

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

ISSN 1907-5367
eISSN 2580-1023

Volume 12 No. 2, Agustus 2017



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 12	No. 2	Halaman 71 - 143	Bandung Agustus 2017	Terakreditasi LIPI sebagai Majalah Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Manifestasi fumarol yang terdapat di Lapangan Panas Bumi Wayang Windu,
Pangalengan, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

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

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan Makalah berkala ilmiah terakreditasi LIPI bidang geologi, geofisika, geokimia, pertambangan dan bidang ilmu kebumihan lainnya yang terkait. Makalah 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
Retno Rahmawati Lestari, S.Si
Eko Suryanto, S.Kom
Resmi Novianti, S.T
Rijal Ahmad Taufik, S.T
Ernawati, A.Md

Editorial Board

Joko Parwata, S.T., M.E
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
Novi Handono, S.H
Indra Sukmayana, S.T

Peer-Reviewer

Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc
Ir. Sabtanta 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

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 : buletinsdg.geologi.esdm.go.id

PENGANTAR REDAKSI

Kami bersyukur kepada Allah Yang Maha Kuasa karena dapat menghadirkan Buletin Sumber Daya Geologi edisi kedua di tahun 2017 ke tangan pembaca. Buletin ini memuat lima makalah, satu makalah dengan topik sumber daya mineral, satu bertopik geoteknik pada pertambangan emas, satu tulisan terkait sumber daya batubara, dan dua makalah tentang sumber daya panas bumi.

Pada makalah tentang sumber daya mineral, dibahas tentang mineralisasi lateritik, yakni mengenai pengayaan logam berat Mn, Co, dan Cr pada laterit Nikel di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Tulisan lain yang masih terkait mineral yaitu tentang kajian geoteknik yang terkait aspek lingkungan pada pertambangan emas, terutama ditinjau dari sisi kriteria teknis dampak kerusakan kegiatan peledakan saat pembuatan terowongan, dengan studi kasus pada terowongan Ciurug, pertambangan emas Pongkor, di Kabupaten Bogor.

Tulisan tentang sumber daya batubara yaitu satu tulisan yang memuat hasil studi karakteristik kimiawi dan petrografi batubara dari dua wilayah tambang batubara di Cekungan Sumatera Tengah dan Cekungan Sumatera Selatan. Hal yang menarik yaitu karakteristik batubara dari dua cekungan berbeda tersebut dibandingkan satu sama lainnya, sehingga memberikan informasi yang terkait dengan historis dari lingkungan pembentukan cekungan itu sendiri.

Pada topik sumber daya panas bumi, terdapat dua makalah yang mengkaji keprospekan lapangan panas bumi, yang menjadi menarik yaitu satu makalah mengkajinya dari data geofisika permukaan sedangkan yang lainnya mengkaji keberadaan mineral dari sumur pengeboran. Pada makalah geofisika, dibahas hasil analisis data gaya berat menggunakan analisis data gradien horisontal yang dikombinasikan dengan analisis hasil pemodelan 3-dimensional data gaya berat. Hasil studi ini menarik karena satu metode tunggal dengan kombinasi dua alat analisis mampu memberikan indikasi yang bagus mengenai struktur sistem panas bumi. Sementara itu, pada kajian data sumur, dilakukan studi mineral alterasi hidrotermal yang kaitannya dengan rezim temperatur saat pembentukan mineral tersebut. Hasil studi ini tidak saja memberikan gambaran struktur temperatur dari lapangan sistem panas bumi yang dikaji, tetapi juga riwayat termal dari sistem tersebut.

Terakhir, Dewan Redaksi menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para Pemakalah, Editor dan Mitra Bestari atas partisipasi aktif untuk menghadirkan edisi ini. Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kami sampaikan kepada semua pihak yang berpartisipasi sehingga buletin ini bisa menyapa para pembaca.

Salam hangat

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 71 - 86 **PENGAYAAN LOGAM BERAT Mn, Co, DAN Cr PADA LATERIT NIKEL DI KABUPATEN KONAWE UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA**
HEAVY METAL ENRICHMENT OF Mn, Co AND Cr ON NICKEL LATERITE IN NORTH KONAWE REGENCY, SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE
Oleh : Ronaldo Irzon
- 87 - 102 **STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN PETROGRAFI BATUBARA LAPANGAN X CEKUNGAN SUMATERA SELATAN DAN LAPANGAN Y CEKUNGAN SUMATERA TENGAH INDONESIA**
CHEMICAL AND PETROGRAPHIC CHARACTERISTIC OF COAL FROM X FIELD SOUTH SUMATERA BASIN AND Y FIELD CENTRAL SUMATRA BASIN, INDONESIA – A COMPARATIVE STUDY
Oleh : Azmi Baihaqi, Rita Susilawati, Lili Fauzielly, dan Budi Muljana
- 103 - 122 **KRITERIA KERUSAKAN AKIBAT PELEDAKAN PADA PEMBUATAN TEROWONGAN CIURUG, TAMBANG EMAS PONGKOR, KABUPATEN BOGOR, PROVINSI JAWA BARAT**
BLAST DAMAGE CRITERIA OF TUNNELLING IN CIURUG, PONGKOR GOLD MINE, BOGOR REGENCY, WEST JAVA PROVINCE
Oleh : Awang Suwandhi, Mega Fatimah Rosana, Adjat Sudradjat, dan Ridho Kresna Wattimena
- 123 - 133 **ESTIMASI TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KEHADIRAN MINERAL ALTERASI PADA SUMUR “X” LAPANGAN PANAS BUMI WAYANG WINDU, PANGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG, PROVINSI JAWA BARAT**
SUBSURFACE TEMPERATURE ESTIMATION BASED ON THE PRESENCE OF ALTERATION MINERALS IN “X” WELL OF THE WAYANG WINDU GEOTHERMAL FIELD, PANGALENGAN, BANDUNG REGENCY, WEST JAVA PROVINCE
Oleh : Vina Oktaviany, Johannes Hutabarat, dan Agus Didit Haryanto
- 135 - 143 **IDENTIFIKASI STRUKTUR SISTEM PANAS BUMI PANTAR BERDASARKAN ANALISIS GRADIEN HORIZONTAL DAN PEMODELAN 3D DATA GAYA BERAT**
IDENTIFICATION OF PANTAR GEOTHERMAL STRUCTURES DERIVED FROM GRADIENT HORIZONTAL ANALYSIS AND 3D MODELING OF GRAVITY DATA
Oleh : Asep Sugianto, Iqbal Takodama, dan Tony Rahadinata

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

PENGAYAAN LOGAM BERAT Mn, Co, DAN Cr PADA LATERIT NIKEL DI KABUPATEN KONAWE UTARA, PROVINSI SULAWESI TENGGARA

HEAVY METAL ENRICHMENT OF Mn, Co AND Cr ON NICKEL LATERITE IN NORTH KONAWE REGENCY, SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE

Ronaldo Irzon

Pusat Survei Geologi
ronaldoirzon18@gmail.com

ABSTRAK

Proses pelapukan lebih mudah terjadi pada wilayah beriklim tropis seperti di Indonesia dan meredistribusi kandungan kimia batuan induk. Hasil proses pelapukan batuan ultramafik banyak teridentifikasi di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Proses pengayaan logam-logam berat pada horizon pelapukan di wilayah Konawe Utara merupakan tujuan penelitian ini. Perangkat XRF dan ICP-MS milik Laboratorium Geologi – Pusat Survei Geologi dimanfaatkan dalam pengukuran kadar oksida utama, unsur jarang, dan unsur tanah jarang pada setiap horizon pelapukan dari tiga profil: Andowia, Wawolimbue, dan Marombo. Horizon saprolit di Marombo dianggap layak untuk dijadikan pengganti horizon saprolit di Wawolimbue, karena berasal dari lokasi yang tidak jauh dan sebagai hasil dari pelapukan batuan ultramafik. Dapat disimpulkan bahwa logam berat: Mn, Co dan Cr terkayakan pada horizon laterit relatif terhadap dua horizon pelapukan lainnya, sedangkan Ni tertahan pada transitional bedrock. Pada sisi lain, Mg, Si, dan Ca cenderung mengalami pengurangan bertahap berbanding lurus dengan proses pelapukan. Profil Wawolimbue dan Marombo sangat mungkin berasal dari batuan induk yang sama dan dipertegas oleh diagram laba-laba unsur tanah jarang. Perbedaan pola diagram unsur tanah jarang berikut derajat anomali Eu menegaskan kesimpulan bahwa profil Andowia berasal dari batuan induk berbeda terhadap profil Wawolimbue-Marombo. Unsur tanah jarang paling terkayakan pada horizon laterit dengan anomali Ce negatif terkait terbentuknya fraksi lempungan dan oksidasi spontan Ce^{3+} menjadi Ce^{4+} saat pelapukan.

Kata kunci: Konawe Utara, logam berat, profil pelapukan, ultramafik

ABSTRACT

Weathering is most heavily occurred in tropical area such as Indonesia which redistributes the elements geochemistry. Weathering profiles of ultramafic rock are identified in North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. Heavy metals enrichment process in weathered profiles at North Konawe is the topic of this paper. XRF and ICP-MS of Geology Laboratory – Center for Geological Survey were applied to measure the major oxides, trace, and rare earth elements content in the weathered horizons at three profiles: Andowia, Wawolimbue, and Marombo. The saprolite horizon in Marombo is considered feasible to be a substitute for the saprolite horizon at Wawolimbue because it comes from a nearby location and as weathering result of ultramafic rock. Mn, Co and Cr are enriched mostly in laterite of the two profiles relative to two other weathered horizons whilst Ni is concentrated in transitional bedrock. On the other hand, Mg, Si, and Ca are depleted gradually along weathering process. The Wawolimbue and Marombo profiles are very likely derived from the same parent rocks supported by their similarity of REE spider diagrams. The differences in REE spider diagram patterns and the degree of Eu anomaly confirm the conclusion that the Andowia profile is derived from different

parent rocks against the Wawolimbue-Marombo profile. Highest REE concentrations are detected in lateritic horizon together with negative Ce anomaly in relation to clayish fraction and spontaneous oxidation of Ce^{3+} into Ce^{4+} in weathering process.

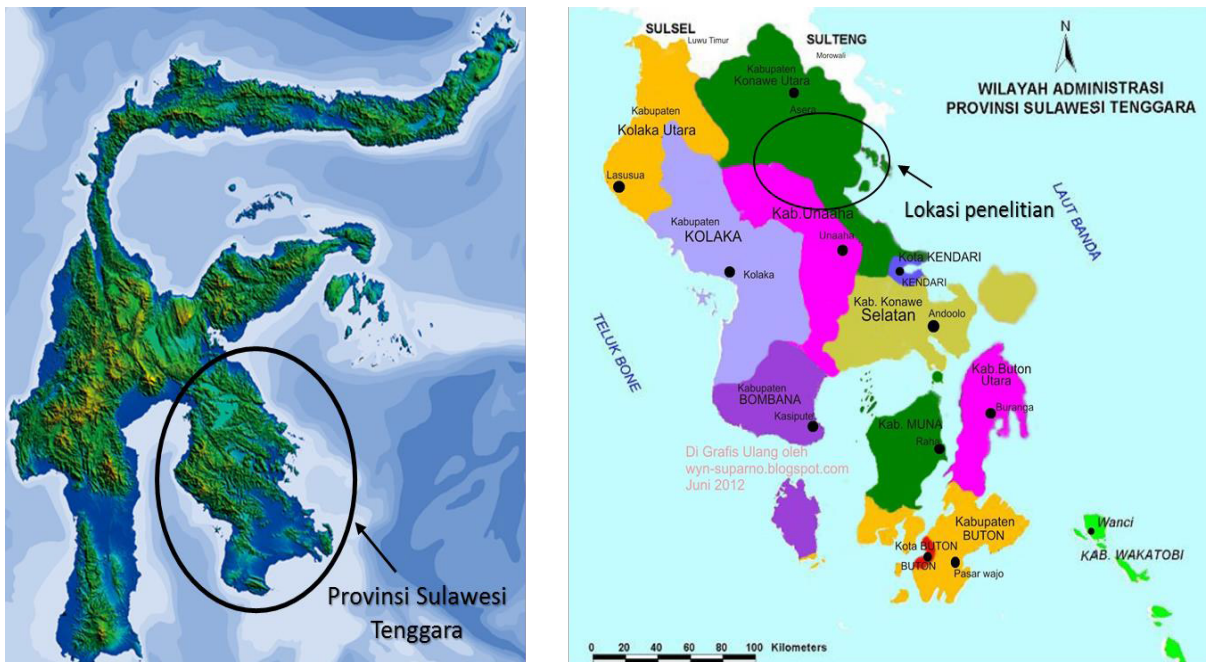
Keywords: heavy metals, North Konawe, ultramafic, weathering profiles

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai proses pelapukan terhadap pembentukan laterit telah menjadi topik menarik yang dipelajari terkait dengan ragam batuan induk. Pelapukan pada batuan merupakan satu proses penting yang mengakibatkan redistribusi unsur kimia dan dipengaruhi oleh beragam faktor, seperti: topografi, jenis batuan induk, iklim setempat, dan aktifitas biologi (Calagari drr., 2015). Horizon laterit merupakan salah satu jenis lapisan yang dihasilkan akibat pelapukan batuan induk selain saprolit. Secara megaskopis batuan induk masih dapat dikenali pada horizon saprolit, sedangkan tipikal batuan induk sulit untuk diketahui jika hanya melihat pada horizon laterit (Irzon drr., 2016). Horizon tanah penutup juga merupakan hasil pelapukan, namun telah terganggu oleh keterdapatn bahan-bahan organik. Laterit sebagai produk dari pelapukan diduga berjumlah melebihi 85% dari lapisan tanah di dunia (Jianwu, 2013). Horizon ini sangat mudah tererosi dan terpindahkan menuju laut, oleh karena itu pemahaman mengenai laterit akan membantu menggambarkan mekanisme pelapukan dan menjelaskan mengenai rekaman kimia pada sedimen dan tanah (*soil*). Studi mengenai proses laterisasi di wilayah Zan, Iran menyimpulkan bahwa selama pembentukan laterit telah terjadi pengurangan silika, alkali, dan unsur alkali bumi meski terdapat adanya pengayaan Al dan Fe (Calagari drr., 2015).

Pulau Sulawesi merupakan tempat tumbukan aktif dari tiga lempeng yaitu Lempeng Hindia-Australia yang bergerak relatif ke arah utara, Lempeng Samudera

Pasifik bergerak relatif ke barat, dan Lempeng Benua Eurasia yang relatif diam, sehingga mempunyai struktur geologi dan stratigrafi yang rumit, serta komposisi batuan yang beragam (Villeneuve drr., 2002 dalam Alam drr., 2012). Konawe Utara merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Sulawesi Tenggara dan berlokasi pada lengan tenggara Pulau Sulawesi (Gambar 1). Batuan ultramafik banyak tersingkap pada wilayah yang merupakan bagian dari Kawasan Strategis Nasional Soroako terkait dengan kandungan nikelnya. PT Kembar Mas Sutra, PT Elit Karisma Modern, PT Konutara Sejati, PT Karya Tama Konawe Utara, dan PT Cinta Jaya adalah lima perusahaan penambangan nikel yang berkomitmen untuk melanjutkan penambangan nikel dengan melakukan pembangunan *smelter* untuk pengolahannya (Irzon dan Baharuddin 2016). Krom, nikel, kobalt, dan mangan merupakan kelompok logam yang berkorelasi dengan batuan ultrabasa selain besi dan magnesium (Hariri, 2004; Heggie drr., 2013; Kumar dan Maiti, 2013). Karena terletak di sekitar garis khatulistiwa, Konawe Utara beriklim tropis dengan curah hujan melebihi 1.500 mm³ pada tahun 2012 (Anonim, 2013). Kondisi alam yang demikian tentu membantu proses pelapukan batuan sehingga terbentuk horizon-horizon pelapukan: saprolit dan laterit. Bijih laterit telah terbukti mengandung banyak logam ekonomis seperti: Fe, Co, Mn, Mg, dan Ni (Gao drr., 2014). Laterit pada batuan ultramafik menghasilkan kadar nikel yang terbukti lebih besar dari pada batuan induknya, seperti telah diteliti di Motui, Konawe Utara (Chaerul drr., 2015).



Gambar 1. Wilayah penelitian yang berada di wilayah Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara

Penelitian ini membahas mengenai pengayaan logam-logam berat pada horizon laterit di wilayah Konawe Utara. Pemahaman tentang mobilisasi logam berat saat pelapukan batuan ultramafik dapat membantu mengarahkan kegiatan eksplorasi menuju tahap eksplorasi selanjutnya hingga tahap eksploitasi logam tersebut. Batuan ultramafik memang bukan domain utama dari unsur tanah jarang seperti yang dijabarkan oleh Castor dan Hedrick (2006). Namun demikian, mobilisasi kelompok unsur tersebut turut dipelajari pada studi yang merupakan bagian dari proyek Pusat Survei Geologi bertema batuan ultramafik di Konawe Utara pada tahun 2014. Karena batuan induk tidak tersingkap pada profil yang diteliti, kadar unsur dalam batuan induk mengacu pada hasil penelitian terdahulu mengenai batuan ultramafik di kabupaten yang sama (Irzon dan Baharuddin, 2016) seperti tertera pada Tabel 1a.

METODOLOGI

Pengambilan Contoh Pada Setiap Profil Pelapukan

Contoh pada studi ini berasal dari profil laterit nikel yang berada di Kabupaten Konawe

Utara. Profil pertama berada di sekitar Andowia berupa hasil pelapukan batuan ultramafik dengan ketebalan 3 m. Horizon saprolit, laterit, dan *top soil* dapat diamati pada profil KUR 57 ini. Saprolit dengan tipikal relatif lebih keras merupakan deskripsi KUR 57-D dengan ketebalan 1 m dan kemudian ditutupi oleh saprolit lebih mudah hancur yang berbatas dengan laterit sebagai KUR 57-C (tebal ≈ 0,5 m). Jarak antara horizon laterit ke bagian bawah horizon *soil* adalah sekitar 1,5 m. Laterit pada profil ini berwarna merah gelap yang diduga sebagai hasil pelapukan besi. Mineral lempungan juga dapat diamati pada horizon KUR 57-B tersebut. *Top soil* secara megaskopis masih berwarna merah gelap meski tanpa mineral lempungan dan masih dijumpai akar-akar tanaman. Tebal horizon paling atas ini mencapai setengah meter (KUR 57-A).

Profil kedua berada dekat tepi jalan raya di wilayah Wawolimbue dengan ketinggian sekitar 3 m. Tak terdapat horizon saprolit pada profil KUR-158 ini. Horizon paling bawah merupakan laterit dengan warna merah keabuan dengan ketebalan 1 m (KUR158-C) yang menutupi horizon di atasnya sebagai laterit dengan warna lebih gelap (KUR158-B, ketebalan 1 m). *Iron*

crusts dapat diamati terdapat pada horizon tengah di profil ini. *Soil* yang masih mengandung bahan karbon dan tercampur dengan laterit pada profil ini berketebalan 1 m (KUR 158-A). Tidak dapat diamati horizon saprolit pada profil tersebut.

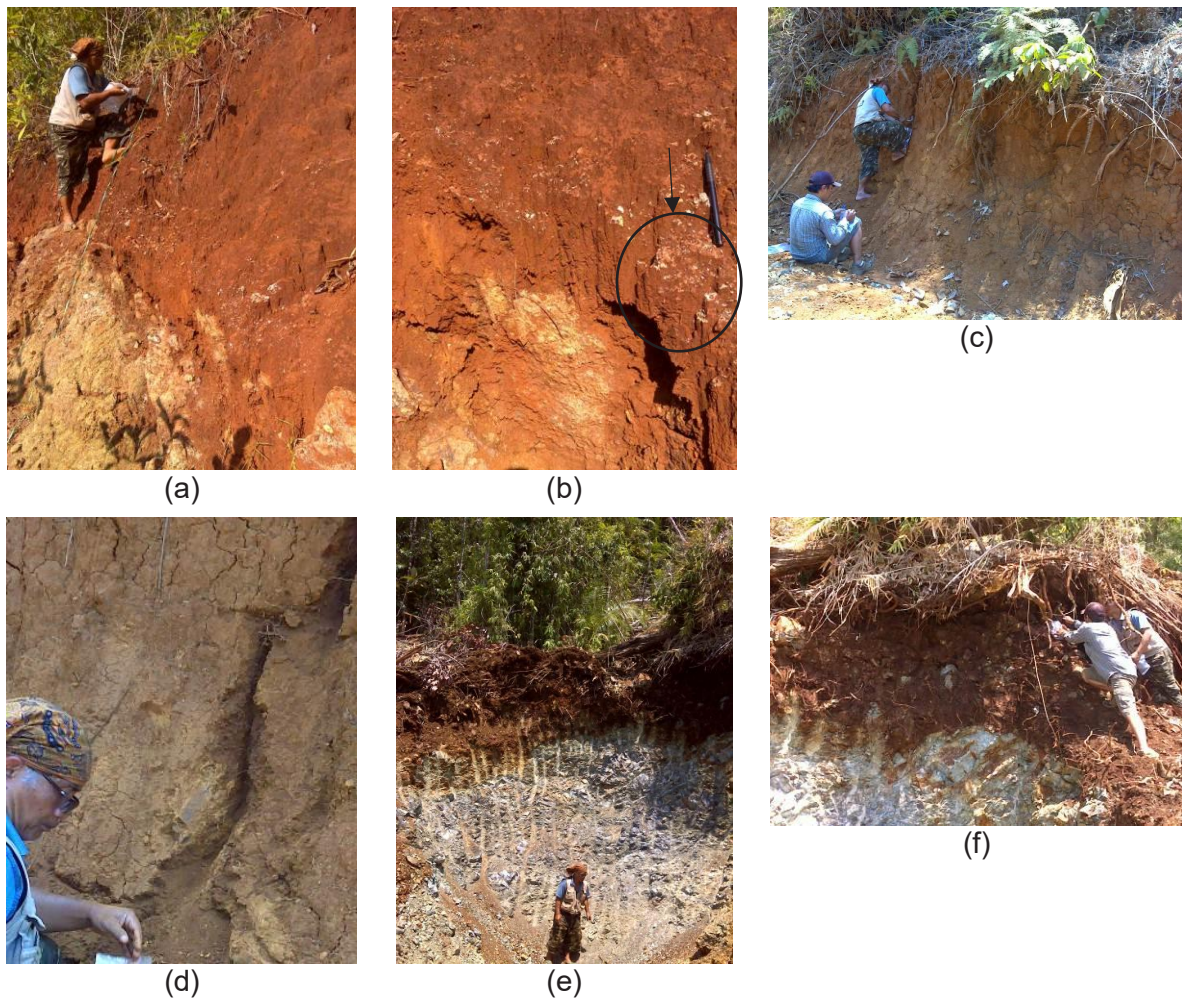
Pada titik pengamatan di Marombo (KUR 157), berjarak 1,4 km dari lokasi KUR 158 dan terpisahkan oleh area pertanian, tersingkap dua horizon hasil pelapukan batuan ultramafik. Kemiringan lereng yang cukup terjal di KUR 157 ini cukup menyulitkan proses pengambilan conto. Horizon paling bawah tampak cukup tebal (sekitar 3 m) dengan ciri batuan induk masih dapat dikenali sehingga dapat dikategorikan sebagai saprolit. Namun demikian, horizon paling atas pada profil di Marombo relatif lebih sukar diambil dan terdapat lepasan-lepasan batuan yang sangat mungkin berasal dari lokasi berbeda. Kedua faktor tersebut dijadikan dasar bahwa horizon paling atas di Marombo tidak representatif untuk dibahas dalam proses pelapukan. Keadaan profil penelitian dapat diamati pada Gambar 2. Akan tetapi, karena berasal dari lokasi yang tidak jauh dan sebagai hasil dari pelapukan batuan ultramafik, horizon saprolit di Marombo dianggap layak untuk dijadikan pengganti horizon saprolit di Wawolimbue. Kondisi tiga profil hasil pelapukan ultramafik pada studi ini telah disederhanakan pada Gambar 3.

Analisis Laboratorium

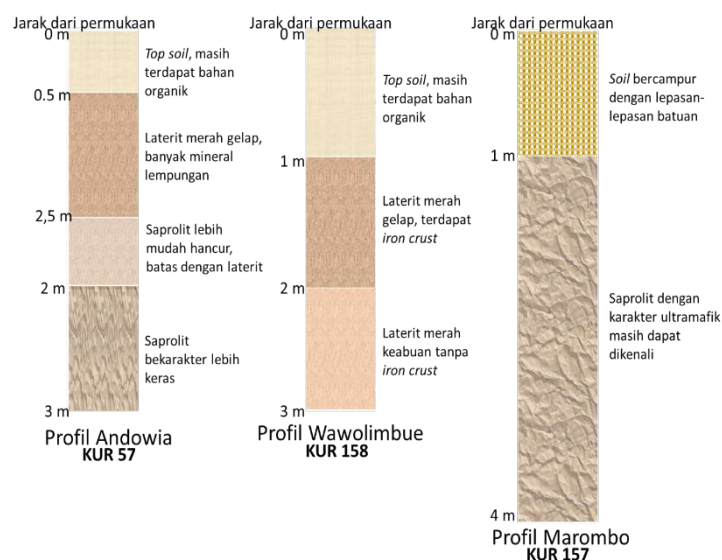
Conto yang diperoleh kemudian dianalisis di Laboratorium Kimia Pusat Survei Geologi. Studi ini memanfaatkan dua instrumen, yaitu: *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Inductively*

Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Perangkat tipe Advant XP merupakan model perangkat XRF pada studi ini, sedangkan ICP-MS menggunakan model X-Series dari Thermo. Di laboratorium, conto dikeringkan di bawah panas matahari tanpa proses pencucian seperti yang diaplikasikan pada conto *hard rock*, karena akan merusak. Conto digerus hingga ukuran butir 200 *mesh* untuk memudahkan proses destruksi karena luas bidang reaksi berbanding lurus dengan kecepatan reaksi.

Satu gram conto yang telah dibentuk menjadi *pressed pellets* kemudian dianalisis menggunakan XRF untuk mengetahui kandungan oksida utama dan jarang (SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , NiO , Cr_2O_3 , SO_3 , TiO_2 , MnO , ZnO dan Co_3O_4). Kadar *Loss on Ignition* (LOI) diukur untuk mengetahui jumlah bahan volatil pada conto seperti senyawa hidrat, senyawa hidroksi, dan karbon dioksida. Hanya 0,1 gram conto yang diperlukan untuk kemudian didestruksi dengan tiga jenis asam sebelum analisis ICP-MS, yakni: asam nitrat (HNO_3 , *ultra pure*), asam formiat (HCOOH , *ultra pure*), dan asam perklorat (HClO_4 , *pro analysis*). Larutan blanko dan lima tingkat larutan kalibrasi (masing-masing: 0,1 ppb, 1 ppb, 5 ppb, 10ppb, dan 50 ppb) dipersiapkan untuk kemudian dianalisis bersama dengan conto terpilih. Penelitian ini membutuhkan dua jenis larutan kalibrasi untuk dapat menganalisis 19 unsur pada conto. Kadar unsur pada delapan conto dari Kabupaten Konawe Utara didapat dengan perbandingan *count per second* (CPS) pada seri larutan kalibrasi terhadap larutan conto yang telah terkomputasi dalam sistem.



Gambar 2. a) Profil KUR 57 yang berada di Andowia; b) mineral lempung pada horizon laterit di KUR 57; c) horizon laterit yang dapat dibagi menjadi dua berdasarkan kenampakan warna; d) *iron crust* yang terdapat pada horizon tengah KUR 158; e) Keadaan lokasi KUR 157; dan f) banyak lapisan batuan pada horizon paling atas di Marombo sehingga tidak sesuai untuk membahas pelapukan



Gambar 3. Sketsa profil penelitian di Andowia, Wawolimbue, dan Marombo

GEOLOGI

Hampir seluruh lengan tenggara Pulau Sulawesi terdapat di daerah Provinsi Sulawesi Tenggara. Provinsi ini dipotong oleh beberapa lajur sesar yang berarah barat-laut-tenggara, yakni: Lasolo, Matano, Kolono, dan Kolaka (Charlton, 2000). Kabupaten Konawe Utara berada pada bagian utara dari Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi (Rusmana drr., 2010). Sesar Lasolo merupakan sesar geser yang membagi daerah Kendari menjadi dua lajur, yaitu: Tinondo dan Hialu. Batuan berafiliasi paparan benua merupakan ciri Lajur Tinondo yang berada di wilayah baratdaya. Pada sisi lain, Lajur Hialu menempati daerah timurlaut dengan himpunan batuan yang berasal dari kerak samudera (Syafrizal drr., 2011).

Satuan batuan beku, batuan sedimen, dan batuan malihan dapat dijumpai pada Lembar Geologi Lasusua-Kendari (Rusmana drr., 2010). Satuan batuan tersebut secara berurutan dari tua ke muda adalah: Batuan Malihan Paleozoikum, Pualam Paleozoikum, Batuan Terobosan, Formasi Tolaka, Formasi Meluhu, Batuan Ofiolit, Formasi Matano, Formasi Salodik, Formasi Pandua, Formasi Alangga, Terumbu Korall Kuarter dan Aluvium. Lokasi penelitian berada pada Kompleks Ofiolit yang diperkirakan terbentuk pada Periode Kapur dan terdiri dari peridotit, harzburgit, dunit, gabro, dan septinit. Kompleks Ofiolit yang tersingkap di Kabupaten Konawe Utara lebih menunjukkan afinitas OIB (*Ocean Island Basalt*) dari pada MORB (*Mid-Ocean Ridge Basalt*) berdasarkan pada kandungan kimia yang digambarkan dalam diagram laba-laba unsur jarang maupun tanah jarang (Irzon dan Baharuddin, 2016). Kondisi geologi wilayah Konawe Utara tertera pada Gambar 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Dari ketiga profil laterit nikel yang dipelajari, telah diambil delapan conto. Kandungan oksida utama diketahui dengan penggunaan

perangkat XRF. Pada sisi lain, ICP-MS dimanfaatkan untuk mengukur kadar unsur jarang dan unsur tanah jarang. Hasil pengukuran kandungan kimia conto terpilih terangkum pada Tabel 1b.

PEMBAHASAN

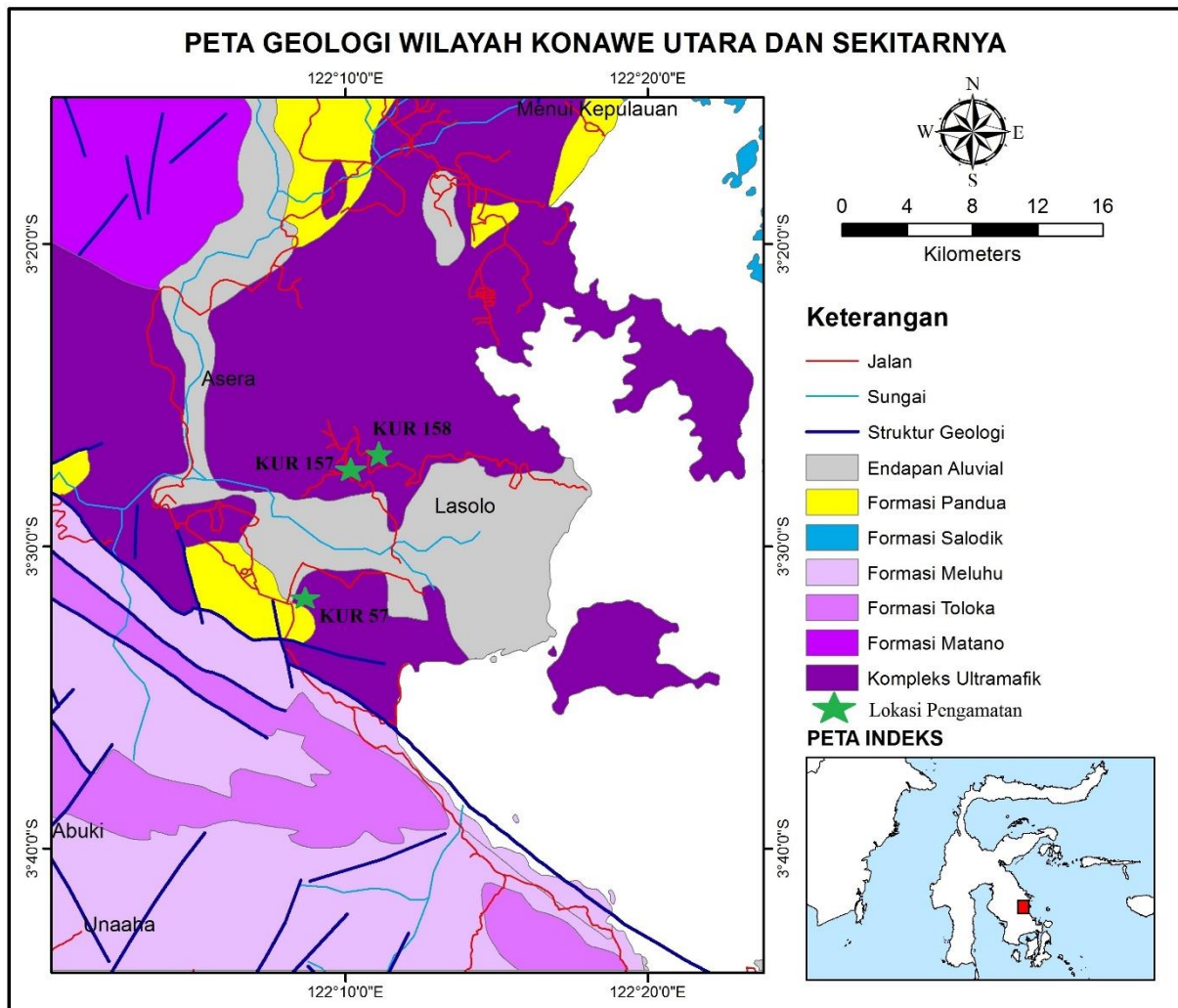
Pengayaan Logam Berat Pada Horizon Laterit

Purwanto dan Agustini (2014) menjelaskan bahwa proses mineralisasi laterit secara kimia disebabkan oleh ketidakseimbangan air dekat permukaan, pengaruh temperatur, dan aktifitas biologi yang akan menghasilkan mineral baru yang berbeda dari asalnya. Pada tahap awal batuan induk terlapukkan pada daerah sekitar kekar yang akan melepaskan serpentin menjadi talk (lempung), air, dan ion Mg (Ahmad, 2006). Batuan induk ultramafik di Konawe Utara secara umum berwarna abu-abu gelap, berbutir halus hingga sedang, dan tersusun oleh limpahan mineral olivin ($(Mg, Fe)_2SiO_4$) dan piroksen ($(Ca(Mg,Fe)Si_2O_6)$) (Irzon dan Baharuddin, 2015). Pelapukan akan melepaskan ion Mg-Fe dari olivin dan Mg-Fe-Ca dari piroksen selain juga akan membentuk mineral residu berupa oksida-oksida Fe seperti hematit (Fe_2O_{3T}) dan goethite ($FeOOH$).

Pada titik pengamatan di Andowia dapat dilihat adanya sedikit penurunan kadar Fe oksida dari horizon saprolit menuju batas antara saprolit dan laterit. Namun demikian, besi oksida naik sangat signifikan, hingga lebih dari lima kali lipat, pada horizon laterit bagian atas maupun pada horizon tanah (*soil*). Kenaikan kadar Al_2O_3 dari horizon paling bawah ke paling atas secara bertahap teramati pada lokasi KUR 57 ini, dengan kadar masing-masing 2,96%, 3,14%, 5,54%, dan 7,4% pada saprolit, batas saprolit-laterit, laterit, dan tanah (*soil*) (Gambar 5a). Peningkatan cukup tinggi berbanding lurus dengan tingkat pelapukan dapat diamati pada empat jenis logam berat: Mn, Cr, Ti, dan Co (Gambar 6a dan Gambar 7a). Namun demikian, terdapat kecenderungan pola menurun untuk oksida-oksida logam lain, yaitu: Si, Mg, Ni, dan Ca terhadap

derajat pelapukan. Meski kadar MgO tertinggi terdapat pada horizon batas saprolit-laterit (28,47%), kandungannya kemudian jauh menurun hingga 2,28% (laterit) dan 1,3% (*soil*). Mg termasuk kation dengan mobilitas tinggi dan mudah larut saat proses pelapukan sehingga kadarnya akan berkurang sejalan dengan proses pelapukan. Mobilitas tinggi Mg berbanding terbalik dengan Al₂O₃ yang justru memiliki derajat mobilitas rendah dan kemudian meningkat kadarnya selama pelapukan (Alam drr., 2012). Pola mobilisasi dari horizon paling segar menuju paling lapuk

pada Ni hampir serupa dengan MgO. Pola tersebut menggambarkan bahwa setelah terjadinya co-presipitasi Ni-Co-Mn pada tahap awal lateritisasi, nikel kemudian tercuci keluar dari horizon laterit dan bermigrasi menuju horizon saprolit yang kemudian tertahan pada horizon yang disebut sebagai *transitional bedrock* (Purwanto dan Agustini, 2014). Proses pelapukan pada batuan ultramafik di Kepulauan Solomon (Sagapoa drr., 2011) dan Goias – Brazil (Ratie drr., 2015) juga menunjukkan kecenderungan serupa.



Gambar 4. Titik lokasi pengamatan dan kondisi geologi di Kabupaten Konawe Utara (dimodifikasi dari Rusmana drr., 1993)

Tabel 1. a) Hasil analisis geokimia pada batuan ultramafik di Konawe Utara (sumber: Irzon dan Baharuddin, 2016); dan b) Kandungan geokimia conto terpilih dari dua profil laterit nikel Konawe Utara.

a)

	KUD 02	KUD 05	KUD 06	KUD 50A	KUD 51	KUD 54	KUD 56	KUD 154	KUD 156
Oksida Utama (%)									
SiO ₂	38,96	38,48	38,58	38,5	40,05	39,08	39,25	39,41	41,07
TiO ₂	0,0086	0,148	0,0345	0,0349	0,0714	0,0134	0,0108	0,0117	0,112
Al ₂ O ₃	0,8	3,16	1,15	1,69	2,55	1,02	0,83	0,98	2,92
Fe ₂ O _{3T}	9,7	8,55	10,5	8,53	9,45	9,92	9,27	8,7	12,29
MgO	43,54	36,95	43,44	42,07	41,65	41,31	44	37,39	39,31
CaO	0,96	3,14	1,72	1,26	2,1	1,14	0,9	0,75	3,55
MnO	0,14	0,129	0,147	0,124	0,141	0,143	0,129	0,132	0,163
K ₂ O	n,d	0,0027	0,005	0,0029	n,d	0,004	0,0028	n,d	0,0106
Na ₂ O	n,d	n,d	n,d	n,d	0,0708	n,d	n,d	n,d	0,15
NiO	0,352	0,306	0,382	0,303	0,308	0,364	0,388	0,332	0,329
Cr ₂ O ₃	0,35	0,304	0,363	0,34	0,36	0,362	0,298	0,335	0,425
Co ₃ O ₄	0,0151	0,0155	0,0179	0,0153	0,0164	0,0173	0,0152	0,0149	0,0165
SO ₃	0,0415	0,057	0,0285	0,0293	0,0387	0,0256	0,0243	0,0173	n,d
LOI	5,08	8,66	3,59	7,05	3,16	6,56	4,85	11,88	0,16
Jumlah	99,9472	99,9022	99,9579	99,9494	99,9663	99,9593	99,9681	99,9529	100,5061
Unsur jarang dan tanah jarang (ppm)									
V	57,95	29,61	47,46	50,93	118,57	83,04	51,54	78,82	94,66
Rb	69,85	69,57	69,72	71,99	73,32	72,08	71,07	73,05	71,82
Y	0,4	1,86	0,62	1,01	2,31	0,44	0,62	0,27	2,53
Ba	15,3	11,06	18,85	19,84	18,87	18,49	21,07	28,46	24,66
La	0,41	0,98	0,35	0,67	0,64	0,25	0,30	0,32	0,28
Ce	1,17	2,35	0,87	0,85	0,90	0,63	0,72	0,72	0,82
Pr	0,07	0,53	0,07	0,09	0,09	0,36	0,06	0,07	0,11
Nd	0,24	1	0,26	0,30	0,42	0,16	0,19	0,22	0,48
Sm	0,05	0,26	0,07	0,08	0,17	0,03	0,04	0,05	0,20
Eu	n,d	0,05	0,01	0,02	0,05	n,d	n,d	0,01	0,07
Gd	0,05	0,31	0,10	0,12	0,25	0,06	0,07	0,06	0,29
Tb	0,01	0,06	0,02	0,03	0,05	0,01	0,01	0,02	0,07
Dy	0,06	0,32	0,12	0,16	0,36	0,07	0,06	0,07	0,41
Ho	0,02	0,08	0,03	0,04	0,09	0,02	0,02	0,02	0,11
Er	0,07	0,21	0,09	0,12	0,26	0,07	0,06	0,06	0,30
Tm	0,01	0,03	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02	0,06
Yb	0,10	0,19	0,09	0,13	0,26	0,08	0,07	0,07	0,28
Lu	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,06
Th	0,41	0,25	0,01	0,1	0,07	0,38	0,14	0,5	0,29
U	0,34	0,38	0,31	0,33	0,33	0,35	0,36	0,36	0,35
ΣUTJ	2,29	6,42	2,10	2,64	3,62	1,76	1,62	1,74	3,53

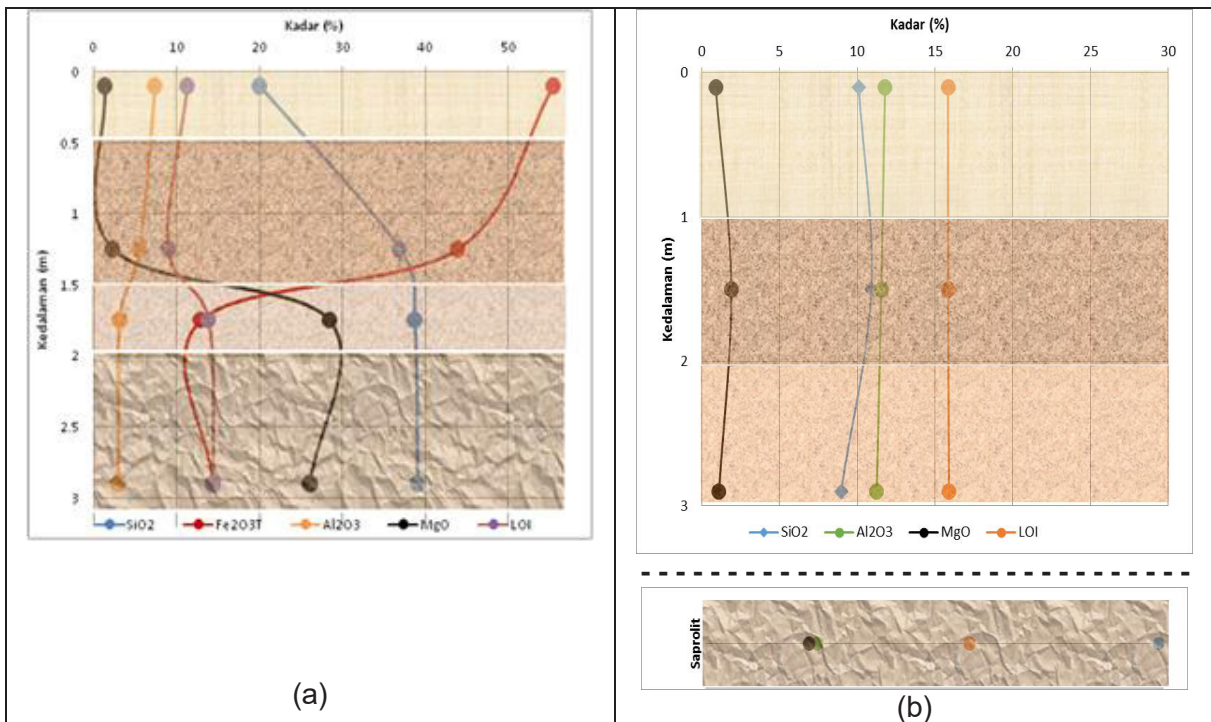
b)

	KUR 57-A	KUR 57-B	KUR 57- C	KUR 57- D	KUR 158-A	KUR 158-B	KUR 158-C	KUR 157
Oksida Utama (%)								
SiO ₂	20,03	36,94	38,74	39,09	10,1	10,91	8,96	29,67
TiO ₂	0,129	0,0888	0,0458	0,0486	0,406	0,397	0,374	0,21
Al ₂ O ₃	7,4	5,54	3,14	2,96	11,79	11,55	11,26	7,32
Fe ₂ O _{3T}	55,49	43,86	12,92	14,39	56,96	54,28	57,8	34,71
MgO	1,3	2,28	28,47	26,1	0,906	1,91	1,12	6,77
CaO	0,0271	0,0211	0,0806	0,0735	0,0108	0,145	0,0243	0,538
MnO	0,846	0,577	0,167	0,189	0,741	1,34	1,02	0,791
K ₂ O	0,0122	0,0078	0,0052	0,0033	0,003	n.a.	n.a.	0,0137
Na ₂ O	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
NiO	1,15	1,03	1,9	2,03	1,23	1,49	1,44	1,11
Cr ₂ O ₃	1,99	1,56	0,616	0,622	1,72	1,79	1,77	1,34
Co ₃ O ₄	0,102	0,0754	0,0188	0,0242	0,101	0,154	0,118	0,098
SO ₃	0,063	0,0472	0,0142	n.a.	0,0662	0,0514	0,0666	0,0488
P ₂ O ₅	0,0698	0,0455	n.a.	0,0028	n.a.	0,0217	0,0196	0,0265
LOI	11,3	8,95	13,84	14,43	15,84	15,84	15,9	17,27
Jumlah	99,9091	101,0228	99,9576	99,9634	99,874	99,8791	99,8725	99,916
Unsur jarang dan tanah jarang (ppm)								
V	200,77	145,85	98,02	82,78	224,54	229,21	251,16	154,02
Rb	73,39	71,89	71,52	71,41	69,50	67,47	66,86	68,44
Y	1,83	4,75	1,35	1,89	9,28	14,02	12,77	4,59
Ba	33,12	26,40	26,31	25,05	42,44	65,46	36,34	38,07
La	0,82	1,17	0,33	1,23	1,37	1,78	1,48	0,45
Ce	2,81	1,60	1,04	2,86	3,35	3,51	2,88	1,29
Pr	0,18	0,26	0,06	0,15	0,42	0,70	0,54	0,16
Nd	0,61	0,95	0,21	0,48	1,97	3,38	2,57	0,80
Sm	0,14	0,23	0,07	0,13	0,74	1,28	0,97	0,33
Eu	0,03	0,06	0,01	0,03	0,25	0,45	0,34	0,12
Gd	0,20	0,35	0,12	0,27	1,04	1,76	1,38	0,50
Tb	0,04	0,07	0,03	0,05	0,23	0,39	0,30	0,12
Dy	0,27	0,49	0,21	0,31	1,44	2,37	1,87	0,72
Ho	0,07	0,14	0,06	0,09	0,36	0,59	0,47	0,19
Er	0,22	0,44	0,17	0,25	1,03	1,69	1,33	0,51
Tm	0,04	0,07	0,03	0,06	0,17	0,27	0,21	0,09
Yb	0,26	0,45	0,20	0,28	0,98	1,57	1,21	0,50
Lu	0,05	0,09	0,04	0,06	0,18	0,28	0,22	0,10
Th	0,36	0,19	0,04	0,21	0,38	0,25	0,30	0,17
U	0,40	0,37	0,35	0,37	0,40	0,37	0,37	0,34
ΣUTJ	5,73	6,35	2,59	6,26	13,53	20,01	15,77	5,88

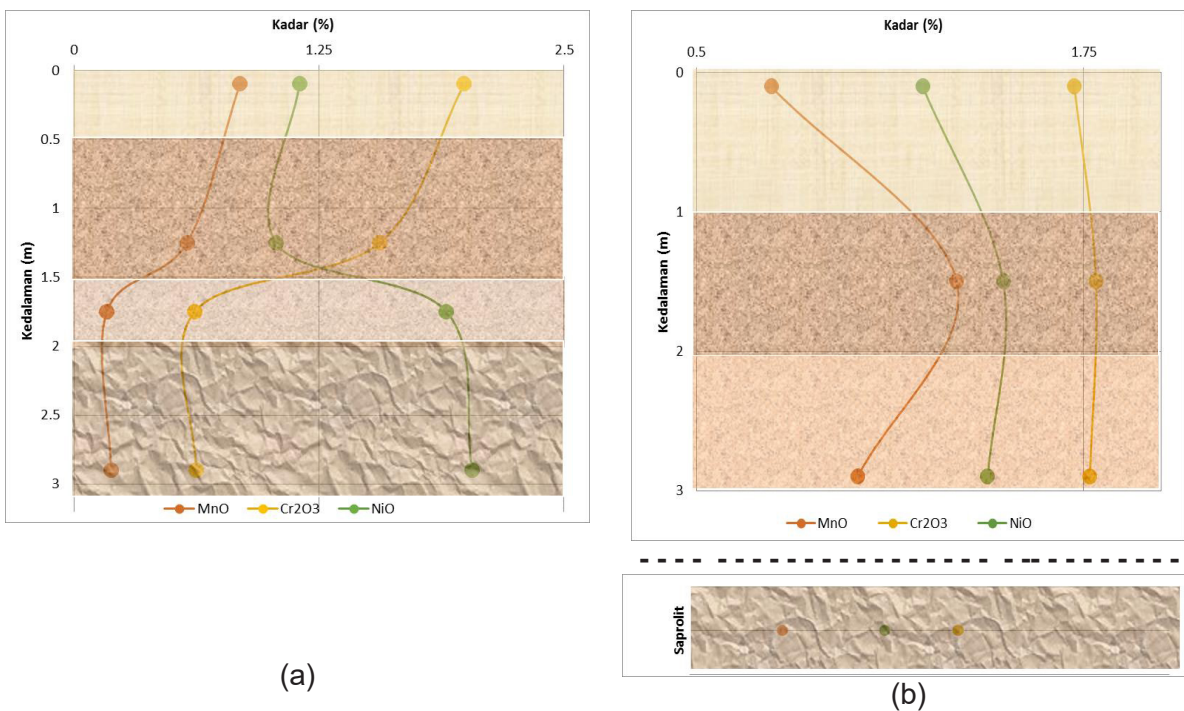
Sebagian besar oksida utama tidak banyak memperlihatkan perubahan pada profil Wawolimbue. SiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 , hingga jumlah material volatil tampak stabil pada rentang 8,96-10,1%, 11,26-11,79%, 1,72-1,77%, 0,374-0,406%, dan 15,84%-15,9% secara berurutan (Gambar 5b). Kondisi demikian sangat mungkin disebabkan oleh proses mobilisasi unsur yang mendekati selesai pada profil ini. Meski demikian, dapat teramati adanya pengayaan Mg, Mn, dan Co pada horizon laterit dengan adanya *iron crust* (KUR 158-B) yang masing-masing meningkat 70%, 31%, dan 30% bila dibandingkan dengan kadar pada horizon laterit berwarna coklat terang (158-C). *Aluminium crust* (bauxit) lebih mudah terbentuk pada iklim tropis lembab, sedangkan *iron crust* dalam kondisi tropis lembab yang disertai dengan pergantian musim yang kontras (Brown dr., 1994). *Iron crust* terbentuk pada musim panas dengan lepasnya Fe dari lapisan bagian atas menuju horizon lebih bawahnya. Hal ini menjelaskan mengapa kadar Fe_2O_{3T} justru lebih rendah pada KUR 158-B (54,28%) dibandingkan dengan KUR 158-C (57,8%). Perbedaan sangat signifikan akan tampak ketika data saprolit Marombo digunakan sebagai pengganti saprolit Wawolimbue. Seperti pada profil Andowia, SiO_2 , MgO, LOI, CaO, dan Fe_2O_{3T} turun secara signifikan dari horizon saprolit (KUR 157) menuju (KUR 158-C). Juga terdapat peningkatan cukup tinggi berbanding lurus dengan derajat pelapukan pada empat jenis logam berat: Mn, Cr, Ti, dan Co (Gambar 6b dan Gambar 7b). Pengelompokan KUR 157 bukan

sebagai batuan induk didukung oleh tingginya kadar LOI (17,27%).

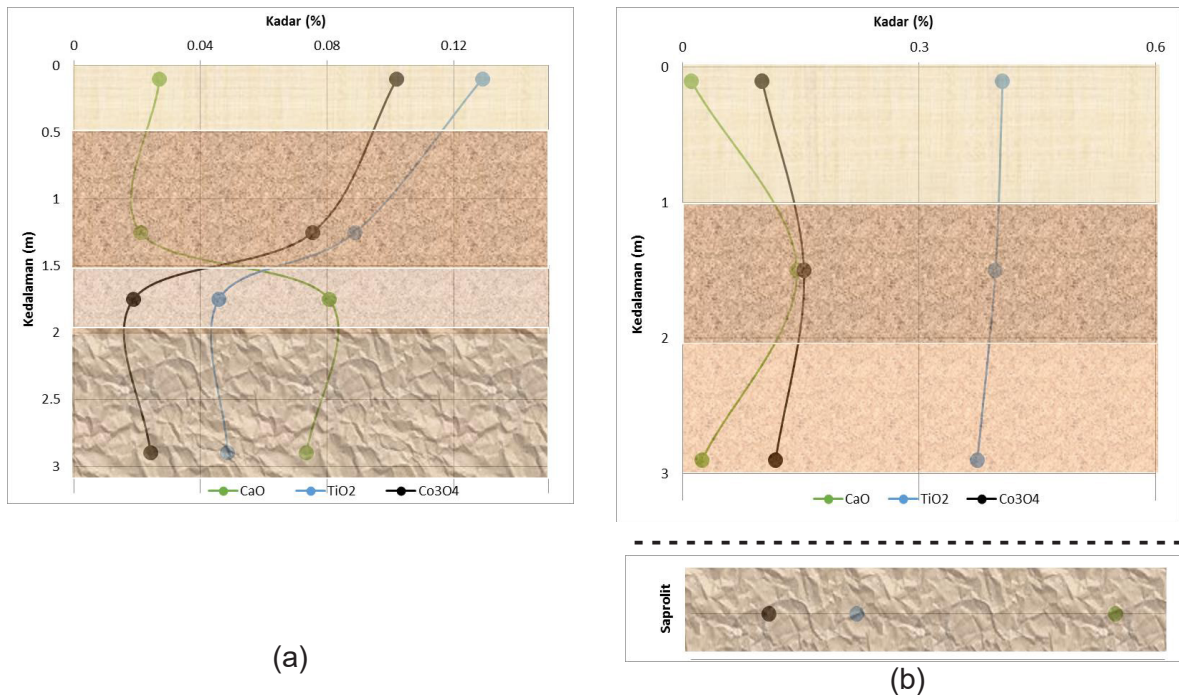
Silikat primer (batuan induk) semakin hancur dan kehilangan bentuk selama proses pelapukan yang akan mengawali pembentukan horizon saprolit. Pada rentang masa tersebut juga terjadi proses pertukaran ion seperti: serpentin-Mg + Ni^{2+} = serpentin-kaya Ni + Mg^{2+} (Sagapoa dr., 2011). Silika dan magnesium kemudian tercuci keluar dari horizon paling atas yang dapat pula menjelaskan rendahnya kadar kedua oksida/unsur pada horizon *soil*. Perubahan kadar unsur selama proses pelapukan turut dikontrol oleh derajat mobilitas yang tergantung pada heterogenitas batuan induk dan pembentukan mineral allorogenik (Chaerul dr., 2015). Telah dijelaskan bahwa semakin tinggi mobilitas unsur akan semakin mempermudah larut dan kemudian menurunkan kadarnya selama pelapukan (Alam dr., 2012). White (2011) merinci bahwa rata-rata derajat mobilitas unsur dari tinggi ke rendah adalah: Ca, Mg, Si, Ni, Co \approx Zn \approx V, Fe \approx Cr \approx Mn. Kemudian, kondisi Eh (aktifitas elektron) dapat memulai copresipitasi Mn bersamaan dengan Ni, Co, dan beberapa unsur lain. Mn oksihidroksida justru dianggap sebagai pembawa utama pengayaan kobalt dan nikel pada beberapa kasus (Sagapoa dr., 2011). Dengan demikian, derajat mobilitas unsur berikut copresipitasi dapat dianggap sebagai faktor yang menyebabkan pengayaan Mn, Co, dan Cr pada dua profil penelitian.



Gambar 5. Perubahan kadar oksida-oksida berkadar besar pada dua lokasi pengamatan: a) Profil Andowia; dan b) Profil Wawolimbue-Marombo.



Gambar 6. Perubahan kadar oksida-oksida berkadar menengah pada dua lokasi pengamatan: a) Profil Andowia; dan b) Profil Wawolimbue-Marombo.



Gambar 7. Perubahan kadar oksida-oksida berkadar menengah pada dua lokasi pengamatan: a) Profil Andowia; dan b) Profil Wawolimbue-Marombo.

Perubahan Komposisi Unsur Tanah Jarang

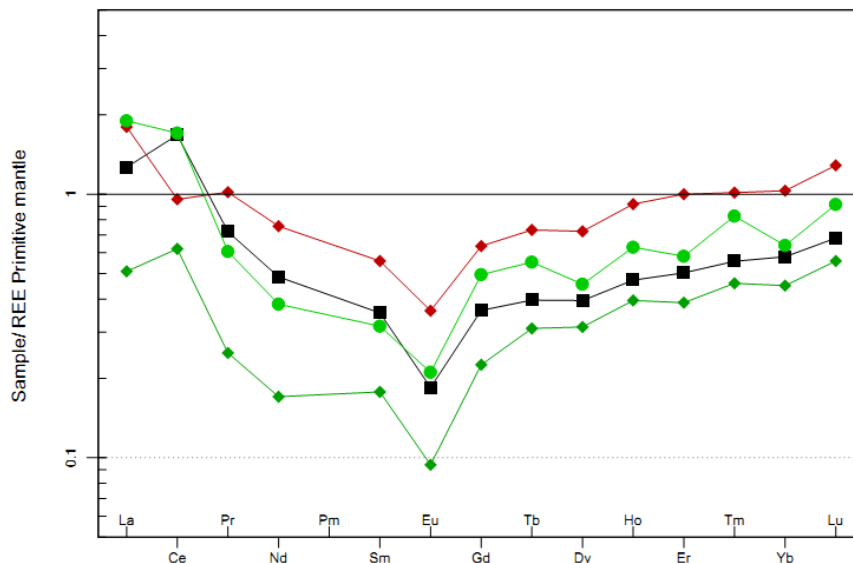
Vanadium pada horizon relatif lebih segar berkadar 82 ppm (Andowia) dan 154 ppm (Wawolimbue-Marombo) relatif terus meningkat secara gradual seiring kenaikan derajat pelapukan menjadi 200 ppm dan 224 ppm seperti ditunjukkan oleh perubahan komposisi rubidium. Meski kadar barium tertinggi dijumpai pada horizon *soil* KUR 57, jumlah unsur ini paling banyak terdapat pada horizon laterit gelap di KUR 158. Secara umum, tidak terdapat adanya mobilisasi uranium terkait proses pelapukan pada studi ini. Kesamaan berikutnya pada kedua profil adalah yttrium yang paling terkonsentrasi pada horizon tepat sebelum *soil*. Unsur tanah jarang dan yttrium tetap terikat pada berbagai kondisi geokimia sehingga dijadikan sebagai indikator yang cocok untuk mempelajari sirkulasi hidrotermal maupun karakter interaksi batuan-air (Bao dr., 2008). Disamping itu konfigurasi elektron maupun radius ion yttrium pun mirip dengan unsur tanah jarang, terutama UTJ-berat, sehingga dapat menjelaskan kesamaan mobilisasi keduanya pada studi ini.

Batuan ultramafik memang bukan merupakan tempat kedudukan utama UTJ (Castor dan Hedrick, 2006), sehingga masih sedikit studi mengenai kedua topik tersebut. Jumlah UTJ pada seluruh contoh pada studi ini berkisar antara 2,59 ppm s.d. 20,01 ppm. Namun demikian, studi ini lebih mengarahkan analisis UTJ terhadap mobilisasinya pada pelapukan batuan ultramafik di Konawe Utara. Pola perubahan jumlah kelompok UTJ terhadap berbagai jenis batuan induk terkait proses pelapukan telah dipelajari (seperti: Sagapoa dr., 2011; Mustapha dan Alhassan, 2012; Jianwu dr., 2015; Irzon dr., 2016). Kandungan UTJ pada setiap contoh dalam studi ini telah dinormalisasi menggunakan nilai *primitive mantle* (Sun dan McDonough, 1989) untuk menghilangkan *Oddo-Harkins effect* seperti ditampilkan pada Gambar 8 untuk Profil Andowia dan Gambar 9 untuk Profil Wawolimbue-Marombo. Diagram laba-laba pada stasiun KUR 57 memperlihatkan bahwa hampir seluruh kandungan UTJ lebih kecil dari pada nilai *primitive mantle* (Sun dan McDonough, 1989). Pola penurunan UTJ-ringin menuju UTJ-menengah (*medium-REE*) yang kemudian menaik kembali menuju UTJ-berat terungkap pada diagram

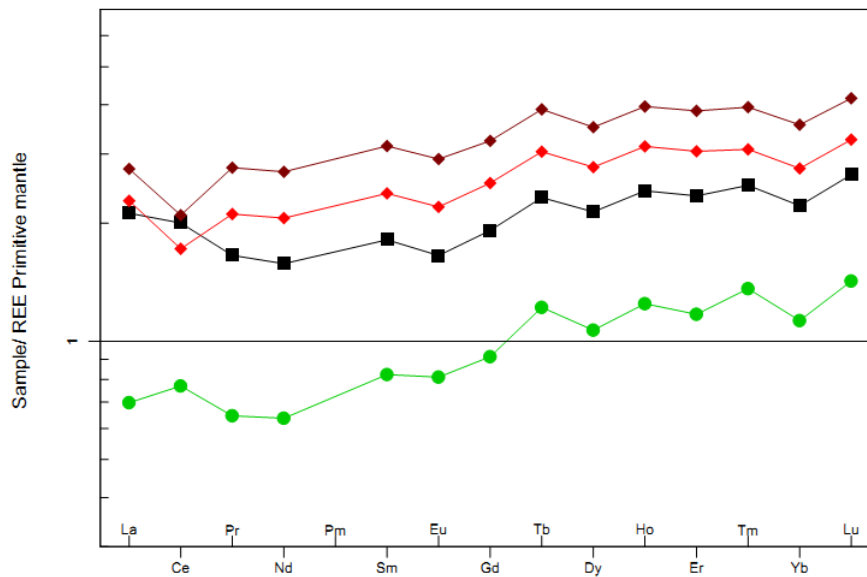
laba-laba Profil Andowia. Pola kandungan UTJ yang berbeda diperlihatkan oleh Profil Wawolimbue-Marombo UTJ-ringan naik secara bertahap menuju UTJ-berat. Lebih jauh, kesamaan pola tiga horizon KUR 158 dan satu horizon KUR 157 membuktikan bahwa kedua lokasi pelapukan berasal dari batuan induk yang sama.

Anomali negatif Ce terdapat pada horizon saprolit (KUR 57-C, KUR 57-D, dan KUR 157) maupun *top soil* (KUR 57-A dan KUR 158) pada kedua stasiun pengamatan. Sebaliknya, Ce justru memiliki anomali positif pada horizon laterit di Andowia maupun Wawolimbue. Selama pelapukan pada iklim tropis maupun dalam proses pelarutan mineral, terjadi mobilisasi dan migrasi UTJ yang kemudian akan terabsorpsi pada mineral lempungan (Marker dan Oliveira, 1994). Proses migrasi UTJ relatif tidak terjadi

pada unsur Ce akibat oksidasi spontan dari Ce^{3+} menjadi Ce^{4+} yang menjelaskan penyebab anomali negatif Ce pada horizon laterit. Keterdapatannya anomali negatif Ce diperkirakan sebagai indikator bijih yang terbentuk melalui absorpsi ion (Maulana dan Kenzo, 2011). Perbedaan kecenderungan anomali Eu dapat dijadikan pembeda dua profil penelitian, anomali negatif Eu nampak jelas pada keempat contoh dari Andowia. Sedangkan, Profil Wawolimbue-Marombo terlihat relatif tanpa anomali Eu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kemungkinan besar batuan induk kedua profil ini berbeda untuk menguatkan kesimpulan Irzon dan Baharuddin (2016) yang membagi batuan ultramafik di Konawe Utara terbagi menjadi kelompok olivine-hornblende-piroksenit dan kelompok lherzolit.



Gambar 8. Diagram laba-laba unsur tanah jarang Profil Andowia. Normalisasi terhadap *primitive mantle value* (Sun dan McDonough, 1989). ● = KUR 57-D, ◆ = KUR 57-C, ◆ = KUR 57-B, dan ■ = KUR 57-A.



Gambar 9. Diagram laba-laba Profil Wawolimbue-Marombo. Normalisasi terhadap *primitive mantle value* (Sun dan McDonough, 1989).
 ● = KUR 157, ◆ = KUR 158-C, ◆ = KUR 158-B, dan ■ = KUR 158-A.

KESIMPULAN

Kondisi iklim tropis menjadi faktor penting terkait laju pelapukan di Indonesia yang memungkinkan untuk dipelajari dari berbagai segi. Unsur-unsur pada batuan induk termobilisasi kembali melalui proses pelapukan. Pengayaan logam berat: Mn, Cr, Ti, dan To terbukti terjadi berbanding lurus dengan proses pelapukan di kedua titik pengamatan di Konawe Utara. Meski demikian, Si, Mg, dan Ca tampak berkurang dari horizon yang relatif paling segar menuju horizon paling lapuk. Ni terdeteksi terkonsentrasikan pada *transitional bedrock*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengayaan logam-logam berat telah terjadi pada horizon laterit dari profil dalam penelitian ini. Kesimpulan tersebut dapat dijadikan dasar untuk mengarahkan eksplorasi logam nikel dan paduan besi pada wilayah dengan horizon laterit yang tebal. Perbedaan batuan induk Profil Andowia dengan Profil Wawolimbue-Marombo ditunjukkan melalui ketidaksamaan pada pola diagram laba-laba unsur tanah jarang.

Diagram tersebut juga mempertegas bahwa walau lokasi Wawolimbue terpisah 1,4 km dari lokasi Marombo, kedua profil berasal dari batuan induk serupa. Unsur tanah jarang terkonsentrasikan pada horizon laterit dibandingkan dengan horizon lainnya. Anomali Ce negatif terjadi akibat oksidasi spontan dari Ce^{3+} menjadi Ce^{4+} sehingga mobilisasi UTJ menuju horizon laterit tidak diikuti oleh unsur tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini sepenuhnya didukung oleh program Puser Survei Geologi di Kabupaten Konawe Utara pada tahun 2014. Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas izin publikasinya. Bapak Baharuddin dan Bapak Purnama Sendjaja telah membuka lebar cakrawala kebumian wilayah Sulawesi Tenggara berikut pemahaman mengenai lateritisasi. Bapak Kurnia, Ibu Irfanny Agustiani, Saudari Indan dan Saudari Citra telah mengawal hasil analisis geokimia dengan baik. Tidak lupa saya berterimakasih kepada Bapak Ayeng Hikmat dan Bapak Iwan Rudiawan terkait penggunaan data geologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, W., 2006. *Nickel Laterites: Fundamental of chemistry, mineralogy, weathering process, formation and exploration*, Tidak dipublikasikan, PT. INCO, 207 p.
- Alam, S., Sunarminto, B.H. dan Siradz, S.A., 2012. Karakteristik Bahan Induk Tanah dari Formasi Geologi Kompleks Ultramafik di Sulawesi Tenggara. *Jurnal Agroteknos*, v.12(2), pp. 122-120.
- Anonim, 2013. *Sulawesi Tenggara dalam Angka*. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tenggara, pp.3-9.
- Bao, S.X., Zhou, H.Y., Peng, X.T., Ji, F.W. dan Yao, H.Q., 2008. Geochemistry of REE and yttrium in hydrothermal fluids from the Endeavour segment, Juan de Fuca Ridge, *Geochemical Journal*, 42, pp. 359 – 370.
- Brown, E.T., Bourles, D.L., Colin, F., Sanfo, Z., Raisbeck, G.M. dan Yiou, F., 1994. The development of iron crust lateritic systems in Burkina Faso, West Africa examined with in-situ-produced cosmogenic nuclides, *Earth and Planetary Science Letters*, 124, pp. 19-33.
- Calagari, A.A., Farahani, F.K., dan Abedini, A., 2015. Geochemical Characteristics of a laterite: The Jurassic Zan Deposit, Iran. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 12(1), pp.67-77. doi:10.13168/AGG.2015.0001.
- Castor, S.B. dan Hedrick, J.B., 2006. Rare earth elements', in Kogel, et al., eds., 2006, *Industrial Minerals & Rocks*, 7th edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., pp. 769-792.
- Chaerul, M., Pallu, M.S., Selintung, M. dan Patanduk, J., 2015. Distribution and Mobility of Heavy Metal Materials in Settling Ponds Post Laterite Nickel Mining (A Case Study: North Motui Konawe, Southeast Sulawesi)'. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(6-2), p.72-75. doi: 10.1007/s11631-014-0686-y.
- Charlton, T.R., 2000. Tertiary evolution of the Eastern Indonesia Collision Complex' *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, pp.603-631.
- Gao, J.M., Yan, Z.K., Liu, J., Zhang M. dan Guo, M., 2014. A novel hydrometallurgical approach to recover valuable metals from laterite ore. *Hydrometallurgy*, 150, pp.161–166.
- Hariri, M.M., 2004. Petrographical and Geochemical Characteristics of the Ultramafic Rocks of Jabal Zalm, Central Arabian Shield, Saudi Arabia. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 29(2A), pp.123-133.
- Heggie, G.J., Barnes, S.J. dan Fiorentini, M.L., 2013. Application of lithogeochemistry in the assessment of nickel-sulphide potential in komatiite belts from northern Finland and Norway. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 85, pp. 107–126.
- Irzon, R., Syafri, I., Hutabarat, J., dan Sendjaja, P., 2016. REE Comparison between Muncung Granite Samples and their Weathering Products, Lingga Regency, Riau Islands. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(3), pp.149-161. doi: 10.17014/ijog.3.3.149-161.
- Irzon, R. dan Baharuddin, 2016. Geochemistry of Ophiolite Complex in North Konawe, Southeast Sulawesi, *Eksplorium*, 37(2), pp.101-114.
- Jainwu, L., Ganlin, Z., dan Zitong, G., 2014. Mobilization and redistribution of elements in soils developed from extreme weathering basalt on Hainan Island, *Chinese Journal of Geochemistry*, 33, pp.262-271. doi: 10.1007/s11631-014-0686-y.
- Kumar, A. dan Maiti, S.K., 2013. Availability of Chromium, Nickel and Other Associated Heavy Metals of Ultramafic and Serpentine Soil /Rock and in Plants, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(2), pp.256-268.
- Marker, A., dan de Oliveira, J.J., 1994. Climatic and morphological control of rare earth element distribution in weathering mantles on alkaline rocks, *Catena*, 21, pp.179-193.
- Mustapha, A.M. dan Alhassan, M., 2012. Chemical, Physico-chemical and Geotechnical Properties of Lateritic

- Weathering Profile Derived from Granite Basement, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17(J), pp.1505-1514.
- Purwanto, H.S. dan Agustini, S., 2014. Lateritisasi Nikel Pulau Pakal, Kabupaten Halmahera Selatan Provinsi Maluku Utara, *Jurnal Ilmiah MTG*, 7(1).
- Ratie, G., Jouvin, D., Garnier, J., Olivier, R., Miska, S., Guimaraes E., Cruz, V.L., Sivry, Y., Zelano, I., Pelletier, M.E., Thil, F. dan Quantin, C., 2015. Nickel isotope fractionation during tropical weathering of ultramafic rocks, *Chemical Geology*, 402, pp.68-76.
- Rusmana, E., Sukido, Sukarna, D., Haryono, E., dan Simandjuntak, T.O., 1993. *Geology of the Lasusua – Kendari Quadrangle, Sulawesi*, Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Sagapoa, C.V., Imai, A. dan Watanabe, K., 2011. Laterization Process of Ultramafic Rocks in Siruka, Solomon Island, *Journal of Novel Carbon Resources Sciences*, 3, pp.32-39.
- Sun, S.S. dan McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, *Geological Society, London, Special Publications*, 42, pp.313-345.
- Syafrizal, Anggayana, K., dan Guntoro, D., 2011. Karakterisasi Mineralogi Endapan Nikel Laterit di Daerah Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan. Sulawesi Tenggara, *Jurnal Teknologi Mineral*, 18(4), pp.211-220.
- White, W.M., 2011. *Geochemistry, Chapter 7: Trace Elements in Igneous Process*. Wiley-Blackwell, Chicester, pp.268-318.

Diterima	: 5 Juli 2017
Direvisi	: 11 Agustus 2017
Disetujui	: 29 Agustus 2017

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN PETROGRAFI BATUBARA
LAPANGAN X CEKUNGAN SUMATERA SELATAN DAN LAPANGAN Y
CEKUNGAN SUMATERA TENGAH INDONESIA**

**CHEMICAL AND PETROGRAPHIC CHARACTERISTIC OF COAL FROM X FIELD
SOUTH SUMATERA BASIN AND Y FIELD CENTRAL SUMATRA BASIN,
INDONESIA – A COMPARATIVE STUDY**

Azmi Baihaqi¹, Rita Susilawati², Lili Fauzielly¹, dan Budi Muljana¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

² Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

azmibaihaqi123@gmail.com

ABSTRAK

Karakteristik batubara dari dua wilayah prospek batubara di Sumatera dievaluasi dengan menggunakan metode kimia dan petrografi batubara. Penelitian terfokus pada evaluasi peringkat (tingkat pembatubaraan di daerah penelitian), tipe (komposisi material organik dan lingkungan pengendapan batubara) serta *grade* (kandungan material inorganik yang bisa berpengaruh terhadap proses utilisasi) batubara. Lapangan X memiliki lapisan batubara yang merupakan bagian dari Formasi Muaraenim dan Kasai Cekungan Sumatera Selatan sedangkan batubara pada lapangan Y merupakan bagian dari Formasi Petani Cekungan Sumatera Tengah. Sebanyak enam conto batubara dari lapangan X dan 8 conto dari lapangan Y digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua lapangan memiliki batubara dengan karakteristik yang berbeda. Walaupun batubara di kedua daerah termasuk dalam kategori lignit, nilai rata-rata reflektansi huminit batubara Lapangan Y sedikit lebih tinggi dari lapangan X. Hal ini mengindikasikan bahwa batubara lapangan Y mengalami pengaruh peningkatan temperatur dan pembebanan yang lebih tinggi dari lapangan X. Berdasarkan hasil analisis komposisi maseral, batubara lapangan X dapat dibedakan ke dalam 3 fasies: fasies I (huminit >90%, kandungan inertinit dan liptinit <10%), fasies II (huminit 80% s.d. 90%, inertinite 10% s.d. 15%, dan liptinit 10%) serta fasies III (huminit 75% s.d. 85%, inertinit 15% s.d. 20% dan liptinit <10%). Sementara batubara lapangan Y lebih homogen dan dapat digolongkan ke dalam satu fasies (huminit >90% dan liptinit serta inertinite <10%). Hasil plot *Gelification index* (GI) dan *Tissue preservation index* (TPI) menunjukkan bahwa batubara lapangan X diendapkan pada lingkungan *limnic-marsh* hingga *limno telmatic* sedangkan batubara lapangan Y pada lingkungan *limnic* hingga *telmatic marsh*. Banyaknya kongresi pirit pada batubara lapangan Y mengindikasikan bahwa batubara tersebut mendapat pengaruh laut yang lebih besar daripada batubara lapangan X. Batubara di kedua lapangan dapat dianggap sebagai batubara *grade* tinggi atau batubara bersih karena memiliki kandungan sulfur (<10%) dan abu yang relatif rendah (<10%). Hanya satu conto (SJ2) yang memiliki kadar abu tinggi (>50%) menunjukkan bahwa conto tersebut bukan batubara. Sebagai kesimpulan, perbedaan karakteristik batubara lapangan X dan Y mendukung teori bahwa batubara dengan sejarah pengendapan yang berbeda akan menghasilkan karakteristik yang berbeda.

Kata kunci: karakteristik batubara, peringkat, tipe, mutu, lingkungan pengendapan

ABSTRACT

Using chemical and coal petrography analysis methods, this study aims to evaluate coal characteristics from two coal-bearing areas in Sumatra. The evaluation focuses on rank, type and grade of coal from both areas. Coal-bearing units in X field are part of Muaraenim and Kasai Formation of South Sumatra Basin, while Y field contains coal that belongs to Petani

Formation of Central Sumatra Basin. Six coal samples from X field and eight ones from Y field were used in this study. The result of this research showed that the coals from the two areas differ in their characteristics. Although coal in both areas are lignite, the Rv of coal in Y field is slightly higher than X field suggesting that Y coal may experienced higher temperature and buried deeper than X coal. Based on its maceral composition, coal in X field could be classified into 3 facies: facies 1 (huminit >90%, liptinite and inertinite <10%), facies 2 (huminit 80% s.d. 90%, inertinite 10% s.d. 15% and liptinite 10%) and facies 3 (huminit 75% s.d. 85%, inertinite 15% s.d. 25% dan liptinite <10%). On the other hand, the coal maceral composition of Y field is more uniform as such can be grouped into 1 facies (Huminit >10%, inertinite and liptinite <10%). Plot of Tissue Preservation Index (TPI) and Gelification Index (GI) indicates that X field coal was deposited in a limnic marsh to limno telmatic while Y coal in limnic to telmatic marsh. The presence of pyrite concretions in coal of Y field, suggest that coal in this field experienced more marine influenced than coal of X field. Related to grade, both fields have relatively clean coals that low in ash and sulphur. Only SJ2 sample from X field that contains high ash (>50%), suggesting that the samples was not coal. To sum up, the difference in coal characteristic of X and Y areas supports the theory that coal from different depositional history will generate distinct characteristic.

Keywords: coal characteristics, rank, type, grade, depositional environment

PENDAHULUAN

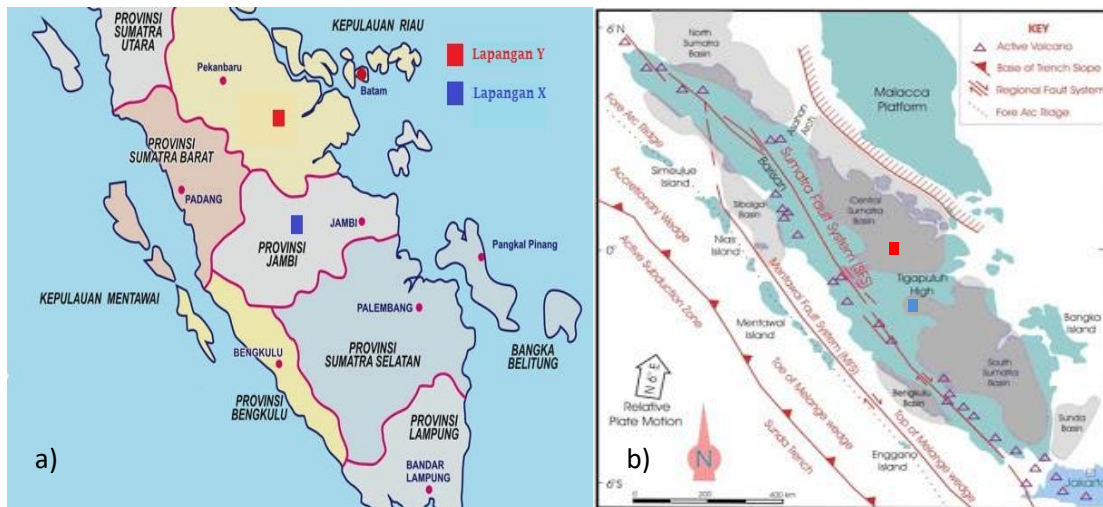
Batubara adalah salah satu sumber energi yang keberadaanya cukup berlimpah di Indonesia. Karakteristik batubara dalam hal ini peringkat (*rank*), tipe (*type*) dan mutu (*grade*), adalah tiga parameter yang mempengaruhi kualitas serta pemanfaatan batubara (Speight, 2013). Karakteristik batubara ditentukan oleh berbagai hal di antaranya oleh proses geologi dan sejarah pembentukan batubara. Batubara yang mengalami sejarah pengendapan yang berbeda akan menghasilkan karakteristik yang juga berbeda (Diessel, 1992).

Peringkat batubara menunjukkan tingkat metamorfisma (pembatubaraan) yang dialami oleh tumbuhan pembentuk batubara (*proto-coal*) selama sejarah penimbunan (*burial history*). Peringkat batubara bergantung pada temperatur maksimum dan tekanan serta lamanya *proto-coal* terpapar oleh temperatur dan tekanan tersebut. Peningkatan peringkat direfleksikan oleh beberapa parameter di antaranya nilai reflektansi vitrinit/huminit (*Rv*), nilai kalori, karbon tertambat (*fixed carbon/FC*) atau nilai zat terbang (*volatile matter/VM*). Secara teori, seiring dengan bertambahnya peringkat batubara maka nilai kalori dan nilai *Rv* akan bertambah,

sementara nilai *VM* akan berkurang (Speight, 2013).

Tipe batubara menunjukkan karakteristik material organik penyusun batubara (kayu, daun, akar, alga dan lain-lain) berikut tingkat degradasi selama dan sebelum material organik tersebut mengalami pematubaraan (Suarez dan Crelling, 2008). Tipe batubara juga bisa merefleksikan lingkungan pengendapan pada saat batubara tersebut terbentuk (Diessel, 1992). Sementara mutu dari batubara merefleksikan seberapa besar akumulasi material tumbuhan terbebas dari kontaminasi oleh material anorganik (*mineral matter*) baik selama dan sebelum mengalami proses penggabungan, setelah penimbunan, maupun selama proses pematubaraan dan setelahnya (Suarez dan Crelling, 2008).

Tulisan ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik peringkat, tipe dan mutu batubara dari dua lapangan prospek batubara yang berada di dua cekungan prospek batubara di Indonesia, di samping juga untuk membuktikan teori bahwa batubara yang memiliki sejarah pengendapan yang berbeda akan memiliki karakteristik yang juga berbeda.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian: a) Lokasi administratif: lapangan X (Provinsi Jambi) dan lapangan Y (Provinsi Riau) (Gambar dimodifikasi dari wikipedia); b) Lokasi berdasarkan cekungan sedimentasi, lapangan X (Cekungan Sumatera Selatan) dan lapangan Y (Cekungan Sumatera Tengah) (Gambar dimodifikasi dari Darman and Sidi, 2000)

Lapangan X di Kabupaten Tebo dan Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi, termasuk ke dalam Cekungan Sumatera Selatan, sedangkan Lapangan Y terdapat di Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau, termasuk ke dalam Cekungan Sumatera Tengah. Formasi pembawa batubara pada Lapangan X adalah Formasi Muaraenim dan Formasi Kasai, sedangkan pada lapangan Y adalah Formasi Petani.

Conto batubara yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari hasil penyelidikan batubara yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) tahun 2015. Proses karakterisasi dilakukan dengan melalui tahapan: pemercontohan (pengambilan contoh batubara), analisis kimia berupa proksimat, ultimat, dan nilai kalori serta analisis fisik (analisis petrografi berupa analisis maseral dan reflektansi vitrinit/huminit).

GEOLOGI

Lapangan X berada pada Peta Geologi Lembar Muarabungo skala 1:250.000 (Simanjuntak dkk, 1994) terletak antara Cekungan Sumatera Selatan dan Cekungan Sumatera Tengah, namun sebagian besar wilayahnya termasuk ke

dalam Cekungan Sumatera Selatan bagian utara atau subcekungan Jambi dan sebagian kecil termasuk ke dalam Cekungan Sumatera Tengah (Gambar 1b). Batubara pada lapangan X termasuk ke dalam Formasi Muaraenim dan Formasi Kasai. Formasi Muaraenim yang berumur Miosen Akhir terbentuk sebagai akibat meningkatnya aktivitas vulkanik serta kemunculan Pegunungan Barisan ke arah barat sebagai sumber material sedimen. Litologi pencirinya berupa batulempung, batupasir, dan batulempung tufaan serta ditemukannya beberapa lapisan batubara. Formasi ini mencirikan lingkungan fluvial hingga transisi (Ginger dan Fielding, 2005). Formasi Kasai terendapkan pada Pliosen hingga Plistosen. Formasi ini terbentuk oleh proses susut laut dan pengangkatan. Litologi pencirinya merupakan tufa, batulanau, dan batuan vulkanoklastik dengan lingkungan penciri yaitu transisi hingga terrestrial.(De Coster, 1974).

Lapangan Y merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Tengah, salah satu dari tiga cekungan busur-belakang Sumatera (*Sumatera/back arc basin*) yang terbentuk selama Tersier Awal (Eosen – Oligosen), terdiri atas rangkaian blok sembul (*horst*) dan terban (*graben*) yang terbentuk sebagai respon ekstensi busur

belakang (Gambar 1b). Secara regional, Lapangan Y termasuk pada peta geologi Lembar Pekanbaru (Clarke dkk., 1982). Formasi Petani diendapkan pada Miosen Tengah - Plistosen dalam lingkungan laut yang berubah menjadi lingkungan payau hingga darat. Formasi ini tersusun atas batulumpur yang mengandung lignit, batulempung karbonan dan interkalasi batupasir batulanau, yang ke arah atas menunjukkan terjadinya pendangkalan lingkungan pengendapan dan adanya pengurangan pengaruh laut (Clarke dkk, 1982; De Coster, 1974).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan enam conto batubara lapangan X dan delapan conto batubara lapangan Y. Semua conto diambil dari singkapan batubara yang ditemukan di permukaan. Seluruh conto batubara dianalisis di laboratorium secara fisika dan kimia. Analisis fisik berupa petrografi batubara yang meliputi analisis nilai reflektansi vitrinit/huminit dan analisis komposisi maseral. Analisis kimia meliputi analisis ultimat dan proksimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan kandungan kelembaban (*moisture/M*), Abu(Ash)), zat terbang (*volatile matter/VM*) dan karbon tertambat (*fixed carbon/FC*). Sementara itu, analisis ultimat dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) dalam conto batubara yang dianalisis.

Analisis reflektansi vitrinit/huminit (R_v) dilakukan dengan menggunakan mikroskop polarisasi dengan tambahan minyak imersi. Conto batubara dipersiapkan dalam bentuk *polished block*, dengan pertimbangan bahwa batubara yang dianalisis adalah batubara peringkat rendah. Sebagai standar kalibrasi indeks reflektansi, digunakan Spinel dan YAG (ylidium, alumunium, garnet) dengan nilai reflektansi masing-masing 0,426 dan

0,892. Pengukuran reflektansi vitrinit dilakukan dengan mengacu pada *International Organization for Standardization* nomor 7404-5:1994, yaitu sebanyak 100 kali pada tiap conto *polished block* batubara, dengan standar deviasi kurang dari 0,05%. Analisis komposisi maseral menggunakan mikroskop Carl Zeiss/ J&M/ HB0100 tipe Axioplan 2/PMT III dengan sinar flouresen, sinar pantul dan kamera tambahan. Perhitungan komposisi maseral pada setiap *polished block* batubara dilakukan pada 500 titik. Dalam penelitian ini, klasifikasi maseral yang digunakan adalah klasifikasi maseral batubara peringkat rendah yang diterbitkan oleh (*International Committee for Coal and Organic Petrology* (ICCP) 1994 (ICCP, 2001; Pickel dkk, 2017; Sykorova, dkk 2005). Dalam klasifikasi ini penamaan maseral vitrinit untuk batubara peringkat rendah (<0,4%) adalah huminit.

Untuk mendukung hasil analisis petrografi batubara, persamaan Parr (Parr, 1928) digunakan untuk menentukan kandungan *mineral matter* berdasarkan kandungan abu (A) dan sulfur (S) dalam *air-dried basis* (adb) conto batubara yang dianalisis yaitu:

$$\text{Mineral matter (\% w/w)} = 1.8A + 0.55S$$

sedangkan dalam penentuan lingkungan pengendapan, penelitian ini menggunakan formula Diessel (1992) berupa *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) yang telah dimodifikasi oleh Amijaya dan Littke (2005) untuk batubara peringkat rendah, yaitu:

$$\text{TPI} = \frac{(\text{telohuminit} + \text{teloinertinit})}{(\text{humodetrinit} + \text{humocollinit} + \text{inertodetrinit} + \text{geloinertinit})}$$

$$\text{GI} = \frac{(\text{huminit} + \text{geloinertinit})}{(\text{inertinit})}$$

Hasil perhitungan TPI dan GI kemudian diplot ke dalam diagram lingkungan pengendapan Diessel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis kimia

Hasil analisis proksimat, ultimat, kalori, dan hasil perhitungan persamaan Parr dapat dilihat pada Tabel 1. Pada lapangan X, conto yang dianalisis pada umumnya menunjukkan karakteristik yang sama (Gambar 2). Hanya conto SJ2 yang menunjukkan anomali. Conto tersebut memiliki kandungan abu yang sangat tinggi dan memiliki nilai VM, FC, C serta nilai kalori yang lebih rendah jika dibandingkan dengan conto lainnya (Tabel 2 dan Gambar 2). Berdasarkan karakteristiknya, disimpulkan bahwa conto SJ2 bukan batubara melainkan batulempung karbonan. Tanpa conto SJ2, kandungan abu batubara lapangan X relatif rendah

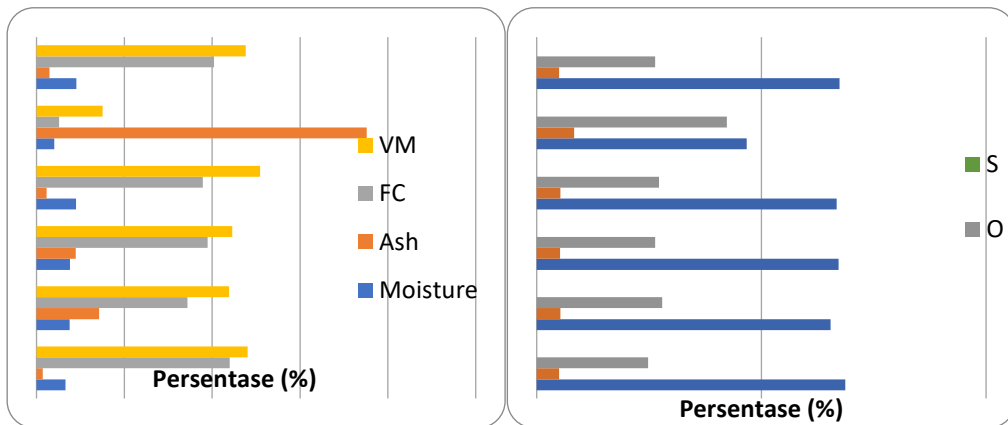
(rata-rata 5%). Nilai VM batubara lapangan X berada pada rentang 44% s.d. 51% dengan nilai rata-rata 41,6%. Sementara itu nilai FC berkisar antara 34% s.d. 44% dengan nilai rata-rata 33%.

Pada lapangan Y, seluruh batubara yang dianalisis menunjukkan karakteristik yang lebih homogen (Gambar 3). Nilai FC batubara lapangan Y berada pada rentang 34% s.d. 41% dengan nilai rata-rata 38%, sedangkan nilai VM berada pada rentang 41% s.d. 51% dengan nilai rata-rata 47%. Batubara lapangan Y memiliki nilai rata-rata VM dan FC yang relatif lebih tinggi daripada batubara lapangan X. Kandungan abu dan sulfur batubara lapangan Y juga relatif lebih tinggi daripada batubara lapangan X (Tabel 1 dan Gambar 2).

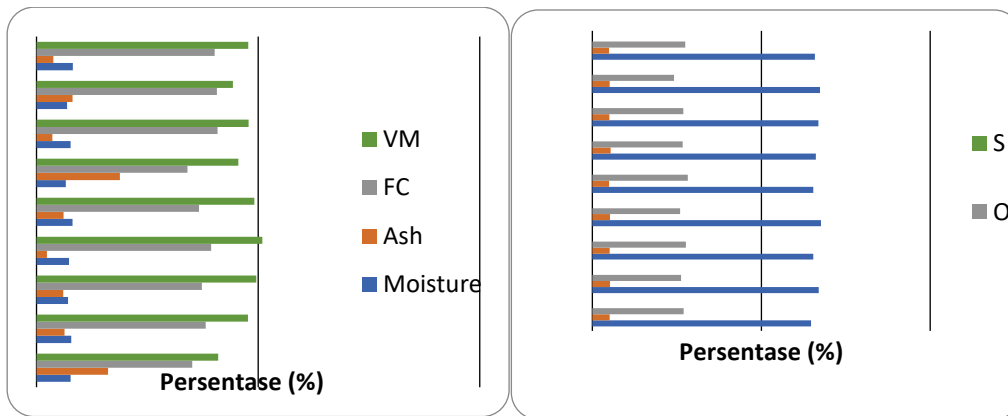
Tabel 1. Hasil analisis kimia batubara Lapangan X dan Y

Daerah	Kode Conto	Litologi	Analisis proksimat (% adb)				Analisis Ultimat (% daf)					Nilai Kalori (kkal/kg adb)	Kandungan mineral Rumus Parr (%)
			M	Abu	FC	VM	C	H	O	N	S		
X	TA2	Batubara	6,57	1,42	43,95	48,07	68,64	4,99	24,78	1,25	0,34	6010	2,74
	TA5	Batubara	7,53	14,28	34,35	43,85	65,43	5,24	27,90	1,04	0,40	4883	25,93
	TA6	Batubara	7,60	8,90	38,97	44,54	67,15	5,20	26,39	0,96	0,31	5353	16,19
	SJ1	Batubara	8,98	2,28	37,87	50,88	66,76	5,25	27,21	0,42	0,36	5689	4,30
	SJ2	Lempung K,	4,08	75,16	5,11	15,06	46,75	8,32	42,30	1,47	1,16	906	135,93
	SJ3	Batubara	9,09	2,94	40,38	47,60	67,39	5,01	26,39	0,95	0,26	5636	5,44
	SGT03	Batubara	7,71	16,15	35,16	41,00	64,77	5,13	27,06	0,98	2,05	4767	30,02
Y	SGT05	Batubara	7,81	6,32	38,16	47,72	67,01	5,26	26,24	1,00	0,49	5530	11,65
	SGT06A	Batubara	7,10	6,03	37,29	49,59	65,40	5,17	27,64	1,02	0,77	5518	11,28
	SGT06B	Batubara	7,36	2,33	39,40	50,92	67,67	5,18	25,98	0,90	0,28	5787	4,35
	SGT07	Batubara	8,13	6,08	36,64	49,15	65,42	4,98	28,22	1,10	0,28	5227	11,10
	SGT08A	Batubara	6,60	18,85	34,05	45,52	66,14	5,43	26,77	1,01	0,66	5070	34,30
	SGT08B	Batubara	7,71	3,59	40,85	47,85	66,91	5,00	26,91	0,78	0,41	5626	6,69
	KUAR	Batubara	6,88	8,12	40,67	44,34	67,35	5,09	24,22	1,18	2,15	5504	15,80
	PKG01	Batubara	8,21	3,80	40,21	47,79	65,91	4,93	27,50	1,09	0,57	5447	7,15

adb= air dried basis, daf = dry ash free basis, Lempung K = Lempung karbonan



Gambar 2. Karakteristik batubara lapangan X berdasarkan hasil analisis proksimat dan ultimat



Gambar 3. Karakteristik batubara lapangan Y berdasarkan hasil analisis proksimat dan ultimat

Hasil Analisis Petrografi

Hasil analisis reflektansi huminit (Rv) menunjukkan bahwa nilai reflektansi batubara lapangan X dan Y berada pada kisaran 0,24% s.d. 0,37% (Tabel 2). Tanpa conto SJ2, batubara lapangan X memiliki nilai Rv rata-rata 0,27%, sedangkan batubara lapangan Y memiliki nilai Rv rata-rata 0,29% (Tabel 2).

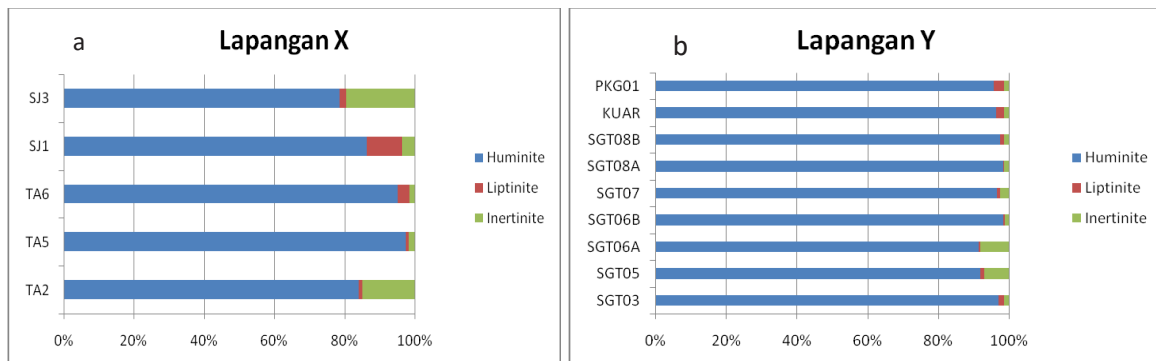
Kandungan huminit batubara lapangan X berada pada kisaran 66% s.d. 89%, kandungan liptinit berada pada rentang 1% s.d. 10%, sedangkan inertinit 1% s.d. 14% (Tabel 3). Batubara lapangan Y memiliki kandungan huminit sedikit lebih tinggi daripada lapangan X pada rentang 76% s.d. 94%, kandungan liptinit pada kisaran 0,4% s.d. 2% serta inertinit 1% s.d. 8% (Gambar 4). Huminit pada batubara lapangan X lebih didominasi oleh

detrovitrit, sementara pada lapangan Y didominasi oleh telohuminit (Gambar 5). Hanya tiga jenis maseral Liptinit yang terdeteksi dengan alat *point counter* yaitu kutinit, suberinit dan resin. Maseral lainnya yang terdeteksi tapi tidak terhitung dengan alat *point counter* adalah inertodetrinit. Sementara maseral inertinit batubara di kedua lapangan didominasi teloinertinit (semifusinit dan fusinit) dan detroinertinit (inertodetrinit). Secara umum, lapangan X memiliki batubara dengan kandungan liptinit dan inertinit yang lebih tinggi daripada lapangan Y (Gambar 4). Kandungan *mineral matter* batubara Lapangan X juga sedikit lebih tinggi daripada lapangan Y (Tabel 2). Mineral yang ditemukan sebagian besar berupa mineral lempung, pirit, dan sedikit oksida besi. Kenampakan maseral pada batubara lapangan X dan Y dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 2. Hasil analisis petrografi batubara kedua lapangan

Conto	Huminit (%)				Liptinit (%)			Inertinit (%)				MM	TPI	GI
	Rv	Th	Dh	Gh	Cu	Sb	Re	Ti	Di	Gi				
Lapangan X	TA2	0,27	21,80	60,20	0,20	0,20	0,00	0,80	13,80	0,80	0,00	2,20	0,58	5,63
	TA5	0,28	25,40	59,20	0,20	0,20	0,00	0,60	1,00	0,20	0,20	12,80	0,44	60,71
	TA6	0,26	36,20	38,00	0,20	1,80	0,40	0,40	0,40	0,80	0,00	21,80	0,94	62,00
	SJ1	0,24	38,20	48,20	0,40	0,40	6,20	3,60	3,20	0,20	0,20	5,00	0,85	24,17
	SJ3	0,29	17,40	48,80	0,20	0,00	0,60	1,00	16,20	0,20	0,00	15,60	0,69	4,05
	nilai rata-rata	0,27	26,83	50,03	0,23	0,70	2,07	1,10	5,93	0,43	0,10	11,48	-	-
Lapangan Y	SGT03	0,33	40,00	47,20	1,20	0,20	0,80	0,40	0,60	0,20	0,40	9,00	0,85	74,00
	SGT05	0,27	16,60	58,40	1,00	0,40	0,40	0,00	4,60	1,20	0,00	17,40	0,36	13,10
	SGT06A	0,37	26,40	58,60	0,80	0,40	0,00	0,00	1,40	6,00	0,20	6,20	0,43	11,32
	SGT06B	0,25	56,00	25,80	4,00	0,20	0,00	0,20	0,20	0,60	0,20	12,80	2,11	86,00
	SGT07	0,26	57,60	28,80	2,00	0,20	0,20	0,40	2,20	0,00	0,00	8,60	2,08	40,18
	SGT08A	0,28	55,00	39,60	0,00	0,00	0,20	0,00	0,60	0,40	0,40	3,80	1,38	67,86
	SGT08B	0,25	60,00	27,20	0,40	0,00	1,00	0,00	0,60	0,40	0,20	10,20	2,18	73,17
	KUAR	0,29	49,20	34,60	2,40	1,60	0,40	0,00	0,40	0,20	0,60	10,60	1,40	72,33
	PKG01	0,27	57,00	23,40	1,40	0,20	0,60	1,60	0,60	0,20	0,40	14,60	2,40	68,50
	nilai rata-rata	0,29	46,40	38,20	1,5	0,40	0,40	0,30	1,20	1,00	0,30	10,40	-	-

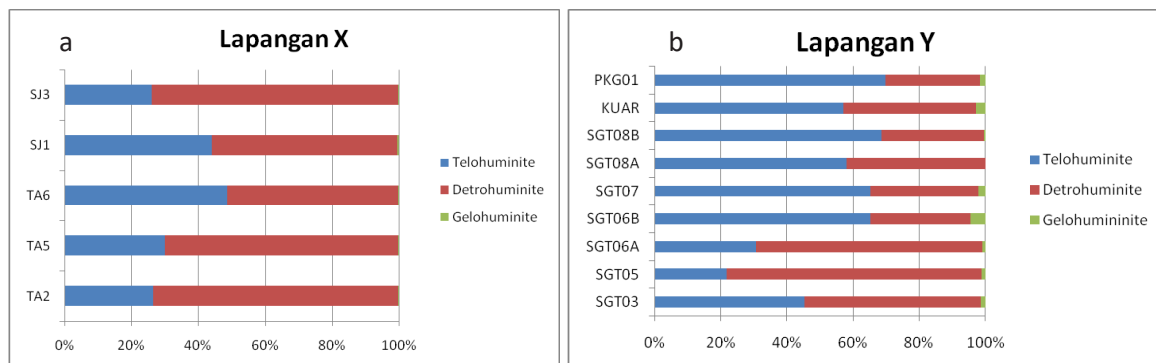
Th = *Telohuminit* Su = *Suberinit* Ti = *Teloinertinit* TPI = *Tissue perservation index*
 Dh = *Detrohuminite* Re = *Resinit* Di = *Detroinertinit* GI = *Gelification index*
 Gh = *Gelohuminit* Cu = *Kutinit* Gi = *Geloinertinit* MM = *mineral matter*



Gambar 4. Komposisi maseral batubara lapangan X (a) dan Y (b).

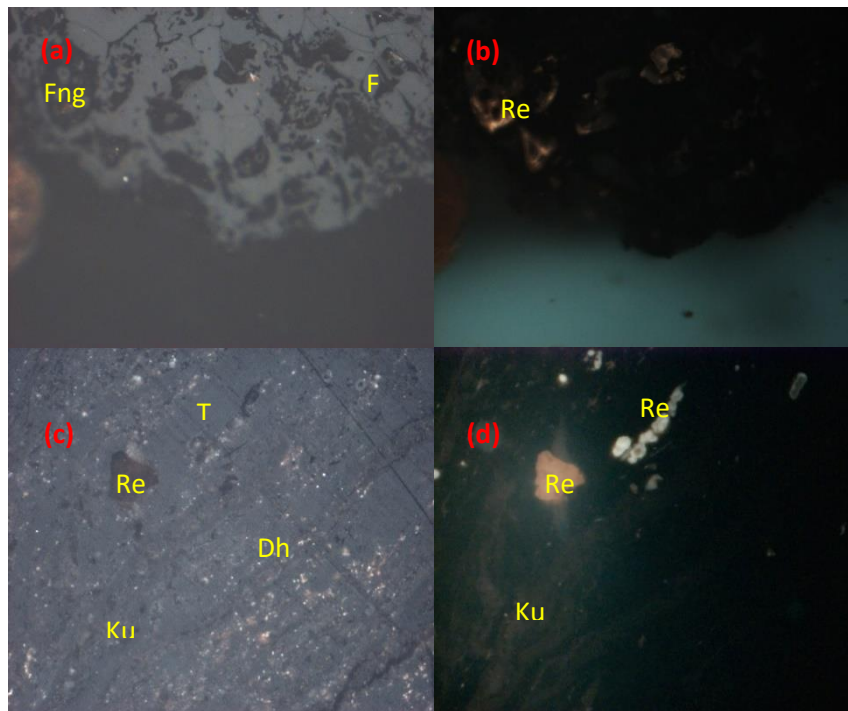
Huminit mendominasi maseral pada kedua lapangan.

Lapangan Y memiliki kandungan huminit yang lebih besar dari lapangan X

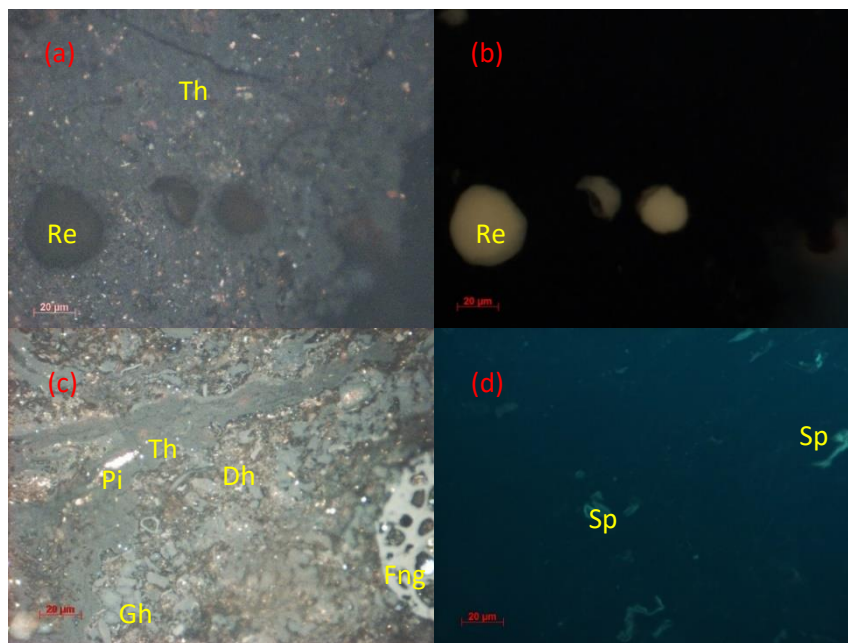


Gambar 5. Komposisi maseral huminit batubara lapangan X (a) dan lapangan Y (b).

Maseral huminit pada lapangan X didominasi detrohuminite sedangkan pada lapangan Y didominasi telohuminit



Gambar 6. Fotomikrografi maseral pada blok poles conto batubara lapangan X
 (a) Maseral Funginit (Fng) dan Fusinit (Fu) (conto TA6; cahaya pantul putih); (b) Maseral Resinit (Re) yang mengisi rongga maseral inertinit (conto TA6; cahaya fluoresen).
 (c) Telohuminit (Th), Detrohumininit (Dh) dan Resinit (Re) (conto SJ3; cahaya pantul putih); (d) Maseral Resinit (Re) dan kutinit (Ku) (conto SJ3; cahaya fluoresen)



Gambar 7. Fotomikrografi maseral dan mineral matter pada blok poles conto batubara lapangan Y. (a). Maseral Telohuminit (Th) dan Resinit (Re) (conto KUAR; cahaya pantul putih); (b). Conto sama dengan (a) dalam cahaya fluoresen: maseral Resinit (Re); (c). Maseral Funginit (Fng), Telohuminit (Th), Gelohuminit (Gh) dan Pirit (Pi) (conto SGT03; cahaya pantul putih); (d). Conto sama dengan (c) pada cahaya fluoresen: tampak maseral Sporinit (Sp)

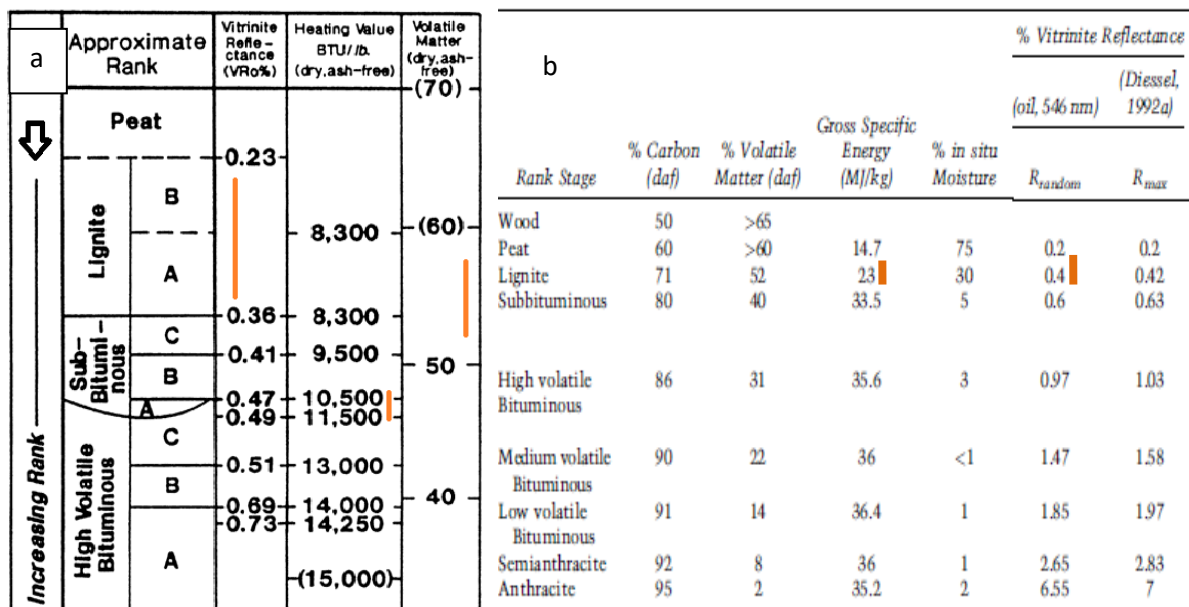
PEMBAHASAN

Peringkat batubara

Berdasarkan hasil analisis Rv, mengacu pada klasifikasi ASTM (1999) dan klasifikasi Diessel (1992) (Gambar 8) batubara Lapangan X (Rv rata-rata 0,27%) dan batubara lapangan Y (Rv rata-rata 0,29%) termasuk ke dalam peringkat batubara Lignit. Nilai Rv batubara Lapangan Y sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan batubara Lapangan X. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada saat proses pembatubaraan, batubara lapangan Y kemungkinan mengalami pemaparan oleh suhu yang lebih tinggi atau tertimbun lebih dalam daripada batubara lapangan X.

Untuk kepentingan pengklasifikasian batubara berdasarkan hasil analisis kimia, karena basis yang dipergunakan dalam klasifikasi ASTM adalah *dry ash-free (daf)*, hasil analisis laboratorium dalam *air-dried basis (adb)* terlebih dahulu dikonversikan

ke dalam basis *daf*. Klasifikasi batubara berdasarkan hasil analisis kimia menunjukkan hasil yang berbeda jika dibandingkan dengan klasifikasi berdasarkan analisis fisika. Berdasarkan klasifikasi ASTM, conto batubara lapangan X dan Y yang memiliki nilai kalori berkisar antara 6.000 sampai 6.500 kkal/kg (*daf*) dan setara dengan 10.800 Btu/lb (*daf*) s.d. 11.700 Btu/lb (*daf*), termasuk pada kategori batubara subbituminus A atau setara dengan Rv 0,47%. Sementara itu apabila klasifikasi dilakukan berdasarkan pada kandungan VM (53% s.d. 57%, *daf*), batubara di kedua lapangan termasuk ke dalam kategori lignit hingga subbituminus (Gambar 8a). Jika menggunakan klasifikasi Diessel (1992) (Gambar 8.b), kandungan kalori batubara daerah penelitian yang berkisar antara 4.700 hingga 6.000 kkal/Kg (*adb*) atau setara dengan 19,8 MJ/J hingga 25,5 MJ/J (*gross specific energy*) masih berada pada rentang batubara lignit. Dengan kata lain, klasifikasi Diessel cenderung lebih cocok untuk digunakan pada batubara daerah penelitian.



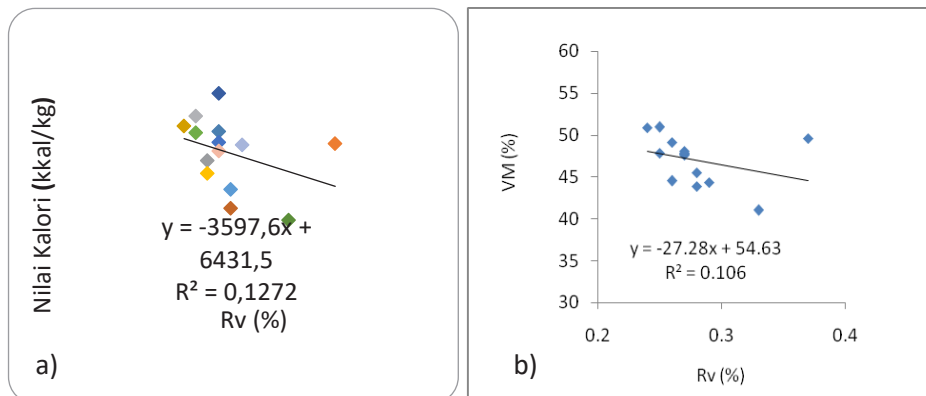
Gambar 8. Peringkat batubara kedua daerah penelitian (garis oranye) berdasarkan hasil analisis fisika (Rv) dan kimia (nilai kalori dan VM) mengacu pada: a) klasifikasi ASTM; dan b) klasifikasi Diessel (1992)

Lebih jauh, hasil analisis menunjukkan bahwa conto batubara dengan nilai Rv yang hampir sama ternyata memiliki nilai kalori yang berbeda (Gambar 9). Sebaliknya batubara dengan nilai Rv yang berbeda memiliki nilai kalori yang hampir sama (Gambar 9). Hal serupa juga terjadi ketika data Rv diplotkan terhadap data VM. Conto dengan nilai Rv yang hampir sama, memiliki kandungan VM yang berbeda dan conto dengan nilai Rv yang berbeda memiliki kandungan VM yang sama (Gambar 9). Hasil pengeplotan antara nilai Rv dan nilai kalori (Gambar 9a) serta pengeplotan nilai Rv dan VM (Gambar 9b) untuk semua conto batubara di Lapangan X dan Lapangan Y menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) $<0,5$, sehingga disimpulkan bahwa di daerah penelitian nilai Rv tidak memiliki korelasi langsung dengan nilai kalori dan VM.

Nilai kalori adalah salah satu parameter yang paling banyak digunakan untuk menentukan kualitas batubara dalam dunia industri. Nilai kalori dalam batubara di samping ditentukan oleh peringkat pembatubaraan juga ditentukan oleh faktor lain, di antaranya oleh kandungan pengotor (*mineral matter*). Nilai kalori batubara cenderung menurun dengan meningkatnya kandungan *mineral matter* (Speight, 2013). VM adalah komponen dalam batubara yang dibebaskan pada temperatur tinggi dalam kondisi hampa udara, dan terdiri atas gas seperti hidrogen, CO, CH₄, C₂H₆ dan juga CO₂. Nilai VM dipengaruhi oleh

komposisi maseral batubara. Sebagai contoh, maseral liptinit lebih banyak menghasilkan VM daripada huminit dan inertinit. Selain komposisi maseral, hal lain yang juga mempengaruhi kandungan VM dalam batubara adalah kandungan *mineral matter* (Speight, 2013). Sebagai contoh, mineral karbonat akan melepaskan CO₂, pirit akan melepaskan S atau pembentukan hidrogen klorida dari mineral klorida. Sementara nilai Rv cenderung lebih independen dan tidak terpengaruh komposisi maupun kandungan pengotor dalam batubara. Dalam hal ini perbedaan klasifikasi batubara berdasarkan analisis kimia dan fisika kemungkinan dipengaruhi baik oleh komposisi maseral maupun kandungan mineral yang ada dalam batubara di daerah penelitian.

Perlu diketahui untuk kepentingan penelitian, klasifikasi batubara yang biasa digunakan untuk menentukan peringkat batubara Indonesia, sebagian besar mengacu pada klasifikasi luar negeri (contoh: ASTM) yang kemungkinan tidak cocok untuk batubara Indonesia. Di Indonesia belum ada standar khusus yang mengklasifikasikan batubara Indonesia berdasarkan nilai Rv dan parameter peringkat lainnya. Saat ini pengklasifikasian batubara Indonesia berdasarkan peringkat lebih bersifat praktis untuk kepentingan dunia industri, yaitu batubara hanya diklasifikasikan berdasarkan nilai kalori (SNI 6728.4.2015).



Gambar 9. Grafik korelasi regresi conto batubara Lapangan X dan lapangan Y: (a) Rv vs nilai kalori; (b) Rv vs Vm

Menurut Speight (2013) batubara dari lokasi berbeda cenderung memiliki ciri yang juga berbeda, sehingga memerlukan perlakuan yang berbeda pula. Dalam hal ini, ada kemungkinan bahwa ketidaksesuaian antara hasil analisis kimia dan fisika dalam klasifikasi ASTM disebabkan oleh kisaran nilai kualitas batubara Indonesia yang tidak terangkum dalam kisaran nilai klasifikasi ASTM. Dalam hal ini dipandang perlu untuk membuat klasifikasi khusus untuk batubara Indonesia yang disesuaikan dengan karakteristik batubara Indonesia.

Tipe Batubara

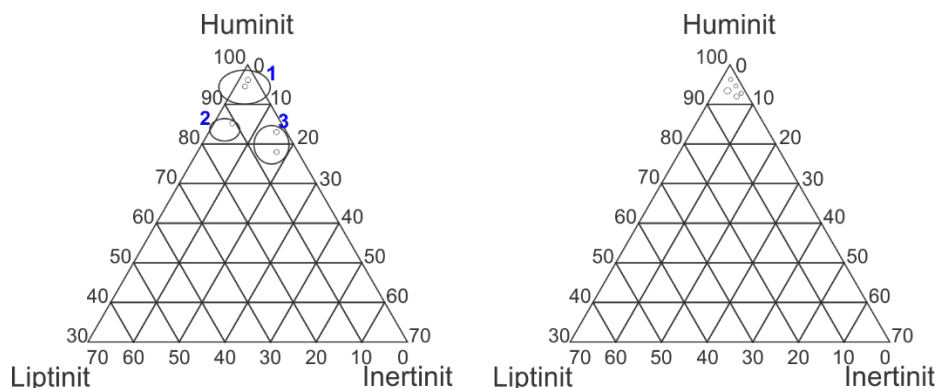
Komposisi maseral hasil analisis petrografi diplot ke dalam diagram segitiga untuk mengetahui informasi pengendapan batubara (Gambar 10). Dari 6 conto batubara Lapangan X hanya 5 conto yang diplotkan ke dalam diagram karena satu conto yaitu SJ2 memperlihatkan karakteristik bukan batubara, Hasil pengeplotan menunjukkan, bahwa batubara di daerah X dapat dibedakan ke dalam 3 fasies, sementara batubara Lapangan Y lebih homogen dan dapat dikelompokkan hanya ke dalam satu fasies (Tabel 3).

Kandungan huminit yang tinggi merupakan ciri khas batubara Indonesia dan

mengindikasikan bahwa material pembentuk batubara diendapkan sebagai gambut pada lingkungan hutan rawa basah yang berada pada kondisi anaerobik (Flores, 2002). Terbentuknya fasies II dan fasies III pada Lapangan X dengan kandungan inertinit yang relatif tinggi yang sebagian besar berupa teloinertinit (dalam bentuk fusinit) mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan gambut pernah terbakar dan/atau gambut terpapar udara sehingga maseral teroksidasi dan mengalami dehidrasi (O’Keefe dkk, 2013). Kehadiran telohuminit yang terbentuk dari dinding sel tumbuhan berkayu, mengindikasikan bahwa proses pembusukan tumbuhan sebagian besar berlangsung pada kondisi anaerobik atau hanya sedikit mendapat pengaruh udara. Sementara itu kehadiran detrohumininit yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan berkayu mengindikasikan bahwa proses pembusukan berlangsung signifikan pada kondisi aerobik (O’Keefe dkk, 2013). Banyaknya telohuminit pada batubara Lapangan Y mengindikasikan bahwa material pembentuk batubara pada lapangan tersebut sedikit terpengaruh udara atau lebih banyak mengalami pembusukan dalam kondisi anaerobik (tanpa udara) dibanding batubara Lapangan X.

Tabel 3. Fasies Batubara Lapangan X dan Lapangan Y

Lapangan X	Lapangan Y
Fasies 1: H > 90%; L < 10%; I < 10%	Fasies 1 ; H > 90%; L < 10%; I < 10%
Fasies 2: H 80% s.d. 90%; L 10%; I 10% s.d.15%	
Fasies 3: H 75% s.d. 85%; L < 10%; I 15% s.d. 20%	



Gambar 10. Diagram segitiga komposisi maseral Lapangan X (kiri) dan Lapangan Y (kanan)

Hasil perhitungan TPI dan GI serta pengeplotan nilai tersebut ke dalam Diagram Diessel, menunjukkan bahwa kedua lapangan memiliki kondisi yang berbeda. Secara umum, Lapangan X dicirikan oleh lingkungan dominasi *limnic-marsh*, sementara Lapangan Y oleh *telmatic* (Gambar 11).

Batubara Lapangan X memiliki indeks GI medium (1-10) hingga tinggi (>10) dan indeks TPI yang rendah (<1) (Gambar 11). Nilai TPI yang rendah untuk Batubara Miosen di Sumatera kemungkinan disebabkan karena bagian tengah dari kubah gambut di Indonesia disusun oleh hutan *tumbuhan tingkat rendah* dengan ketinggian 1 m yang lebih mudah membusuk dibandingkan tumbuhan berkayu yang mencapai ketinggian 40 m sampai 50 m (Anderson, 1983). Bahan selulosa dari tumbuhan *herbaceous* juga lebih mudah membusuk daripada bahan berkayu yang kaya akan lignin, sehingga nilai TPI rendah juga mengindikasikan bahwa *mire* didominasi oleh tumbuhan *herbaceous* atau bisa juga mengindikasikan terjadinya penghancuran tumbuhan berkayu dalam skala besar yang disebabkan oleh humifikasi ekstensif dan mineralisasi (Diessel, 1992). Nilai GI yang tinggi dan nilai TPI yang rendah serta kandungan abu dan *mineral matter* yang juga rendah mengindikasikan bahwa material pembentuk batubara di Lapangan X adalah tumbuhan *herbaceous* yang diendapkan pada *raised bog* dalam kondisi basah yang terus menerus. Nilai GI yang tinggi adalah khas endapan batubara dan gambut di Indonesia (Amidjaja dan Littke, 2005).

Lebih jauh, diagram juga menunjukkan bahwa batubara Lapangan X diendapkan pada lingkungan *limnic-marsh* dengan beberapa contoh menunjukkan lingkungan *limno-telmatic*. Lingkungan *limnic* merupakan lingkungan perairan darat tanpa adanya hubungan air langsung ke laut (Diessel 1992). *Marsh* merupakan lingkungan rawa jauh dari laut dengan kondisi air dari sungai terperangkap oleh kelokan, percabangan atau perubahan

muka air sungai dan hanya fluktuasi muka air laut yang tinggi saja yang memengaruhi lingkungan seperti *marsh* (Diessel 1992). Batubara Lapangan X termasuk pada Formasi Muaraenim dan Formasi Kasai. Berdasarkan Ginger dan Fielding (2005). Formasi Muaraenim terbentuk pada lingkungan fluvial, delta hingga pinggir pantai, sementara Formasi Kasai terbentuk pada lingkungan darat (*terrestrial*) hingga transisi. Secara umum, hasil analisis lingkungan pengendapan batubara X dalam penelitian ini, yang menunjukkan lingkungan *limnic (fluvial)*, dan *marsh* (transisi) sesuai dengan lingkungan pengendapan Formasi Muaraenim dan Formasi Kasai yang diperoleh dari literatur (Amidjaja dan Litke, 2005; De Coster, 1974).

Untuk Lapangan Y, hasil pengeplotan mengindikasikan bahwa contoh batubara diendapkan pada lingkungan pengendapan yang berbeda-beda (Gambar 10). Contoh SGT05 dan SGT06A menunjukkan lingkungan *limnic-marsh*, sedangkan contoh SGT03, KUAR dan SGT08A terendapkan pada kondisi mendekati laut (*limno-telmatic, lower delta plain*). Sementara itu contoh SGT06B, SGT08B, SGT07, dan PKG01 menunjukkan lingkungan *telmatic*. Sebagian besar batubara Lapangan Y memiliki indeks TPI dan GI yang tinggi dengan kandungan abu yang rendah. Hal tersebut mengindikasikan, bahwa material asal pembentuk batubara diendapkan pada *raised bog* dalam kondisi terus-menerus basah (Diessel, 1992).

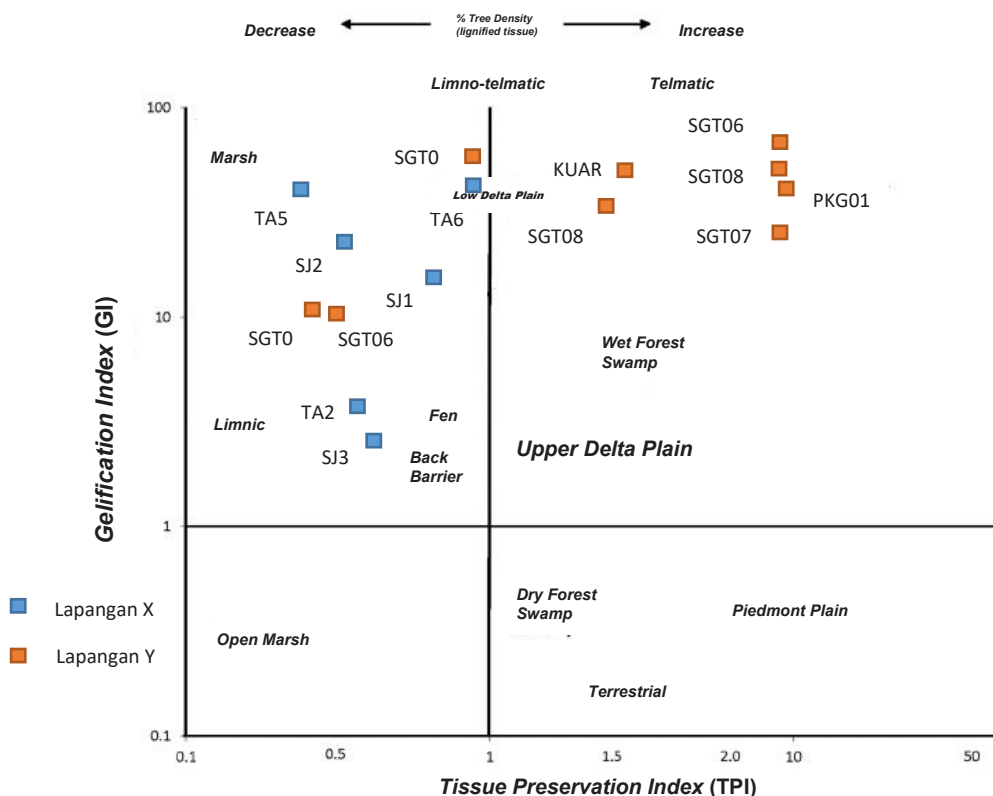
Contoh batubara Lapangan Y berasal dari Formasi Petani yang terbentuk pada lingkungan laut dangkal hingga darat mengindikasikan proses regresi (Clarke, 1982; De Coster, 1974). Dalam penelitian ini, hasil analisis fasies memberikan indikasi, bahwa lingkungan pengendapan batubara Lapangan Y terpengaruh proses transgresi dan regresi muka air laut, yang ditunjukkan oleh dua contoh pada lingkungan *limnic* yang tidak terhubung dengan laut, tiga contoh menunjukkan lingkungan *limno-telmatic* yang mulai terhubung dengan laut dan empat contoh

menunjukkan lingkungan *telmatic* yang dipengaruhi oleh pasang surut muka air laut. Kandungan sulfur dan kandungan pirit batubara Lapangan Y secara umum juga lebih tinggi daripada batubara Lapangan X, sehingga mendukung interpretasi bahwa batubara Lapangan Y mendapat pengaruh air laut yang lebih besar daripada Lapangan X.

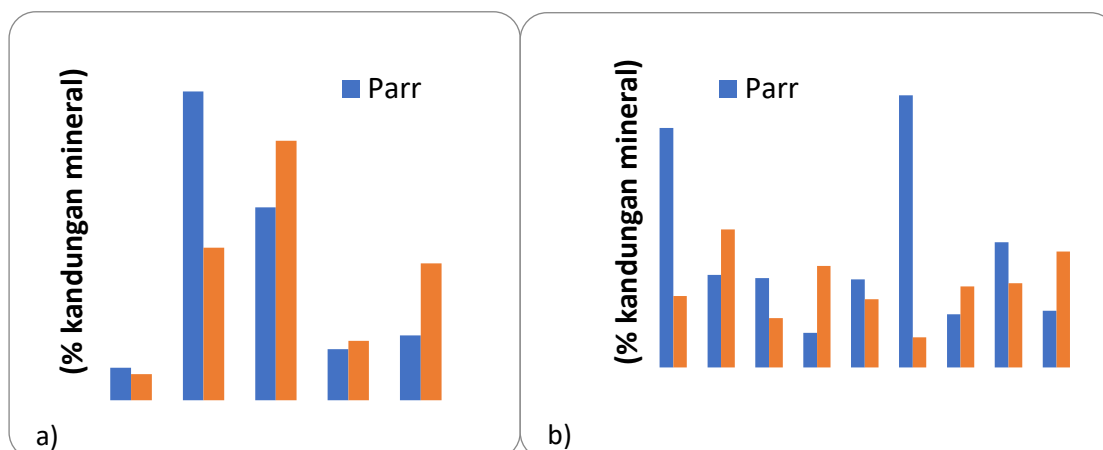
Mutu Batubara

Mutu batubara (*grade*) merefleksikan bagaimana suatu batubara tetap terbebas dari pengaruh material anorganik baik selama penimbunan/pembebanan, sebelum penimbunan/pembebanan dan selama proses pembatubaraan yang ditunjukkan oleh rendahnya kandungan *mineral matter* dan tingginya kandungan material organik (Suarez dan Crelling, 2008). Secara sederhana, pembahasan mutu batubara dalam penelitian ini akan difokuskan pada pembahasan kandungan *mineral matter* conto batubara di kedua daerah penelitian.

Kandungan *mineral matter* dapat diketahui dengan menggunakan analisis petrografi atau melalui persamaan Parr (1928) dengan menggunakan parameter kimia. Mutu batubara kedua lapangan menunjukkan hasil yang serupa dengan kandungan *mineral matter* yang relatif rendah kecuali beberapa conto (Tabel 2 dan Tabel 3). Gambar 12 menunjukkan perbandingan kandungan *mineral matter* berdasarkan hasil analisis petrografi dan persamaan Parr. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan Parr dengan hasil analisis petrografi sebagian besar tidak jauh berbeda. Perbedaan signifikan ditemukan pada conto batubara SGT03 dan SGT08B dari Lapangan Y. Adanya perbedaan yang cukup besar antara hasil analisis petrografi dan kimia kemungkinan disebabkan karena pada analisis petrografi, perhitungan persentase komposisi dilakukan berdasarkan pada titik tempat alat *point-counter* jatuh, sehingga beberapa individu *mineral matter* maupun maseral kemungkinan tidak termasuk ke dalam perhitungan.



Gambar 11. Plot nilai TPI dan GI Lapangan X dan Lapangan Y pada Diagram Diessel



Gambar 12. Grafik perbandingan *mineral matter* pada batubara hasil persamaan Parr dengan analisis petrografi: a) Lapangan X tanpa conto SJ2; b) Lapangan Y

Mineral matter sangat berpengaruh pada bagaimana batubara diproses, baik dalam hal penambangan, transportasi maupun bentuk penggunaannya. Ketika batubara dipanaskan pada unit pembakaran, kandungan *mineral matter* yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada tanur, banyaknya abu terbang, korosi maupun penyumbatan (Speight, 2013). Secara umum kandungan *mineral matter* batubara Lapangan X dan Lapangan Y relatif rendah (rata-rata <10%), sehingga menguntungkan dalam proses penggunaannya. Kandungan *mineral matter* yang rendah juga merupakan karakteristik batubara Indonesia yang diendapkan dalam lingkungan *raised bog*.

KESIMPULAN

Secara umum terdapat perbedaan karakteristik batubara Lapangan X dan Lapangan Y yang mengindikasikan bahwa kedua lapangan memiliki sejarah pengendapan yang berbeda. Hal tersebut sesuai dengan kondisi kedua lapangan yang memang berasal dari dua cekungan batubara yang berbeda, yaitu Cekungan Sumatera Tengah dan Cekungan Sumatera Selatan.

Batubara di kedua lapangan termasuk batubara peringkat rendah (lignit), hanya saja batubara Lapangan Y memiliki nilai reflektansi vitrinit yang sedikit lebih tinggi dibanding batubara Lapangan X. Hal ini

mengindikasikan bahwa Lapangan Y kemungkinan mendapatkan pengaruh temperatur dan tekanan yang lebih besar daripada batubara di Lapangan X.

Dalam penentuan peringkat batubara, terdapat perbedaan antara hasil analisis kimia (nilai kalori dan VM) dan hasil analisis fisika (reflektansi vitrinit). Dengan menggunakan klasifikasi ASTM, nilai reflektansi batubara di kedua lapangan menunjukkan peringkat lignit. Sementara itu berdasarkan nilai kalori termasuk Subbituminus A, dan berdasarkan VM termasuk lignit-subbituminus. Perbedaan tersebut diperkirakan merupakan ciri unik batubara Indonesia. Klasifikasi ASTM adalah klasifikasi untuk batubara luar negeri yang kemungkinan tidak cocok dipergunakan untuk batubara Indonesia, sehingga dibutuhkan klasifikasi khusus yang dibangun berdasarkan karakteristik batubara Indonesia.

Komposisi maseral batubara di kedua lapangan menunjukkan karakteristik yang berbeda. Terdapat tiga fasies batubara pada Lapangan X, sementara pada Lapangan Y batubara lebih homogen dan hanya terdiri dari satu fasies. Kandungan kelompok huminit pada batubara Lapangan X lebih didominasi oleh detrohumininit sementara Lapangan Y didominasi oleh telohumininit. Kandungan inertinit dan liptinit batubara Lapangan X lebih tinggi daripada batubara Lapangan Y. Hasil analisis GI dan

TPI mengindikasikan, bahwa batubara Lapangan X diendapkan pada lingkungan *limnic-marsh* hingga *limno telmatic* sedangkan batubara Lapangan Y mengindikasikan lingkungan *limnic marsh* hingga *telmatic*, Secara umum komposisi material organik dan anorganik menunjukkan bahwa pengaruh laut lebih besar pada Lapangan Y.

Batubara di kedua lapangan memiliki mutu yang tidak jauh berbeda, dengan kandungan sulfur dan abu yang terbilang rendah (<10%) sehingga dapat digolongkan ke dalam batubara bersih. Hanya contoh SJ2 dari Lapangan X yang memiliki kandungan mineral sangat tinggi, mengindikasikan bahwa contoh tersebut bukan merupakan batubara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi yang telah memberikan kesempatan untuk menggunakan conto batubara dan juga fasilitas laboratorium sehingga penelitian ini bisa dilaksanakan dengan baik. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada *reviewer* yang sudah memberikan masukan dan saran sehingga manuskrip ini tersusun lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, J.A.R., 1983. The tropical peat swamps of western Malesia. *Mires: swamp, bog, fen and moor, 4b Regional studies*.

Amijaya, H. and Littke, R., 2005. Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal. South Sumatera basin, Indonesia, *International Journal of Coal Geology*, 61(3), pp. 197-221.

Clarke, M.C.G., Kartawa, W., Djunuddin, A., Suganda, E. & Bagdja, M. 1982b. The Geology of the Pakanbaru Quadrangle (0816), Sumatra, Scale 1: 250 000, Geological Survey of Indonesia, Directorate of Mineral Resources, Geological Research and Development Centre, Bandung.

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

De Coster, G.L., 1974. The geology of the central and south Sumatra basins.

Diessel, C.F., 1992. Coal-bearing depositional systems. Springer Science & Business Media.

Flores, R.M., 2013. Coal and coalbed gas: fueling the future. Newnes.

Ginger, D. and Fielding, K., 2005, The petroleum systems and future potential of the South Sumatra Basin. International Committee for Coal and Organic Petrology, 2001. New inertinite classification (ICCP system 1994), *Fuel* 80, 459–471.

O'Keefe, J.M., Bechtel, A., Christanis, K., Dai, S., DiMichele, W.A., Eble, C.F., Esterle, J.S., Mastalerz, M., Raymond, A.L., Valentim, B.V. and Wagner, N.J., 2013. On the fundamental difference between coal rank and coal type, *International Journal of Coal Geology*, 118, pp. 58-87.

Parr, S.W. 1928. University of Illinois Engineering Experiment Station Bull. 180, 62 pp.

Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B.J., Misz-Kennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido, M. and Crosdale, P., 2017. Classification of liptinite–ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 169, pp. 40-61.

Simandjuntak, T.O., Budhitrisna, T., Surono, Gafoer, S., dan Amin, T.C., 1994. Peta Geologi Lembar Muarabungo, Sumatera, skala 1: 250.000, Puslitbang Geologi, Bandung.

- Speight, J.G., 2015. Handbook of coal analysis, John Wiley & Sons.
- Standar Nasional Indonesia 6728.4.2015. Penyusunan Neraca Sumber Daya Alam Spasial, Bagian 4, Sumber daya dan cadangan mineral dan batubara, Badan Standardisasi Nasional.
- Suárez-Ruiz, I. and Crelling, J.C. eds., 2008. Applied coal petrology: the role of petrology in coal utilization, Academic Press.
- Sýkorová, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H. and Flores, D., 2005. Classification of huminite—ICCP System 1994. International Journal of Coal Geology, 62(1), pp. 85-106.
- Thuzar Win, C., Amijaya, D.H., Surjono, S.S., Husein, S. and Watanabe, K., 2014. A Comparison of Maceral and Microlithotype Indices for Interpretation of Coals in the Samarinda Area, Lower Kutai Basin, Indonesia. Advances in Geology.

Diterima	: 20 Juni 2017
Direvisi	: 25 Agustus 2017
Disetujui	: 29 Agustus 2017

**KRITERIA KERUSAKAN AKIBAT PELEDAKAN PADA PEMBUATAN TEROWONGAN
CIURUG, TAMBANG EMAS PONGKOR, KABUPATEN BOGOR,
PROVINSI JAWA BARAT**

***BLAST DAMAGE CRITERIA OF TUNNELLING IN CIURUG, PONGKOR
GOLD MINE, BOGOR REGENCY, WEST JAWA PROVINCE***

**Awang Suwandhi¹, Mega Fatimah Rosana¹, Adjat Sudradjat¹,
dan Ridho Kresna Wattimena²**

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

²Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
awang.suwandhi@gmail.com

ABSTRAK

Untuk mencapai urat (*vein*) bijih di lokasi Central pada Level 500 mdpl, Ciurug, dibuat terowongan baru yang dinamakan RU4C-L500 dengan menerapkan teknik peledakan. Terowongan tersebut dirancang berukuran lebar 4 m, tinggi 4 m dan panjang 100 m sampai ke *cross-cut* menuju urat bijih. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kriteria kerusakan terowongan yang diakibatkan oleh induksi getaran peledakan yang berpotensi menghasilkan *overbreak*, sehingga ukuran terowongan menjadi lebih lebar dari rencana semula. Pendekatan *Blast Damage Index* (BDI) digunakan sebagai metode untuk memperoleh tingkat kerusakan terowongan tersebut. Terowongan menerobos batuan andesit vulkanik yang berdasarkan hasil pengujian memiliki kecepatan rambat gelombang seismik 4157 m/det, densitas 2,37 g/cc dan kuat tarik 8,10 MPa. Batuan tersebut tergolong batuan berkekuatan sedang hingga keras dengan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) antara 58,3 sampai 69,5. Data getaran peledakan diukur dengan menggunakan geofon pada jarak yang aman dari titik ledakan dan menghasilkan *Peak Vector Sum* (PVS) berkisar antara 2 mm/s sampai 120 mm/s. Hasil pengolahan data getaran menunjukkan, bahwa nilai BDI sebesar 2 yang mengidentifikasi adanya ambruk terowongan karena induksi getaran peledakan terjadi pada jarak kurang dari 3 m dari titik ledakan. Besar getaran peledakan yang mengambruk batuan andesit vulkanik tersebut mencapai PVS 1170 mm/s. Pada jarak antara 3,0 m sampai 10 m tidak terjadi kerusakan terowongan yang parah dan dapat direhabilitasi. Kondisi tersebut diidentifikasi oleh nilai BDI 0,5 sampai 1. Kemudian pada jarak di atas 10 m induksi getaran peledakan tidak lagi berpengaruh terhadap kerusakan atau kestabilan dinding terowongan.

Kata kunci: Andesit vulkanik, peledakan, *overbreak*, *Blast Damage Index* (BDI), Pongkor

ABSTRACT

To reach one of the ore veins at Level 500 m (above sea) located at Central area, Ciurug, it needs a new tunnel called RU4C-L500 by applying blasting technique. The tunnel is built 4 m width, 4 m height and length up to 100 m toward cross-cut to ore veins. The aim of the research is to obtain damage criteria of the tunnel due to the induction of blast vibration that potentially produces overbreak, which affects enlargement of the planned tunnel dimensions. The Blast Damage Index (BDI) approach is adopted as a method to get a degree of tunnel damage. The tunnel penetrates the volcanic andesite rocks that based on the test results has a seismic wave velocity of 4157 m/s, the density of 2.37 g/cc and the tensile strength of 8.10 MPa. The rocks are classified as moderate to hard rocks with Rock Mass Rating (RMR) values ranging from 58.3 to 69.5. The data of vibration of blast is measured using geophone at a safe distance from blasting point and resulted Peak Vector Sum (PVS) ranging between 2 mm/s to 120 mm/s. Vibration data processing results indicate that a BDI value of 2 which identifies a failure of tunnel due to blasting vibration induction occurs at a distance less than 3 m from the point of

explosion. The vibration of blast that demolish the andesitic volcanic rocks is the PVS of 1170 mm/s. At a distance of between 3.0 m and 10 m there is no severe tunnel damage and can be rehabilitated. The condition is identified by a BDI value of 0.5 to 1. Then at a distance above 10 m the blasting vibration induction no longer affects the damage or stability of the tunnel wall.

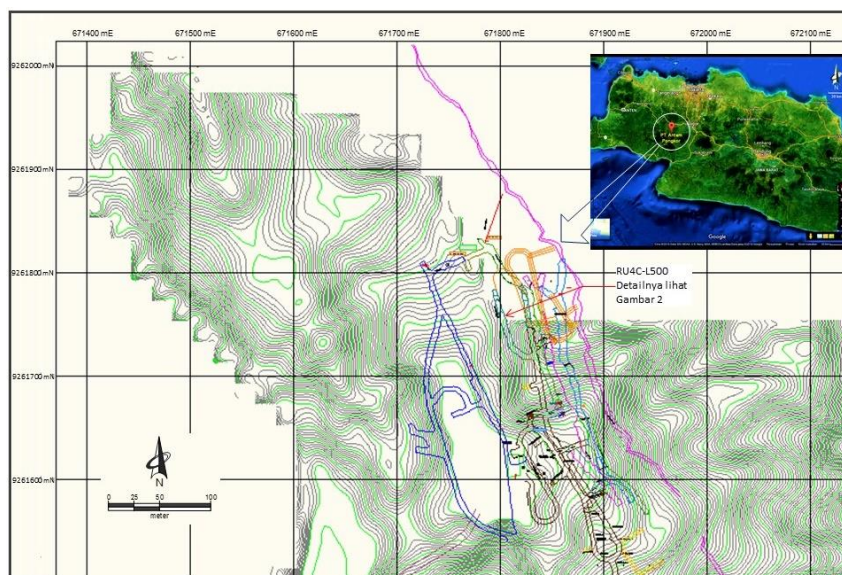
Keywords: *Andesite volcanic, blasting, overbreak, Blast Damage Index (BDI), Pongkor*

PENDAHULUAN

Penelitian dilakukan di PT Aneka Tambang Unit Bisnis Pertambangan Emas, Pongkor, yang secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (Gambar 1). Penambangan emas di daerah Pongkor dilakukan di bawah tanah (*underground gold mine*) pada endapan bijih di lokasi Ciurug yang merupakan salah satu lokasi endapan bijih yang masih aktif (Anonim, 2015). Untuk memasuki urat (*vein*) bijih di Ciurug pada Level 500 mdpl (meter dari permukaan laut) dibuat terowongan baru, *Ramp Up 4 Central Level 500* atau RU4C-L500, dari *Ramp Down 4 Central Level 450* atau RD4C-L450 yang sudah ada sebelumnya sampai ke urat bijih dengan jarak mencapai 100 m. Pintu terowongan di dinding RD4C-L450 terletak pada koordinat UTM 9261719 mN, 671831 mE dan level 479 mdpl (Gambar 2). Terowongan dibuat dengan lebar 4 m, tinggi 4 m, panjang 100 m dan kedua bagian sudut atapnya melengkung atau *semi-arch*. Arah

penggalian terowongan pada awalnya menuju ke barat, setelah masuk 12 m sampai 25 m berbelok ke arah utara sampai 100 m dan lantainya sedikit mendaki dengan sudut antara 3° sampai 6°. Kedalaman RU4C-L500 dari permukaan bumi sekitar 312 m (Gambar 3).

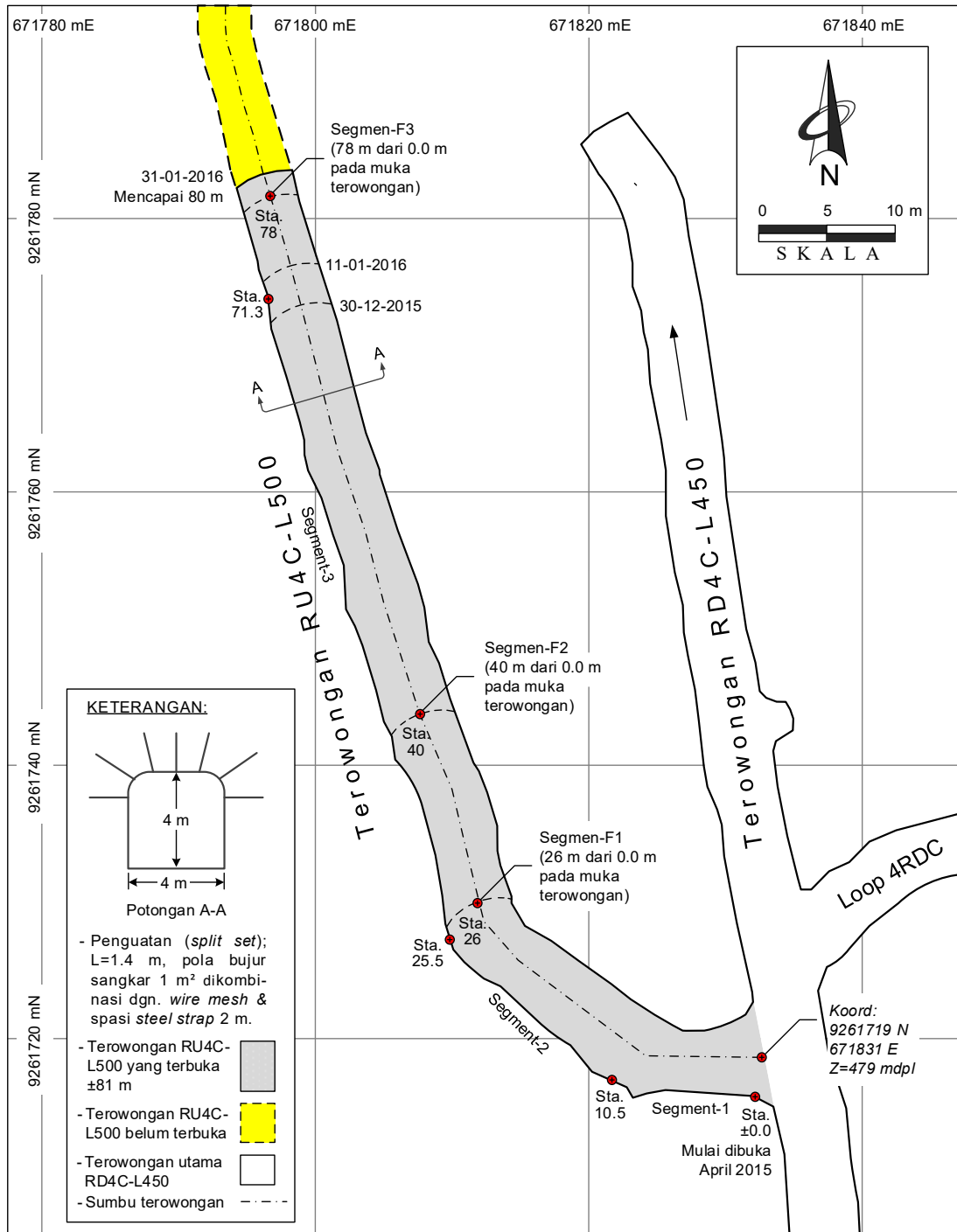
Terowongan RU4C-L500 dibuat dengan teknik peledakan menerobos massa batuan andesit vulkanik yang tergolong batuan berkekuatan sedang hingga keras (Anonim, 2015). Permasalahan yang muncul selama pembuatan terowongan adalah timbulnya *overbreak*, baik pada dinding maupun bagian atap terowongan yang disebabkan oleh getaran peledakan. Akibat *overbreak* ukuran terowongan menjadi lebih lebar dari rencana semula, volume fragmen batuan yang harus dikeluarkan bertambah, proses pengangkutan jadi lebih lama dan biaya pembangunan terowongan meningkat terutama untuk penyediaan sistem penyanggaan.



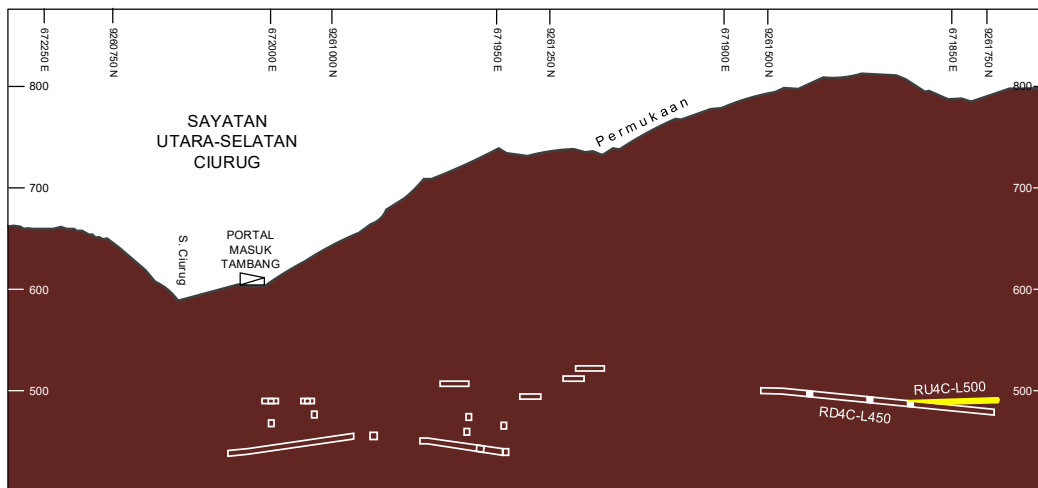
Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Anonim, 2015)

Penelitian bertujuan untuk mendapatkan kriteria kerusakan yang akan mengidentifikasi tingkat keparahan runtuhnya dinding dan atap terowongan akibat getaran peledakan di sepanjang terowongan. Adapun metode yang digunakan adalah dengan pendekatan Indeks Kerusakan Peledakan atau *Blast Damage Index* (BDI) akibat peledakan

pada tambang bawah tanah (Yu dan Vongpaisal, 1996). Nilai BDI berkisar antara 0 (nol) sampai 2 atau lebih, dengan keterangan bahwa BDI: 0 menunjukkan tidak ada kerusakan pada dinding terowongan, sedangkan BDI: 2 berarti terjadi ambruk pada dinding dan atap akibat getaran peledakan.



Gambar 2. Peta terowongan RU4C-L500 dan RD4C-L450



Gambar 3. Kedalaman terowongan RU4C-L500 dari permukaan bumi

GEOLOGI DAERAH PONGKOR

Perkembangan kekar di Pulau Jawa, termasuk daerah Pongkor dan sekitarnya, tidak terlepas dari adanya pergerakan Lempeng Samudera Indo-Australia dan Lempeng Benua Eurasia yang saling bertubrukan (*collision*). Tubrukan kedua lempeng tersebut bersifat konvergen dengan Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia dan berorientasi timurlaut-baratdaya. Batas tubrukan lempeng ini ditandai dengan adanya palung samudera di sebelah selatan Jawa Barat yang dikenal sebagai Paritan Jawa atau *Java Trench* (Ben-Avraham, 1973, dalam Hamilton, 1979).

Gerakan penunjaman yang terus berlangsung secara evolutif membentuk gunung-gunung berapi aktif yang membentang sepanjang Pulau Sumatera, Pulau Jawa sampai Kepulauan Nusa Tenggara. Disamping itu, gerakan penunjaman Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia mengakibatkan daerah Pulau Jawa sebagai salah satu daerah yang memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia, karena berkaitan dengan aktivitas benturan lempeng. Pergerakan lempeng ini menimbulkan struktur tektonik yang merupakan ciri sistem subduksi, yaitu *Benioff Zone*, palung laut, punggung busur luar (*outer arc ridge*), cekungan busur luar

(*outer arc basin*), dan *volcanic arc* atau busur pegunungan (Hall, 2011).

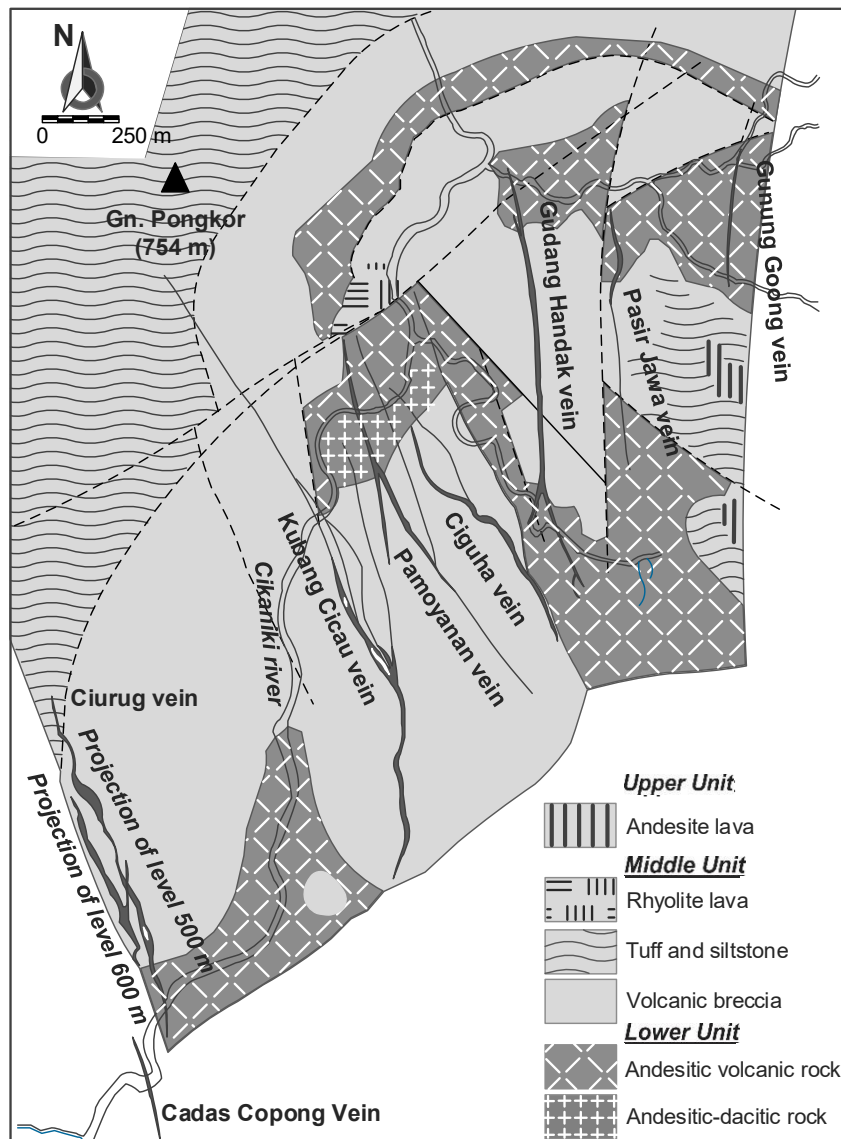
Kompleks Kubah Bayah yang terletak di sebelah barat Pulau Jawa merupakan batuan induk utama (*main host*) tempat pengendapan tipe epitermal bijih emas-perak di Pongkor (Basuki *et al*, 1994; Milesi *et al*, 1999; Syafrizal *et al*, 2005 dan 2007; Warmada *et al*, 2007; dan Yuningsih *et al*, 2014). Lokasi pengendapan epitermal bijih emas-perak lainnya di dalam kompleks Kubah Bayah adalah Cibaliung (Angeles *et al*, 2002; Harijoko *et al*, 2007), endapan emas hidrotermal di Cikidang (Rosana *et al*, 2006), dan di Cikotok serta Cirotan yang saat ini penambangannya sudah ditutup. Bagian dasar Kubah Bayah terbangun oleh serpih dan batupasir, kemudian ditindih oleh sabuk gunungapi tengah berumur Oligosen sampai Miosen Awal, yang sebagian besar terdiri dari batuan volcano-klastik kasar serta diselingi batugamping dan batupasir. Batuan intrusi *intermediate* terbentuk pada Paleogen dan Miosen Bawah. Area Pongkor terdiri dari batuan sedimen gunungapi Miosen dan batuan gunungapi Pliosen-Kuarter di bagian timurlaut sayap Kubah Bayah (Basuki, *et.al*, 1994; Milési, *et al*, 1999).

Endapan emas-perak Pongkor terdapat pada endapan jenis epitermal sulfida-rendah (*low-sulfidation*) dan terdiri atas urat mineralisasi kuarsa utama yang ditafsirkan sebagai depresi gunung berapi-tektonik

(kaldera). Endapan itu sendiri terletak di tepi barat laut struktur melingkar dengan luas 8 km × 6 km. Proses pengendapan berupa erupsi ignimbritik yang menghasilkan aliran piroklastik dan lapili akresi dengan sisipan batu epiklastik (Basuki *et al*, 1994; Milesi *et al*, 1999; Syafrizal *et al*, 2007).

Batuan vulkanik berperan sebagai batuan pembawa mineralisasi endapan emas di Pongkor yang terdiri dari tiga susunan unit, yaitu unit vulkanik atas, tengah dan bawah (Gambar 4). Unit vulkanik bawah memiliki karakteristik batuan vulkanik andesitik kalk-alkali bawah laut meningkat secara lateral

menjadi endapan epiklastik. Unit bagian tengah ditandai oleh banyak sebaran batuan vulkanik dasit di permukaan bumi yang memungkinkan untuk dikenali variasi subunitnya, yaitu subunit basal dengan pertumbuhan tuf lapili ditindih oleh blok tuf lapili dari subunit ignimbrite utama, dan terakhir oleh pembentukan ulang subunit tuf piroklastik berbutir halus bagian atas dan batulanau epiklastik dari sebagian besar subunit atas. Unit bagian atas menutupi unit tengah ke arah utara dan timur penambangan yang umumnya terdiri dari aliran andesit (Milesi *et al*, 1999; Syafrizal *et al*, 2005).



Gambar 4. Peta geologi dan sistem vein endapan Pongkor (Milesi *et al*, 1999, dalam Syafrizal *et al*, 2007)

Mineralisasi dan pengendapan emas primer di Pongkor secara struktur dikontrol dan tumbuh sebagai sistem *vein* yang masih aktif ditambang di Ciurug sampai saat ini. Ketebalan *vein* Ciurug bervariasi dari 2 m dekat permukaan sampai sekitar 24 m di bagian bawah dengan panjang total sekitar 2 km (Syafrizal, *et al*, 2007). Lokasi penambangan berada di sekitar level 500 mdpl dengan batuan induk didominasi oleh batuan andesit vulkanik (Gambar 5).

METODOLOGI

Dalam kaitannya dengan peledakan yang diterapkan pada pembuatan terowongan RU4C-L500, aspek geomekanika batuan harus diketahui. Pengklasifikasian batuan dengan sistem *Rock Mass Rating* (RMR) yang diusulkan oleh Bieniawski pada tahun 1989, telah banyak dipakai untuk mengklasifikasi massa batuan yang diperlukan dalam pembangunan suatu konstruksi di bawah tanah, khususnya terowongan (Hoek & Brown, 1980, dan Hoek, 2006). Terdapat enam parameter yang diperhitungkan dalam pengklasifikasian massa batuan, yaitu kuat tekan uniaksial, spasi dan kondisi kekar, *Rock Quality Designation* (RQD), kondisi air tanah dan orientasi kekar terhadap sumbu terowongan, kemudian setiap parameter dikuantifikasi dengan cara pembobotan.

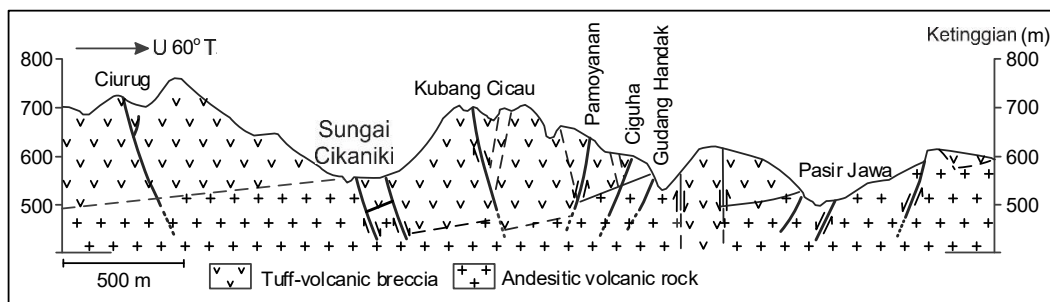
Terowongan RU4C-L500 tepatnya terletak pada level 479 mdpl (Gambar 2 dan Gambar 5). Untuk mengetahui pengaruh peledakan terhadap kerusakan dinding terowongan yang telah terbuka dilakukan pengumpulan data langsung di dalam

terowongan dengan membagi tiga bagian berdasarkan perubahan arah sebagai berikut (Gambar 2):

- Persimpangan RD4C-L450 dan RU4C-L500 pada koordinat UTM 9261719 mN, 671831 mE dan level 479 mdpl ditetapkan sebagai titik awal (= 0,0 m).
- Segmen-1 diukur dari 0,0 m sampai 10,5 m dengan arah penggalian ke barat.
- Segmen-2 lanjutan dari Segmen-1 diukur dari 10,5 m sampai 25,5 m dengan arah penggalian berbelok dari barat ke baratlaut.
- Segmen-3 lanjutan dari Segmen-2 diukur dari 25,5 m sampai 72,0 m dengan arah penggalian berbelok dari baratlaut ke utara-baratlaut.

Kemudian pengumpulan data dari setiap segmen dikerjakan dengan cara:

- Survei garis-bentang atau *scanline* dilakukan pada dinding sebelah kiri dari arah masuk terowongan RU4C-L500 untuk mengukur spasi dan mengamati kondisi kekar.
- Pengambilan conto batuan untuk pengujian jenis, sifat fisik dan mekanik batuan dilakukan pada dinding terowongan dari setiap segmen menggunakan alat bor inti portabel (Gambar 6).
- Pengukuran atau perekaman getaran peledakan dilakukan dengan jarak yang berbeda sepanjang terowongan menggunakan alat Blastmate III, Minimate dan Micromate buatan InstanTel, Canada (Gambar 7 dan Gambar 8).



Gambar 5. Potongan arah baratdaya-timuraut sistem vein Pongkor (Basuki *et al*, 1994, dalam Syafrizal *et al*, 2007)



Gambar 6. Pengambilan conto batuan memakai alat bor inti portabel



Gambar 7. Pengukuran getaran menggunakan alat Blastmate III

Distribusi spasi kekar pada dasarnya memberikan indikasi tentang kualitas massa batuan itu sendiri dan dapat dihubungkan dengan nilai RQD yang dihitung dengan persamaan (1) (Priest and Hudson, 1981) sebagai berikut:

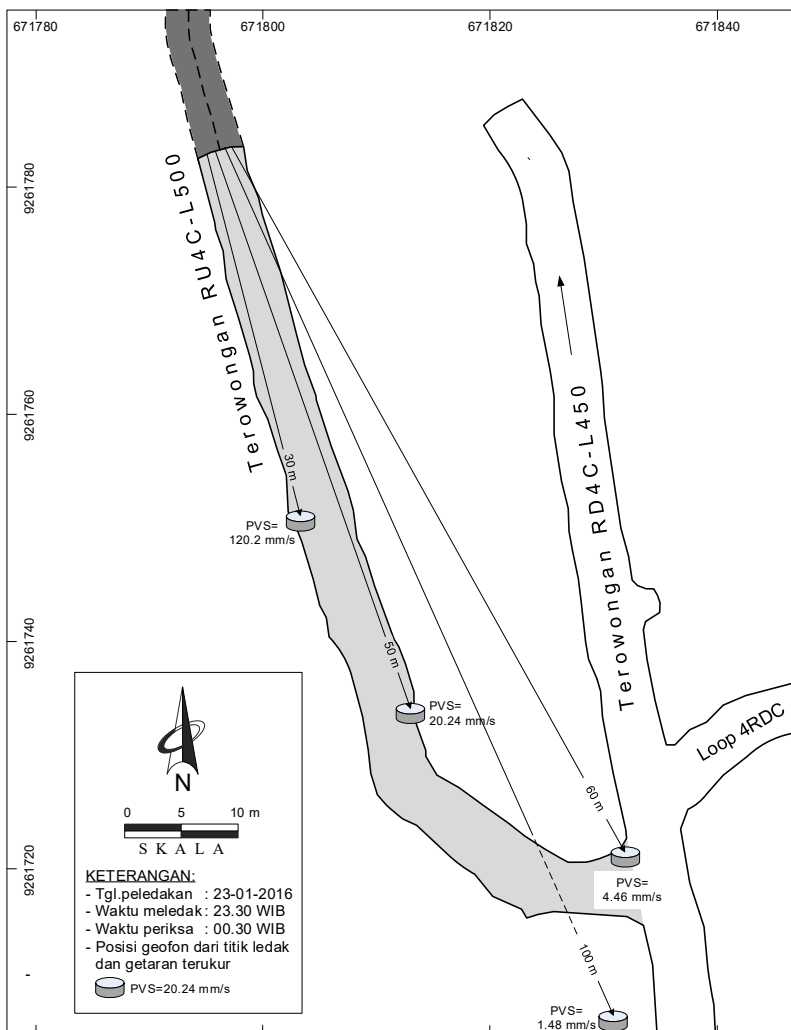
$$RQD_t = 100 e^{-t\lambda} (t\lambda + 1) \quad (1)$$

Di mana:

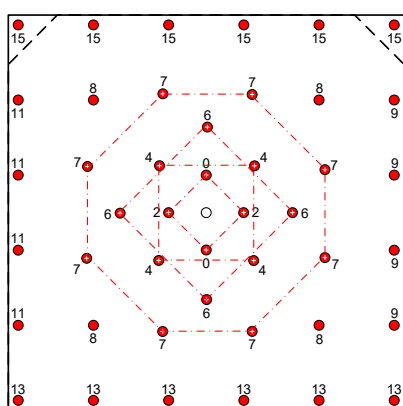
$t = 0,1$; yaitu spasi kekar yang diperhitungan harus $> 0,1$ m

λ = Frekuensi spasi kekar rata-rata (\bar{x})
populasi kekar = $1/\bar{x}$

Spesifikasi peledakan yang meliputi jumlah dan jenis bahan peledak, pola pengeboran serta pola peledakan yang diterapkan pada setiap peledakan permukaan terowongan maju relatif sama karena pertimbangan bahwa ukuran permukaannya juga sama, yaitu lebar 4 m dan tinggi 4 m (Gambar 9).



Gambar 8. Metode pengukuran getaran peledakan pada terowongan



KETERANGAN:

1. Waktu peledakan:
 - Tanggal 23 Januari 2016.
 - Meledak jam 23:30 WIB.
 - Periksa jam 00:30 WIB.
2. Spesifikasi teknis:
 - a. Dimensi bukaan: 4 m x 4 m
 - b. Diameter lubang 32 mm.
 - c. Kedalaman lubang ledak 1.40 m
 - d. Spasi lubang perimeter 0,75 m
 - e. Jumlah lubang 45, lubang diisi bhn peledak 44 dan 1 lub. kosong.
3. Bahan Peledak:
 - a. Bhn peledak kartrij "dayagel magnum" diameter 30 mm berat 0.182 kg/pcs buatan PT Dahana, Indonesia.
 - b. Detonator dan sumbu ledak:
 - 44 deto nonel delay
 - 1 deto listrik (untuk pemicu)
 - 8 m sumbu ledak (cordtex)

c. Jumlah dan nomor delay deto. serta jumlah bhn peledak:

Delay detonators		Bahan peledak	
No.	Jumlah	pcs.	W, kg
0	2	15	2.7
2	2	15	2.7
4	4	28	5.1
6	4	28	5.1
7	8	56	10.2
8	4	28	5.1
9	4	28	5.1
11	4	28	5.1
13	6	42	7.6
15	6	42	7.6
Total	44	310	56.4

Gambar 9. Spesifikasi peledakan terowongan dengan ukuran permukaan 4 m x 4 m

Pengukuran getaran peledakan menghasilkan besaran dan arah getaran, yaitu getaran ke arah transversal, longitudinal dan vertikal. Ketiga besaran dan arah getaran tersebut akan membentuk suatu vektor dan vektor yang

harus mendapat perhatian adalah vektor yang diperoleh dari getaran tertinggi yang disebut *peak particle velocity* (PPV) atau *peak vector sum* (PVS). Kriteria kerusakan akibat peledakan sangat erat kaitannya dengan besaran PPV atau PVS dan

beberapa ahli telah melakukan pengujian serta menginterpretasi hasilnya pada Tabel 1 (Singh, 2000, dalam Holmberg, 2000).

Yu dan Vongpaisal (1996) mengusulkan *Blast Damage Index* (BDI) atau Indeks Kerusakan Peledakan yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut:

$$BDI = \frac{\text{Tegangan terinduksi}}{\text{Resistensi kerusakan}} = \frac{V \times \gamma \times C}{K_r \times T} \quad (2)$$

Di mana:

V = *peak vector sum* (m/s)

γ = densitas massa batuan (g/cc)

C = kecepatan gelombang kompresi (primer) massa batuan (km/s)

K_r = konstanta kualitas batuan di lapangan, maksimum 1.0

T = kuat tarik dinamik massa batuan (MPa)

Tegangan terinduksi merupakan perkalian dari jumlah vektor kecepatan partikel puncak (pvs) dengan densitas batuan (γ) dan kecepatan gelombang kompresi. Interaksi ketiga parameter tersebut mengakibatkan tegangan tarik dinamis ketika gelombang regangan kompresi (P -

waves) dipantulkan pada bidang-bidang bebas dan menghasilkan fragmentasi batuan atau terjadi keruntuhan.

Resistensi kerusakan adalah kemampuan dari kondisi batuan di lapangan untuk menahan beban dinamis tegangan induksi yang bisa menyebabkan kerusakan akibat ledakan dan dinyatakan dalam bentuk perkalian antara kekuatan tarik dinamik massa batuan dengan kondisi (batuan) di lapangan (Yu dan Vongpaisal, 1996). Ada dua aspek yang harus diperhitungkan dari kondisi lapangan, yaitu (1) kenampakan geologi yang bisa melemahkan massa batuan dan (2) sistem penyanggaan yang memperkuat lubang bukaan. Gabungan kedua aspek tersebut merupakan pengukur kekuatan kondisi lapangan dari kerusakannya akibat ledakan. Apabila gabungan kedua aspek itu cukup kuat menahan tegangan terinduksi, maka keruntuhan tidak akan terjadi. Sebaliknya, apabila gabungan keduanya tidak mendukung kekuatan, misalnya pada kondisi massa batuan terkekarkan atau sistem penyanggaan tidak memadai, maka keruntuhan akibat tegangan terinduksi akan terjadi. Indeks kerusakan peledakan (BDI) dan tipe kerusakannya terdapat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria kerusakan akibat peledakan dalam terowongan dari beberapa peneliti

Peneliti	Peak Particle Velocity		Kriteria
	In/sec	mm/sec	
Bauer & Calder (1970)	<10	<254	Tidak ada rekahan batuan utuh
	10-25	254-635	Sedikit rekahan karena tarikan
	25-100	635-2540	Timbul rekahan akibat tarikan yang besar dan rekahan radial
	>100	>2540	Massa batuan hancur
Lanfegors & Kihlstrom (1973)	12	305	Runtuhan batuan di dinding terowongan yang tidak disemen
	24	610	Timbul formasi rekahan baru
Oriard (1982)	25	635	Kerusakan terjadi pada hampir semua jenis batuan
Yu & Crovall (1985)	10	250	Kerusakan mulai terlihat
Fadeev (1987)		120	Terjadi bukaan (rekahan) primer
		480	Terjadi bukaan (rekahan) sekunder
Adhikari, et al (1994)	RMR=60	RMR=38	
	mm/sec	mm/sec	
	<153	<52	Tidak ada kerusakan
	153-217	52-195	Mulai ada rekahan
	127-367	195-297	Jatuhnya batuan kecil yang tidak terikat
367-604	297-557	Timbul rekahan terinduksi	
>604	>557	Kerusakan yang besar	
Singh (2000)		50-400	Kerusakan kecil
		200-700	Kerusakan medium (sedang)
		600-2000	Kerusakan agak banyak

Tabel 2. Blast Damage Index (BDI) dan tipe kerusakan (Yu dan Vongpaisal, 1996)

BDI	Tipe Kerusakan
≤0,125	Tidak ada kerusakan penggalian bawah tanah Nilai maksimum yang diijinkan untuk bukaan permanen, misalna ruang crusher, sumuran pertokoan, tempat penampungan bijih, rumah pompa, dan sebagainya
0,25	Kerusakan tidak terlihat jelas Nilai toleransi maksimum untuk tempat kerja jangka panjang, misalnya sumuran akses, stasiun tim penyelamat, ruang makan, stasiun, pertokoan, lubang ventilasi, <i>ore passes</i> , dan sebagainya
0,5	Ada sedikit retakan Nilai toleransi maksimum untuk tempat kerja jangka menengah, misalnya <i>main drifts</i> , jalan angkutan utama, dan sebagainya
0,75	Ada retakan diskontinu berjumlah sedang Nilai toleransi maksimum untuk tempat kerja sementara, misalnya <i>cross-cut</i> , <i>drill drifts</i> , lombong, dan sebagainya
1	Ada banyak runtuhan menerus, memerlukan rehabilitasi yang intensif
1,5	Ada kerusakan disekeliling lubang bukaan, menyebabkan sulit atau tidak mungkin direhabilitasi
≥2,0	Terjadi ambrukan, biasanya terdapat pada lubang akses yang tidak dipakai lagi

Metode BDI dapat digunakan untuk mengestimasi kerusakan konstruksi di tambang bawah tanah akibat induksi peledakan dari tambang bawah tanah (Kumar, 2015). Kriteria kerusakan akibat peledakan pada terowongan RU4C-L500 akan dievaluasi berdasarkan pada metode BDI dan hasil penelitian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

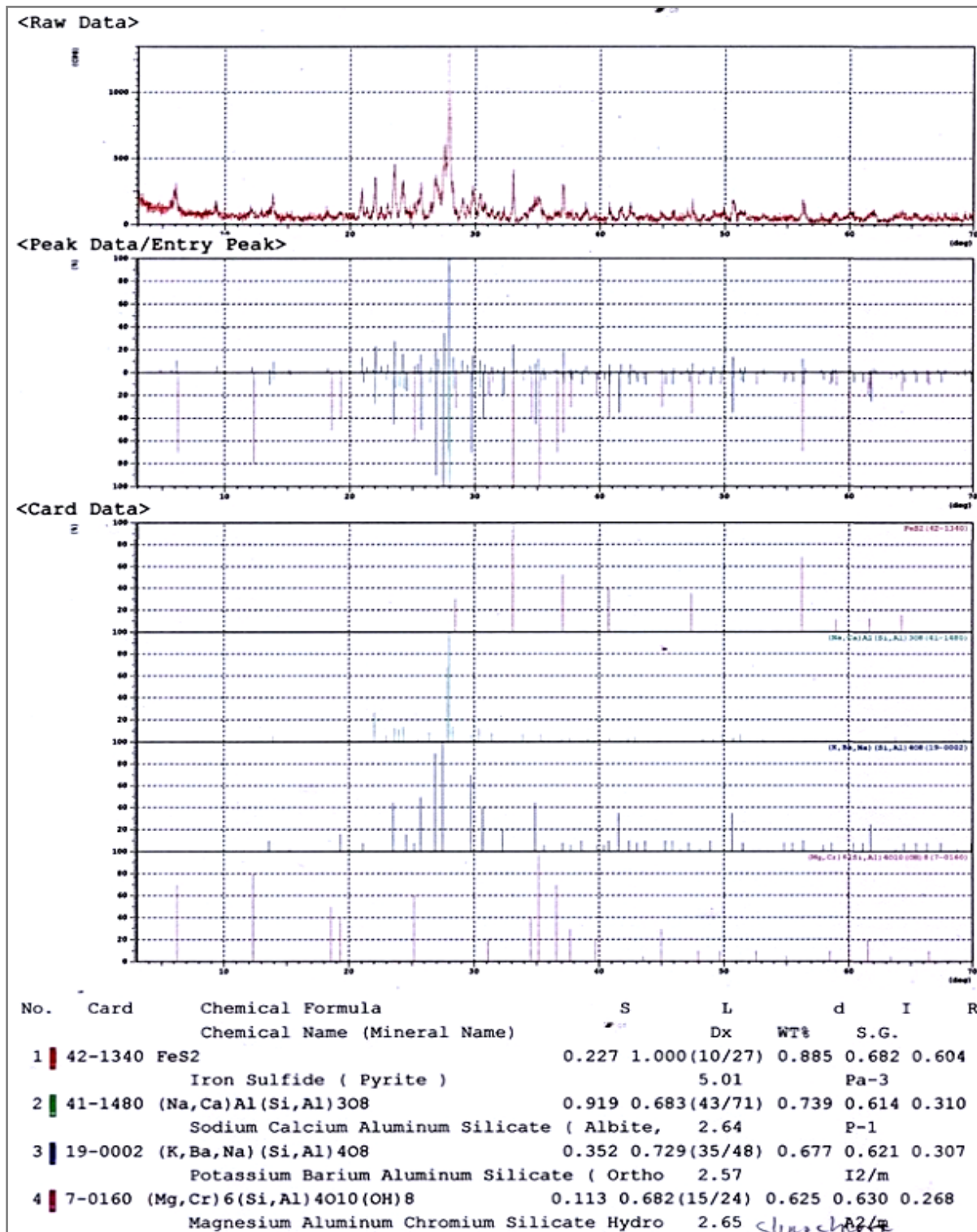
Pengujian sinar-X difraksi (XRD) terhadap sampel batuan di sekitar terowongan RU4C-L500 memperlihatkan dominasi kandungan mineral silika (SiO₂) menyusul plagioklas dengan komposisi kalsium dan sodium (Na,Ca)(Si,Al)₄O₈, albit (Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈, pirit (FeS₂), dan terdapat pula kalsit (CaCO₃). Berdasarkan hasil pengujian XRD jenis mineral dan komposisi kimianya terindikasi bahwa massa batuan yang diterobos terowongan adalah andesit vulkanik (Gambar 10).

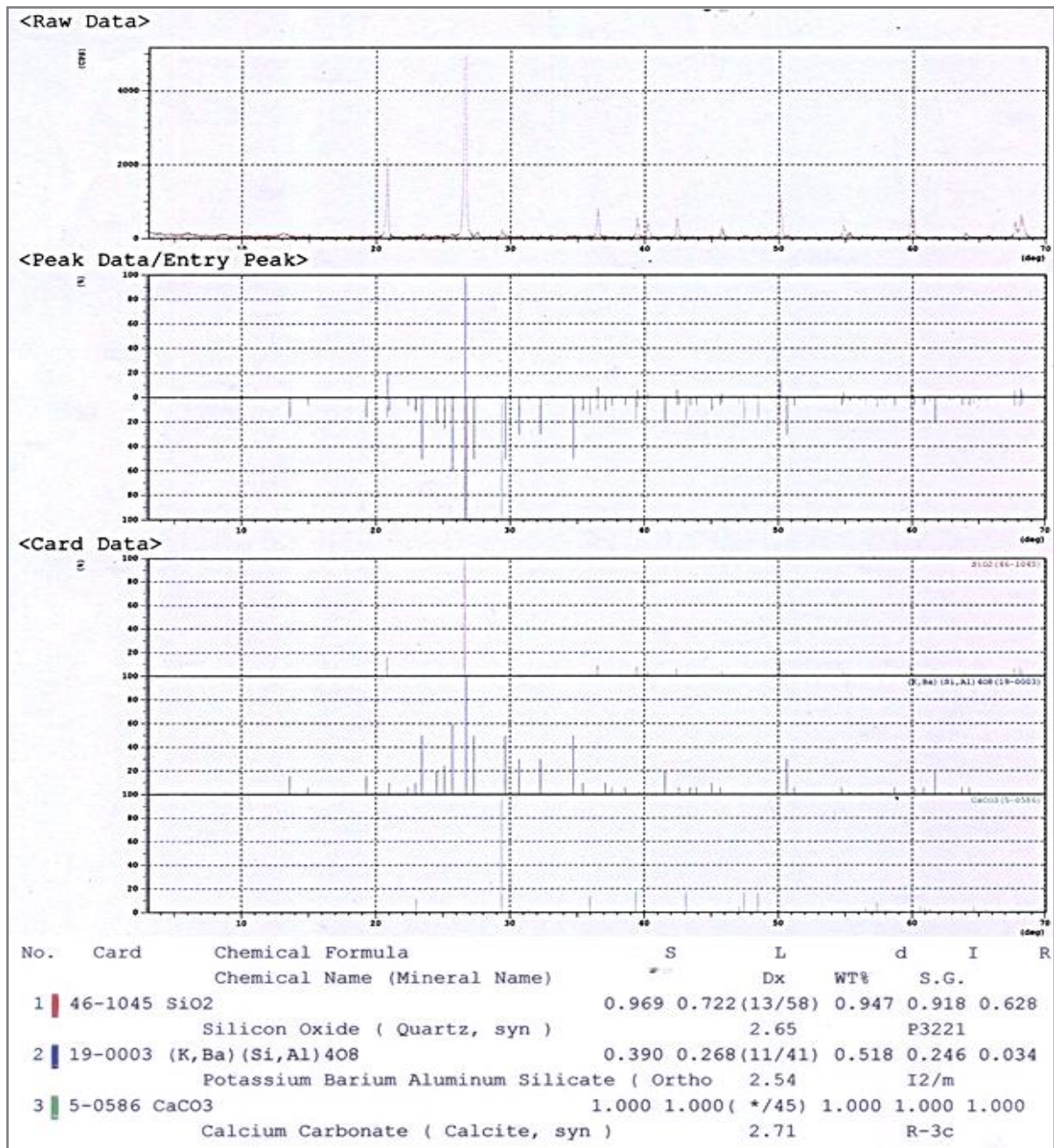
Berdasarkan survei garis-bentang diperoleh data yang diperlukan untuk mengkarakterisasi massa batuan di sekitar terowongan RU4C-L500, yaitu mengetahui spasi kekar, kondisi kekar dan orientasi kekar terhadap sumbu terowongan pada setiap segmen. Spasi kekar dan kondisi kekar berpengaruh terhadap pembentukan fragmentasi hasil peledakan, sedangkan orientasi kekar terhadap sumbu terowongan lebih mengarah pada

kestabilan terowongan. Panjang garis-bentang untuk pengukuran spasi kekar di dalam terowongan pada Segmen-1, Segmen-2 dan Segmen-3 adalah 71,27 m dan pada permukaan F1, F2 dan F3 adalah 12,72 m (Gambar 2). Dengan demikian, spasi kekar diukur dan sekaligus diamati kondisinya sepanjang garis-bentang 83,99 m. Pengukuran menghasilkan spasi kekar terpanjang 2,45 m, terpendek 0,12 m dan spasi rata-rata 0,92 m ± 0,59 m dengan jumlah kekar yang diamati 91 kekar (Gambar 11). Dari Gambar 11 terlihat bahwa spasi kekar 0,40 m dan 0,70 m paling sering ditemukan, yaitu masing-masing 24% dan 23%, sementara spasi kekar 1 m adalah 16% dan spasi kekar di atas 1 m kurang dari 10%. Spasi kekar rata-rata pada Segmen-1 adalah 0,58 m, Segmen-2 sebesar 0,69 m dan pada Segmen-3 adalah 1,57 m. Berdasarkan frekuensi distribusi pada Gambar 11, teramati bahwa spasi kekar pada Segmen-1 dan -2 lebih rapat dibanding pada Segmen-3. Fenomena kerapatan spasi kekar disamping ditengarai akan memperkecil ukuran fragmentasi hasil peledakan, tetapi juga akan menjadi salah satu penyebab *overbreak*. Dari hasil pengukuran fragmentasi peledakan secara random di lapangan diketahui bahwa ukuran fragmen terbesar sekitar 0,30 m. Distribusi fragmentasi tersebut akan menguntungkan karena dapat meningkatkan *digging rate* pada proses pemindahannya.

Bagian yang merugikan dari spasi kekar yang rapat adalah rentan terhadap kemungkinan terjadinya *overbreak* pada dinding dan atap terowongan akibat induksi getaran peledakan (Hoek, 2006). Hasil pengukuran di lapangan pasca peledakan membuktikan adanya penambahan lebar

dan tinggi secara tidak merata dari ukuran yang direncanakan. Realisasinya lebar dan tinggi terowongan bertambah antara 1,0 m sampai 2,0 m, walaupun tidak selalu sama antara penambahan ke arah lebar dan tingginya.





Gambar 10. Hasil pengujian XRD batuan andesit vulkanik

Pengamatan kondisi kekar meliputi panjang kekar, kerenggangan, kekasaran permukaan, ada tidaknya material pengisi pada bidang kekar dan pelapukan permukaan kekar. Kondisi kekar disepanjang terowongan RU4C-L500 pada umumnya memiliki permukaan yang agak kasar, kerenggangan rata-rata kurang dari 1 mm dan pelapukan pada bidang kekar tidak intensif. Sementara kondisi air tanah yang teramati pada permukaan bidang kekar maupun dinding terowongan

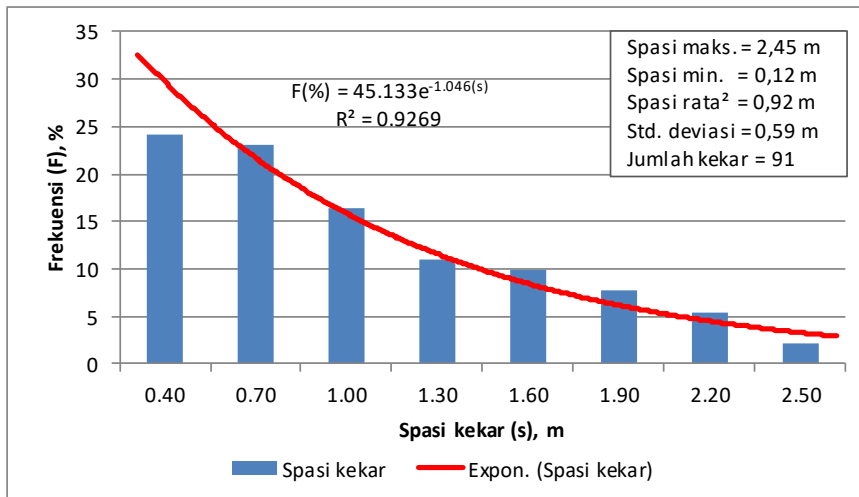
umumnya berada pada kondisi lembab sampai kering.

Nilai parameter kuat tekan atau *uniaxial compressive strength* (UCS) yang diperoleh dari hasil pengujian *core sample* adalah $43,51 \pm 11,87$ MPa dan untuk pengklasifikasian massa batuan andesit vulkanik diambil rata-rata 43,51 MPa. Parameter RQD dihitung menggunakan Persamaan (1) dengan data hasil pengukuran spasi kekar. Seluruh spasi

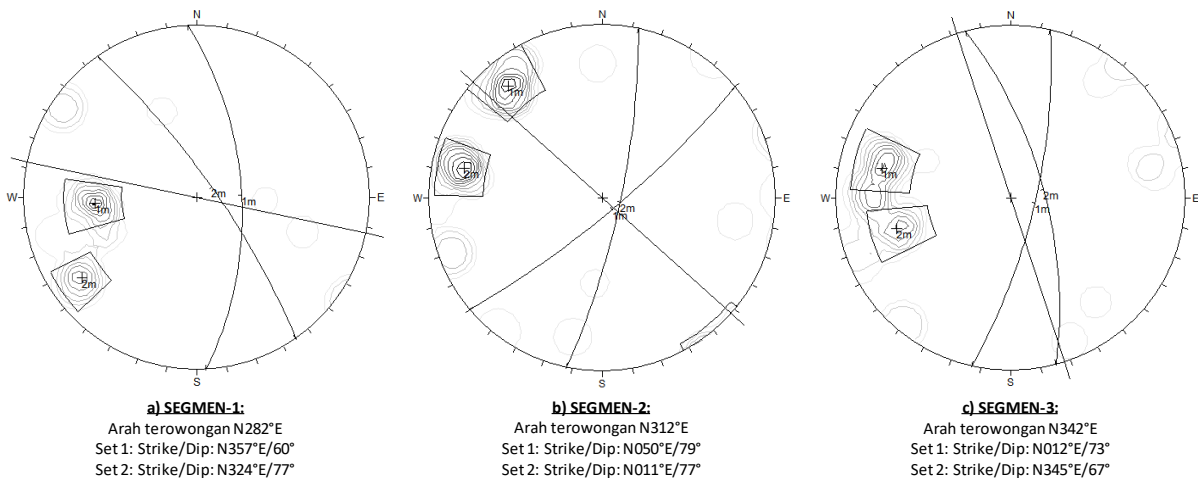
kekar yang terukur di dalam terowongan RU4C-L500 berjumlah 91 spasi dengan spasi kekar terpendek 0,12 m atau $t > 0,10$ m. Dengan demikian seluruh data spasi kekar dapat diperhitungkan untuk memperoleh parameter RQD pada setiap segmen dan hasilnya RQD Segmen-1 99,80%, Segmen-2 99,89% dan Segmen-3 98,66%.

Pengukuran jurus dan kemiringan kekar dilaksanakan bersamaan dengan pengukuran spasi dan kondisi kekar. Hasil pengukuran menunjukkan terdapat dua orientasi kekar utama yang memotong sumbu terowongan RU4C-L500 dengan rincian setiap segmen sebagai berikut:

- (a) Pada Segmen-1 orientasi kekar membentuk sudut lebih kecil dari 90° , yaitu antara 42° sampai 72° (Gambar 12.a),
- (b) Pada Segmen-2, terdapat orientasi kekar yang membentuk sudut mendekati tegak lurus terhadap sumbu terowongan, yaitu antara 59° sampai 98° (Gambar 12.b),
- (c) Pada Segmen-3, orientasi kekar sebagian besar mendekati sejajar dengan sumbu terowongan, yaitu membentuk sudut antara 3° sampai 30° (Gambar 12.c).



Gambar 11. Spasi kekar pada terowongan RU4C-L500



Gambar 12. Orientasi bidang kekar terhadap sumbu terowongan pada setiap segmen

Orientasi bidang kekar terhadap sumbu terowongan berperan sebagai faktor koreksi yang mengurangi bobot klasifikasi massa batuan. Pada Segmen-1 dan Segmen-2 terdapat dua set bidang kekar dengan kemiringan (*dip*) cukup tajam, yaitu antara 60° sampai 79° , dan arahnya melawan (*against*) arah kemajuan terowongan; sedangkan jurus dari dua set kekar pada kedua segmen tersebut berorientasi memotong sumbu terowongan, bahkan ada tiga set kekar yang bisa dikatakan hampir tegak lurus. Efek orientasi jurus dan kemiringan bidang kekar terhadap sumbu terowongan tergolong sedang (*fair*) dan mengakibatkan pengurangan bobot klasifikasi sebagai koreksi terhadap orientasi tersebut sebesar -5. Sedangkan jurus dari dua set bidang kekar pada Segmen-3 bisa dianggap sejajar, bahkan salah satunya sangat mendekati kesejajaran sumbu terowongan. Kondisi tersebut memberikan efek sangat tidak disukai (*very unfavourable*) dengan faktor koreksi sebesar -12 sebagai pengurang bobot klasifikasi.

Bidang kekar yang memotong sumbu terowongan pada Segmen-1 dan Segmen-2 selaras dengan hasil pengamatan spasi kekarnya yang rapat. Peledakan sepanjang Segmen-1 dan Segmen-2 menghasilkan fragmentasi maksimum sekitar 0,30 m, karena energi impact dari gelombang kejut akan membentur tegak lurus dengan dinding bidang kekar, sehingga hasilnya menjadi pecahan fragmen batuan yang berukuran kecil. Sementara pada Segmen-3, yang orientasi bidang kekarnya mendekati sejajar dengan sumbu terowongan, energi impact dari gelombang kejut banyak yang cenderung menyusup ke dalam rekahan-rekahan yang searah dengan jurus bidang kekar tersebut. Dengan demikian, proses pecahnya batuan terjadi karena energi ledakan membelah massa batuan dan menghasilkan ukuran fragmentasi yang relatif lebih besar dibanding pada Segmen-1 dan Segmen-2, yaitu sekitar 0,50 m.

Ditinjau dari aspek keselamatan kerja, Segmen-1 dan Segmen-2 memiliki *stand-*

up time sekitar 1 tahun setiap 10 m panjang terowongan, sedangkan pada Segmen-3 hanya 1 minggu setiap 5 m panjang terowongan (Tabel 3). *Stand-up time* menunjukkan waktu kemampuan terowongan untuk menyangga dirinya sendiri tanpa runtuh (Terzaghi dan Stini, 1958, dalam Hoek dan Brown, 1980). Batas nilai RMR Klas II adalah 61 sampai 80, jadi walaupun Segmen-1 dan 2 tergolong massa batuan Klas II dan Segmen-3 tergolong batuan Klas III, maka atas pertimbangan keselamatan kerja batuan yang diterobos terowongan RU4C-L500 perlu perkuatan dengan pemasangan *rock-bolt* dikombinasi dengan *wire-mesh* dan *split-set*, bahkan pada titik tertentu yang rawan harus dipasang penyangga baja atau *steel-support*.

Pembobotan spasi dan kondisi kekar, kondisi air tanah serta orientasi jurus dan kemiringan bidang kekar terhadap sumbu terowongan didasarkan atas hasil pengamatan di lapangan. Sedangkan bobot parameter kuat tekan uniaksial diperoleh dari pengujian conto batuan. Hasil pembobotan setiap parameter tersebut menggambarkan nilai RMR pada setiap segmen seperti terlihat pada Tabel 3. Nilai RMR tersebut adalah RMR terkoreksi dari orientasi kekar terhadap sumbu terowongan. Rincian nilai RMR pada setiap segmen adalah sebagai berikut:

- (a) Segmen-1 dengan RMR: 69,5 atau tergolong batuan Klas II (*good rock*),
- (b) Segmen-2 dengan RMR: 66,5 masih tergolong batuan Klas II,
- (c) Segmen-3 dengan RMR: 58,3 yang tergolong pada batuan Klas III (*fair rock*) atau massa batuan dengan kekuatan sedang.

Pada batuan tersebut dikenakan peledakan untuk pembuatan terowongan dengan pola dan spesifikasi peledakan seperti terlihat pada Gambar 9. Alat bor yang digunakan bertipe *jackdrill* berdiameter lubang bor 32 mm dan hanya mampu membuat lubang dengan kedalaman maksimum 1,40 m. Setiap kali

peledakan untuk kemajuan terowongan diperlukan jumlah lubang ledak rata-rata 45 lubang dengan rincian 44 lubang diisi bahan peledak dan 1 lubang ledak kosong. Jumlah bahan peledak total (W_{et}) yang dimasukkan ke dalam setiap lubang ledak antara 290 kg sampai 330 kg dan jumlah bahan peledak per waktu tunda atau *delay time* (W_{ed}) yang diperhitungkan dalam analisis getaran berkisar antara 6,40 kg sampai 10,6 kg (Tabel 4). Ke dalam setiap lubang ledak dimasukkan bahan peledak primer pada bagian dasar lubang. Bahan peledak primer adalah bahan peledak peka detonator yang sudah disisipkan detonator ke dalamnya berfungsi sebagai pemacu awal peledakan (Dick *et al.* 1983). Kemajuan terowongan rata-rata 1 m per siklus sesuai dengan spesifikasi panjang batang bor yang digunakan.

Berdasarkan hasil peledakan diperoleh hubungan antara jarak (D) dari pusat ledakan dengan vektor kecepatan getaran peledakan (PVS) pada jenis batuan andesit vulkanik dengan RMR antara 58 sampai 69 (Gambar 13). Kurva pada Gambar 13 memperlihatkan peluruhan getaran pada jarak yang semakin jauh dari pusat ledakan. Pada jarak kurang dari 10 m dari pusat ledakan dihasilkan getaran di atas 140 mm/s kemudian meluruh secara tajam sampai jarak 30 m menjadi 16 mm/s. Selanjutnya peluruhan getaran terjadi tidak tajam sampai hilang pada jarak di atas 100 m. Dengan menggunakan kurva tersebut dapat diestimasi nilai PVS pada jarak tertentu dalam terowongan dengan mengikuti persamaan $PVS = 11548 D^{-1.933}$.

Tabel 3. Nilai RMR pada Segmen-1, Segmen-2 dan Segmen-3

No.	Parameter	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
		Nilai	Bobot	Nilai	Bobot	Nilai	Bobot
1	UCS	43,51	4	43,51	4	43,51	4
2	RQD	99,73	20	99,55	20	99,82	20
3	SK	1,34	15	1,02	15	1,19	15
4	KK		20,7		19,1		18,1
5	GW	Kering	14,7	Kering-lembab	13,4	Kering-lembab	13,2
6	OK	Orientasi kekar dengan dip 45-90° tegak lurus (memotong) arah terowongan membuat sudut 42-72°		Orientasi kekar dengan dip 45-90° tegak lurus (memotong) arah terowongan membuat sudut 59-98°		Orientasi kekar dengan dip 45-90° sejajar arah terowongan membentuk sudut 3-30°	
	Koreksi km. OK	Sedang (fair)	-5	Sedang (fair)	-5	Sangat tidak menguntungkan	-12
7	RMR (terkoreksi)		69,5		66,5		58,3
8	KLAS	II (batuan baik/ good rock)		II (batuan baik/ good rock)		II (batuan sedang/ fair rock)	
9	SUC	1 tahun / 10 m panjang		1 tahun / 10 m panjang		1 minggu / 5 m panjang	
10	c	300-400 kPa		300-400 kPa		200-300 kPa	
11	ϕ	30-45°		30-45°		25-35°	

Keterangan:

UCS = Kuat tekan uniaksial, MPa

RQD = Rock Quality Designation, %

SK = Spasi kekar

KK = Total bobot kondisi bidang kekar

GW = Kondisi air tanah

OK = Orientasi bidang kekar pada sumbu terowongan

KLAS = Klas massa batuan

SUT = Stand-up Time

c = Kohesi, kPa

ϕ = Sudut gesek dalam, °

Untuk mengetahui kriteria kerusakan berdasarkan BDI digunakan Persamaan (1) dan dihubungkan dengan jarak yang berbeda-beda. Pada D yang berbeda akan diperoleh PVS yang berbeda pula, sehingga nilai BDI pada setiap jarak tertentu dapat dihitung (Tabel 5). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut

selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan antara D dan BDI untuk mempermudah interpretasi jenis kerusakan yang terjadi pada dinding terowongan dengan jarak tertentu (Gambar 14). Disamping itu untuk mengestimasi pengaruh peningkatan PVS terhadap BDI bisa dibuat grafik seperti terlihat pada Gambar 15.

Tabel 4. Hasil pengukuran getaran peledakan dalam bentuk *Peak Vector Sum (PVS)*

No.	Tanggal	Alat ukur	D	W _{et}	W _{ed}	Tran Peak	Vert Peak	Long Peak	PVS (mm/s)		D ⁶⁾
			(m) ¹⁾	(kg) ²⁾	(kg/dl) ³⁾	(mm/s)	(mm/s)	(mm/s)	Hitung ⁴⁾	Ukur ⁵⁾	W _{ed} ^{0,19}
1	4-Nov-15	BA18917	20	290	6,40	16,64	11,81	15,62	25,70	21,53	14,06
2		BA15372	45	290	6,40	2,286	2,159	1,524	3,494	3,208	31,63
3	6-Nov-15	BA18917	20	290	7,30	27,30	40,64	26,03	55,45	44,37	13,71
4		BA15372	45	290	7,30	4,445	3,556	2,794	6,341	6,181	30,84
5	9-Nov-15	BA18917	20	310	7,30	6,398	8,684	9,588	14,43	11,53	13,71
6		BA15372	30	310	7,30	5,334	7,112	5,699	10,56	8,325	20,56
7		BA16467	45	310	7,30	3,175	5,715	3,429	7,382	6,487	30,84
8	10-Nov-15	BE18090	50	310	7,30	1,905	2,715	2,191	3,975	3,147	34,27
9		BA18917	20	314	10,2	21,34	18,29	11,81	30,49	29,35	12,86
10		BE18090	30	314	10,2	6,223	8,763	4,826	11,78	10,77	19,30
11		BA16467	45	314	10,2	4,000	4,366	2,842	6,568	4,960	28,95
12		BA15372	55	314	10,2	0,889	1,016	2,159	2,546	2,170	35,38
13	13-Nov-15	BE18090	20	294	10,4	30,48	19,18	17,40	40,00	39,41	12,82
14		BA15372	30	294	10,4	5,080	9,906	3,302	11,61	10,19	19,23
15		BA18917	45	294	10,4	6,699	7,080	7,382	12,23	9,046	28,84
16		BA16467	60	294	10,4	3,937	3,683	2,508	5,946	4,630	38,45
17	24-Nov-15	BA15372	20	318	7,30	24,84	20,22	20,61	38,09	29,34	13,71
18		BA16467	40	318	7,30	12,06	14,99	7,620	20,69	15,01	27,42
19		BA18917	55	318	7,30	1,270	1,889	1,667	2,821	2,110	37,70
20	25-Nov-15	UM7463	20	294	10,2	33,04	61,91	45,57	83,67	69,96	12,86
21		UM7462	40	294	10,2	5,178	5,328	3,712	8,305	7,444	25,73
22	27-Nov-15	UM7466	55	294	10,2	2,049	2,719	1,750	3,828	2,908	35,38
23		UM7466	20	310	10,2	16,51	61,16	21,75	66,98	62,75	12,86
24		UM7462	40	310	10,2	9,398	8,001	7,493	14,44	11,55	25,73
25	20-Jan-16	UM7465	30	310	10,4	18,07	31,42	16,12	39,67	36,66	19,23
26		UM7463	40	310	10,4	8,260	6,053	7,905	12,94	11,46	25,63
27		UM7466	60	310	10,4	7,488	8,552	5,123	12,47	8,676	38,45
28		UM7462	70	310	10,4	2,514	2,049	2,278	3,963	3,421	44,86
29	22-Jan-16	UM7462	20	330	6,40	24,50	21,78	34,28	47,43	40,18	14,06
30		UM7465	50	330	6,40	11,70	9,159	7,433	16,61	14,89	35,14
31		UM7463	60	330	6,40	8,237	7,858	4,169	12,12	11,30	42,17
32	23-Jan-16	UM7466	75	330	6,40	1,978	1,561	1,056	2,732	2,358	52,71
33		UM7463	30	310	10,6	116,5	45,96	34,81	130,0	120,2	19,16
34		UM7462	50	310	10,6	10,30	17,32	11,52	23,21	20,24	31,93
35		UM7466	60	310	10,6	3,783	3,641	2,301	5,733	4,460	38,31
36	25-Jan-16 ⁷⁾	UM7465	100	310	10,6	1,340	0,607	0,993	1,775	1,480	63,85
37		UM7462	30	8,2	1,60	3,799	5,336	5,925	8,850	6,760	27,44
38		UM7465	50	8,2	1,60	2,475	2,822	3,925	5,431	4,550	45,73
39		UM7463	60	8,2	1,60	2,041	3,176	1,860	4,209	3,310	54,87

Keterangan:

¹⁾Jarak (m)

²⁾Berat total bahan peledak (kg)

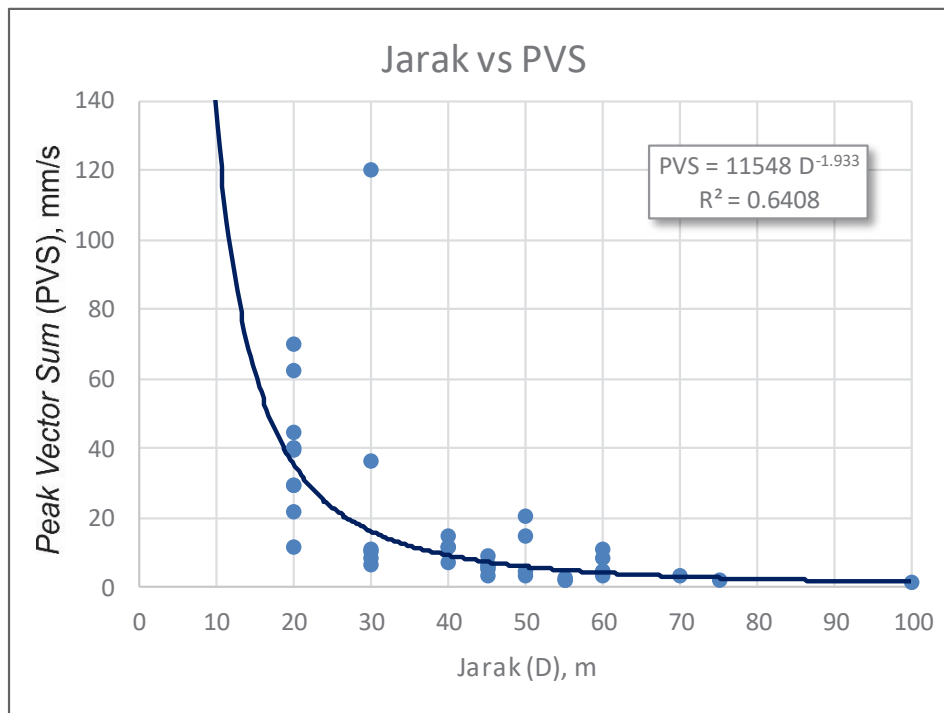
³⁾Berat bahan peledak per waktu tunda (kg/dl)

⁴⁾PVS= (T²+V²+L²)^{0,5}

⁵⁾PVS hasil pengukuran geofone

⁶⁾ $\frac{D}{W_{ed}^{0,19}}$ =Scale Distance (m/kg^{0,19})

⁷⁾Meratakan lantai terowongan



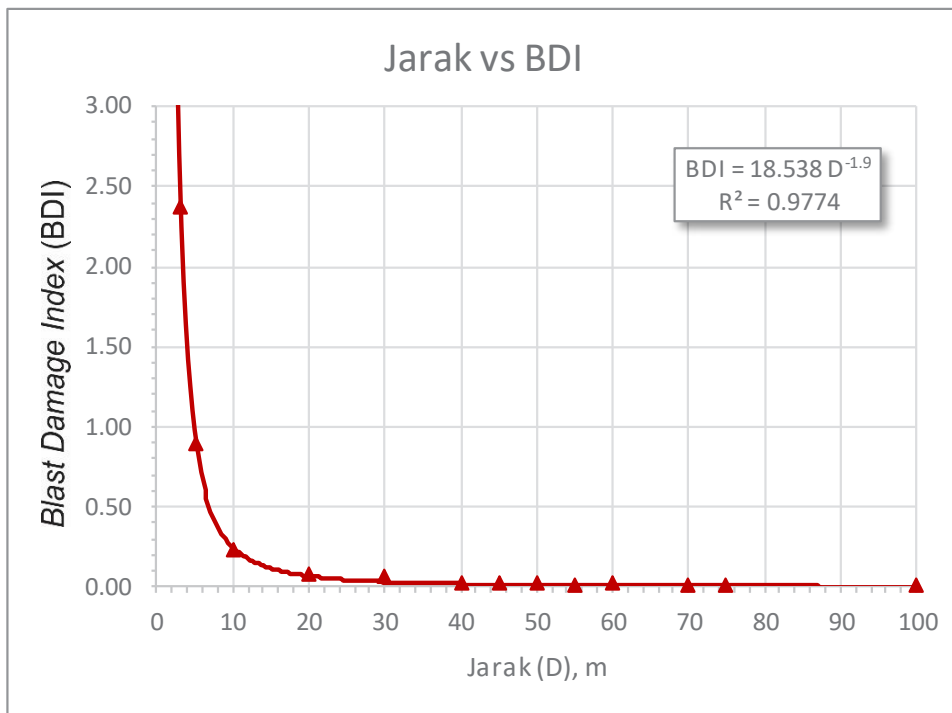
Gambar 13. Grafik hubungan D dan PVS

Tabel 5. Hasil pengukuran BDI pada jarak yang berbeda dari titik ledak

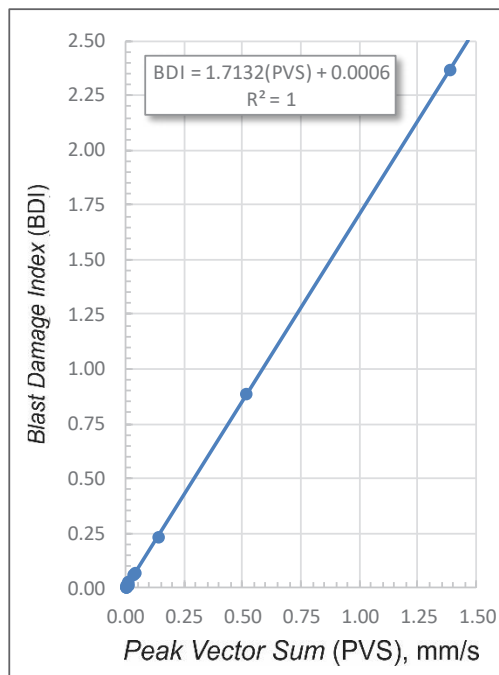
Jarak (m)	2	3	5	10	20	30	40	45	50	55	60	70	75	100
PVS (m/s)	3,0242	1,3811	0,5145	0,1347	0,0387	0,0322	0,0114	0,0060	0,0107	0,024	0,0065	0,0034	0,0024	0,0015
γ (g/cc)	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
C (km/s)	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,81	4,81	3,70	4,70	4,84	4,59	4,59	4,56
K_r	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
T (Mpa)	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
BDI	5,1828	2,3669	0,8818	0,2309	0,0663	0,0551	0,0228	0,0120	0,0166	0,0037	0,0131	0,0066	0,0045	0,0028

Grafik pada Gambar 14 dan 15 memberikan gambaran tentang kriteria kerusakan dinding terowongan RU4C-L500 pada batuan andesit vulkanik yang memiliki bobot RMR antara 58,3 sampai 69,5. Grafik pada Gambar 14 memperlihatkan BDI yang naik tajam pada jarak kurang dari 10 m, sedangkan pada jarak di atas 10 m peluruhan BDI terjadi tidak tajam dan terus turun mendekati nol seiring dengan jarak yang semakin jauh dari pusat ledakan. Dengan demikian, berdasarkan grafik itu pula dapat diestimasi jarak kritis (D kritis), yaitu jarak dari pusat ledakan yang mengalami ambruk pada dinding dan atap terowongan akibat induksi getaran peledakan dengan indikator BDI : 2 (Tabel 2). Akibat ambruk akan terjadi *overbreak*

yang menyebabkan terjadi penambahan lebar serta tinggi terowongan menjadi 4,5 m sampai 6 m dan penambahan volume fragmentasi yang harus dipindahkan. Adapun jarak kritis dengan BDI : 2 diestimasi menggunakan persamaan BDI : $18,538 D^{-1,9}$ (Gambar 14) dan hasilnya adalah 3,23 m. Selanjutnya dengan menggunakan grafik pada Gambar 15 dapat diestimasi PVS kritis, yaitu PVS yang menghasilkan getaran peledakan tepat pada nilai $BDI \geq 2$ di mana terjadi ambruk pada bagian dinding dan atap terowongan (Tabel 2). PVS kritis diestimasi menggunakan persamaan BDI : $1,7132 PVS + 0,0006$ (Gambar 15) dan hasilnya adalah 1,17 m/s (= 1170 mm/s).



Gambar 14. Grafik hubungan D dan BDI



Gambar 15. Grafik hubungan PVS dan BDI

Kondisi di atas sebagian besar terbukti dari hasil pengamatan di lapangan memperlihatkan bahwa pada jarak kurang dari 5 m dari pusat ledakan terjadi retakan yang panjang dengan jumlah sedang dan pada jarak kurang dari 3 m dari pusat ledakan terjadi ambrukan dinding dan atap dari terowongan. Dengan demikian,

fragmentasi batuan yang diangkut atau dikeluarkan dari terowongan tidak saja dihasilkan oleh peledakan permukaan terowongan, tetapi juga mendapat tambahan fragmentasi dari runtuh dinding dan atap terowongan sepanjang 3 m dari pusat peledakan tersebut. Apabila peledakan pada permukaan terowongan

terjadi *overbreak*, maka volume fragmentasi batuan akan bertambah lagi. Peningkatan volume hasil peledakan dari *overbreak* dan dari keruntuhan dinding serta atap sepanjang 3 m memberikan dampak, yaitu:

- (a) waktu pemuatan (*mucking*) bertambah lama yang berakibat peningkatan waktu siklus penerowongan,
- (b) lebar terowongan melebihi rancangan semula dan berpotensi terjadi keruntuhan akibat *span* bertambah, sehingga perlu tambahan sistem penyanggaan untuk menjamin keselamatan kerja, dan
- (c) biaya meningkat, baik dari biaya pemuatan karena siklus waktunya bertambah lama maupun dari biaya sistem penyanggaan.

Perbaikan dilakukan dengan mengurangi spasi lubang ledak pada perimeter terowongan, yaitu lubang ledak pada dinding, atap dan lantai, dari 0,75 m menjadi 0,60 m ditambah panjang *look out* pada ujung lubang 0,20 m. Dengan demikian spasi lubang ledak dipermukaan terowongan adalah 0,60 m dan pada ujung lubang ledak, yaitu di dalam batuan pada kedalaman 1,40 m, spasinya menjadi 0,80 m. Dengan proses pengeborannya cukup presisi diperoleh dimensi lebar dan tinggi terowongan rata-rata 4 m. Walaupun demikian, *overbreak* pada titik-titik tertentu sepanjang terowongan RU4C-L500 tetap saja ada karena proses fragmentasi juga dikontrol oleh kerapatan spasi kekar yang bervariasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kriteria kerusakan pada pembuatan terowongan RU4C-L500 ditandai oleh adanya ambruk dinding dan atap akibat induksi getaran peledakan pada jarak kurang dari 3,0 m dari titik ledakan dengan $BDI \geq 2$ yang merupakan getaran kritis dengan PVS mencapai 1170 mm/s. Selanjutnya pada jarak antara 3,0 m sampai 10 m kerusakan terowongan tidak parah karena masih dapat direhabilitasi.

Kondisi tersebut diidentifikasi oleh BDI antara 0,5 sampai 1,0. Induksi getaran peledakan tidak lagi berpengaruh terhadap kestabilan dinding terowongan pada jarak di atas 10 m.

Pengkajian selanjutnya disarankan melakukan pengukuran tambahan volume fragmentasi akibat *overbreak* pada setiap kemajuan terowongan. Adanya peningkatan volume fragmentasi akibat *overbreak* tersebut akan memperpanjang waktu pemuatan dan pengangkutan yang disinyalir akan menambah biaya pembuatan terowongan secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terlaksananya penelitian ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada manajemen PT Aneka Tambang (ANTAM), Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor. Tanpa kesempatan dan ijin yang diberikan manajemen ANTAM, maka penelitian ini tidak akan terwujud. Disamping itu, ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Lab. Petrologi FTG, UNPAD, Lab. Mekanika Batuan FTTM, ITB dan Lab. Mekanika Batuan serta Kimia Puslitbang Tekmira, Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2015. *Bagian Pengembangan Tambang, Bidang Mine Planning & Development*. PT Aneka Tambang, Unit Bisnis Pertambangan Emas, Pongkor, Jawa Barat. (Tidak dipublikasi).
- Basuki, A.D., Sumanagara, A. dan Sinambela, D. 1994. The Gunung Pongkor gold-silver deposit, West Java, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration* 50. Pp. 371-391.
- Dick, R.A., Flether, L, R, Andrea, D.V. 1983. Explosives and Blasting Procedures Manual. *Information Circular 8925. United States Bureau of Mines*. 113 p.

- Hall, R. 2011. Australia–SE Asia collision: plate tectonics and crustal flow. *The SE Asian Gateway: History and Tectonics of the Australia–Asia Collision*. Geological Society, London, Special Publications. pp: 75–109.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. *Underground Excavation in Rock*. The Institution of Mining and Metallurgy. London.
- Hoek, E. 2006. *Rock Mass Classification. Practical Rock Engineering*. Evert Hoek Consulting Engineer Inc. 102 – 3200 Capilano Crescent North Vancouver, British Columbia Canada V7R 4H7.
- Priest, S.D. and Hudson, J.A., 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. Vol. 18. Pp. 183-197.
- Rosana, M.F and Matsueda, H. 2002. Cikidang Hydrothermal Gold Deposit in Western Java, Indonesia. *Resource Geology, Vol. 52, No. 4*. Pp. 341-352.
- Singh, S.P. 2000. The Role of Joints and Rock Mass Quality in Perimeter Control. *Explosives & Blasting Technique*. Holmberg, R. (Ed). A.A Balkema/Rotterdam/Brookfield/2000. Pp. 371 – 375.
- Syafrizal, Imai, A. and Watanabe, K. 2007. Origin of Ore-forming Fluids Responsible for Gold Mineralization of the Pongkor Au-Ag Deposit, West Java, Indonesia: Evidence from Mineralogic, Fluid Inclusion Microthermometry and Stable Isotope Study of the Ciurug – Cikoret Veins. *Resource Geology Vol. 57, No. 2*. Pp. 136-148.
- Syafrizal, Imai, A., Motomura, Y. and Watanabe, K., 2005. Characteristics of Gold Mineralization at the Ciurug Vein, Pongkor Gold-Silver Deposit, West Java, Indonesia, *Resource Geology, Vol.55*. Pp. 225-338.
- Yu T.R. and Vongpaisal S. 1996. New Blast Damage Criteria for Underground Blasting. *The Canadian Institute of Mining Bulletin*. Vol.89, No.998. Pp. 139-145.
- Yuningsih, E.T., Matsueda, H., Rosana, M.F. 2014. Epithermal Gold-Silver Deposits in Western Java, Indonesia: Gold-Silver Selenide-Telluride Mineralization. *Indonesian Journal on Geoscience, Vol. 1 No. 2*. Pp. 71-81.

Diterima	: 22 Juni 2017
Direvisi	: 29 Agustus 2017
Disetujui	: 31 Agustus 2017

ESTIMASI TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KEHADIRAN MINERAL ALTERASI PADA SUMUR "X" LAPANGAN PANAS BUMI WAYANG WINDU, PANGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG, PROVINSI JAWA BARAT

SUBSURFACE TEMPERATURE ESTIMATION BASED ON THE PRESENCE OF ALTERATION MINERALS IN "X" WELL OF THE WAYANG WINDU GEOTHERMAL FIELD, PANGALENGAN, BANDUNG REGENCY, WEST JAVA PROVINCE

Vina Oktaviany, Johanes Hutabarat, dan Agus Didit Haryanto

Fakultas Teknik Geologi UNPAD, Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21, Jatinangor, 45363
vina.oktaviany@gmail.com

ABSTRAK

Temperatur merupakan aspek penting dalam sistem panas bumi untuk pengembangan panas bumi sebagai sumber energi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui jenis litologi, mineral alterasi, tipe dan intensitas alterasi serta penyebarannya pada sumur X, dan bertujuan menentukan temperatur berdasarkan geotermometer mineral yang kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran temperatur (T) sumur. Objek dalam penelitian ini berupa serbuk bor (*cutting*) dari sumur X yang dianalisis dengan metode petrologi, petrografi, dan XRD. Hasilnya menunjukkan, bahwa litologi sumur X terdiri atas andesit terubah, tuf litik terubah, dan tuf kristal terubah. Mineral alterasi yang berkembang didominasi oleh mineral alterasi dengan pH netral yang berupa kuarsa sekunder, kalsit, epidot, montmorilonit, illit, smektit, klorit, oksida besi, dan pirit, serta beberapa mineral ber-pH asam seperti kaolinit, kristobalit, anhidrit, dan halloysit. Berdasarkan asosiasi mineralnya, alterasi pada sumur X dibagi menjadi tiga tipe, yaitu alterasi argilik dengan perkiraan temperatur antara 150°C hingga 180°C, alterasi subpropilitik antara 150°C s.d. 220°C, dan alterasi propilitik antara 210°C s.d. 280°C. Secara umum, hasil geotermometer mineral ini menunjukkan data temperatur yang lebih tinggi dibandingkan data T berdasarkan pengukuran sumur.

Kata kunci: Tipe alterasi, Serbuk bor, Geotermometer mineral, Wayang Windu, Pangalengan

ABSTRACT

Temperature is an important aspect in geothermal system to development geothermal as energy resources. The purpose of this research is to know the lithologies, alteration minerals, type and intensity of alteration in X well, and intent to determine the temperature of X well based on mineral geothermometry and compare it with temperature (T) data of well. The object of this research is the cutting sample from X well analyzed by using petrological method, petrographical method and XRD. Observation results show those lithologies found in the X well are altered andesite, lithic tuff and crystal tuff. Alteration minerals found are dominated neutral pH alteration minerals (secondary quartz, calcite, epidote, montmorillonite, illite, smectite, chlorite, iron oxide and pyrite) and acid-neutral pH alteration minerals (kaolinite, cristobalite, anhydrite and halloysite). Based on it associated minerals, X well is divided into three alteration types : argillic with temperature estimate of about 150°-180°C, subpropylitic about 150°-220°C, and propylitic about 210°-280°C. Generally, the result of geothermometry minerals shows that temperature data are higher than T data of well.

Keyword: Alteration Type, Cutting, Geothermometry minerals, Wayang Windu, Pangalengan

PENDAHULUAN

Sistem panas bumi terdiri dari sumber panas, reservoir, lapisan penudung, dan fluida panas. Interaksi fluida dan batuan yang terjadi pada sistem panas bumi menghasilkan mineral-mineral alterasi yang dapat dijadikan indikator temperatur sistem tersebut.

Pembentukan mineral alterasi akibat fluida panas (hidrotermal) tergantung pada temperatur, komposisi dan konsentrasi fluida, komposisi batuan asal, permeabilitas, tekanan, dan durasi aktivitas hidrotermal (Browne, 1989). Mineral alterasi yang sering ditemukan pada lingkungan panas bumi antara lain kalsit, klorit, kalsedon, pirit, illit, smektit, kristobalit, epidot, oksida besi, wairakit, dan kuarsa. Mineral-mineral ini yang akan dilihat dan dianalisis sebagai indikator temperatur sumur.

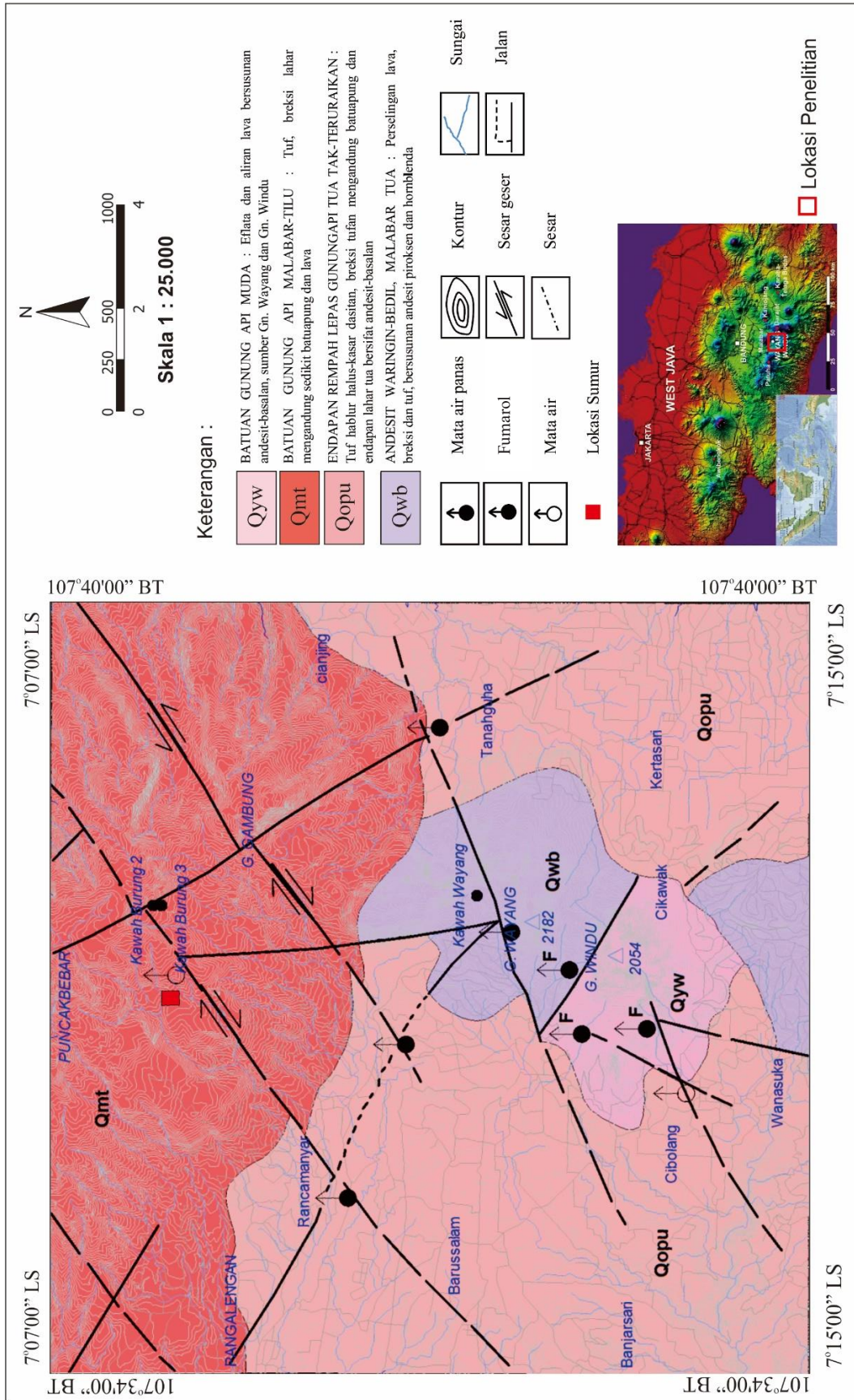
Penelitian berlokasi di Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Secara geografis, terletak pada 107°34'00"-107°40'00" BT dan 7°07'00"-7°15'00" LS. Lapangan panas bumi Wayang Windu memproduksi sejak tahun 2000 dengan kapasitas produksi yang dihasilkan sebesar 227 MW. Pembangkit listrik ini didukung oleh 22 sumur produksi dan 3 sumur injeksi (Masri dkk., 2015). Sumur X yang menjadi objek penelitian merupakan salah satu sumur yang memproduksi uap panas dan menghasilkan daya listrik yang cukup

besar, terletak di bagian utara wilayah kerja panas bumi Wayang Windu, dengan elevasi 2077 mdpl dan kedalaman sekitar 1829 meter kedalaman ukur (mku). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe alterasi serta temperatur pembentukan mineral alterasi di bawah permukaan berdasarkan data sayatan tipis dan data T hasil pengukuran, dan juga dapat digunakan untuk memperbarui data temperatur sumur X sebelumnya.

GEOLOGI REGIONAL

Lapangan Panas Bumi Wayang Windu terletak sekitar 40 km dari Kota Bandung, Jawa Barat, tepatnya di bagian selatan lereng G. Malabar (gunungapi strato besar berkomposisi andesitik) dan pada rangkaian gunungapi kecil yang membentang ke arah selatan, termasuk G. Bedil, G. Wayang, dan G. Windu (Bogie and Mackenzie, 1998). Batuan yang umum terdapat pada daerah penelitian adalah aliran lava andesitik, breksi aliran, lahar dan piroklastik.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Garut-Pameungpeuk (Alzwar dkk., 1992), daerah penelitian disusun oleh Andesit Waringin-Bedil atau Malabar tua (Qwb), Endapan Rempah Lepas Gunungapi Tua Tak-Teruraikan (Qopu), Batuan gunungapi Malabar-Tilu (Qmt), dan Batuan gunungapi muda (Qyw). Secara struktur, patahan yang ada memiliki kemiringan curam ($>80^\circ$) dengan arah sekitar N30°-40°E dan N330°-340°E (Bogie dkk., 2008).



Sumber : Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk sekala 1 : 100.000 (Alzwar dkk., 1992), dengan modifikasi

Gambar 1. Peta geologi lapangan panas bumi Wayang Windu, lokasi sumur X (kotak merah) berada di bagian utara, terdapat manifestasi mata air panas dan sesar geser di dekat sumur



Gambar 2. Manifestasi permukaan yang ditemukan pada Kawah Wayang, berupa (A) Tanah beruap dan (B) Fumarol

MANIFESTASI PERMUKAAN

Lapangan panas bumi Wayang Windu merupakan transisi antara sistem panas bumi dominasi uap dengan sistem panas bumi dominasi air. Semakin ke selatan, zona dominasi uap semakin menipis dan semakin dalam (Bogie dkk., 2008). Beberapa manifestasi yang ada antara lain mata air panas, fumarol, dan tanah beruap. Manifestasi ini keluar melalui rekahan-rekahan terbuka akibat struktur geologi. Sebagian besar mata air panas berjenis air bikarbonat dengan pH netral dengan kandungan asam sulfat 5% s.d. 65% dan memiliki temperatur hingga 66°C. Fumarola kaya akan sulfat dengan pH 1,6 s.d. 2,77 dan temperatur 56°C hingga 93°C (Abrenica dkk, 2010). Manifestasi ini dapat ditemukan di beberapa tempat, antara lain Kawah Wayang pada 107°38'13,5" BT dan 7°12'22,9" LS, Kawah Burung 2 pada 107°38'8,32" BT dan 7°9'50" LS, serta Kawah Burung 3 berada pada 107°38'8,05" BT dan 7°9'54,18" LS.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam penelitian yaitu melakukan deskripsi megaskopis terhadap serbuk bor sumur X dari kedalaman 50 mku s.d. 1169 mku meliputi jenis litologi batuan berdasarkan warna, permeabilitas, porositas, persentase mineral mafik dan felsik. Selanjutnya deskripsi terhadap 11 sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi untuk

melihat kandungan mineral primer maupun mineral sekunder pada batuan. Analisis *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengidentifikasi mineral yang tidak terlihat dari pengamatan megaskopis ataupun mikroskopis. Hasil analisis ini dibandingkan dengan geotermometer mineral untuk memperkirakan temperatur sumur dan dengan data T hasil pengukuran sumur yang dilakukan Star Energy Geothermal Indonesia Ltd. untuk melihat adanya kenaikan atau penurunan temperatur sumur X. Data T hasil pengukuran ini didapat saat kondisi sumur statis dan telah melalui *heating up* selama 8 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

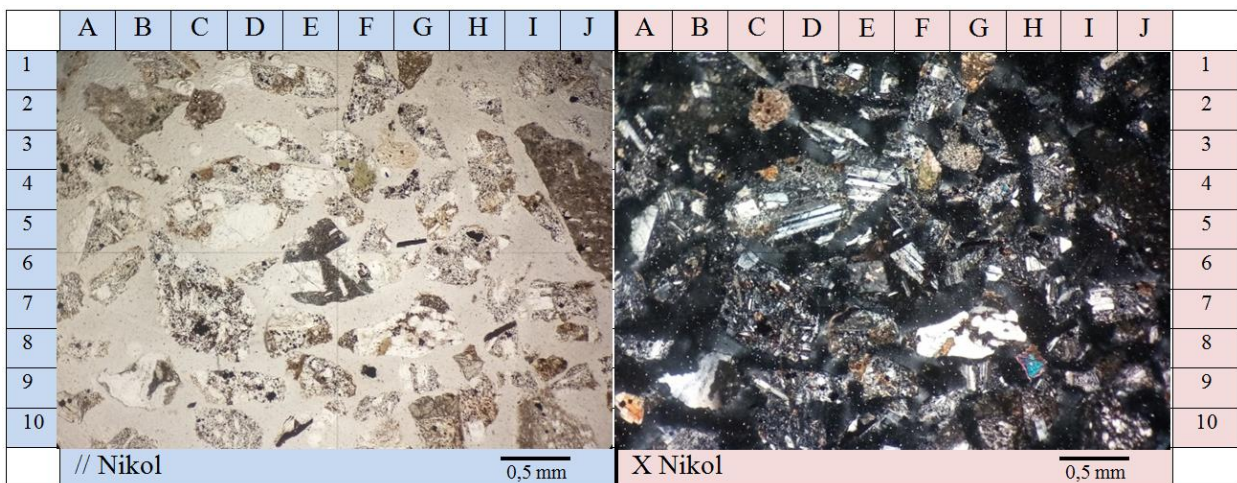
Litologi pada sumur X diketahui dari hasil pengamatan dan analisis serbuk bor (*cutting*), meliputi pengamatan megaskopis dan mikroskopis. Hasil pengamatan megaskopis maupun mikroskopis dari serbuk bor menunjukkan bahwa pada sumur X terdapat tiga jenis litologi, yaitu andesit terubah, tuf litik terubah, dan kristal tuf terubah.

Batuan andesit terubah secara megaskopis berwarna abu-abu hingga abu kehitaman. Pengamatan mikroskopis dilakukan pada sayatan tipis contoh kedalaman 821 mku s.d. 824 mku. Secara mikroskopis (Gambar 3), batuan berwarna abu-abu, tekstur porfiritik, massa dasar afanitik,

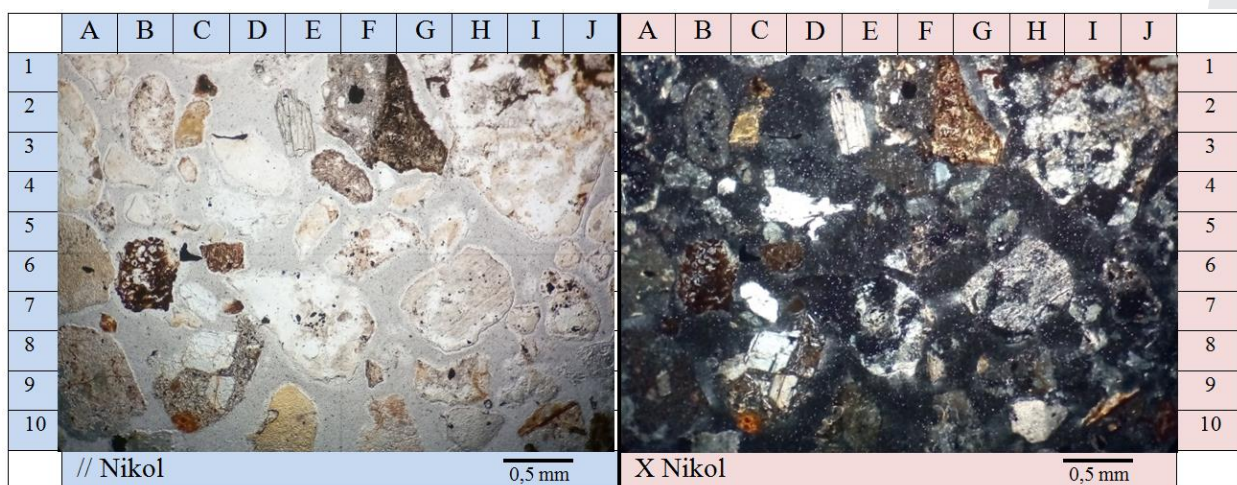
hipokristalin, memiliki bentuk kristal subhedral-anhedral, hipidiomorf, kemas terbuka. Komposisinya terdiri dari mineral primer yang tersusun atas plagioklas ± 30% dan piroksen ± 7% dalam massa dasar gelas vulkanik ± 15% dan mikrolit plagioklas ± 5%. Terdapat mineral klorit sebanyak ± 5% dan mulai muncul mineral epidot ± 2%. Mineral sekunder lain diantaranya mineral lempung ± 3%, kalsit ± 7%, kuarsa ± 3%, oksida besi ± 3% dan mineral opak ± 7%. Intensitas alterasinya lemah sampai sedang.

Tuf litik secara megaskopis berwarna abu-abu, abu-abu terang, abu kehijauan hingga putih keabuan. Pengamatan mikroskopis

dilakukan pada sayatan tipis conto kedalaman 140 mku s.d. 143 mku. Secara mikroskopis (Gambar 4), batuan berwarna abu-abu kecoklatan, kemas terbuka, bentuk fragmen membundar, memiliki mineral plagioklas ± 10%, fragmen batuan beku ± 30% dan batuan piroklastik ± 20% yang terdapat dalam massa dasar gelas vulkanik ± 5% dan mikrolit plagioklas ± 3%, sebagian berubah menjadi mineral lempung. Komposisi mineral sekunder tersusun atas kalsit ± 5%, kuarsa ± 10%, mineral opak ± 5%, klorit ± 2%, mineral lempung ± 7%, dan oksida besi ± 3%. Intensitas alterasi pada kedalaman ini sedang sampai kuat.



Gambar 3. Sayatan tipis batuan porfiri andesit conto *cutting* kedalaman 821 mku s.d. 824 mku; terlihat plagioklas (D4), klorit (F4), dan piroksen (H8)



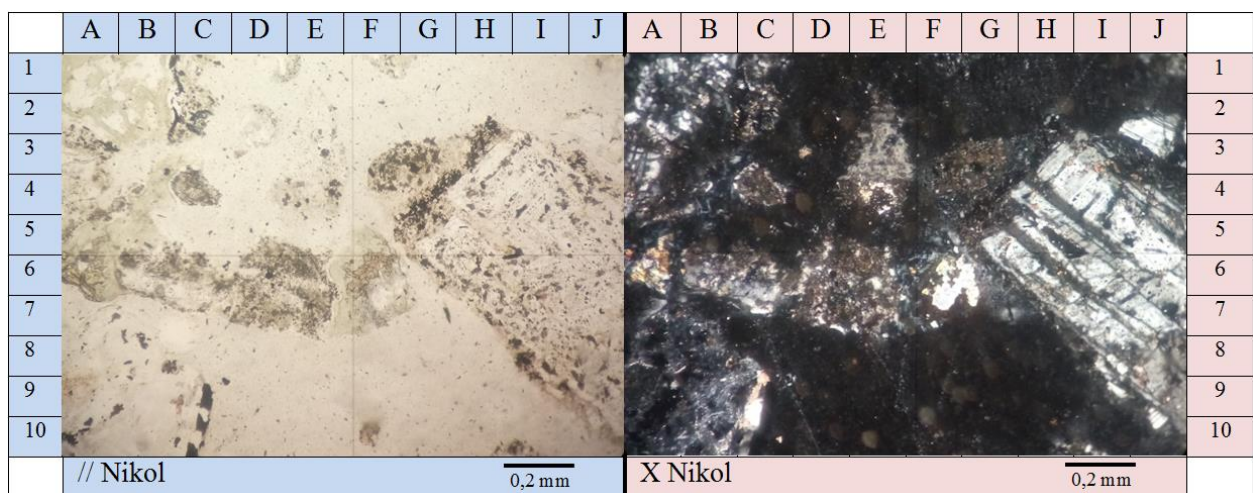
Gambar 4. Sayatan tipis tuf litik conto *cutting* kedalaman 140-143 mku; terlihat fragmen batuan beku (F1), fragmen piroklastik (D7), oksida besi (B6)

MAKALAH ILMIAH

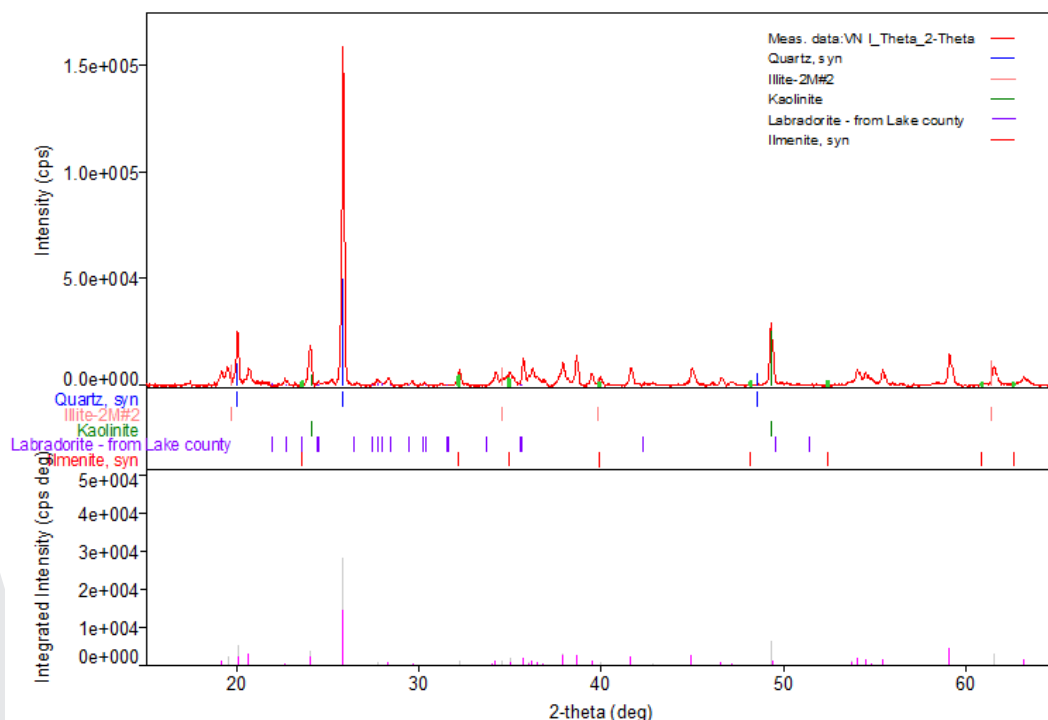
Tuf kristal secara megaskopis berwarna abu-abu terang hingga abu kehijauan. Pengamatan mikroskopis dilakukan pada sayatan tipis conto kedalaman 944 mku s.d. 947 mku. Secara mikroskopis (Gambar 5), batuan berwarna abu-abu, kemas terbuka, bentuk fragmen membuldar - membuldar tanggung. Komposisi mineral tersusun atas plagioklas $\pm 27\%$ dan piroksen $\pm 5\%$ di dalam matriks gelas vulkanik $\pm 13\%$ dan mikrolit plagioklas $\pm 7\%$ yang sebagian besar telah berubah menjadi

mineral lempung. Mineral sekunder lain adalah kalsit $\pm 10\%$, kuarsa $\pm 15\%$, klorit $\pm 2\%$, epidot $\pm 5\%$ dan mineral opak $\pm 5\%$. Intensitas alterasi sedang sampai kuat.

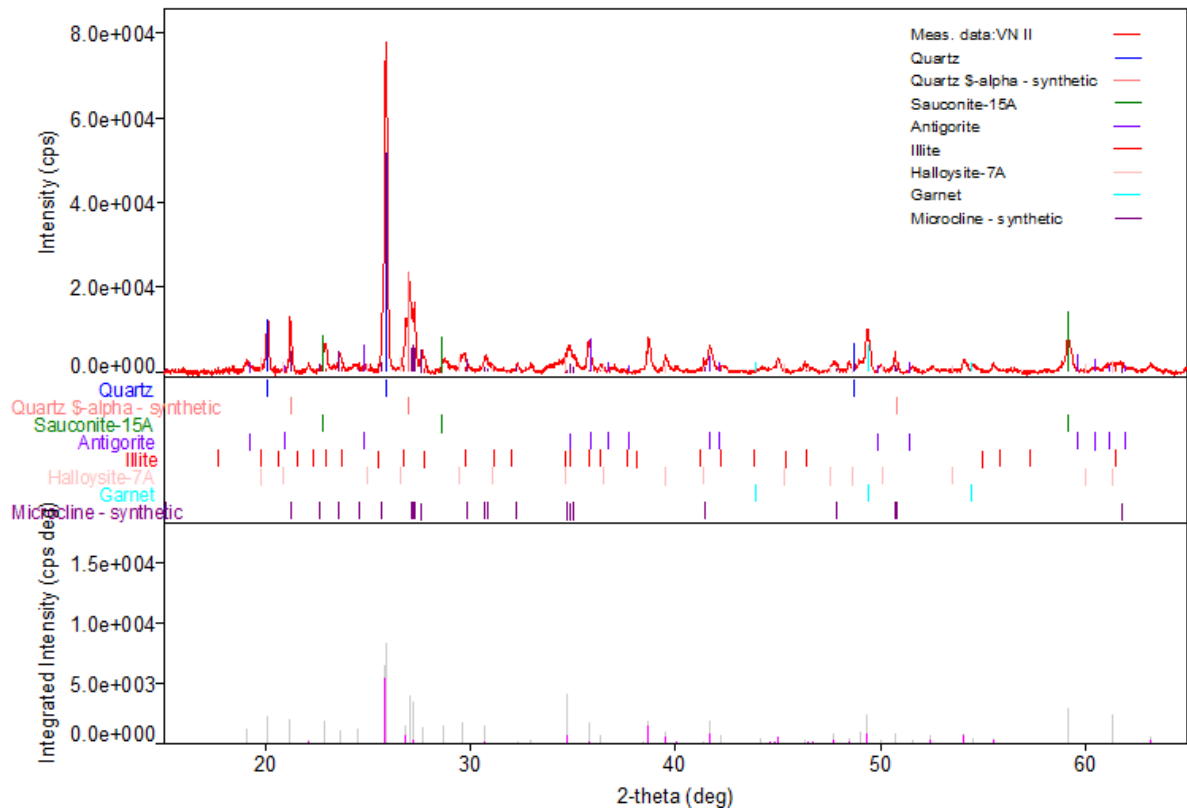
Untuk mengidentifikasi mineral alterasi yang sangat kecil, dilakukan analisis XRD pada 3 conto serbuk bor, yaitu kedalaman 320 mku s.d. 323 mku (Gambar 6), kedalaman 710 mku s.d. 713 mku (Gambar 7), dan kedalaman 1070 mku s.d. 1073 mku (Gambar 8).



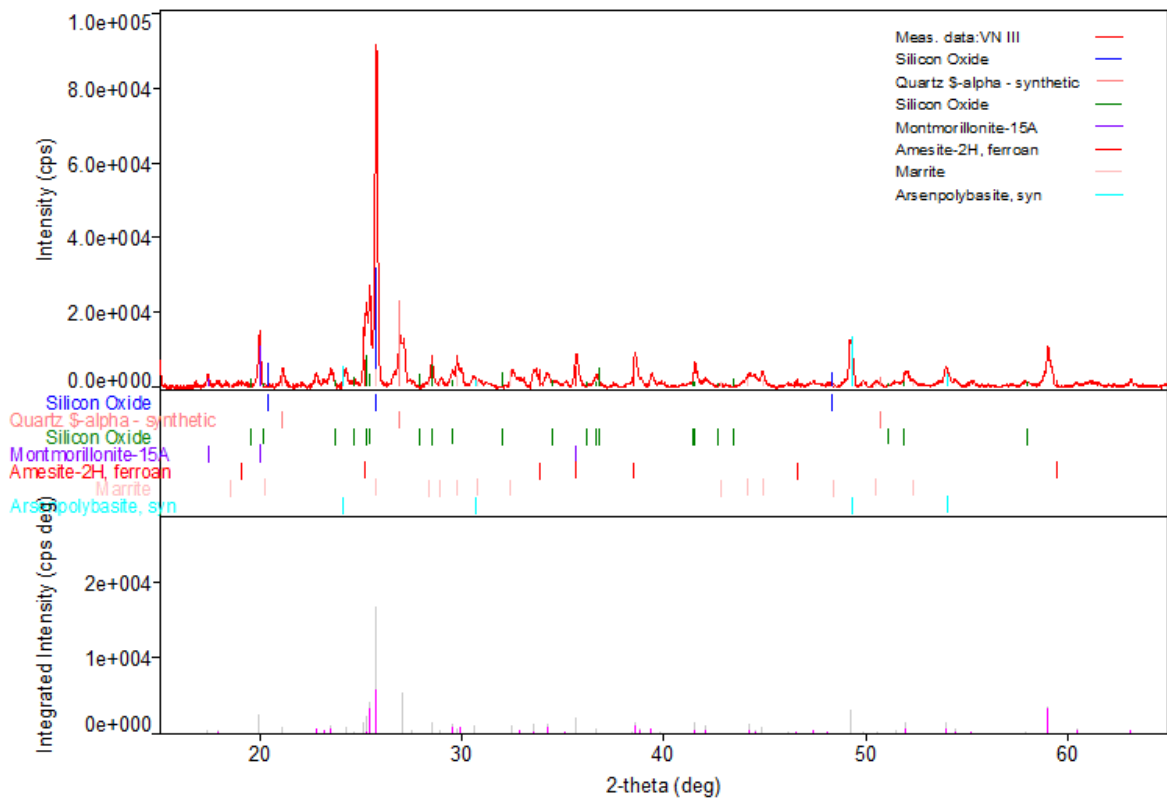
Gambar 5. Sayatan tipis tuf kristal conto *cutting* kedalaman 944 mku s.d. 947 mku; terlihat epidot (A6), piroksen (I3), plagioklas (I6), kuarsa sekunder (A1) dan kalsit (E4)



Gambar 6. Data analisis XRD pada conto kedalaman 320 mku s.d. 323 mku, terdapat *peak* dari mineral kuarsa, illit, dan kaolinit



Gambar 7. Data analisis XRD pada conto kedalaman 710 mku s.d. 713 mku, terdapat *peak* dari mineral kuarsa, illit dan halloysit



Gambar 8. Data analisis XRD pada conto kedalaman 1070 mku s.d. 1073 mku, terdapat *peak* dari mineral kuarsa, oksida besi dan montmorilonit

Hasil analisis megaskopis, mikroskopis dan XRD dari conto serbuk bor serta analisis temperatur sumur, ditampilkan dalam log komposit sumur (Gambar 9) untuk memperkirakan keadaan bawah permukaan sumur X. Log komposit sumur ini memberikan informasi mengenai kedalaman sumur, jenis litologi, keterdapat mineral sekunder, intensitas alterasi pada setiap kedalaman, tipe alterasi, data temperatur sumur, perkiraan temperatur dan pH pada tiap tipe alterasi. Data tersebut saling berkorelasi satu sama lain sehingga memberikan gambaran tentang sumur X.

Dilihat dari log komposit sumur tersebut, sumur X memiliki tiga litologi yang berselang-seling antara andesit, tuf litik, dan tuf kristal. Litologi andesit masih terdapat pada kedalaman hingga 830 mku. Semakin besar kedalamannya, kemunculan andesit semakin sedikit dan keberadaan tuf litik semakin banyak.

Pada kolom intensitas alterasi terlihat bahwa pada litologi andesit, tingkat alterasi cenderung lemah hingga sedang, sedangkan pada tuf litik dan tuf kristal menunjukkan intensitas alterasi sedang hingga kuat bahkan sangat kuat pada kedalaman besar. Hal ini terjadi karena tuf memiliki gelas vulkanik dan mineral yang mudah berubah serta mudah dilalui oleh larutan hidrotermal. Seiring bertambahnya kedalaman, intensitas alterasi juga semakin meningkat.

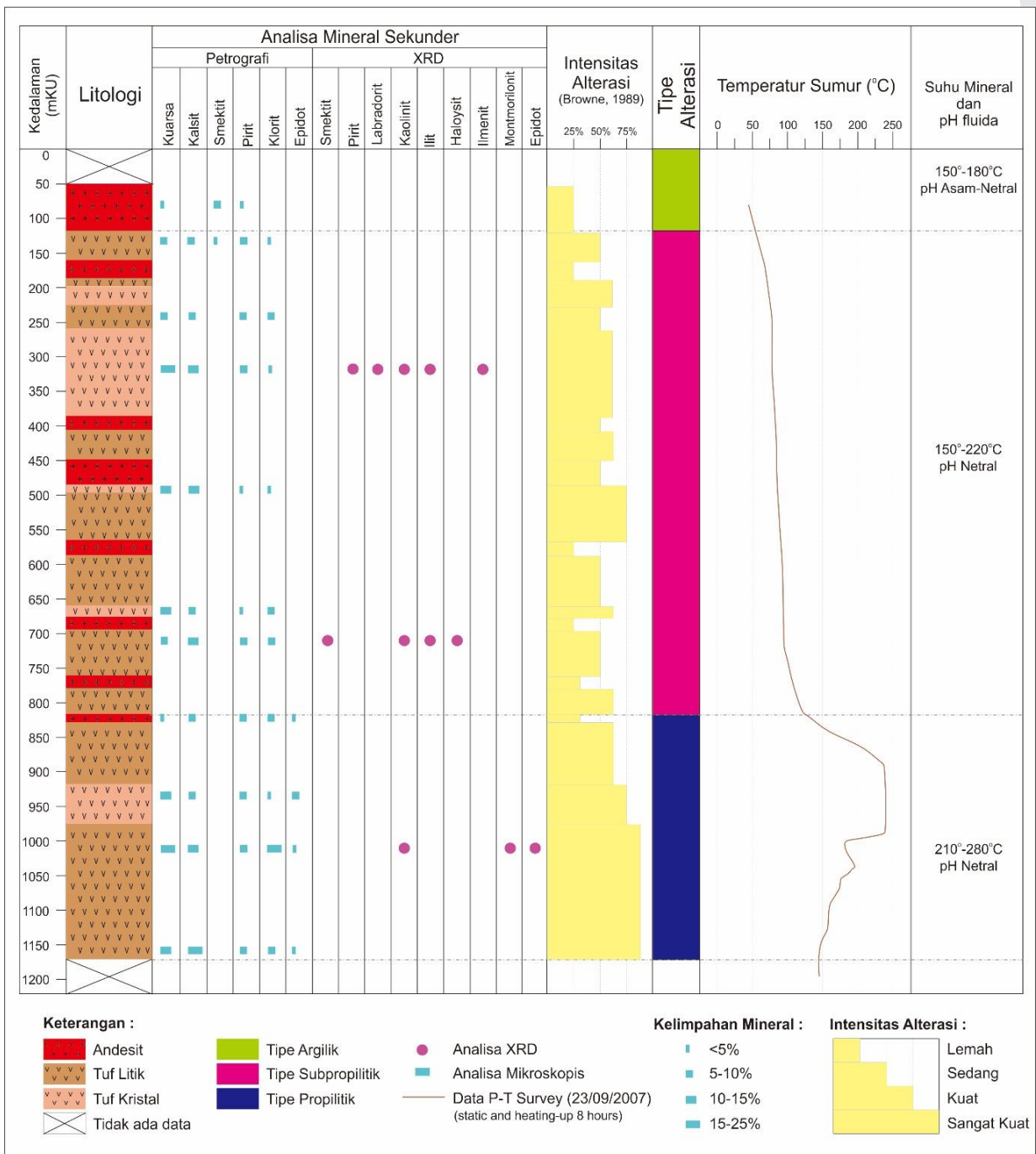
Mineral-mineral pada sumur X diperoleh dari hasil analisa mikroskopis dan XRD.

Ada beberapa mineral alterasi yang hadir hampir pada setiap kedalaman, seperti kuarsa, pirit, kalsit dan klorit. Mineral alterasi derajat tinggi seperti epidot hadir pada kedalaman mulai dari 821 mku hingga 1169 mku. Ini menunjukkan bahwa semakin dalam, semakin tinggi pula temperaturnya.

PEMBAHASAN

Sumur X terletak pada elevasi 2077 mdpl memiliki total kedalaman sekitar 1169 mku. Temperatur bawah permukaan sumur X dapat diperkirakan dari mineral penciri yang memiliki temperatur stabil tertentu serta data tekanan dan temperatur sumur (Masri, 2006). Berdasarkan mineral pencirinya, alterasi sumur X dapat dikelompokkan menjadi 3 tipe, yaitu alterasi argilik, alterasi subpropilitik, dan alterasi propilitik (Corbett dan Leach, 1997).

Tipe alterasi argilik teramati pada kedalaman dangkal, yaitu 50 mku hingga 119 mku. Didominasi oleh mineral lempung dengan kehadiran kuarsa, smektit, mineral opak dan oksida besi dalam jumlah minor. Selain itu, hadir mineral kristobalit yang mengindikasikan bahwa alterasi dipengaruhi oleh fluida pH asam-netral yang memiliki temperatur 150°-180°C. Tipe alterasi ini memiliki intensitas alterasi lemah. Dari data T hasil pengukuran, suhu pada tipe argilik adalah <50°C. Temperatur yang rendah diperkirakan terjadi karena adanya pengaruh air meteorik yang menurunkan suhu di kedalaman dangkal.

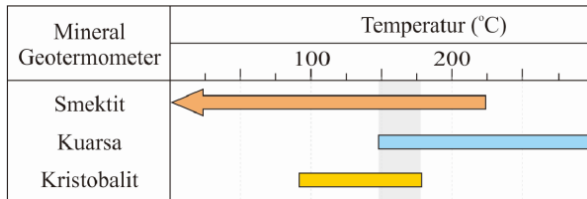


Gambar 9. Log komposit sumur X yang juga menunjukkan perkiraan temperatur dan pH pada tiap tipe alterasi

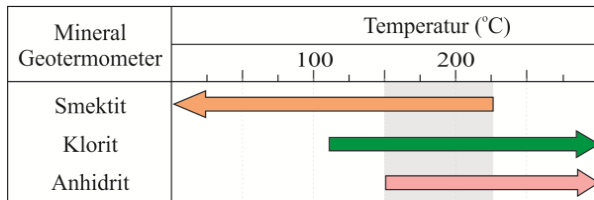
Tipe alterasi subpropilitik terdapat pada kedalaman 119 mku hingga 820 mku. Tipe alterasi ini dapat dijadikan sebagai batuan penudung karena mengandung banyak mineral smektit. Mineral sekunder lain yang hadir adalah klorit, mineral karbonat (kalsit), kuarsa, dan mineral opak (pirit). Pada beberapa contoh, hadir mineral anhidrit, kaolinit dan zeolit. Mineral Iilit muncul seiring bertambahnya kedalaman.

Adanya kumpulan mineral smektit, klorit, dan anhidrit mengindikasikan bahwa alterasi dipengaruhi oleh fluida yang memiliki temperatur sekitar 150°C s.d. 220°C dalam kondisi pH netral. Tingkat intensitas alterasi pada tipe alterasi subpropilitik ini adalah sedang hingga kuat. Berdasarkan data T hasil pengukuran, temperatur pada tipe subpropilitik berkisar 50°C s.d. 180°C, yang artinya terdapat

penurunan temperatur yang cukup besar terutama pada kedalaman rendah.



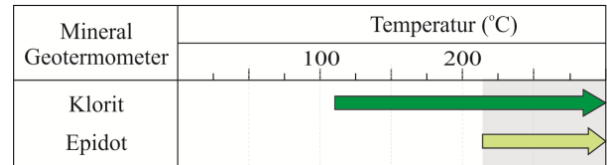
Gambar 10. Kisaran temperatur tipe alterasi argilik berdasarkan geotermometer mineral dari mineral smektit, kuarsa, dan kristobalit, yaitu 150°C s.d.180°C (Hedenquist, 2000)



Gambar 11. Kisaran temperatur tipe alterasi subpropilitik berdasarkan geotermometer mineral dari mineral smektit, klorit, dan anhidrit, yaitu sekitar 150°C s.d. 220°C (Hedenquist, 2000)

Tipe alterasi propilitik adalah tipe alterasi yang dapat dijadikan salah satu patokan zona reservoir, terdapat pada kedalaman 820 mku hingga 1169 mku, bahkan bisa lebih dalam. Kehadiran mineral epidot-klorit merupakan ciri utama tipe alterasi ini. Diperkirakan *top of reservoir* (TOR) berada dekat dengan awal kemunculan epidot pada 821 mku. Mineral sekunder lain yang hadir adalah kuarsa, oksida besi, anhidrit, dan mineral opak (pirit). Adanya kumpulan mineral epidot-klorit mengindikasikan bahwa alterasi dipengaruhi oleh fluida yang memiliki temperatur sekitar 210°C s.d. 280°C dalam kondisi pH netral. Tipe alterasi propilitik ini memiliki intensitas alterasi sedang-sangat kuat (hampir 100%). Dari data T hasil pengukuran, pada kedalaman ini terjadi peningkatan temperatur yang besar dari 180°C menjadi maksimum 240°C. Temperatur ini tidak terlalu berbeda dengan temperatur

pembentukan mineral pada kedalaman tersebut. Kedua data menunjukkan adanya temperatur tinggi mulai dari kedalaman sekitar 820 mku, hingga bisa diperkirakan zona reservoir dimulai pada kedalaman tersebut.



Gambar 12. Kisaran temperatur tipe alterasi propilitik berdasarkan geotermometer mineral dari mineral klorit dan epidot, yaitu sekitar 210°C s.d. 280°C (Hedenquist, 2000)

KESIMPULAN

Secara umum, hasil geotermometer mineral menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan data T hasil pengukuran sumur saat kondisi statis. Artinya telah terjadi penurunan temperatur dari awal pembentukan mineral hingga saat pengukuran temperatur sumur oleh perusahaan. Data T hasil pengukuran masih dapat berubah karena pemantauan terus dilakukan secara berkala.

Berdasarkan mineral-mineral yang terdapat pada sumur X, diperkirakan fluida yang membentuknya memiliki pH asam-netral. Hal ini mengindikasikan fluida tersebut berasal langsung dari reservoir dan sebagian bercampur dengan air magmatik yang cenderung asam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Star Energy Geothermal Indonesia Ltd. yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di daerah Wayang Windu, Pangalengan, Jawa Barat. Terima kasih disampaikan kepada Tim Editor dan Tim Publikasi Buletin Sumber Daya Geologi yang telah membantu memuat makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrenica, A.B., Harijoko, B., Kusumah, Y.I., Bogie, I. 2010. *Characteristics of Hydrothermal Alteration in Part of the Northern Vapor-Dominated Reservoir of the Wayang Windu Geothermal Fields, West Java*. Proceedings World Geothermal Congress 2010.
- Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, C. 1992. Peta Lembar Garut-Pameungpeuk, Jawa Barat, Skala 1: 100.000: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bogie, I., Kusumah, Y.I., Wisnandary. 2008. *Overview of the Wayang Windu Geothermal Field, West Java, Indonesia*. Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company, p. 347-365.
- Bogie, I., Mackenzie, K. M. 1998. *The Application of A Volcanic Facies Model To An Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal System at Wayang Windu, Java, Indonesia*. Proceedings 20th New Zealand Geothermal Workshop, New Zealand.
- Browne, P.R.L. 1989. *Contrasting Alteration Styles of Andesitic and Rhyolitic Rocks in Geothermal Fields of the Taupo Volcanic Zone*. Proceedings 11th New Zealand Geothermal Workshop, New Zealand.
- Corbett, Greg J., Leach, Terry M. 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper System: Structure, Alteration, and Mineralization*. Society of Economic Geologist. Special Publication 6, p. 238.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., Jr. Eliseo, G.U. 2000. *Exploration for Epithermal Gold Deposits*. SEG Reviews, Vol.13, p. 245-277.
- Masri, A., Barton, C., Hartley, L., Ramadhan, Y. 2015. *Structural Permeability Assessment Using Geological Structural Model Integrated with 3D Geomechanical Study and Discrete Fracture Network Model in Wayang Windu Geothermal Field, West Java, Indonesia*. Proceedings 40th Workshop of Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.
- Masri, A., Hadi, J., Bahar, A., Sihombing, J.M. 2006. *Uncertainty Quantification By Using Stochastic Approach in Pore Volume Calculation, Wayang Windu Geothermal Field, W Java, Indonesia*. Proceedings 31st Workshop of Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.

Diterima	: 12 Juli 2017
Direvisi	: 30 Agustus 2017
Disetujui	: 31 Agustus 2017

IDENTIFIKASI STRUKTUR SISTEM PANAS BUMI PANTAR BERDASARKAN ANALISIS GRADIEN HORIZONTAL DAN PEMODELAN 3D DATA GAYA BERAT

IDENTIFICATION OF PANTAR GEOTHERMAL STRUCTURES DERIVED FROM GRADIENT HORIZONTAL ANALYSIS AND 3D MODELING OF GRAVITY DATA

Asep Sugianto, Iqbal Takodama, dan Tony Rahadinata

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

ABSTRAK

Reservoir panas bumi umumnya berasosiasi dengan struktur sesar (zona permeabel), sehingga identifikasi struktur sesar untuk merekonstruksi sistem panas bumi menjadi sangat penting. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur tersebut adalah dengan melakukan analisis *gradient horizontal* dan pemodelan 3D data gaya berat. Kedua metode tersebut telah diaplikasikan untuk mengidentifikasi struktur sesar di daerah panas bumi Pantar yang terletak di Pulau Pantar, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur. Daerah tersebut berasosiasi dengan Gunung Api Sirung yang membentuk kaldera berdiameter 3 km dan secara umum tersusun atas batuan vulkanik berupa lava dan piroklastik serta batuan sedimen. Hasil analisis gradien horizontal data gaya berat memperlihatkan adanya magnitudo maksimum di sekitar daerah Puriali, Tubbe, Beang, dan di bagian timurlaut daerah survei. Hasil pemodelan gaya berat 3D memperlihatkan kontras densitas batuan di sekitar magnitudo maksimum yang mengindikasikan pada zona tersebut terdapat struktur sesar. Struktur sesar tersebut juga diduga menjadi pengontrol kemunculan beberapa manifestasi panas bumi di permukaan. Pola magnitudo maksimum yang landai mengindikasikan banyaknya sesar minor di sekitar sesar utama yang berarah baratdaya-timurlaut di sekitar mata air dingin Sirung dan tanah panas Puriali. Kondisi tersebut menyebabkan zona di sekitar struktur sesar memiliki permeabilitas tinggi dan sangat baik untuk menyimpan fluida panas sebagai suatu reservoir panas bumi.

Kata kunci: analisis gradien horizontal, pemodelan 3D, gaya berat, panas bumi, Pantar

ABSTRACT

Geothermal reservoir is commonly associated with fault structures zone. So, fault structure identification is very important to reconstruct geothermal system. Horizontal gradient analysis and 3D modeling from gravity data is some methods that can be used to identifying fault structures in geothermal areas. The method has applied to identify fault structures in Pantar geothermal field, in Pantar Island, Alor Regency, East Nusa Tenggara. Result of gravity horizontal gradient analysis show maximum magnitude at Puriali, Tubbe, Beang, and northeastern part of survey area. Result of 3D gravity modeling show contrast of density around maximum magnitude zones that indicated fault structures. The maximum magnitude is associated with surface thermal manifestations indicated that they are controlled by the fault structures. The pattern of maximum magnitude is not spike that indicated many minor structures around main structures that caused the zone has high permeability and is very good for storing the geothermal fluids.

Keywords: horizontal gradient analysis, 3D modeling, gravity, geothermal, Pantar.

PENDAHULUAN

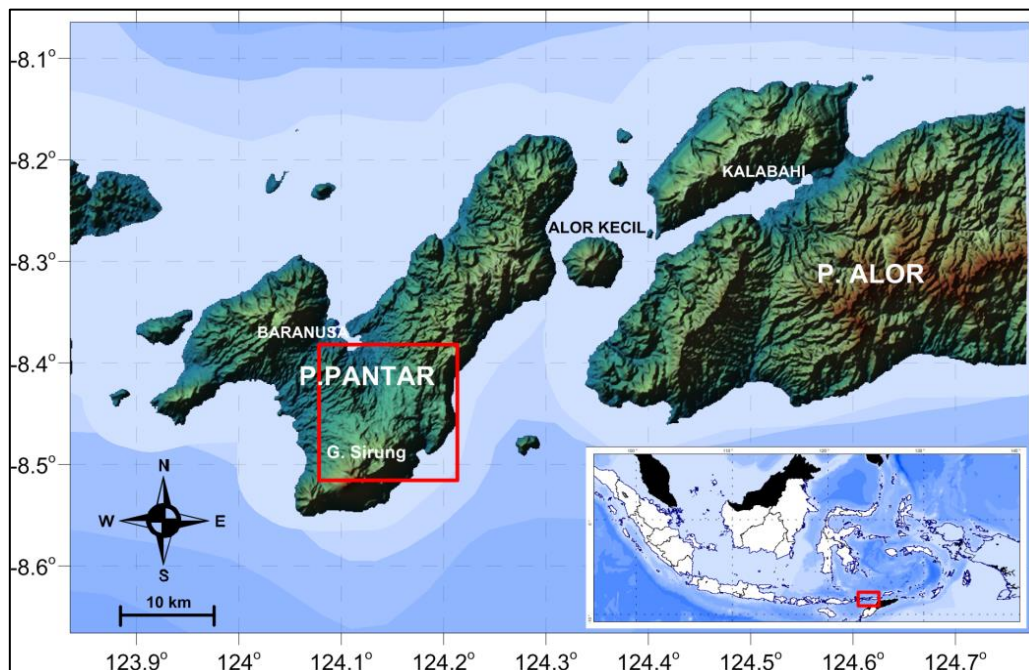
Pulau Pantar merupakan salah satu pulau yang terletak di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur (Gambar 1). Di pulau ini terdapat Gunung Sirung yang merupakan gunung api aktif dengan aktivitas terakhir berupa letusan freatik pada tahun 2004 (Surnayadi dkk., 2010). Selain itu, di pulau ini juga terdapat manifestasi panas bumi berupa fumarol, mata air panas dengan temperatur berkisar antara 37°C sampai dengan 100°C, tanah panas, dan batuan ubahan (Hadi dan Kusnadi, 2015). Kenampakan manifestasi tersebut menjadi indikasi adanya potensi energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Untuk mengetahui besarnya potensi panas bumi di daerah tersebut, telah dilakukan beberapa penelitian, diantaranya inventarisasi kenampakan panas bumi di Pulau Pantar dan Pulau Alor (Santoso, 1976), penyelidikan pendahuluan geologi dan geokimia di Pulau Pantar (Anonim, 2001), survei geologi dan geokimia (Hadi dan Kusnadi, 2015), survei gaya berat dan Audio Magnetotelurik (Rahadinata dan Takodama, 2015), dan survei magnetotelurik (Rahadinata dkk., 2016).

Suatu sistem panas bumi tipe hidrotermal umumnya dikontrol oleh struktur sesar, karena di sekitar zona sesar tersebut terbentuk banyak kekar-kekar yang menyebabkan zona (lapisan) batuan menjadi bersifat permeabel (Curewitz dan Karson, 1997). Pada zona permeabel inilah fluida panas bumi umumnya terakumulasi dan berinteraksi dengan batuan di sekitarnya. Karena itu, identifikasi zona sesar pada suatu sistem panas bumi menjadi suatu hal yang sangat penting, terutama untuk merekonstruksi model sistem panas bumi (Nishijima dan Naritomi, 2015).

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona struktur sesar tersebut diantaranya dengan melakukan analisis gradien horizontal data gaya berat seperti yang telah dibahas oleh Setyawan, dkk. (2015) dan Kusumah dkk. (2015). Metode lain adalah pemodelan data gaya berat 2D atau 3D (Sugianto dan Rahadinata, 2015).

Pada makalah ini dijelaskan mengenai analisis gradien horizontal dan pemodelan 3D data gaya berat untuk mengidentifikasi struktur sesar yang mengontrol sistem panas bumi daerah Pantar.



Gambar 1. Peta indeks daerah panas bumi Pantar Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur

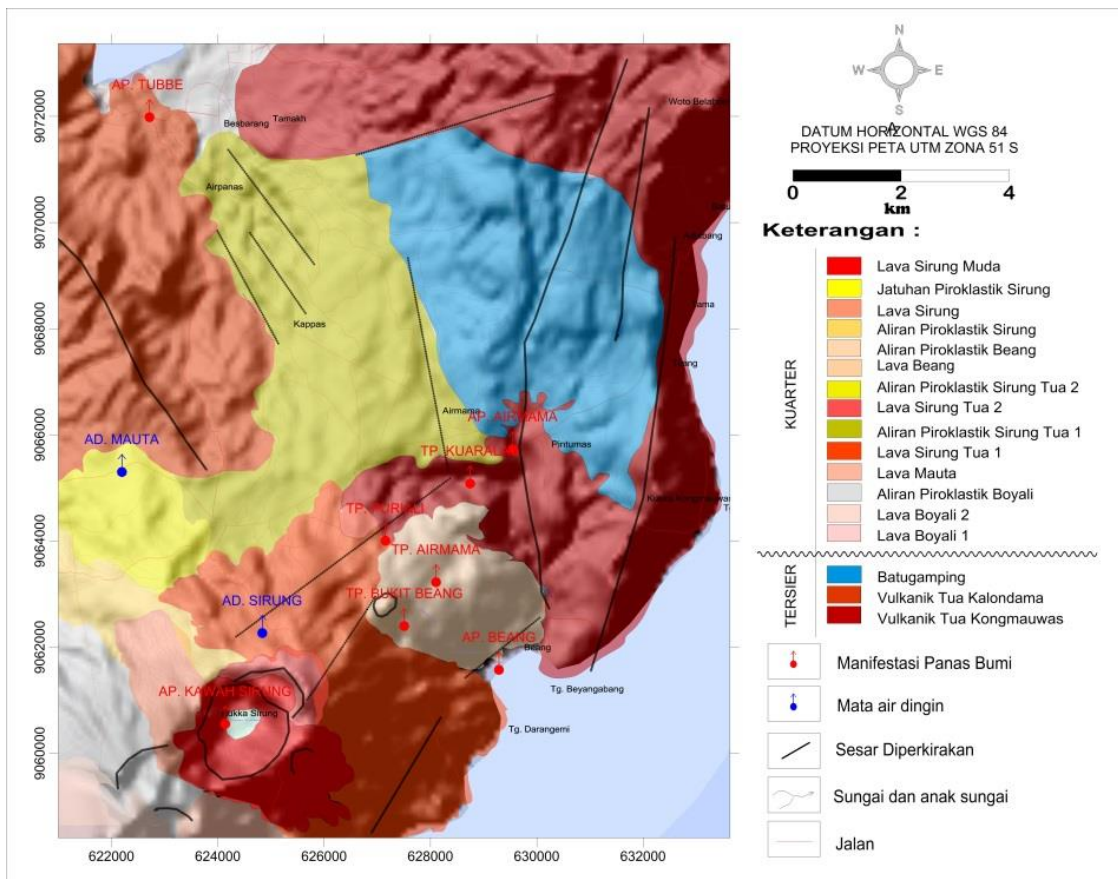
GEOLOGI DAERAH PANAS BUMI PANTAR

Daerah panas bumi Pantar berasosiasi dengan Gunungapi Sirung yang berada dalam kaldera berdiameter 3 km. Satuan batuan di daerah tersebut umumnya tersusun atas produk vulkanik berupa lava dan piroklastik serta batuan sedimen (Hadi dan Kusnadi, 2015). Batuan tertua berupa produk vulkanik Kongmaewas dan Kalondama yang terdapat di sebelah utara dan timur yang disertai dengan adanya pengendapan batuan sedimen berupa batugamping.

Produk berikutnya adalah aktifitas pembentukan pra kaldera Sirung yang tersusun atas produk vulkanik Boyali dan Mauta di bagian selatan dan produk Sirung Tua yang terdapat di bagian tengah hingga ke Pantai Beang. Erupsi besar terjadi di antara puncak Sirung dan Boyali yang menghasilkan piroklastik dan lava basal. Erupsi tersebut menyebabkan adanya

kekosongan massa di bagian tengah, sehingga amblas dan membentuk kaldera Sirung. Aktivitas vulkanisme berikutnya muncul di sekitar dinding kaldera membentuk lava Sirung dan di luar kaldera membentuk Bukit Beang. Produk termuda berupa lava Sirung yang terdapat di bagian tengah kawah Sirung (Hadi dan Kusnadi, 2015) (Gambar 2).

Struktur utama yang berkembang di daerah ini umumnya sesar berarah utara-selatan yang berhubungan dengan aktifitas tektonik regional Pantar-Alor. Struktur lain berupa struktur yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik seperti kaldera yang terdapat di sekitar puncak Gunung Sirung. Selain itu, ditemukan juga struktur sesar yang berarah baratdaya-timurlaut. Aktivitas struktur-struktur tersebut diduga membentuk zona permeabel yang memungkinkan fluida panas bumi terakumulasi dan muncul ke permukaan sebagai mata air panas atau fumarol.



Gambar 2. Peta geologi daerah panas bumi Pantar (modifikasi dari Hadi dan Kusnadi, 2015)

METODOLOGI

Gaya berat merupakan salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gaya tarik bumi terhadap benda di permukaan. Metode tersebut dapat digunakan untuk mengetahui variasi densitas batuan di bawah permukaan bumi (Santos dan Rivas, 2009). Kontras densitas/anomali gaya berat secara lateral akan menimbulkan adanya gradien horizontal dari anomali gaya berat (Blakely, 1996). Karakteristik anomali gaya berat yang menunjukkan adanya perubahan secara lateral tersebut dapat diekstrak secara langsung dari data pengukuran gaya berat (Cordell, 1979), yaitu dengan cara menentukan amplitudo gradien horizontal anomali gaya berat yang dapat dinyatakan dengan persamaan (Cordell dan Grauch, 1985):

$$HG = \sqrt{\left(\frac{\partial g(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

Keterangan: $\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$ dan $\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$ merupakan *horizontal derivative* medan gravitasi pada arah x dan arah y.

Dalam mengidentifikasi variasi densitas di bawah permukaan, dilakukan juga interpretasi secara kuantitatif dengan menggunakan pemodelan data gaya berat secara tiga dimensi (3D), seperti yang telah dibahas oleh Sugianto dan Rahadinata (2015). Pemodelan gaya berat 3D tersebut didasarkan pada dua metode inversi, yaitu *Singular Value Decomposition* (SVD) dan inversi Occam (Hjelt, 1992) yang tersedia di dalam perangkat lunak Grablox dari Pirttijarvi (2004).

HASIL DAN ANALISIS

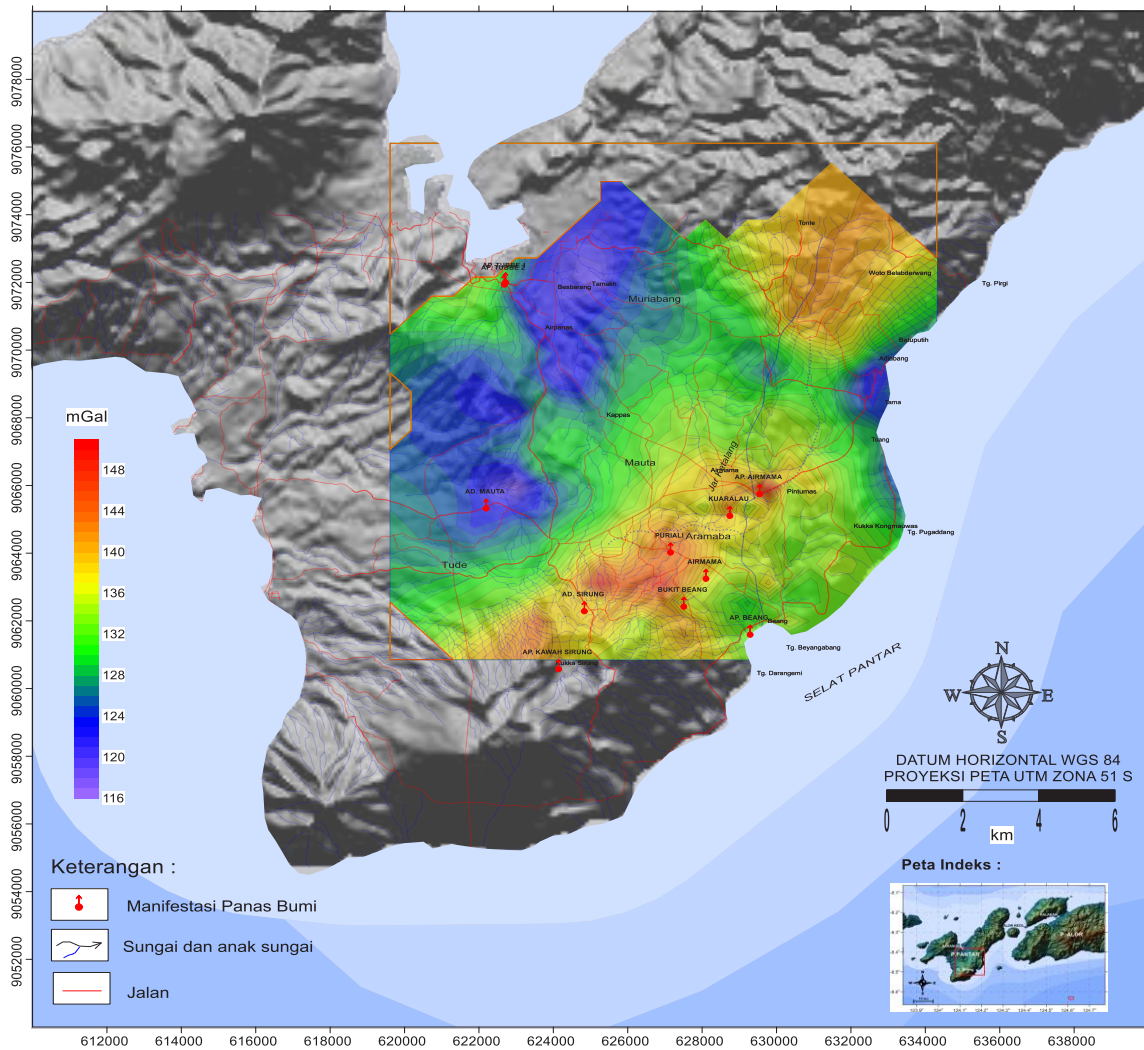
Hasil

Pengukuran data gaya berat daerah panas bumi Pantar telah dilakukan pada tahun 2015. Pengukuran dilakukan pada 204 titik

ukur yang tersebar secara acak dengan jarak antar titik sekitar 1000 m (Rahadinata dan Takodama, 2015). Penghitungan anomali Bouguer dilakukan dengan menggunakan asumsi densitas 2,7 gr/cm³. Peta anomali Bouguer hasil penghitungan diperlihatkan oleh Gambar 3. Anomali Bouguer tersebut memperlihatkan pola anomali positif dengan rentang nilai dari 114 mGal hingga 148 mGal. Anomali rendah <128 mGal terletak di sebelah barat dan menerus hingga ke bagian utara, sedangkan anomali tinggi >136 mGal terletak di bagian selatan dan timur (Rahadinata dan Takodama, 2015).

Magnitudo gradien horizontal data gaya berat di daerah panas bumi Pantar dihitung dari anomali Bouguer pada domain frekuensi. Struktur sesar yang ditandai dengan adanya kontras densitas batuan umumnya memiliki magnitudo gradien horizontal yang maksimum. Akan tetapi, menurut Grauch dan Cordell (1987) magnitudo maksimum gradien horizontal tersebut dapat bergeser dari posisi sebenarnya apabila struktur sesar memiliki kemiringan yang landai (tidak mendekati vertikal) atau berdekatan dengan struktur sesar yang lainnya.

Peta gradien horizontal data gaya berat daerah Pantar diperlihatkan oleh Gambar 4. Pada peta tersebut ditemukan beberapa magnitudo maksimum yang berasosiasi dengan lokasi kemunculan manifestasi panas bumi, diantaranya di sekitar Airmama, Bukit Beang, Tubbe, dan Mauta. Kemunculan manifestasi di sekitar zona magnitudo maksimum mengindikasikan bahwa kemunculan manifestasi tersebut dikontrol oleh sesar. Ada beberapa magnitudo maksimum yang tidak bertepatan dengan sesar geologi, seperti di sebelah barat Puriali dan timurlaut daerah survei. Ketidaktepatan tersebut kemungkinan disebabkan oleh berdekatnya struktur sesar atau kemiringan sesar yang landai.

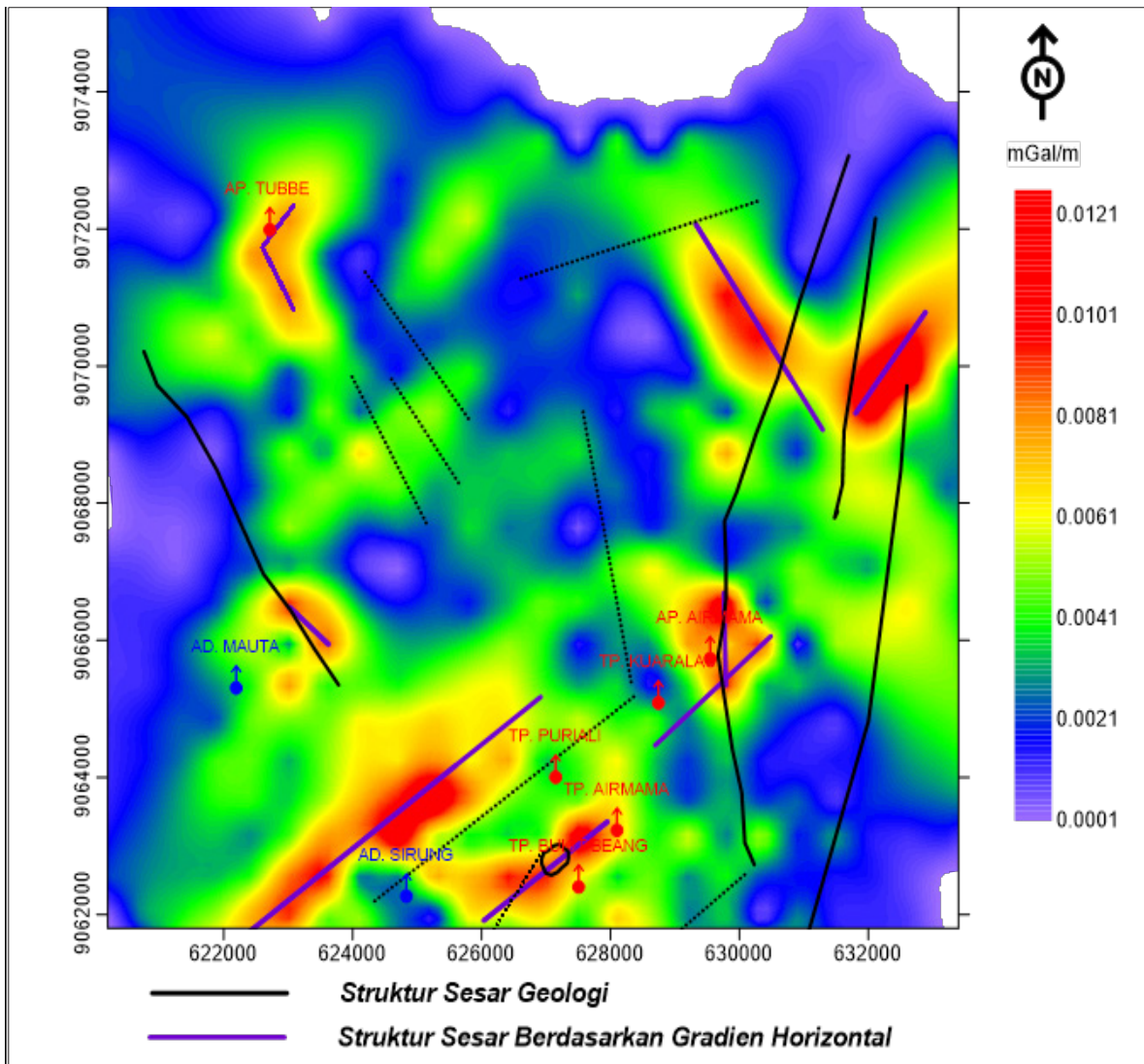


Gambar 3. Peta anomali Bouguer daerah panas bumi Pantar

Pemodelan 3D data gaya berat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Grablox (Pirttijarvi, 2004). Model awal dibuat berupa blok 13 km x 14 km dengan ketebalan 4 km. Blok tersebut dibagi ke dalam 33 sel x 35 sel dengan ukuran sel sekitar 400 m x 400 m, sedangkan tebal blok tersebut dibagi ke dalam 7 kisi (grid) dengan ketebalan sekitar 570 m. Densitas awal yang digunakan pada pemodelan tersebut adalah sebesar 2,67 gr/cm³. Hasil pemodelan memperlihatkan respon baik, yang ditunjukkan dengan perbedaan antara input model (anomali Bouguer) dan hasil perhitungan (inversi) sangat kecil yang ditunjukkan dengan *RMS error* sebesar 0,023.

Hasil pemodelan tersebut disayat pada kedalaman tertentu, yaitu kedalaman

500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m, 2500 m, dan 3000 m membentuk peta distribusi densitas batuan (Gambar 5). Peta distribusi densitas tersebut secara umum memperlihatkan pola sebaran yang relatif sama. Batuan berdensitas tinggi (besar dari 2,7 gr/cm³) tersebar di bagian selatan sekitar Airmama, Puriali, dan Beang dan di sebelah barat laut dan timur laut. Semakin dalam, batuan berdensitas tinggi tersebut memiliki penyebaran yang semakin luas. Batuan berdensitas rendah (kurang dari 2,7 gr/cm³) terletak di sekitar daerah Mauta dan menerus hingga ke utara. Kontras batuan berdensitas tinggi dan rendah membentuk kelurusan-kelurusan yang berkorelasi dengan magnitudo maksimum gradien horizontal dan struktur sesar.

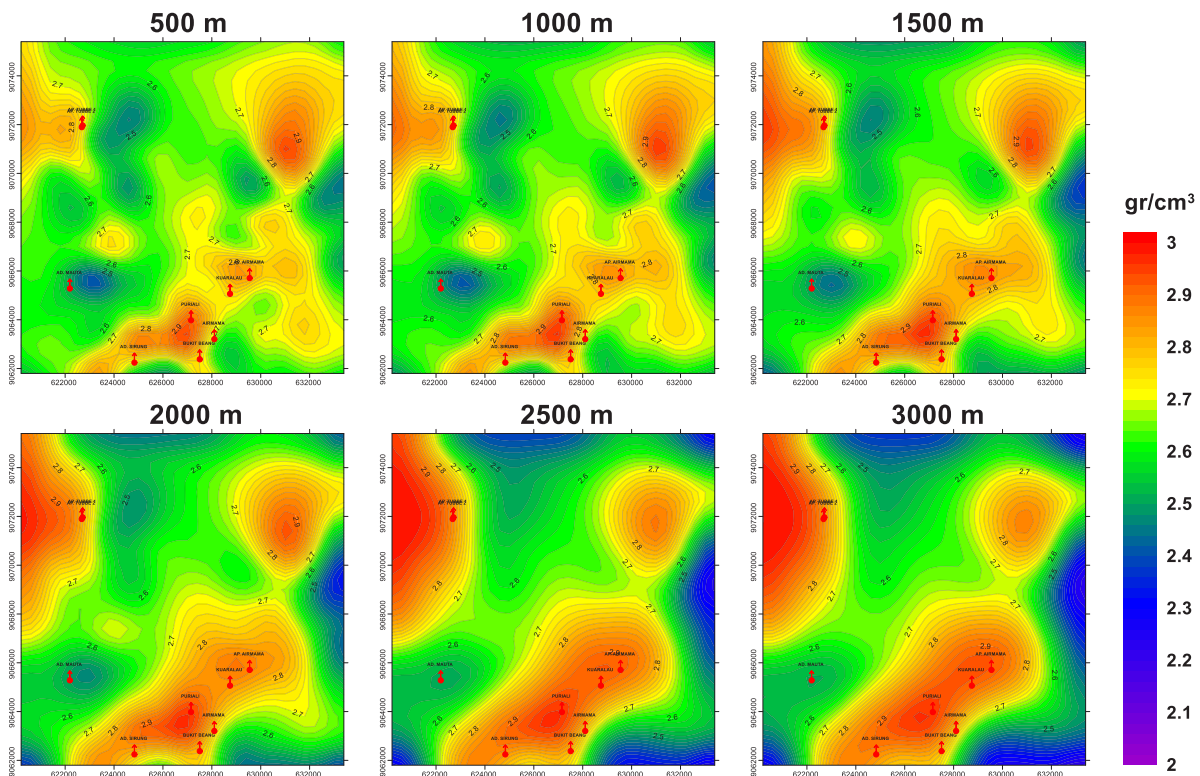


Gambar 4 Peta gradien horizontal data gaya berat daerah Pantar

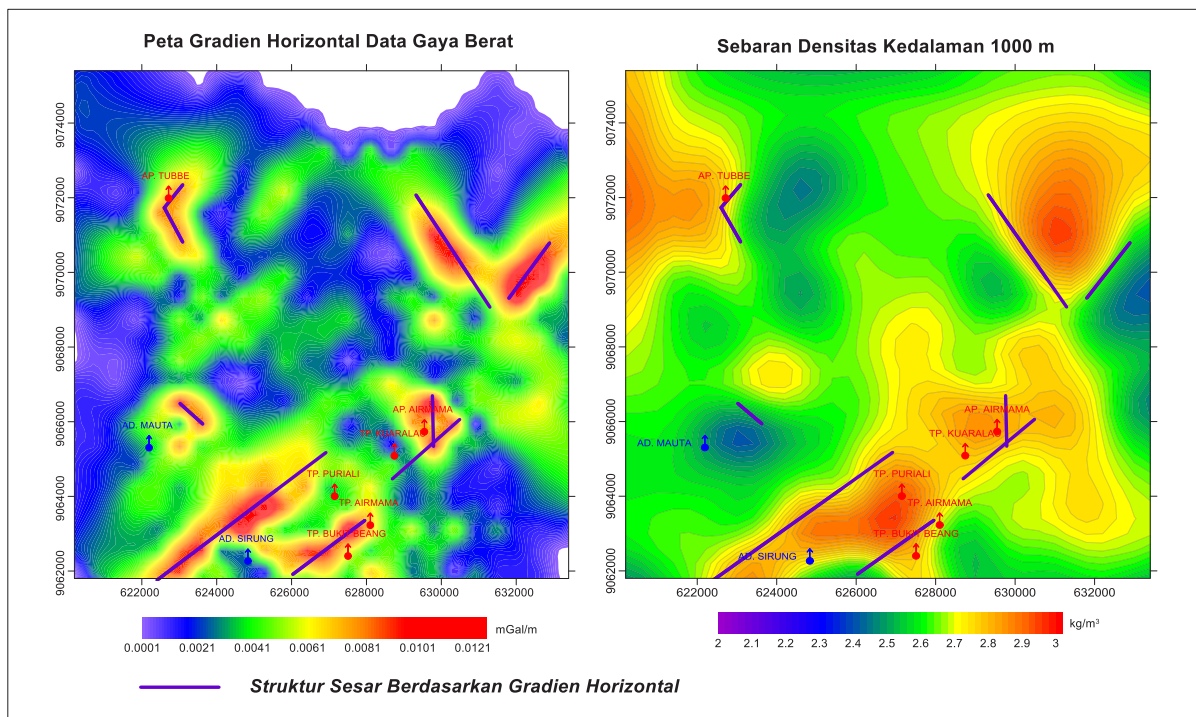
Analisis

Hasil analisis gradien horizontal data gaya berat memperlihatkan magnitudo maksimum di sekitar Puriali, Tubbe, Airmama, Beang, dan di bagian timurlaut daerah survei. Magnitudo maksimum tersebut bertepatan dengan kontras densitas batuan hasil pemodelan gaya berat 3D yang mengindikasikan adanya struktur sesar (Gambar 6). Pada zona magnitudo maksimum juga terdapat manifestasi panas bumi berupa mata air panas, fumarol, dan tanah panas yang mengindikasikan bahwa kemunculan manifestasi tersebut dikontrol oleh struktur sesar yang berarah baratdaya-timurlaut dan terletak di sekitar daerah Puriali, Kuarala, dan Airmama.

Magnitudo maksimum pada gradien horizontal membentuk pola yang tidak terlalu tajam (*spike*), tetapi cukup landai. Pola tersebut mengindikasikan bahwa struktur sesar memiliki kemiringan yang landai/tidak tegak atau terdapat beberapa struktur sesar yang berdekatan (Grauch dan Cordell, 1987). Berdasarkan data geologi yang memperlihatkan banyaknya struktur di daerah Pantar, pola anomali gradien horizontal tersebut diinterpretasikan sebagai respon dari banyaknya sesar-sesar minor di sekitar struktur utama, sehingga zona tersebut diduga memiliki permeabilitas yang sangat tinggi



Gambar 5. Peta sebaran densitas batuan berdasarkan hasil pemodelan 3D yang disayat pada kedalaman tertentu



Gambar 6. Peta Hasil identifikasi struktur sesar berdasarkan gradien horizontal

Hasil pemodelan gaya berat 3D memperlihatkan adanya bodi berdensitas tinggi $>2,7 \text{ gr/cm}^3$ dengan pola menerus dari

daerah Sirung, Puriali, hingga ke Airmama. Penyebaran bodi berdensitas tinggi tersebut semakin luas seiring dengan bertambahnya

kedalaman. Bodi dengan densitas tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai lava atau batuan beku yang terbentuk akibat adanya aktivitas vulkanisme di sekitar Gunung Sirung. Bodi berdensitas tinggi juga ditemukan di sebelah barat laut sekitar Tubbe yang juga diduga berasosiasi dengan lava atau batuan beku dan menjadi indikasi adanya sumber panas di kedalaman.

KESIMPULAN

Analisis gradien horizontal dan pemodelan 3D data gaya berat daerah panas bumi Pantar, memperlihatkan beberapa magnitudo maksimum yang berasosiasi dengan struktur sesar berarah baratdaya-timurlaut yang terletak di sekitar daerah Puriali, Beang, dan Airmama. Struktur sesar tersebut diduga sebagai pengontrol utama sistem panas bumi di daerah Pantar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada rekan-rekan di Bidang Panas Bumi Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, yang telah banyak membantu dan berdiskusi dengan penulis, khususnya anggota tim Survei Gaya Berat dan Audio Magnetotelurik daerah panas bumi Pantar. Tidak lupa juga Penulis mengucapkan terima kasih kepada para editor dan mitra bestari yang telah memberikan banyak saran demi kesempurnaan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2001. Penyelidikan Pendahuluan Geologi dan Geokimia Potensi Panas Bumi, di Pulau Pantar, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral Bandung.
- Blakely, R.J., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Cordell, L., 1979. *Gravimetric Expression of Graben Faulting in Santa Fe Country and the Espanola Basin, New Mexico*, in Santa Fe Country, Ingersoll, R.V.; Woodward, L.A.; James, H.L.; [eds.], New Mexico Geological Society 30th Annual Fall Field Conference Guidebook, 310 p.
- Cordell, L., and Grauch, V. J. S., 1985. *Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in the San Juan Basin, New Mexico*, in Hinze, W. J., Ed., the Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomaly Maps: Sot. Explor. Geophys., 181&197.
- Curewitz, D. dan Karson, J. A., 1997. *Structural Settings of Hydrothermal Outflow: Fracture Permeability Maintained by Fault Propagation and Interaction*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, No. 79, p. 149-168.
- Grauch, V.S.J. dan Cordell, L., 1987. *Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data*. Short note, Geophysics, Vol. 52, No. 1, p. 118–121 (<http://dx.doi.org/10.1190/1.1442236>).
- Hadi, M.N. dan Kusnadi, D., 2015. Survei Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pualu Pantar Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun Anggaran 2015. Bandung.
- Hjelt, S. E., 1992, *Pragmatic inversion of geophysical data*. Springer-Verlag, Germany, 262 pp.
- Kusumah, Y.I., Suryantini, dan Wibowo, H.H., 2010. *Horizontal Derivative from Gravity Data as a Tool for Drilling Target Guide in Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia.

- Nishijima, J. dan Naritomi, K., 2015. *Interpretation of Gravity Data to Delineate Underground Structure in the Beppu Geothermal Field, Central Kyushu, Japan*. Journal of Hydrology: Regional Studies (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.022>).
- Pirttijärvi, M., 2004. *GRABLOX: Gravity interpretation and modelling software based on 3D block model*. User's guide. *Archive Report, Q 16.2/2004/2*, Geological Survey of Finland, 39 pp.
- Rahadinata, T. dan Takodama, I., 2015. Survei Terpadu Gaya Berat dan Audio Magnetotelurik (AMT) Daerah Panas Bumi Pantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun Anggaran 2015. Bandung.
- Rahadinata, T., Jaenudin, J., dan Risdianto, D., 2016. Survei Magnetotellurik (MT) dan *Time Domain Electromagnetic (TDEM)* Daerah Panas Bumi Pantar Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur. Prosiding Hasil Kegiatan lapangan Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi Tahun Anggaran 2016. Bandung.
- Santos, P.A., and Rivas, J.A., 2009. *Gravity Survey Contribution to Geothermal Exploration in El Savador: The Cases of Berlin, Ahuachapan and San Vicente Areas*, United Nations University, Geothermal Training Programme.
- Santoso, M.S., 1976. Inventarisasi Kenampakan Gejala Panas Bumi di Pulau Pantar dan Pulau Alor, Nusa Tenggara Timur, Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Setyawan, A., Yudianto, H., Nishijima, J., dan Hakim, S., 2015. *Horizontal Gradient Analysis for Gravity and Magnetic Data Beneath Gedongsongo Geothermal Manifestation, Ungaran, Indonesia*. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia.
- Sugianto, A. dan Rahadinata, T., 2015. Pemodelan Gaya Berat 3D Daerah Panas Bumi Dolok Marawa Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Buletin Sumber Daya Geologi Vol. 10, No. 2, pp. 89-102.
- Surmayadi, M., Heriwaseso, A., dan Karim, A., 2010. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Sirung, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.

Diterima	: 06 Agustus 2017
Direvisi	: 30 Agustus 2017
Disetujui	: 31 Agustus 2017

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi dalam kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerja keras dan kerja kritis dalam penyiapan makalah-makalah edisi kedua ini. Secara khusus, kami ucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari untuk edisi ini antara lain Prof. Dr. Binarko Santoso, Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, Dr. Ir. Nana Suwarna, M.Sc, dan Dr. Eng Suryantini, S.T., M.Sc yang berperan sebagai reviewer terhadap artikel-artikel ilmiah yang diulas pada edisi ini sesuai dengan bidang keahliannya. Kami juga berterima kasih kepada semua unsur Dewan Redaksi atas usaha yang sangat baik dalam menyelesaikan penerbitan Volume 12 Nomor 2, sebagai edisi kedua di tahun 2017 dari Buletin Sumber Daya Geologi ini.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 12 Nomor 2 Tahun 2017

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS PENULIS

Adjat Sudrajat
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: asudradjat@yahoo.com

Agus Didit Haryanto
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: agus.didit.haryanto@unpad.ac.id

Asep Sugianto
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444, Bandung
Email: asep.soegie@gmail.com

Awang Suwandhi
Program Pascasarjana (S3)
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jalan Dipati Ukur
No. 35, Bandung
Email: awang.suwandhi@gmail.com

Azmi Baihaqi
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: azmibaihaqi123@gmail.com

Budi Muljana
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email:

Iqbal Takodama
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444, Bandung
Email: iqbaltakodama@gmail.com

Johanes Hutabarat
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: j.hutabarat@unpad.ac.id

Lili Fauzielly
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email:

Mega Fatimah Rosana
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: mega_fr@unpad.ac.id

Ridho Kresna Wattimena
FakultasTeknik Pertambangan dan
Perminyakan
Institut Teknologi Bandung, Jalan
Ganesha No.10, Bandung
Email: rkw@mining.itb.ac.id

Rita Susilawati
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444, Bandung
Email: wink2proud@gmail.com

Ronaldo Irzon
Pusat Survei Geologi
Jalan Diponegoro No. 57, Bandung
Email: ronaldoirzon18@gmail.com

Tony Rahadinata
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara
dan Panas Bumi
Jalan Soekarno Hatta No. 444, Bandung
Email: tony.rahadinata@gmail.com

Vina Oktaviany
FakultasTeknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: vina.oktaviany@gmail.com

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 12 Nomor 2 Tahun 2017

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

INDEKS KATA KUNCI

Analisis gradien horizontal 135, 140, 141
Andesit vulkanik 103, 104, 108, 112, 117
Blast Damage Index 103-105, 111, 112
Gaya berat 135-142
Geotermometer mineral 123, 126, 132
Konawe Utara 71-74, 76-78, 82-84
Karakteristik batubara 87, 88, 92, 97, 100
Lingkungan pengendapan 87, 90, 97, 98
Logam berat 71, 73, 76, 80, 84
Mutu 87, 88, 99, 101
Overbreak 103, 112, 113, 119, 121
Panas bumi 87, 101, 123-126, 135-142

Pangalengan 123, 124, 133
Pantar 135-139, 141, 142
Peledakan 103-105, 108-113, 116, 119
Pemodelan 3D 135, 136, 139-141
Peringkat 87, 88, 90, 95, 96, 100
Pongkor 103, 104, 106-109, 121, 122
Profil pelapukan 71, 73
Serbuk bor 123, 126, 128
Tipe 74, 87, 88, 90, 97, 106, 112, 130, 136
Tipe alterasi 123, 124, 130, 131, 132
Ultramafik 71-78, 82, 83, 85
Wayang Windu 124-126, 133, 142

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Agustus 2017

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

DDC:

Ronaldo Irzon
(Pusat Survei Geologi)

**PENGAYAAN LOGAM BERAT Mn, Co, DAN Cr PADA
LATERIT NIKEL DI KABUPATEN KONAWA UTARA,
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2017 Vol. 12 No. 2 Hal. 71 - 86

Proses pelapukan lebih mudah terjadi pada wilayah beriklim tropis seperti di Indonesia dan meredistribusi kandungan kimia batuan induk. Hasil proses pelapukan batuan ultramafik banyak teridentifikasi di Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Proses pengayaan logam-logam berat pada horizon pelapukan di wilayah Konawe Utara merupakan tujuan penelitian ini. Perangkat XRF dan ICP-MS milik Laboratorium Geologi – Pusat Survei Geologi dimanfaatkan dalam pengukuran kadar oksida utama, unsur jarang, dan unsur tanah jarang pada setiap horizon pelapukan dari tiga profil: Andowia, Wawolimbue, dan Marombo. Horizon saprolit di Marombo dianggap layak untuk dijadikan pengganti horizon saprolit di Wawolimbue, karena berasal dari lokasi yang tidak jauh dan sebagai hasil dari pelapukan batuan ultramafik. Dapat disimpulkan bahwa logam berat: Mn, Co dan Cr terkayakan pada horizon laterit relatif terhadap dua horizon pelapukan lainnya, sedangkan Ni tertahan pada transitional bedrock. Pada sisi lain, Mg, Si, dan Ca cenderung mengalami pengurangan bertahap berbanding lurus dengan proses pelapukan. Profil Wawolimbue dan Marombo sangat mungkin berasal dari batuan induk yang sama dan dipertegas oleh diagram labil-laba unsur tanah jarang. Perbedaan pola diagram unsur tanah jarang berikut derajat anomali Eu menegaskan kesimpulan bahwa profil Andowia berasal dari batuan induk berbeda terhadap profil Wawolimbue-Marombo. Unsur tanah jarang paling terkayakan pada horizon laterit dengan anomali Ce negatif terkait terbentuknya fraksi lempungan dan oksidasi spontan Ce^{3+} menjadi Ce^{4+} saat pelapukan.

Kata kunci: Konawe Utara, logam berat, profil pelapukan, ultramafik

DDC:

Azmi Baihaqi¹, Rita Susilawati², Lili Fauzielly¹, dan Budi Muljana¹
(¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran.
²Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KIMIA DAN
PETROGRAFI BATUBARA LAPANGAN X CEKUNGAN
SUMATERA SELATAN DAN LAPANGAN Y CEKUNGAN
SUMATERA TENGAH INDONESIA**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2017 Vol. 12 No. 2 Hal. 87 - 102

Karakteristik batubara dari dua wilayah prospek batubara di Sumatera dievaluasi dengan menggunakan metode kimia dan petrografi batubara. Penelitian terfokus pada evaluasi peringkat (tingkat pembatubaraan di daerah penelitian), tipe (komposisi material organik dan lingkungan pengendapan

batubara) serta *grade* (kandungan material inorganik yang bisa berpengaruh terhadap proses utilisasi) batubara. Lapangan X memiliki lapisan batubara yang merupakan bagian dari Formasi Muaraenim dan Kasai Cekungan Sumatera Selatan sedangkan batubara pada lapangan Y merupakan bagian dari Formasi Petani Cekungan Sumatera Tengah. Sebanyak enam conto batubara dari lapangan X dan 8 conto dari lapangan Y digunakan dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua lapangan memiliki batubara dengan karakteristik yang berbeda. Walaupun batubara di kedua daerah termasuk dalam kategori lignit, nilai rata-rata reflektansi huminit batubara Lapangan Y sedikit lebih tinggi dari lapangan X. Hal ini mengindikasikan bahwa batubara lapangan Y mengalami pengaruh peningkatan temperatur dan pembebanan yang lebih tinggi dari lapangan X. Berdasarkan hasil analisis komposisi maseral, batubara lapangan X dapat dibedakan ke dalam 3 fasies: fasies I (huminit >90%, kandungan inertinit dan liptinit <10%), fasies II (huminit 80% s.d. 90%, inertinit 10% s.d. 15%, dan liptinit 10%) serta fasies III (huminit 75% s.d. 85%, inertinit 15% s.d. 20% dan liptinit <10%). Sementara batubara lapangan Y lebih homogen dan dapat digolongkan ke dalam satu fasies (huminit >90% dan liptinit serta inertinit <10%). Hasil plot *Gelification index* (GI) dan *Tissue preservation index* (TPI) menunjukkan bahwa batubara lapangan X diendapkan pada lingkungan *limnic-marsh* hingga *limno telmatic* sedangkan batubara lapangan Y pada lingkungan *limnic* hingga *telmatic marsh*. Banyaknya konkresi pirit pada batubara lapangan Y mengindikasikan bahwa batubara tersebut mendapat pengaruh laut yang lebih besar daripada batubara lapangan X. Batubara di kedua lapangan dapat dianggap sebagai batubara *grade* tinggi atau batubara bersih karena memiliki kandungan sulfur (<10%) dan abu yang relatif rendah (<10%). Hanya satu conto (SJ2) yang memiliki kadar abu tinggi (>50%) menunjukkan bahwa conto tersebut bukan batubara. Sebagai kesimpulan, perbedaan karakteristik batubara lapangan X dan Y mendukung teori bahwa batubara dengan sejarah pengendapan yang berbeda akan menghasilkan karakteristik yang berbeda.

Kata kunci: karakteristik batubara, peringkat, tipe, mutu, lingkungan pengendapan

DDC:

Awang Suwandhi¹, Mega Fatimah Rosana¹, Adjat Sudradjat¹, dan Ridho Kresna Wattimena²
(¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung. ²Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung)

**KRITERIA KERUSAKAN AKIBAT PELEDAKAN PADA
PEMBUATAN TEROWONGAN CIURUG, TAMBANG
EMAS PONGKOR, KABUPATEN BOGOR, PROVINSI
JAWA BARAT**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2017 Vol. 12 No. 2 Hal. 103 - 122

Untuk mencapai urat (*vein*) bijih di lokasi Central pada Level 500 mdpl, Ciurug, dibuat terowongan baru yang dinamakan RU4C-L500 dengan menerapkan teknik peledakan. Terowongan tersebut dirancang berukuran lebar 4 m, tinggi 4 m dan panjang 100 m sampai ke *cross-cut* menuju urat bijih. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk

mendapatkan kriteria kerusakan terowongan yang diakibatkan oleh induksi getaran peledakan yang berpotensi menghasilkan *overbreak*, sehingga ukuran terowongan menjadi lebih lebar dari rencana semula. Pendekatan *Blast Damage Index* (BDI) digunakan sebagai metode untuk memperoleh tingkat kerusakan terowongan tersebut. Terowongan menerobos batuan andesit vulkanik yang berdasarkan hasil pengujian memiliki kecepatan rambat gelombang seismik 4157 m/det, densitas 2,37 g/cc dan kuat tarik 8,10 MPa. Batuan tersebut tergolong batuan berkekuatan sedang hingga keras dengan nilai *Rock Mass Rating* (RMR) antara 58,3 sampai 69,5. Data getaran peledakan diukur dengan menggunakan geofon pada jarak yang aman dari titik ledakan dan menghasilkan *Peak Vector Sum* (PVS) berkisar antara 2 mm/s sampai 120 mm/s. Hasil pengolahan data getaran menunjukkan, bahwa nilai BDI sebesar 2 yang mengidentifikasi adanya ambrukan terowongan karena induksi getaran peledakan terjadi pada jarak kurang dari 3 m dari titik ledakan. Besar getaran peledakan yang mengamburkan batuan andesit vulkanik tersebut mencapai PVS 1170 mm/s. Pada jarak antara 3,0 m sampai 10 m tidak terjadi kerusakan terowongan yang parah dan dapat direhabilitasi. Kondisi tersebut diidentifikasi oleh nilai BDI 0,5 sampai 1. Kemudian pada jarak di atas 10 m induksi getaran peledakan tidak lagi berpengaruh terhadap kerusakan atau kestabilan dinding terowongan.

Kata kunci: Andesit vulkanik, peledakan, *overbreak*, *Blast Damage Index* (BDI), Pongkor

DDC:

Vina Oktaviany, Johannes Hutabarat, dan Agus Didit Haryanto
(Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran)

ESTIMASI TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN KEHADIRAN MINERAL ALTERASI PADA SUMUR "X" LAPANGAN PANAS BUMI WAYANG WINDU, PANGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG, PROVINSI JAWA BARAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2017 Vol. 12 No. 2 Hal. 123 - 134

Temperatur merupakan aspek penting dalam sistem panas bumi untuk pengembangan panas bumi sebagai sumber energi. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui jenis litologi, mineral alterasi, tipe dan intensitas alterasi serta penyebarannya pada sumur X, dan bertujuan menentukan temperatur berdasarkan geotermometer mineral yang kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran temperatur (T) sumur. Objek dalam penelitian ini berupa serbuk bor (*cutting*) dari sumur X yang dianalisis dengan metode petrologi, petrografi, dan XRD. Hasilnya menunjukkan bahwa litologi sumur X terdiri atas andesit terubah, tuf litik terubah, dan tuf kristal terubah. Mineral alterasi yang berkembang didominasi oleh mineral alterasi dengan pH netral yang berupa kuarsa sekunder, kalsit, epidot, montmorilonit, illit, smektit, klorit, oksida besi, dan pirit, serta beberapa mineral ber-pH asam seperti kaolin, kristobalit, anhidrit, dan halosit. Berdasarkan asosiasi mineralnya, alterasi pada sumur X dibagi menjadi tiga tipe, yaitu alterasi argilik dengan perkiraan temperatur antara 150°C-180°C, alterasi subpropilitik antara 150°C-220°C, dan alterasi propilitik antara 210°C-280°C. Secara umum, hasil geotermometer mineral ini menunjukkan data

temperatur yang lebih tinggi dibandingkan data T berdasarkan pengukuran sumur.

Kata kunci: Tipe alterasi, Serbuk bor, Geotermometer mineral, Wayang Windu, Pangalengan

DDC:

Asep Sugiarto, Iqbal Takodama, dan Tony Rahadinata
(Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi)

IDENTIFIKASI STRUKTUR SISTEM PANAS BUMI PANTAR BERDASARKAN ANALISIS GRADIEN HORIZONTAL DAN PEMODELAN 3D DATA GAYA BERAT

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2017 Vol. 12 No. 2 Hal. 135 - 143

Reservoir panas bumi umumnya berasosiasi dengan struktur sesar (zona permeabel). Karena itu, mengidentifikasi struktur sesar untuk merekonstruksi sistem panas bumi menjadi sangat penting. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur tersebut adalah dengan melakukan analisis *gradient horizontal* dan pemodelan 3D data gaya berat. Kedua metode tersebut telah diaplikasikan untuk mengidentifikasi struktur sesar di daerah panas bumi Pantar yang terletak di Pulau Pantar, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur. Daerah tersebut berasosiasi dengan Gunung Api Sirung yang membentuk kaldera berdiameter 3 km dan secara umum tersusun atas batuan vulkanik berupa lava dan piroklastik serta batuan sedimen. Hasil analisis gradien horizontal data gaya berat memperlihatkan adanya magnitudo maksimum di sekitar daerah Puriali, Tubbe, Beang, dan di bagian timurlaut daerah survei. Hasil pemodelan gaya berat 3D memperlihatkan kontras densitas batuan di sekitar magnitudo maksimum yang mengindikasikan pada zona tersebut terdapat struktur sesar. Struktur sesar tersebut juga diduga menjadi pengontrol kemunculan beberapa manifestasi panas bumi di permukaan. Pola magnitudo maksimum yang landai mengindikasikan banyaknya sesar minor di sekitar sesar utama yang berarah baratdaya-timurlaut di sekitar mata air dingin Sirung dan tanah panas Puriali. Kondisi tersebut menyebabkan zona di sekitar struktur sesar memiliki permeabilitas tinggi dan sangat baik untuk menyimpan fluida panas sebagai suatu reservoir panas bumi.

Kata kunci: analisis gradien horizontal, pemodelan 3D, gaya berat, panas bumi, Pantar



Batuan Metaandesit terkekarkan kuat, Bukit Dolok Pangkuruhan, Desa Kuta Usang, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara



Float apungan urat kuarsa pada Batuan Metavulkanik, Bukit Dolok Pangkuruhan, Desa Kuta Usang, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara



Lensa urat kuarsa sejajar arah foliasi Batuan Metavulkanik, Bukit Dolok Pangkuruhan, Desa Kuta Usang, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara



Mineral Bornit Kalkopirit mengisi rekahan pada Batuan Metaandesit, Bukit Dolok Pangkuruhan, Desa Kuta Usang, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara



Urat Kuarsa Hematit memotong Batuan Vulkanik teralterasi argilik,
Bukit Dolok Pangkuruhan, Desa Kuta Usang, Kabupaten Dairi, Provinsi Sumatera Utara



Fotomikrograf emas nugget pembesaran 41x, Daerah Kebangelay, Kecamatan Noyan,
Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat



Singkapan Bentonit, Desa Telun, Kecamatan Nalotantan,
Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi



Struktur Kekar pada Batuan Lava Andesit Afanitik (Basaltik),
Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah

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	Metodelogi (<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: buletinpsdg@gmail.com
OJS: buletinsdg.geologi.esdm.go.id



LEMBAGA
ILMU PENGETAHUAN
INDONESIA

**P2
MI**

Panitia
Penilai
Majalah
Ilmiah



SERTIFIKAT

Nomor: 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Akreditasi Majalah Ilmiah

Kutipan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Nomor 335/E/2015 Tanggal 15 April 2015

Nama Majalah : Buletin Sumber Daya Geologi
ISSN : 1907-5367
Redaksi : Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM,
Jl. Soekarno-Hatta No. 444 Bandung 40254

Ditetapkan sebagai Majalah Ilmiah

TERAKREDITASI

Akreditasi sebagaimana tersebut di atas berlaku selama 3 (tiga) tahun

Cibinong, 15 April 2015
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Ketua Panitia Penilai Majalah Ilmiah-LIPI

Prof. Dr. Rochadi,
NIP 195007281978031001

Alamat Redaksi

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



