Tahanan jenis semu invarian

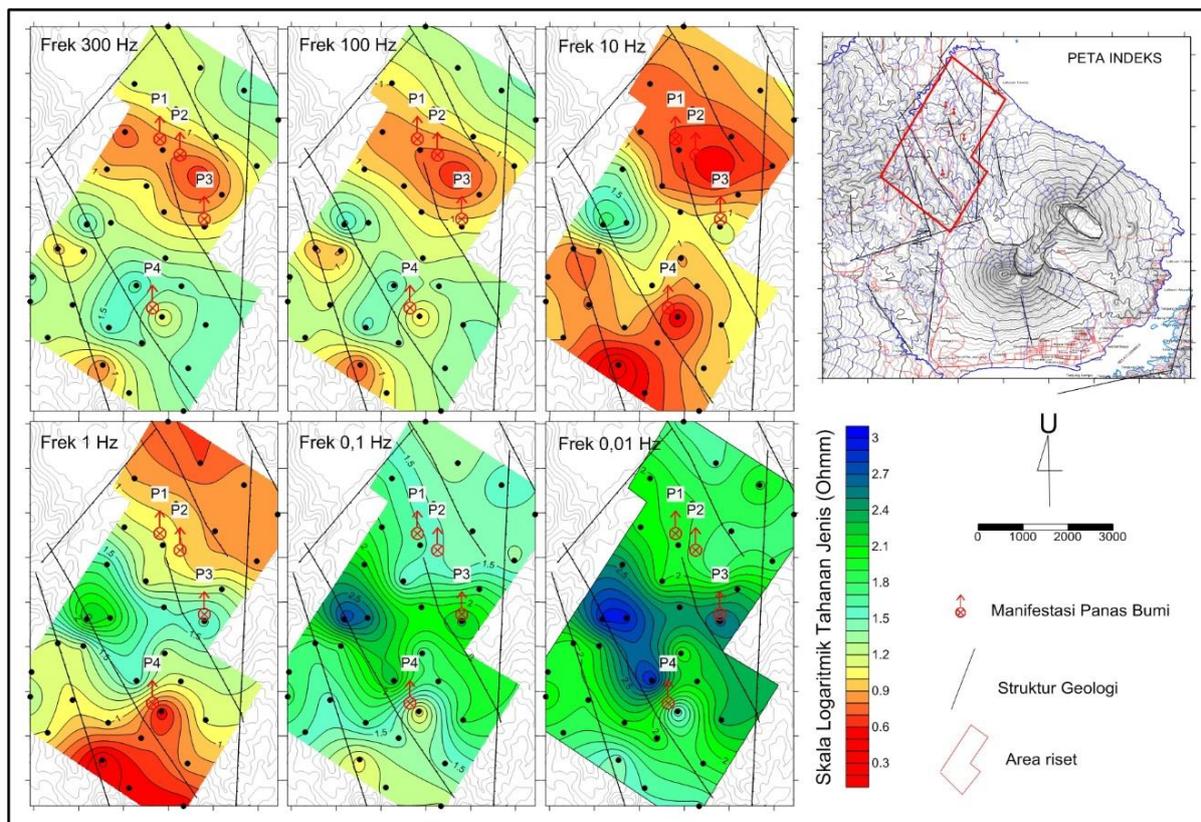
Peta sebaran tahanan jenis semu invarian merupakan kombinasi kurva data observasi dari pengukuran MT. Pada frekuensi tinggi (300 Hz dan 100 Hz) anomali - anomali nilai tahanan jenis rendah < 10 Ohm-m menempati area sekitar munculnya manifestasi panas bumi P1, P2 dan P3 (Gambar 6). Di luar daerah tersebut, nilai tahanan jenis umumnya homogen dengan nilai 30-40 Ohm-m dengan liniasi kontur berarah barat-laut-tenggara di bagian tengah dan utara, sedangkan bagian selatan arah liniasi tidak tegas/teratur.

Zona tahanan jenis rendah di sekitar manifestasi semakin meluas ke arah utara (arah pantai) pada frekuensi 10 Hz dan 1 Hz. Sedangkan area bagian tengah pada kedua frekuensi ini memiliki nilai yang

semakin meninggi dengan tren liniasi berarah barat-laut-tenggara.

Pada frekuensi yang lebih rendah (0,1 Hz dan 0,01 Hz) nilai tahanan jenis tampak semakin seragam antara bagian utara dan selatannya. Nilai tahanan jenis < 10 Ohm-m di sekitar mata air panas juga sudah tidak muncul lagi, dan digantikan oleh nilai tahanan jenis sekitar 30-50 Ohm-m.

Pola sebaran tahanan jenis semu tersebut menggambarkan bahwa, pada kedalaman dangkal (frekuensi tinggi), terdapat sebaran batuan teralterasi di sekitar manifestasi. Di area lain, digambarkan keterdapatn batuan permukaan yang berasal dari produk vulkanik berupa lava dan piroklastik (Anonim, 2013a). Pada kedalaman besar (frekuensi rendah) diperoleh nilai tahanan jenis tinggi dan homogen, diperkirakan sebagai respon terhadap batuan vulkanik yang lebih segar dan masif (Anonim, 2013a).



Gambar 6. Sebaran tahanan jenis semu invarian.

Model tahanan jenis

Sebaran tahanan jenis yang dicuplik pada beberapa variasi kedalaman (Gambar 7) memperlihatkan liniasi kontur yang cenderung berarah barat-laut-tenggara. Liniasi ini mengindikasikan adanya struktur sesar geologi dengan arah yang sama dengan hasil survei geologi (Anonim, 2013a). Tahanan jenis rendah bernilai di bawah 10 Ohm-m muncul di area-area sekitar lokasi munculnya manifestasi panas bumi.

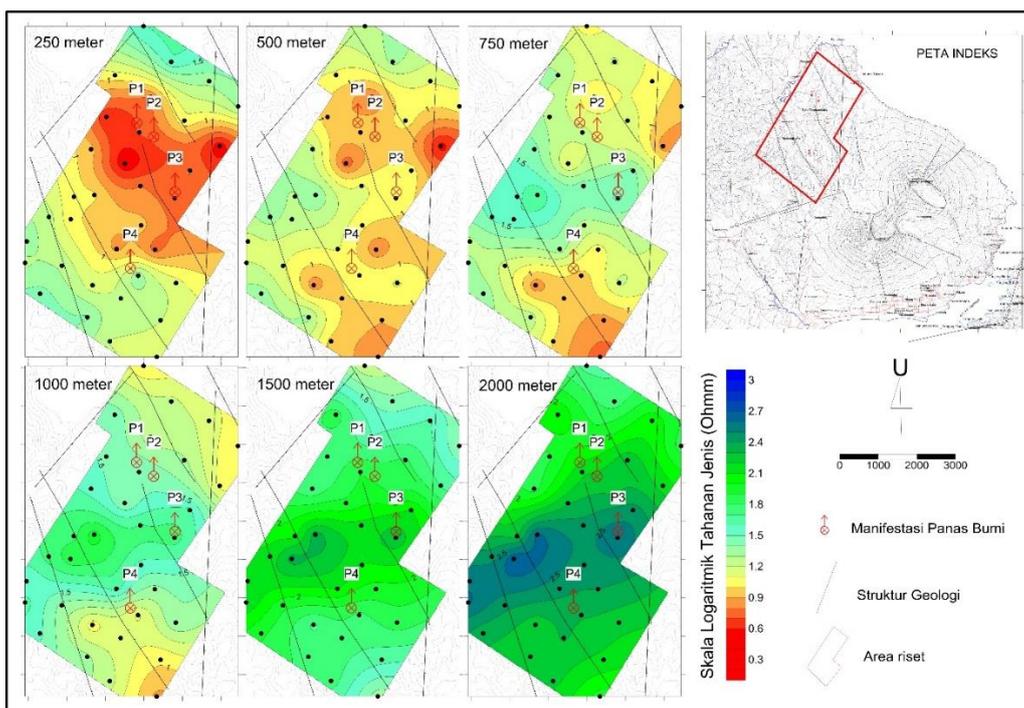
Lapisan batuan bertahanan jenis rendah tersebut diperkirakan respon dari batuan yang teralterasi akibat fluida hidrotermal dan berperan sebagai lapisan penudung (*caprock*). Lapisan batuan teralterasi ini terdeteksi sampai kedalaman sekitar 500 meter hingga 750 meter (Gambar 8).

Lapisan reservoir diduga berada di lapisan batuan bertahanan jenis > 100 Ohm-m yang termodelkan di bawah lapisan bertahanan jenis rendah. Jika dikorelasikan dengan informasi geologi, maka diduga lapisan tersebut tersusun dari batuan vulkanik tua yang lulus air dan sangat mungkin untuk menjadi lapisan reservoir dari sistem panas bumi (Anonim, 2013a).

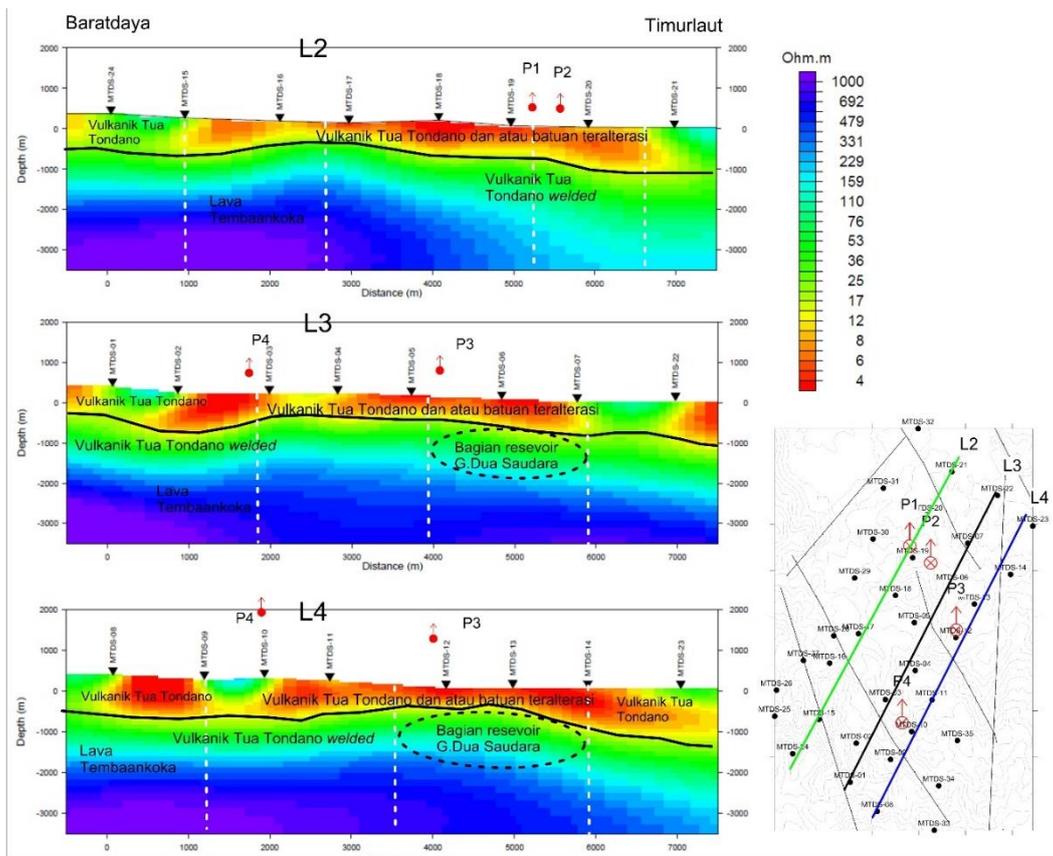
Sedangkan tahanan jenis rendah yang berperan sebagai *caprock* diduga berasosiasi dengan batuan vulkanik tua Tondano berupa batuan piroklastik dan atau batuan-batuan yang lebih muda (vulkanik Dua Saudara dan Tembaankoka) yang teralterasi hidrotermal (Anonim, 2013a).

Zona pengukuran MT diperkirakan berada di zona *outflow* (Anonim, 2013b). Jika area ini diasumsikan zona *outflow*, maka besar kemungkinan reservoir yang termodelkan merupakan ujung lidah dari zona reservoirnya. Zona reservoir ini mulai terdeteksi pada sekitar kedalaman 750 meter hingga 1000 meter dan dibatasi oleh sesar geologi berarah barat-laut-tenggara.

Lapisan bertahanan jenis lebih rendah dari 10 Ohm-m diduga merupakan batuan teralterasi yang berperan sebagai lapisan penudung. Ketebalan lapisan ini berkisar antara 500 meter hingga 750 meter. Lapisan batuan bertahanan jenis sekitar 30-150 Ohm-m diperkirakan sebagai bagian dari reservoir utama. Puncak reservoir di lereng barat ini diperkirakan berada pada kedalaman 750 meter hingga 1000 meter.



Gambar 7. Kompilasi sebaran model tahanan jenis



Gambar 8. Kompilasi penampang model tahanan jenis

KESIMPULAN

Hasil analisis data observasi MT dan pemodelan 2D inversi memperkuat deliniasi area prospek panas bumi, bahwa daerah penelitian atau lereng barat Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko merupakan zona *outflow* sistem panas bumi Dua Saudara. Lapisan *impermeable* di zona *outflow* ini diduga mempunyai ketebalan hingga 750 meter dari permukaan. Sedangkan zona kedalaman puncak reservoir diduga berkisar pada kedalaman 750 meter hingga 1000 meter. Daerah *upflow* diduga ke arah tenggara menuju Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko yang merupakan wilayah konservasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada seluruh kawan-kawan di Bidang Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, terutama Tim

Survei 3G Gunung Dua Saudara atas diskusinya.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2013a, 'Laporan Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Dua Saudara, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara.' Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (*Unpubl. Report*).

Anonim, 2013b, 'Laporan Survei Geofisika Terpadu Daerah Panas Bumi Dua Saudara, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara.' Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (*Unpubl. Report*).

Cagniard, L.,1953. *Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting*. Geophysics 18: 605–645.

- Cumming, & Mackie, R., 2010. *Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D and 3D MT Inversion and TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History*, Proceeding World Geothermal Congress, 2010.
- Daud Y., 2010, *Diktat kuliah: Metode Magnetotelluric (MT)*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Jones, A. G., A. D. Chave, G. Egbert, D. Auld, and K. Bahr, 1989: A comparison of techniques for magnetotelluric response function estimation. *J. Geophys. Res.*, 94, 14201-14213, doi:10.1029/jb094ib10p14201.
- Qahhar A, Daud Y, Pratama S, Zarkasyi A, Sugiyanto A, Suhanto E, 2015, *Modeling of Geothermal Reservoir in Lawu field Using 2-D Inversion of Magnetotelluric Data*, Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition
- Siripunvaraporn, W., G. Egbert, Y. Lenbury, and M. Uyeshima, 2005a: *Three-dimensional magnetotelluric inversion: Data-space method*. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 3D Resistivity Structure in the Chingshui Geothermal Area 281 150, 3-14, doi: 10.1016/j.pepi.2004.08.023.
- Siripunvaraporn W., 2012. *Three-Dimensional Magnetotelluric Inversion: An Introductory Guide for Developers and Users*. *SurvGeophys* 33:5-27.
- Zhdanov, M.S., 2002. *Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems*. Amsterdam: Elsevier.
- Zhdanov, M.S., 2009. *Geophysical Electromagnetic Theory and Methods*. Amsterdam: Elsevier.

Diterima	: 19 Juni 2018
Direvisi	: 21 Juli 2018
Disetujui	: 31 Agustus 2018

KARAKTERISTIK GAMBUT BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN PETROGRAFI ORGANIK DI KABUPATEN INDRAGIRI HILIR, PROVINSI RIAU***THE CHARACTERISTICS OF PEAT BASED ON ANALYSIS OF ORGANIC GEOCHEMISTRY AND PETROGRAPHY IN INDRAGIRI HILIR DISTRICT, RIAU PROVINCE*****Priyono dan Sigit A. Wibisono**Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi
pri_rck@yahoo.com**ABSTRAK**

Gambut merupakan salah satu sumber energi alternatif. Luas lahan gambut Indonesia menempati peringkat keempat di dunia, yaitu sekitar 26 juta hektar. Pemanfaatan dan pengelolaan lahan gambut di Indonesia masih sebatas untuk lahan pertanian dan perkebunan saja, sedangkan pemanfaatan gambut sebagai sumber energi masih belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas gambut sebagai salah satu sumber energi di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Analisis geokimia dan petrografi organik dilakukan terhadap 17 perconton gambut di daerah penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa gambut di daerah penelitian mempunyai nilai kalori 3.098 kal/g s.d. 5.178 kal/g dan termasuk dalam tipe gambut ombrogenus serta diendapkan pada lingkungan yang dipengaruhi pasang surut air (telmatik). Pembentuk gambut didominasi oleh tetumbuhan berbatang lunak (*marginal aquatic/herbaceous*).

Kata kunci: energi, gambut, ombrotropik, geokimia organik dan petrografi organik

ABSTRACT

Peat is one of alternative energy sources. Indonesia's peatland area is recognized in the world of approximately 26 million hectares. The utilization and management of peat moss in Indonesia is still limited to agricultural and plantation land only, while peat utilization as an energy source is still not applied yet. This study aims to determine the characteristics and potential of peat deposits as one source of energy in Indragiri Hilir Regency, Riau Province. Analyses of organic geochemistry and organic petrography were conducted on 17 peat samples in the study area. The results show that peat in the study area has a calorific value of 3,098-5,178 cal/g and is included in ombrogenous peat type and deposited in tidal environments (telmatic). Peat-forming growth is dominated by soft trunk (aquatic marginal/herbaceous).

Keywords: source, peat, ombrotrophic, organic geochemistry and organic petrography

PENDAHULUAN

Gambut merupakan sedimen yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi, berasal dari akumulasi sisa-sisa tetumbuhan yang mengalami humifikasi dalam kondisi tanpa udara, umumnya berada di bawah air, mempunyai kandungan air $\geq 75\%$ berat dan kandungan karbon $\leq 60\%$ berat dalam kondisi kering,

bersifat tidak padat serta dapat terbakar (Angayana, 2002)

Gambut mempunyai potensi sebagai salah satu sumber energi alternatif. Komponen organik dalam gambut yang berupa karbon merupakan komponen yang mempunyai peranan penting dalam pemanfaatan dan pengelolaan gambut sebagai sumber energi.

Menurut Moore (1987), gambut dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan lingkungan pembentuknya, yaitu: ombrogenus dan topogenus. Tipe ombrogenus merupakan gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi oleh air hujan, sehingga miskin mineral dan unsur hara, sedangkan topogenus adalah gambut yang terbentuk pada daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut air sungai atau laut, sehingga kaya akan mineral dan unsur hara lainnya. Umumnya, tingkat kesuburan gambut topogenus lebih subur dibandingkan gambut ombrogenus, karena nutrisi yang didapatkan berasal dari air sungai atau air laut yang merupakan tempat hidup berbagai jenis makhluk yang hidup di lingkungan air.

Berdasarkan data Agus dan Subiksa (2008), lahan gambut di dunia mencapai 420 juta hektar yang tersebar di beberapa negara, antara lain, Kanada, Rusia, Amerika Serikat, Indonesia, Finlandia, Swedia, Cina, Irlandia. Indonesia menempati peringkat keempat dengan luas lahan gambut mencapai 26 juta hektar atau sekitar 6,19% dari total jumlah luas lahan gambut di dunia (Tabel 1).

Sebagian besar lahan gambut di Indonesia tersebar di Pulau Sumatra dan Pulau Kalimantan. Pemanfaatan gambut di Indonesia saat ini masih sebatas untuk lahan pertanian dan perkebunan, sedangkan pemanfaatan gambut sebagai sumber energi masih belum dilakukan. Menurut Ritung dkk. (2011), Sumatra mempunyai lahan gambut terluas, yaitu 6.436.649 hektar atau 24,76% dari luas lahan gambut Indonesia (Agus dan Subiksa, 2008), sedangkan menurut hasil kegiatan penyelidikan dan kajian yang telah dilakukan oleh Badan Geologi (2017) menyatakan bahwa luas lahan gambut Pulau Sumatra yang berpotensi menghasilkan energi adalah sebesar 1.498.833 atau sekitar 23,29% total lahan gambut di Pulau Sumatra.

Tabel 1. Luas lahan gambut dunia (Agus dan Subiksa, 2008).

Luas Lahan Gambut Dunia	
Negara	Luas, juta ha
Kanada	170,0
Rusia	150,0
Amerika Serikat	40,0
Indonesia	26,0
Finlandia	10,0
Swedia	7,0
Cina	3,5
Irlandia	1,2
Lain-lain	12,3
Total	420,0

Maksud penelitian ini adalah melakukan analisis geokimia dan petrografi organik terhadap beberapa percontong gambut yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik gambut di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau.

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau, sedangkan berdasarkan batas koordinat geografis terletak pada 102°35'00"-103°50'00" BT dan 00°30'00"-00°55'00" LS (Gambar 1).

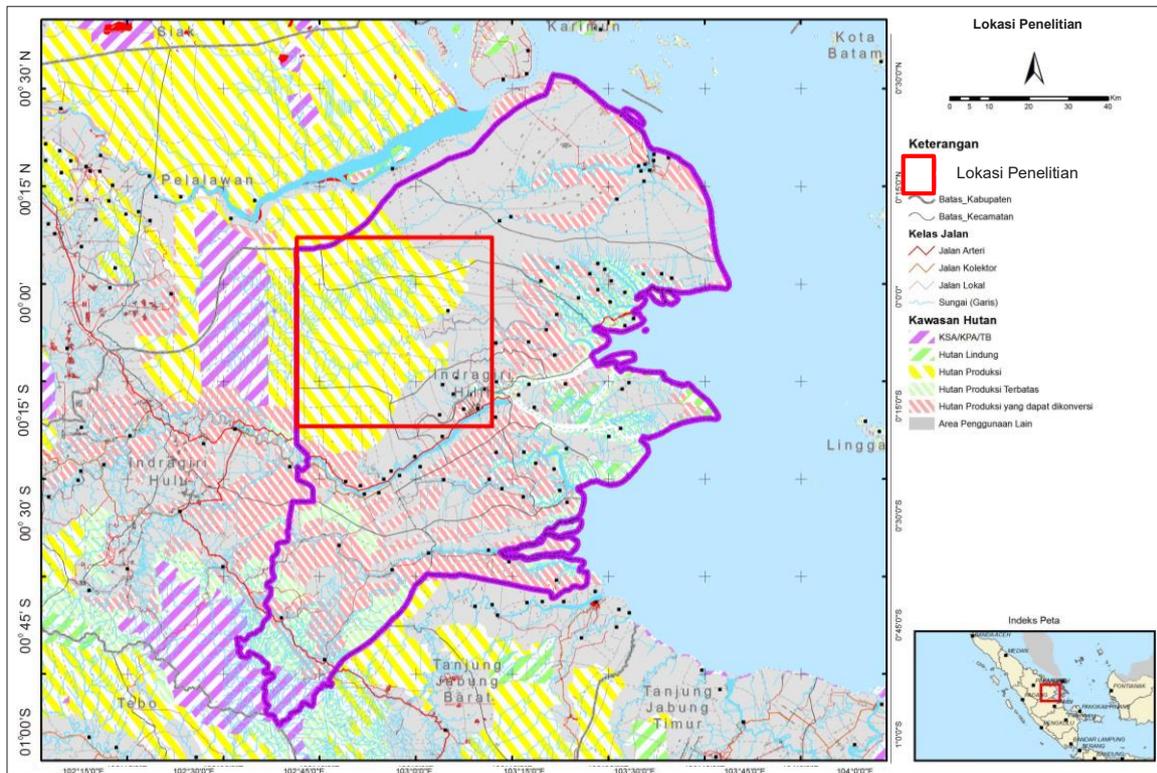
GEOLOGI

Daerah penelitian termasuk dalam peta geologi Lembar Rengat yang merupakan bagian dari tektonik regional Pulau Sumatra (Gambar 2).

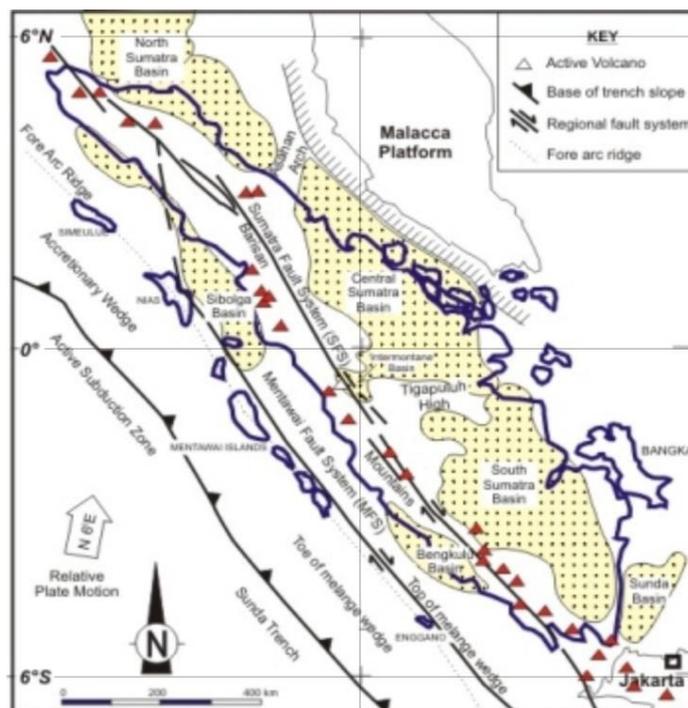
Batuan tertua yang terdapat pada Lembar Rengat adalah batuan berumur Pra-Tersier, yang tersingkap di sekitar Kepulauan Karimun, terletak di sebelah timur Kabupaten Pelalawan, terdiri dari batuan metakuarsit, granit, dan tufa, sedangkan batuan yang berumur Tersier umumnya terdiri dari batuan sedimen yang terdiri dari batupasir, batulempung, batubara, dan sebagainya. Pada Zaman Kuartar diendapkan Formasi Minas berumur Plistosen Bawah, Aluvium Tua berumur Plistosen Atas, dan Aluvium berumur Holosen. Formasi Minas bagian atas di beberapa tempat diketahui sebagai

Formasi Kerumutan, sedangkan Aluvium terdiri dari endapan pasir, lempung, sisa-sisa tumbuhan, dan gambut yang diendapkan dalam lingkungan paralik sampai fluvial (Suwarna dkk., 1995).

Batuan yang terdapat di daerah penelitian hanya berupa aluvium berumur Holosen, yang hampir seluruhnya didominasi oleh gambut (Suwarna dkk., 1995; Tabel 2).



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Tektonik Regional Pulau Sumatra (de Coster, 1974).

Tabel 2. Stratigrafi endapan gambut di daerah penelitian (Suwarna dkk., 1995)

Zaman	Kala	Formasi	Litologi	Lingkungan Pengendapan
Kwartter	Holosen	Aluvium	Gambut, sisa tumbuhan, lempung, lanau, kerikil kecil, dan koral	Paralik
	Plistosen Atas	Aluvium Tua	Sisa tumbuhan, lempung, lanau, pasir, dan kerikil lempungan	Paralik - Fluvial
	Plistosen Bawah	Minas	Batulumpur lunak, berurat kaolin, batulanau, pasir, dan kerikil	Fluvial
Tersier	Pliosen	Petani	Batulumpur karbonan bioturbit, berhorizon tufaan, dan lapisan batubara	Darat - Laut

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data yang berasal dari 17 perconto gambut hasil kegiatan penyelidikan lapangan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. Metodologi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas gambut adalah dengan melakukan analisis geokimia dan petrografi organik. Proses analisis geokimia dan petrografi organik dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral dan Batubara Bandung.

Analisis geokimia organik meliputi analisis proksimat dan ultimat. Analisis proksimat bertujuan untuk mengetahui kandungan air bebas (*free moisture*), air total (*total moisture*), air terikat (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), sulfur (*sulphur*), abu (*ash*), dan nilai kalori (*calorific value*). Analisis ultimat bertujuan untuk mengidentifikasi unsur-unsur kimia yang terdapat pada gambut, yang meliputi karbon, oksigen, hidrogen, sulfur, dan nitrogen. Fokus kedua analisis ini adalah untuk mengetahui peringkat, tipe dan kandungan mineral gambut di daerah penelitian. Hasil kedua analisis ini dinyatakan dalam satuan persen.

Seluruh perconto yang dianalisis di laboratorium menggunakan tiga basis,

yaitu: adb (*air dried base*), daf (*dry ash free*), dan ar (*as received*). Adb adalah kondisi perconto yang mempunyai kadar kelembapan yang mirip dengan kelembapan udara sekitar, daf merupakan kondisi perconto yang diasumsikan kelembapan dan kadar abu telah dihilangkan. Ar adalah keadaan perconto yang dianalisis mempunyai kondisi yang sama pada saat diterima di laboratorium. Kedua analisis tersebut menggunakan alat Leco CHN 2000, Leco TGA 601, dan Leco SC 632.

Analisis petrografi organik terdiri atas pengukuran komposisi maseral dan mineral serta reflektansi vitrinit. Analisis tersebut menggunakan mikroskop Carl Zeiss Axioplan yang terhubung dengan komputer yang didukung alat penghitung digital. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi lingkungan tempat terbentuknya gambut atau lingkungan pengendapan gambut.

HASIL

Analisis Proksimat Gambut

Hasil analisis proksimat (Tabel 3) menunjukkan bahwa kandungan air bebas dan air total pada 17 perconto berkisar 81,30% s.d. 89,61% (ar).

Hasil analisis nilai kalori terhadap 17 perconto gambut berkisar 3.098 kal/g s.d.

5.178 kal/g. Terdapat tiga perconto yang mempunyai nilai kalori kurang dari 4.000 kal/g, yaitu perconto GTB-05, GTC-07, dan GTC-03. Hal ini disebabkan karena kandungan abu pada ketiga perconto tersebut cenderung lebih besar dibandingkan perconto lainnya.

Kadar sulfur pada 17 perconto gambut relatif rendah, berkisar 0,20% s.d. 1,03%. Kandungan sulfur yang relatif rendah berasal dari material tumbuhan asal pembentuk gambut dan tidak dipengaruhi oleh air laut (Chou, 2012).

Menurut Chou (2012), kandungan sulfur dalam batubara secara umum dapat digunakan sebagai salah satu indikator lingkungan pengendapan batubara. Selain itu, Chou (2012) mengelompokkan kandungan sulfur dalam batubara menjadi tiga kelompok, yaitu rendah (<1%), sedang (1-3%), dan tinggi (>3%).

Analisis Ultimat Gambut

Analisis ultimat dilakukan terhadap 17

perconto gambut pada daerah penelitian (Tabel 4). Hasil analisis tersebut menunjukkan nilai unsur karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen yang relatif sama untuk setiap perconto teranalisis. Unsur karbon berkisar 57,03% s.d. 62,22%, yang menunjukkan bahwa gambut mempunyai unsur karbon relatif ≤60%. Selain itu, unsur oksigen mempunyai nilai yang relatif tinggi berkisar 30,78% s.d. 35,55% yang mengindikasikan bahwa gambut mempunyai kandungan unsur hara dan oksigen yang relatif tinggi.

Analisis Petrografi Gambut

Hasil analisis petrografi organik (Tabel 5) meliputi pengukuran nilai reflektansi vitrinit, komposisi maseral dan mineral.

Hasil pengukuran reflektansi vitrinit rata% s.d. rata (*random*) perconto teranalisis berkisar 0,07% s.d. 0,17%, Pengukuran reflektansi vitrinit sebagian besar dilakukan sebanyak 100 kali dengan nilai standar deviasi berkisar 0,02% s.d. 0,04.

Tabel 3. Hasil analisis proksimat gambut di daerah penelitian

Kode Perconto	Parameter Analisis									
	Air bebas, %(ar)	Air total, %(ar)	Air, % (adb)	Zat terbang, % (adb)	Karbon tertam bat, % (adb)	Abu, % (adb)	Sulfur total, % (adb)	pH	Densitas m ³ /ton	Nilai kalori, kal/g (adb)
GT-01	83,67	85,09	8,67	59,10	29,56	2,67	0,24	4,22	0,17	5.178
GT-02	86,01	87,28	9,10	53,71	27,80	9,39	0,67	4,42	0,13	4.580
GT-03	86,71	87,76	7,91	51,46	22,91	17,72	0,43	4,04	0,12	4.382
GT-05	88,46	89,72	10,90	52,01	27,03	10,06	0,37	4,63	0,10	4.452
GT-06	87,82	89,26	11,80	55,31	30,19	2,70	0,34	4,20	0,10	4.823
GT-07	86,53	87,99	10,86	55,41	29,19	4,54	0,30	4,00	0,12	4.767
GT-13	87,86	89,06	9,87	57,70	31,14	1,29	0,24	6,30	0,11	5.099
GTB-04	86,30	87,73	10,43	57,54	30,44	1,59	0,19	4,23	0,11	5.004
GTB-05	83,72	84,96	7,63	38,76	15,76	37,85	0,85	5,03	0,14	3.098
GTB-09	84,60	86,20	10,38	57,30	30,93	1,39	0,22	3,97	0,14	5.053
GTB-10	87,47	88,77	10,40	56,44	30,84	2,32	0,38	3,95	0,11	4.922
GTC-03	81,30	83,83	13,55	46,52	23,56	16,37	1,03	3,54	0,17	3.933
GTC-04	85,48	86,10	10,46	56,69	30,59	2,26	0,31	3,88	0,14	5.017
GTC-05	87,13	88,51	10,70	54,33	30,57	4,40	0,22	3,61	0,13	4.796
GTC-06	88,33	89,61	10,99	57,09	29,78	2,14	0,43	3,84	0,13	4.921
GTC-07	83,32	84,89	9,42	43,06	21,71	25,81	0,75	4,13	0,19	3.619
GTC-08	86,47	87,88	10,42	57,22	31,22	1,14	0,20	4,16	0,12	5.001

Tabel 4. Hasil analisis ultimat gambut di daerah penelitian.

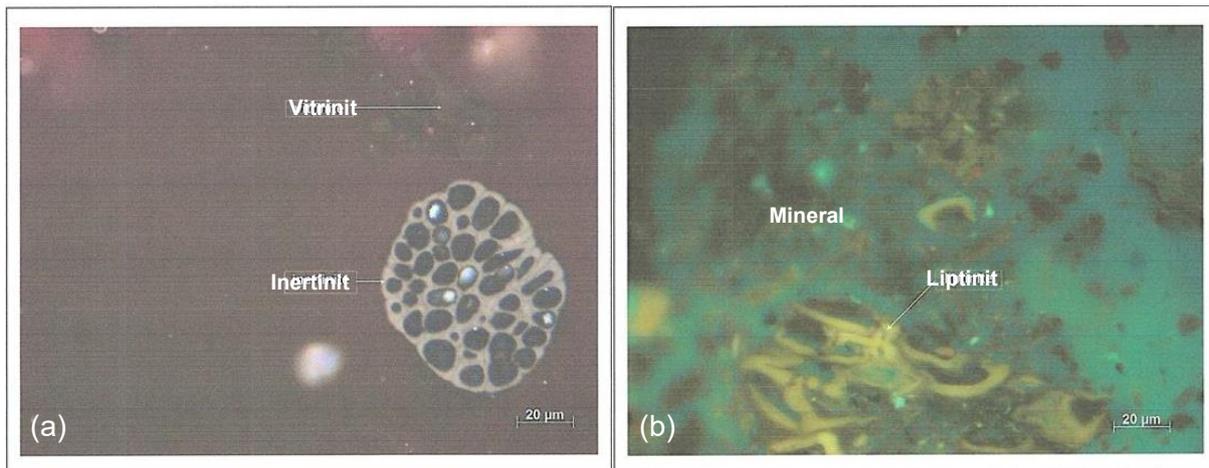
Kode Perconto	Parameter Analisis				
	Karbon, % (daf)	Hidrogen, % (daf)	Nitrogen, %(daf)	Sulfur, % (daf)	Oksigen, % (daf)
GT-01	62,22	5,50	1,22	0,27	30,78
GT-02	57,84	5,06	1,20	0,82	35,09
GT-03	59,42	5,73	1,24	0,58	33,03
GT-05	57,79	5,06	1,13	0,47	35,55
GT-06	59,51	4,89	0,99	0,39	34,21
GT-07	58,92	5,02	1,23	0,36	34,46
GT-13	59,71	4,96	0,92	0,27	34,14
GTB-04	59,99	5,00	0,99	0,22	33,80
GTB-05	55,91	5,95	1,34	1,56	35,24
GTB-09	59,70	4,87	0,92	0,25	34,25
GTB-10	59,07	4,87	0,96	0,44	34,66
GTC-03	58,25	5,14	1,03	1,46	34,11
GTC-04	60,15	5,02	0,97	0,36	33,50
GTC-05	59,31	4,91	0,87	0,26	34,65
GTC-06	59,14	5,05	0,98	0,50	34,33
GTC-07	57,03	5,40	1,10	1,16	35,31
GTC-08	59,47	4,89	0,85	0,23	34,57

Tabel 5. Hasil pengukuran reflektansi vitrinit dan komposisi kelompok maseral serta bahan mineral gambut di daerah penelitian.

Kode Perconto	Parameter Analisis		
	Nilai Rata-Rata Vitrinit Reflektansi (% Rv Random)	Kisaran	Standar Deviasi
GT-01	0,07	0,02 - 0,13	0,03
GT-02	0,09	0,05 - 0,13	0,02
GT-03	0,08	0,00 - 0,15	0,04
GT-05	0,12	0,07 - 0,17	0,02
GT-06	0,15	0,06 - 0,22	0,04
GT-07	0,10	0,05 - 0,18	0,02
GT-13	0,07	0,03 - 0,12	0,02
GTB-04	-	-	-
GTB-05	0,10	0,04 - 0,17	0,03
GTB-09	-	-	-
GTB-10	0,17	0,10 - 0,23	0,04
GTC-03	0,14	0,07 - 0,19	0,03
GTC-04	0,10	0,07 - 0,14	0,02
GTC-05	0,11	0,04 - 0,18	0,03
GTC-06	0,10	0,06 - 0,14	0,02
GTC-07	0,08	0,03 - 0,14	0,03
GTC-08	0,12	0,06 - 0,15	0,02

Pengukuran komposisi maseral perconto gambut hanya dilakukan terhadap 7 perconto gambut di daerah penelitian. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa material organik dalam seluruh perconto teranalisis didominasi oleh dua kelompok maseral, yaitu huminit dan inertinit. Komposisi huminit berkisar 38,43% s.d. 48,98% (Gambar 3a), sedangkan inertinit berkisar 24,84% s.d. 46,56% (Gambar 3b). Komposisi kelompok maseral liptinit hanya berkisar 9,00% s.d. 21,48% (Gambar 3b) (Tabel 6).

Komposisi huminit terdiri atas subkelompok maseral humotelinit berkisar 9,52% s.d. 17,52%, humodetrinit 17,00% s.d. 25,50%, dan humokolinit 5,15% s.d. 12,67%. Komposisi inertinit meliputi subkelompok telo% s.d. inertinit berkisar 20,81% s.d. 34,00%, detro% s.d. inertinit berkisar 3,36% s.d. 10,54%, dan gelo% s.d. inertinit berkisar 0,00% s.d. 2,34%, sedangkan komposisi liptinit hanya terdiri atas resinit berkisar 3,17% s.d. 17,11%, kutinit berkisar 1,00% s.d. 3,44%, sporinit berkisar 0,70% s.d. 3,78%, liptodetrinit berkisar 0,00% s.d. 1,06%, dan eksudatinit berkisar 1,36% s.d. 1,72%.



Gambar 3. (a) vitrinit/huminit dan inertinit pada perontoh GT-07, (b) Liptinit pada percontto GTC-08

Tabel 6. Komposisi maseral gambut di daerah penelitian

Komposisi Petrografi	Kode Sampel						
	GT-01	GT-02	GT-03	GT-05	GT-06	GT-07	GT-13
Maseral (Vol. %)							
Tekstinit	7,48	9,73	10,65	9,00	10,03	11,97	9,67
Ulminit	2,04	4,36	6,87	5,67	5,35	4,93	5,00
(Total Humotelinit)	9,52	14,09	17,52	14,67	15,38	16,90	14,67
Atrinit	18,37	25,50	18,21	17,00	24,75	25,35	23,67
Densinit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Total Humodetrinit)	18,37	25,50	18,21	17,00	24,75	25,35	23,67
Korpohuminit	7,82	7,38	4,12	9,67	6,02	4,58	5,00
Gelinit	2,72	2,01	1,03	3,00	1,00	1,06	2,33
(Total Humokolinit)	10,54	9,39	5,15	12,67	7,02	5,64	7,33
Total Huminit	38,43	48,98	40,88	44,34	47,15	47,89	45,67
Fusinit	15,65	11,41	10,65	23,00	17,06	11,27	8,33
Semifusinit	14,29	5,37	8,25	10,00	15,72	8,45	7,33
Funginit	3,74	4,03	2,06	1,00	0,00	1,76	8,33
(Total Telo-inertinit)	33,68	20,81	20,96	34,00	32,78	21,48	23,99
Inertodetrinit	10,54	3,36	9,62	5,00	6,69	4,23	4,00
Mikrinit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Total Detro-inertinit)	10,54	3,36	9,62	5,00	6,69	4,23	4,00
Skelrotinit	2,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00
Makrinit	0,34	0,67	1,38	0,67	0,00	0,00	0,67
(Total Geloinertinit)	2,34	0,67	1,38	0,67	0,33	0,00	0,67
Total Inertinit	46,56	24,84	31,96	39,67	39,80	25,71	28,66
Resinit	7,82	17,11	7,22	8,67	7,02	3,17	3,67
Kutinit	1,36	3,36	3,44	1,33	1,00	1,76	3,00
Sporinit	2,38	1,01	3,78	0,33	0,67	0,70	2,33
Alginit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suberinit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Liptodetrinit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00
Eksudatinit	1,36	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Liptinit	12,92	21,48	16,16	10,33	8,69	6,69	9,00
(Total Maseral)	97,91	95,30	89,00	94,34	95,64	80,29	83,33
(Total Mineral)	2,19	4,70	11,00	5,66	4,36	19,71	16,67

Menurut Diessel (1992), lingkungan pengendapan atau tempat terbentuknya gambut dapat dibedakan menjadi 4 (empat), yaitu limnik, telmatik, payau, dan kaya akan kalsium. Lingkungan limnik menghasilkan lahan gambut yang terbentuk di bawah air rawa, sedangkan telmatik adalah lingkungan dengan batas air pada lahan gambut dipengaruhi oleh pasang surut air. Lingkungan payau dan kaya akan kalsium umumnya menghasilkan gambut yang kaya akan sulfur, abu, fosil laut, nitrogen, dan kalsium.

Diessel (1992) menyatakan bahwa indeks jaringan terawetkan (TPI) merupakan perbandingan antara struktur jaringan yang terawetkan dengan struktur jaringan yang tidak terawetkan, sedangkan indeks gelifikasi (GI) merupakan perbandingan antara material organik yang terbentuk akibat proses gelifikasi dengan material organik yang terbentuk karena proses oksidasi dan berhubungan dengan kontinuitas kelembapan pada suatu lahan gambut.

Derajat humifikasi yang terjadi pada lahan gambut dapat dibuktikan dengan nilai TPI dan GI. Nilai TPI dan GI dapat digunakan untuk menentukan lingkungan pengendapan dan perkiraan derajat dekomposisi gambut (Diessel, 1992).

Perhitungan nilai TPI dan GI gambut di daerah penelitian menggunakan persamaan TPI dan GI dari Diessel (1992) yang telah dimodifikasi oleh Amijaya dan Littke (2005) untuk klasifikasi batubara peringkat rendah (*brown coal*), sebagai berikut:

$$TPI = \frac{\text{Humotelinit} + \text{Telo inertinit}}{\text{Humodetrinit} + \text{Humokolinit} + \text{Inertodetrinit} + \text{Gelo-inertinit}} \quad (1)$$

$$GI = \frac{\text{Huminit} + \text{Gelo-inertinit}}{\text{Inertinit (kecuali Makrinit dan Sekretinit)}} \quad (2)$$

Hasil perhitungan nilai TPI dan GI dengan menggunakan persamaan di atas dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil perhitungan nilai TPI pada 7 (tujuh) perconto gambut di daerah penelitian memiliki nilai bervariasi,

berkisar 1,04 s.d. 1,38 dengan nilai rata-rata 1,18. Pada umumnya, perhitungan nilai TPI setiap perconto gambut di daerah penelitian menunjukkan nilai yang relatif sama, sedangkan nilai GI untuk setiap perconto gambut berkisar 1,04-1,73, dengan nilai rata-rata 1,41.

Tabel 7. Hasil perhitungan TPI dan GI di daerah penelitian.

No. Perconto	TPI	GI
GT-01	1,17	1,04
GT-02	1,04	1,72
GT-03	1,12	1,38
GT-05	1,38	1,15
GT-06	1,25	1,20
GT-07	1,21	1,73
GT-13	1,08	1,66

Indeks air tanah (GWI) didefinisikan sebagai perbandingan antara jaringan dengan tingkat gelifikasi besar terhadap jaringan yang mengalami gelifikasi kecil. Nilai GWI digunakan untuk menunjukkan tingkat gelifikasi yang mengindikasikan keadaan pH dan suplai air pada suatu lahan gambut (Calder dkk., 1991).

Perhitungan nilai GWI dan VI gambut di daerah penelitian mengadopsi persamaan GWI dan VI dari Diessel (1992) yang telah dimodifikasi oleh Amijaya dan Littke (2005) untuk klasifikasi batubara peringkat rendah sebagai berikut:

$$GWI = \frac{\text{Korpegelinit} + \text{Material Mineral}}{\text{Telinit} + \text{Kolotelinit} + \text{Detrovitrit}} \quad (3)$$

Indeks vegetasi (VI) digunakan sebagai petunjuk dalam menentukan asal pembentukan lahan gambut (Calder *et al.*, 1991). Perhitungan nilai VI menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$VI = \frac{\text{Telovitrit} + \text{Semifusinit} + \text{Fusinit} + \text{Suberinit} + \text{Resinit}}{\text{Detrovitrit} + \text{Inertodetrinit} + \text{Liptodetrinit} + \text{Sporinit} + \text{Kutinit} + \text{Algininit}} \quad (4)$$

Perhitungan nilai GWI dan VI terhadap 7 (tujuh) perconto gambut ditunjukkan pada Tabel 8. Berdasarkan hasil perhitungan GWI untuk setiap perconto gambut di daerah penelitian mempunyai nilai yang bervariasi berkisar antara 0,29-0,66 dengan nilai rata-rata 0,56, sedangkan VI

untuk setiap perconto tersebut menunjukkan berkisar 1,03-2,38 dengan nilai rata-rata 1,49.

Tabel 8. Hasil perhitungan GWI dan VI di daerah penelitian.

No. Perconto	GWI	VI
GT-01	0,63	1,55
GT-02	0,65	1,17
GT-03	0,45	1,25
GT-05	0,58	2,38
GT-06	0,29	1,67
GT-07	0,66	1,40
GT-13	0,63	1,03

PEMBAHASAN

Karakteristik Gambut

Kenampakan megaskopis gambut di daerah penelitian sebagai berikut:

Warna, warna endapan gambut yang terdapat dekat permukaan, setempat dijumpai berwarna coklat muda sampai kehitaman. Warna hitam diperkirakan karena pengaruh dari terbakarnya material pembentuk gambut di permukaan, derajat pembusukan, dan kandungan zat organik.

Derajat pembusukan (H), derajat pembusukan gambut di daerah penelitian menurut skala van Post berkisar H3-H5 (gambut yang mengalami

pembusukan rendah-sedang) dan mempunyai tipe hemik dengan kandungan serat 38% s.d. 45%.

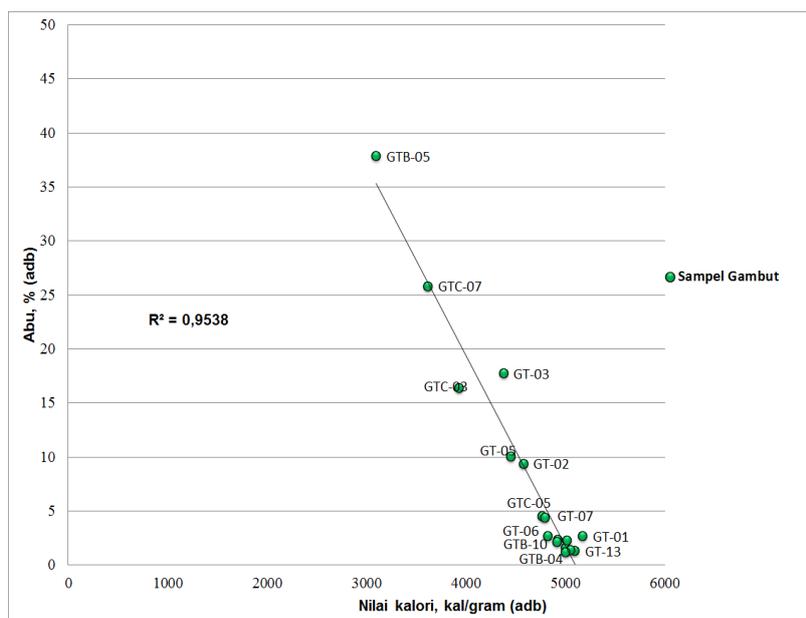
Kandungan kayu (W), kandungan kayu dalam gambut di daerah penelitian berkisar 5% s.d. 10%.

Kandungan akar (R), kandungan akar dalam gambut di daerah penelitian berkisar 10% s.d. 15%.

Kandungan daun, kandungan daun dari gambut tersebut berkisar 5% s.d. 7%.

Kandungan air (M), kondisi kandungan air atau kelembapan gambut agak kering. Hal tersebut menunjukkan gambut di daerah penelitian mempunyai drainase dan berada di atas muka air tanah.

Hasil analisis proksimat terhadap seluruh perconto gambut di daerah penelitian menunjukkan bahwa kandungan abu akan memengaruhi nilai kalori gambut. Kandungan abu yang relatif tinggi akan menurunkan nilai kalori gambut, demikian pula sebaliknya. Sebagai contoh, pada perconto gambut GTB-05 mempunyai kandungan abu paling tinggi, yaitu 37,85%, hanya mempunyai nilai kalori 3.098 kal/g (Gambar 4).



Gambar 4. Plot nilai kalor terhadap kadar abu perconto gambut di daerah penelitian

Berdasarkan klasifikasi ASTM, diketahui bahwa gambut mempunyai nilai reflektansi vitrinit berkisar 0,00% s.d. 0,23% dan kandungan zat terbang dalam daf berkisar 65% s.d. 70%. Hasil analisis menunjukkan bahwa perconto gambut di daerah penelitian mempunyai nilai reflektansi vitrinit berkisar 0,07% s.d. 0,15% dan kandungan zat terbang 64% s.d. 71% yang menunjukkan bahwa seluruh perconto teranalisis termasuk dalam peringkat gambut (Gambar 5).

Kandungan pH seluruh perconto teranalisis berkisar 3,54 s.d. 5,03 (Tabel 3) yang menunjukkan bahwa gambut di daerah penelitian bersifat asam (<7) yang mengindikasikan tipe gambut ombrotropik atau ombrogenus (Moore, 1987). Selain itu, berdasarkan hasil analisis, komposisi kelompok maseral didominasi oleh huminit yang mengindikasikan bahwa gambut di daerah penelitian terbentuk di lingkungan rawa hutan basah (*wet forest swamp*) (Diessel, 1992).

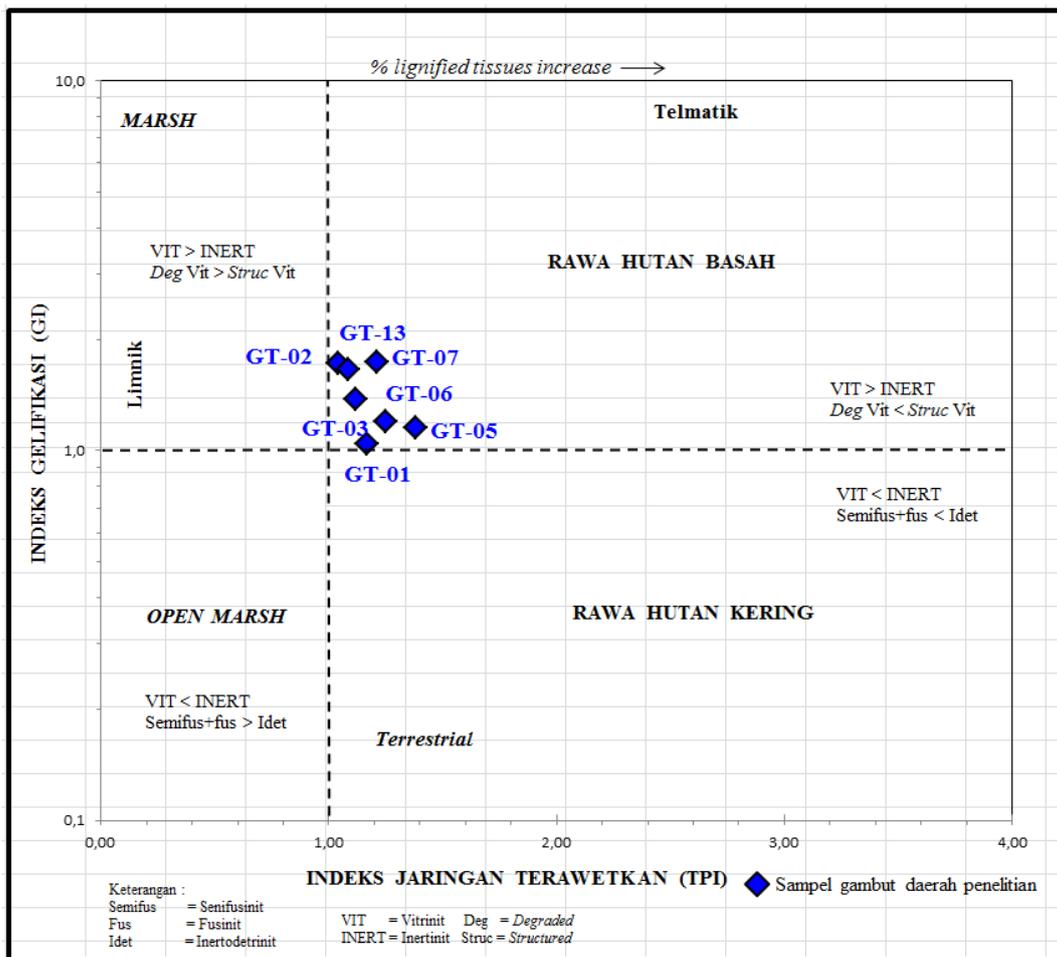
Peringkat Batubara	Reflektansi Vitrinit (VRo%)	Nilai Panas BTU/lb (daf)	Zat Terbang (daf)
Gambut	0,23		(70)
Lignit	A	8.300	(60)
	B	8.300	
Sub-Bituminus	C	9.500	50
	B	10.500	
	A	11.500	
Bituminus	C	13.000	40
	B	14.000	
	A	14.250	
Zat Terbang tinggi	1,11	15.000	
Bituminus Zat Terbang sedang	1,60		30
Bituminus Zat Terbang rendah	2,04		20
Semi - Antrasit	2,40		10
Antrasit	2,40		
Meta - Antrasit	5,0		
Graposit			00

Gambar 5. Peringkat perconto teranalisis berdasarkan klasifikasi ASTM (1986)

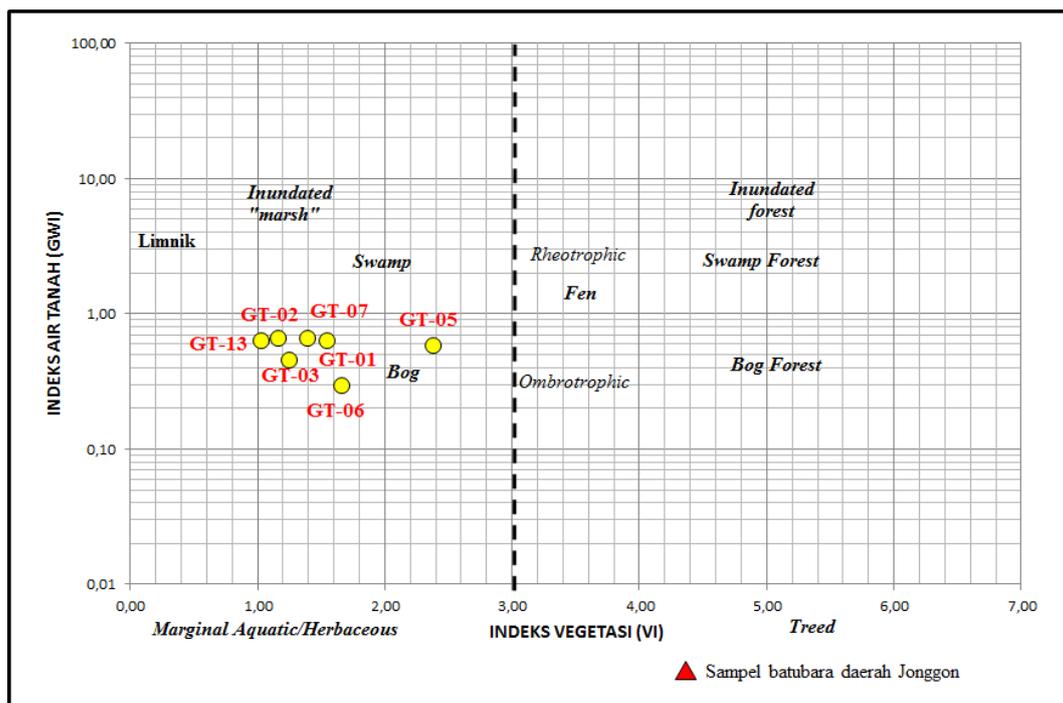
Hasil plot silang antara nilai TPI dan GI dalam diagram Lamberson dkk. (1991) mengindikasikan bahwa seluruh perconto gambut di daerah penelitian diendapkan pada lingkungan rawa hutan basah dengan kondisi gambut yang dipengaruhi oleh pasang surut air (Gambar 6). Lingkungan pengendapan telmatik menghasilkan suatu lahan gambut yang tumbuh secara *in-situ* dan tidak terganggu oleh endapan sedimen lain (Diessel, 1992).

Calder dkk., (1991) menjelaskan bahwa apabila nilai GWI <1,00 mengindikasikan lingkungan purba pembentuk gambut terjadi pada kondisi telmatik, sedangkan nilai VI <3,00 mengisyaratkan tetumbuhan yang tumbuh pada lahan gambut berasal dari tetumbuhan berbatang lunak (*herbaceous* atau *marginal aquatic*). Nilai VI >3,00 mengindikasikan tetumbuhan yang tumbuh pada lahan gambut berasal dari tetumbuhan kayu. Komposisi subkelompok maseral yang terdapat pada tumbuhan kayu umumnya didominasi oleh humotelinit, sedangkan humodetrinit didominasi oleh tumbuhan berbatang lunak.

Hasil perhitungan nilai GWI pada gambut di daerah penelitian menunjukkan nilai rata-rata 0,55 yang mengindikasikan bahwa gambut terbentuk pada kondisi lingkungan telmatik. Nilai GWI yang rendah juga mengindikasikan keadaan lingkungan *bog*, dengan tipe gambut ombrotropik atau ombrogenus (Gambar 7). Lingkungan tersebut mempunyai ciri berupa batas air berada di bawah permukaan gambut dengan nutrisi hanya berasal dari air hujan. Umumnya, gambut yang terbentuk pada lingkungan ini mempunyai suplai nutrisi yang rendah dan bersifat asam. Selain itu, berdasarkan nilai VI menunjukkan bahwa seluruh tetumbuhan yang tumbuh pada lahan gambut berasal dari tumbuhan berbatang lunak (Gambar 7).



Gambar 6. Plot silang nilai TPI dan GI perconto gambut di daerah penelitian.

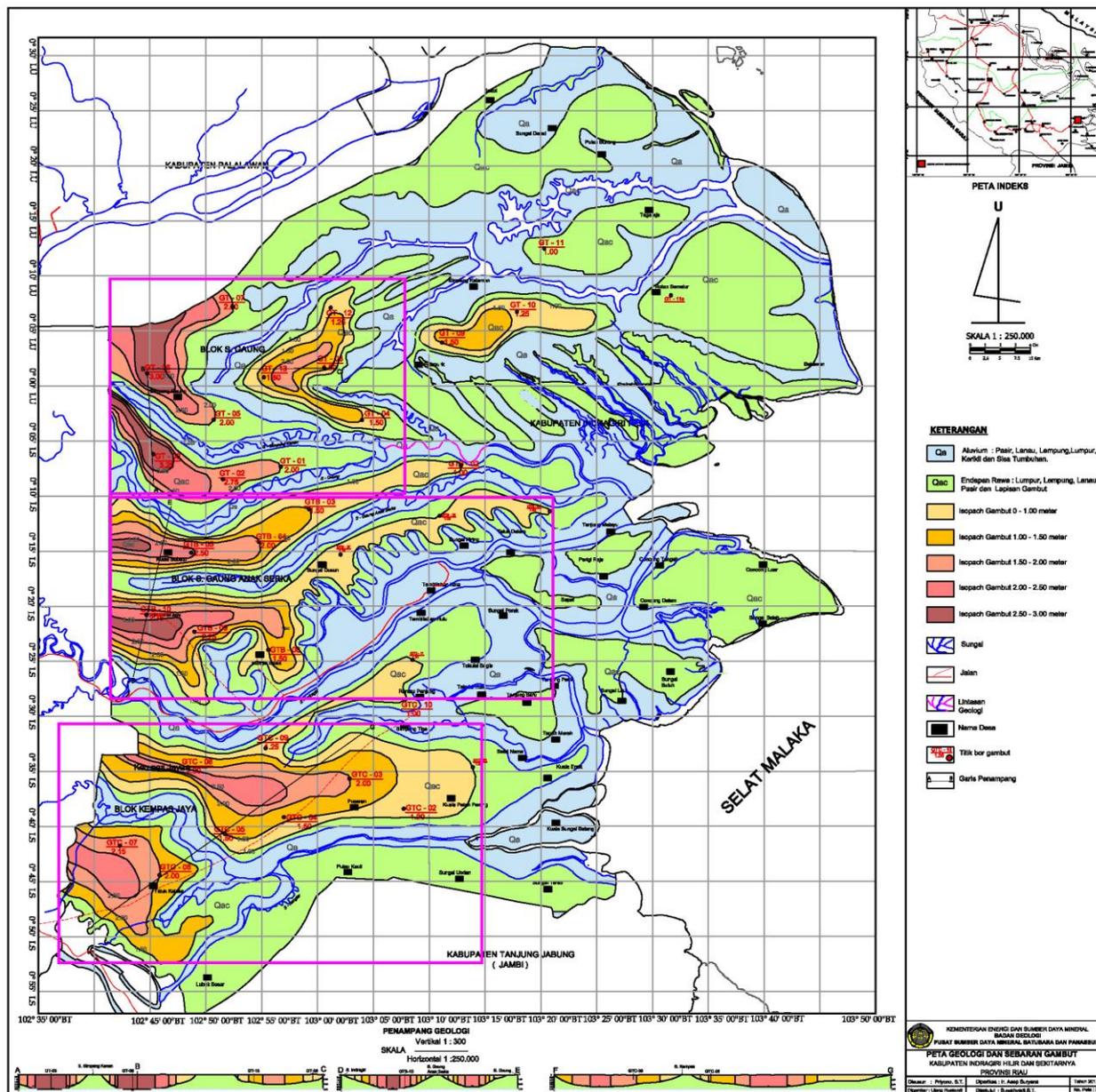


Gambar 7. Plot silang nilai VI terhadap AWI perconto gambut di daerah penelitian

KESIMPULAN

Hasil analisis geokimia dan petrografi organik menunjukkan bahwa gambut di daerah penelitian (Gambar 8) mempunyai nilai kalori 3.098 kal/g s.d. 5.178 kal/g dengan Reflektan Vitritin berkisar 0,07% s.d. 0,17%., sedangkan hasil analisis komposisi maseral didominasi oleh huminit yang mengindikasikan bahwa gambut di daerah penelitian terbentuk di lingkungan rawa hutan basah.

Berdasarkan plot silang antara nilai TPI dan GI menunjukkan bahwa gambut di daerah penelitian diendapkan pada lingkungan rawa hutan basah dengan kondisi gambut yang dipengaruhi oleh pasang surut air, sedangkan hasil plot silang antara nilai GWI dan VI menunjukkan bahwa gambut di daerah penelitian terbentuk pada lingkungan bog bertipe ombrotropik atau ombrogenus dan tetumbuhan yang membentuk gambut merupakan tumbuhan berbatang lunak dengan kondisi gambut yang dipengaruhi oleh pasang surut air.



Gambar 8. Peta geologi dan sebaran gambut di daerah penelitian

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada instansi Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah membantu dalam pembiayaan kegiatan penelitian ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ir. Asep Suryana yang telah mendukung penulis dalam pembuatan makalah ini. Penulis mengucapkan terima kasih pula kepada Fatih Akbarul Irsan yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian di laboratorium dan segenap rekan di Bidang Batubara yang telah memberikan dukungan, sehingga makalah ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F. dan Subiksa, I.G.M. (2008): *Lahan gambut: potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.

Amijaya, H. and Littke, R. (2005): Microfasies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal, South Sumatera Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, vol. 61, p. 197-221.

Anggayana, K. (2002): *Diklat kuliah genesa batubara*, Departemen Teknik Pertambangan, ITB.

ASTM (1986): *Annual book of ASTM standards*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 388, PA.

Calder, J.H., Gibling, M.R., and Mukopadhyay, P.K. (1991): Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleo-mires: *Bulletin de la Sociéte´ Ge´ologique de France*, 162/2, 283-298.

Chou, C.L. (2012): Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins. *International Journal of Coal Geology*, vol. 100, p. 1-13.

Cook, A.C. (1982): *The Origin and Petrology of Organic Matter in Coal, Oil Shales and Petroleum Source Rocks*, University of Wollongong, Wollongong,

de Coster, G.L. (1974): *The Geology of The Central and South Sumatra Basins*, Proceedings Indonesian Petroleum Association, 3rd Annual Convention.

Diessel, C.F.K. (1992): *Coal-bearing depositional systems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Lamberson, M.N., Bustin, R.M., dan Kalkreuth, W. (1991): Lithotype (maceral) composition and variation as correlated with paleowetland environments, Gates Formations, Northeastern British Columbia, Canada; *International Journal of Coal Geology*, vol. 18, p. 87-124.

Moore, P.D. (1987): Ecological and hydrological aspects of peat formation, dalam Scott A., C. (editor) *Coal and coal-bearing strata, recent advances*, Geol. Soc. Am. Spec. Publ., vol. 32, p. 7-15.

Ritung, S., Wahyunto, Nugroho, K., Sukarman, Hikmatullah, Suparto, dan Tafakresnanto, C. (2011): *Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000*, Badan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian.

Stach, E., Mackowsky, M.Th., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., dan Teichmuller, R. (1982): *Stach's textbook of coal petrology*, Gebruder, Borntraeger, Berlin, 535 p.

Suwarna, N., Budhitrisona, T., Santosa, S., dan Mangga, A. (1995): *Peta Geologi Lembar Rengat, Sumatra*, P3G, Bandung.

Diterima : 31 Januari 2018
 Direvisi : 21 Februari 2018
 Disetujui: 31 Agustus 2018

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi dalam kesempatan ini mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasama yang baik dalam proses review lima buah artikel untuk edisi kedua. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya untuk edisi ini, antara lain Prof. Dr. Binarko Santoso, Prof. Dr. Ildrem Sjafri, DESS, Prof. Dr. Ir. Mega Fatimah Rosyana, M.Sc, Dr. Nana Suwarna, M.Sc, Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, ST, MT, Ir. Arif Munandar dan Edi Suhanto, S.Si, M.T.

Kami juga mengucapkan terimakasih kepada semua unsur Dewan Redaksi atas usaha yang sangat baik dalam menyelesaikan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume.13 Nomor.2 Tahun 2018. Kami berharap kehadiran Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat umum dalam bentuk cetakan maupun digital secara on line dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 13 Nomor 2 Tahun 2018

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Agung Tri Subekti
Dinas ESDM, Provinsi Jawa Timur
Email: agungtrisubekti@gmail.com

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

Dodid Murdohardono
Politeknik Energi dan Mineral - PEM
Akamigas
Email: dodidmurdohardono@yahoo.com

Euis Tintin Yuningsih
Universitas Padjadjaran
Email: etintiny@yahoo.com

Hashari Kamaruddin
Universitas Padjadjaran
Email: hashari.kamaruddin@antam.com

Mega Fatimah Rosana
Universitas Padjadjaran
Email: mega.fatimah.rosana@unpad.ac.id

Nana Sulaksana
Universitas Padjadjaran
Email: n.sulaksana@unpad.ac.id

Oman Abdurahman
Museum Geologi
Email: omanarah@gmail.com

Priyono
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: rinagea85@gmail.com

Riko Ardiansyah Indrakusuma
Universitas Padjadjaran
Email: riko.kusuma@antam.com

Rina Wahyuningsih
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Email: rinagea85@gmail.com

Sabtanto joko Suprpto
Politeknik Energi dan Mineral - PEM
Akamigas
Email: sabtanto_js@yahoo.com

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

Suparno
Politeknik Energi dan Mineral - PEM
Akamigas
Email: suparnocpu@gmail.com

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 13 Nomor 2 Tahun 2018

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

alterasi 70-76, 78, 79, 82, 102
batubara 106-110, 112-116, 129, 130,
132, 135, 140
deposit emas 70
gambut 107, 113, 115, 128-140
energi 128, 129
inversi 2D 122
Laterit 84-86, 91, 93-95, 97-104
lingkungan pengendapan 106, 107, 109,
113, 130, 132
magnetotelurik 118, 120, 122
mineralisasi 70-74, 77-79, 82, 103
Nikel 84-86, 90, 93, 97, 99-103
ombrotropik 113, 115, 128, 137, 139
Panas bumi 118-122, 124-126
petrografi organik 107, 109, 128-132, 139
Pomalaa 84-86, 88, 90-104
Profil 84-86, 93, 97, 99-101, 104
Pulau Merah 70-80, 82
Zonasi 84, 97
reflektansi vitrinit 106, 109, 113, 130-133,
137
Sulawesi 71, 84-90, 104, 105, 118, 119,
126

DDC:

Sabtanto Joko Suprpto¹, Dodid Murdohardono¹, Suparno¹, Oman Abdurahman², dan Agung Tri Subekti³
(¹Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, ²Museum Geologi, ³Dinas ESDM, Provinsi Jawa Timur)

ALTERASI DAN MINERALISASI DI PULAU MERAH, KECAMATAN PESANGGARAN, KABUPATEN BANYUWANGI, PROVINSI JAWA TIMUR**Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG Agustus 2018 Vol. 13 No. 2 Hal. 70 - 83**

Pulau Merah berada di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, pada jarak sekitar 200 meter dari garis pantai Desa Sumberagung, memiliki indikasi mineralisasi logam. Penelitian di Pulau Merah bertujuan untuk mendapatkan tipe mineralisasi dan alterasi, serta sebaran tubuh bijih. Metodologi penelitian yang digunakan terdiri dari pengamatan litologi, alterasi, mineralisasi, dan pengambilan contoh batuan untuk analisis kandungan mineral dan kimia. Morfologi Pulau Merah berbentuk bukit kecil. Pada tebing bagian timur menghadap laut dangkal yang dapat diseberangi saat laut surut, terdapat singkapan luas batuan teralterasi dan mineralisasi. Pada bagian tenggara sampai bagian tengah terdapat singkapan cebakan tembaga porfiri, di bagian utara terdapat singkapan cebakan emas epitermal tipe high sulphidation. Cebakan tembaga porfiri mempunyai kadar 0,32% s.d. 2,14% Cu, 285 ppb s.d. 1.502 ppb Au, 1,4 ppm s.d. 9,4 ppm Ag dan 2 ppm s.d. 4 ppm Mo. Cebakan emas epitermal high sulphidation mempunyai kadar 189 ppb s.d. 1.843 ppb Au, 1 ppm s.d. 21,4 ppm Ag dan 24 ppm s.d. 123 ppm As. Pulau Merah sesuai dengan Undang-undang Nomor 1 tahun 2014 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, termasuk ke dalam kriteria Pulau Kecil, oleh karena itu tidak dapat dimanfaatkan untuk kegiatan tambang. Obyek langka Pulau Merah berupa cebakan tembaga dan cebakan emas yang mudah dijangkau dan merupakan bagian dari tujuan wisata maka layak untuk dapat dijadikan cagar alam geologi.

Kata kunci: Pulau Merah, deposit tembaga, deposit emas, alterasi, mineralisasi

DDC:

Hashari Kamaruddin¹, Riko Ardiansyah I.K.¹, Mega F. Rosana², Nana Sulaksana², dan Euis Tintin Y.²
(¹PT. Aneka Tambang Tbk., Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran
²Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Padjajaran)

PROFIL ENDAPAN LATERIT NIKEL DI POMALAA, KABUPATEN KOLAKA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG Agustus 2018 Vol. 13 No. 2 Hal. 84 - 105**

Geologi daerah Pomalaa merupakan bagian dari batuan ultramafik Ofiolit Sulawesi Timur di lengan tenggara Sulawesi. Di daerah tersebut endapan laterit nikel Pomalaa terbentuk dari pelapukan batuan asal ultramafik yang didominasi oleh harzburgit terserpentinisasikan dan

memiliki karakteristik tipe endapan laterit nikel hydrous Mg silicate. Lateritisasi terbentuk pada morfologi perbukitan bergelombang rendah dengan sudut kelereng berkisar 10° sampai dengan 25°. Proses lateritisasi berlangsung dengan baik terutama pada topografi yang cenderung lebih landai yaitu 10° sampai dengan 15°, yang memungkinkan terbentuknya lateritisasi yang cukup dalam dengan zona saprolit yang tebal.

Zonasi profil laterit daerah Pomalaa secara spasial dapat dibagi menjadi tiga blok yaitu: Blok Utara, Blok Tengah dan Blok Selatan. Perbedaan profil di ketiga blok tersebut turut dipengaruhi oleh proses pengayaan (enrichment) Ni yang dialami. Di Blok Utara pengayaan Ni terjadi tepat di bawah batas tengah muka air tanah, sedangkan di Blok Tengah dan Blok Selatan pengayaan Ni terbentuk antara 2 meter sampai dengan 3 meter di bawah garis tersebut atau mendekati batas terbawah muka air tanah. Penciri utama yang membedakan Blok Selatan dengan Blok Utara dan Blok Tengah, adalah kelimpahan boulder-boulder batuan ultramafik, yaitu batuan serpentinit dan harzburgit dengan ukuran diameter mencapai lebih dari 2 meter pada zona saprolit.

Kata kunci: Pomalaa, Laterit, Nikel, Profil, Zonasi

DDC:

Agus Maryono dan Sigit A. Wibisono
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN BATUBARA BERDASARKAN ANALISIS PETROGRAFI ORGANIK, DAERAH JONGGON, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG Agustus 2018 Vol. 13 No. 2 Hal. 106 - 116**

Karakteristik (peringkat dan tipe) serta lingkungan pengendapan batubara di daerah Jonggon dan sekitarnya diteliti dengan menggunakan metode petrografi batubara (analisis reflektansi vitrinit dan komposisi maseral). Analisis dilakukan terhadap 13 conto batubara formasi Balikpapan. Secara megaskopis batubara berwarna hitam, keras, goresan hitam, agak kusam, pecahan blocky, terdapat getah damar, ketebalan berkisar 0,40 m s.d. 3,30 m. Analisis reflektansi vitrinit (Rv) menunjukkan bahwa batubara di daerah penelitian memiliki nilai Rv berkisar antara 0,25% s.d. 0,45% sehingga dapat diklasifikasikan pada peringkat lignit - subbituminous. Secara mikroskopis, analisis komposisi maseral menunjukkan bahwa tipe batubara di daerah penelitian didominasi oleh kelompok maseral huminit (67,60% s.d. 95,80%), diikuti oleh maseral inertinit (1,20 s.d. 26,40%) serta sebagian kecil maseral liptinit (0,20% s.d. 5,60%). Lebih jauh, hasil analisis komposisi maseral melalui nilai Tissue Preservation Index (TPI), Gelification Index (GI), dan Ground Water Index (GWI) mengindikasikan bahwa material organik pembentuk batubara di daerah penelitian didominasi oleh tumbuhan berkayu yang mengalami tingkat oksidasi rendah serta terendapkan pada lingkungan telmatik.

Kata kunci: batubara, petrografi organik, lingkungan pengendapan, reflektansi vitrinit

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Agustus 2018

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

DDC:

Ahmad Zarkasyi dan Rina Wahyuningsih
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

PEMODELAN RESEVOIR PANAS BUMI DAERAH DUA SAUDARA, KOTA BITUNG, PROVINSI SULAWESI UTARA, DENGAN MENGGUNAKAN INVERSI 2-D DATA MAGNETOTELURIK

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2018 Vol. 13 No. 2 Hal. 118 - 127

Hasil survei geologi, geokimia dan geofisika gaya berat dan TDEM, di daerah panas bumi Dua Saudara, Kota Bitung, Provinsi Sulawesi Utara belum dapat secara akurat mendelineasi area dan dimensi prospek panas bumi di daerah ini. Sistem panas bumi di daerah ini berasosiasi dengan aktivitas vulkanik Gunung Tangkoko-Batuangus berumur Kuartar. Litologi daerah ini didominasi oleh endapan vulkanik berupa piroklastik dan lava. Selain batuan teralterasi, mata air panas muncul dengan temperatur 34°C -61°C, dari fluida air panas didapat penghitungan temperatur bawah permukaan mencapai 150°C. Pemodelan 2D inversi dilakukan pada data survei Magnetotelurik di 35 titik ukur dengan spasi 1000 hingga 1500 m yang difokuskan di lokasi manifestasi mata air panas. Hasil inversi menggunakan perangkat lunak WinGLink menunjukkan adanya lapisan resistivitas rendah (<10 ohm-m) yang ditafsirkan sebagai lapisan penutup dari sistem panas bumi Dua Saudara. Lapisan ini berasosiasi dengan lapisan konduktif yang terletak pada kedalaman sekitar 750 meter hingga 1000 meter. Zona resistivitas tinggi (25-100 ohm-m) ditafsirkan sebagai batuan panas yang kemungkinan adalah reservoir dari sistem tersebut. Dari model ini disimpulkan bahwa daerah survei masih merupakan zona outflow, sedangkan zona upflow diduga ke arah tenggara menuju Gunung Dua Saudara dan Gunung Tangkoko.

Kata kunci: Panas bumi, Dua Saudara, magnetotelurik, inversi 2D, Sulawesi

DDC:

Priyono dan Sigit A. Wibisono
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

KARAKTERISTIK GAMBUT BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA DAN PETROGRAFI ORGANIK DI KABUPATEN INDRAGIRI HILIR, PROVINSI RIAU

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2018 Vol. 13 No. 2 Hal. 128 - 140

Daerah panas bumi Cubadak terletak di Kabupaten Pasaman, Provinsi Sumatera Barat. Keberadaan sistem panas bumi di daerah Cubadak ditandai oleh munculnya mata air panas berupa mata air panas Cubadak, Sawah Mudik, dan Talu dengan temperatur antara 37,1°C dan 74,8°C. Survei magnetotelurik (MT) telah dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi, di daerah tersebut pada Tahun 2012, yang bertujuan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi Cubadak. Penggunaan pemodelan inversi 3-D terhadap data MT diharapkan dapat mendelineasi dengan baik struktur sistem panas bumi Cubadak.

Berdasarkan pemodelan 3-D dihasilkan suatu struktur tahanan jenis, yang memiliki zona rendah (lebih kecil dari 11 Ohm-m) di sekitar manifestasi panas bumi Cubadak dan Sawah Mudik, diinterpretasikan sebagai zona alterasi argilik, masing-masing mulai pada kedalaman 100 meter dan 250 meter, serta bertindak sebagai batuan penutup bagi sistem panas bumi Cubadak. Sementara itu, keberadaan top reservoir dari sistem tersebut diidentifikasi berada di bawah manifestasi Cubadak pada kedalaman 1.000 meter, sedangkan di bawah manifestasi Sawah Mudik pada kedalaman 1.250 meter.

Kata kunci: energi, gambut, ombrotropik, geokimia organik dan petrografi organik



Umang yang hidup pada koral menempel di lava di dekat manifestasi air panas di Pantai Beang, Pulau Pantar, Nusa Tenggara Timur (Santia Ardi Mustofa, PSDMBP)



Manifestasi air panas yang telah dibuat menjadi kolam pemandian air panas di Desa Menggeruda, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur (Santia Ardi Mustofa, PSDMBP)

GALERI FOTO



Rig pengeboran landaian suhu di Pulau Pantar pada sumur PSR-1 beroperasi 24 jam sehari. Menggunakan mesin Atlas Copco CS-14 (Santia Ardi Mustofa-PSDMBP)



Contoh batubara yang dibuka dari kanister untuk dilakukan penghancuran di lokasi pengeboran Sukajaya, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan (Muhamad Abdura)



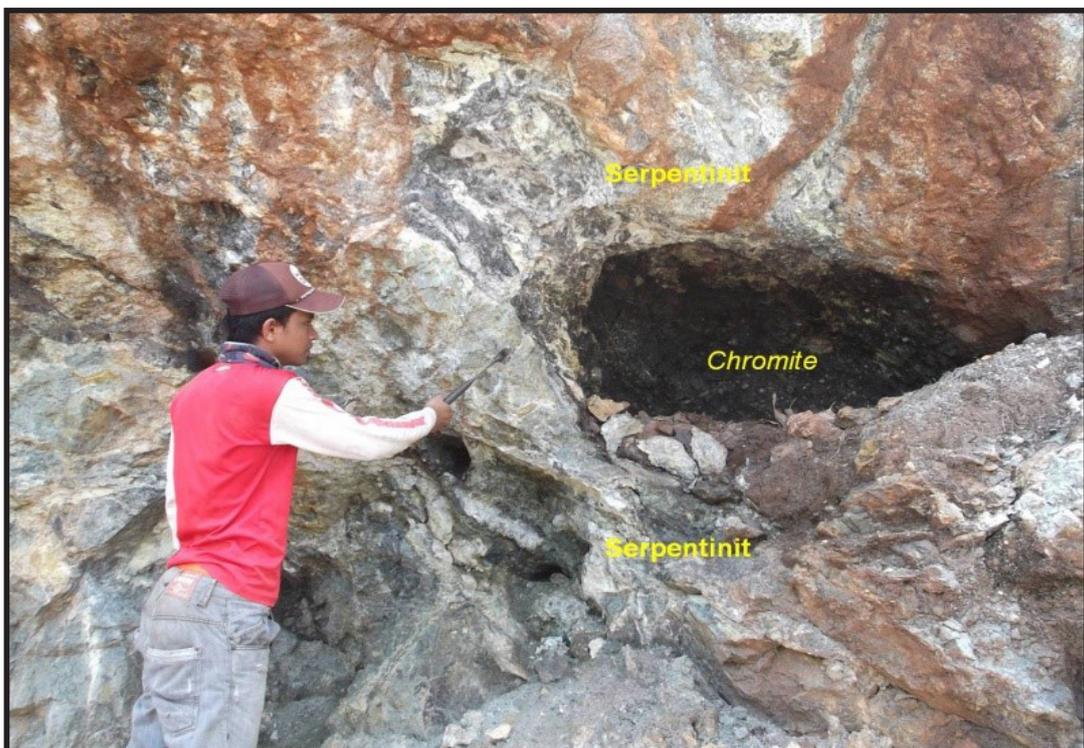
Singkapan batugamping pada Formasi Berai di Daerah Tabulako,
Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan
(Soleh Basuki Rahmat, PSDMBP)



Pengukuran jurus dan kemiringan lapisan batubara Formasi Tanjung, Daerah Tabulako,
Kabupatenn Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan
(Soleh Basuki Rahmat, PSDMBP)



Singkapan batubara di Sungai Ogan, Kabupaten Ogan Komering Ulu, Provinsi Sumatera Selatan (M Abdurrah Ibrahim, PSDMBP)



Singkapan cebakan kromit di dalam batuan serpentinit di Bukit We Ro, Kabupaten Bellu, NTT (Kisman)



Endapan kaolin, Kecamatan Mandor, Kabupaten Sekadau, Kalimantan Barat
(Rudy Gunradi)



Bijih Mangan mengisi rongga gamping, Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara
(Rudy Gunradi)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

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

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

FORMAT

UMUM

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

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

III	Pendahuluan (<i>Introduction</i>)	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.
IV	Metodologi (<i>Methodology</i>)	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.
V	Hasil dan Analisis (<i>Results and Analysis</i>).	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> .
VI	Pembahasan atau Diskusi (<i>Discussion</i>).	Berisi tentang interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.
VII	Kesimpulan dan Saran (<i>Conclusions and Recommendation</i>)	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VIII	Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)	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.
IX	Acuan (<i>References</i>)	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>)

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/](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: 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
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan



Dr. Muhammad Dimiyati
NIP. 195912171984021001

