

LITOTIPE, PETROGRAFI, DAN KOMPOSISI KIMIA BATUBARA FORMASI PULUBALANG DAN BALIKPAPAN SEBAGAI DATA PENDUKUNG POTENSI HIDROKARBON, CEKUNGAN KUTAI, KALIMANTAN TIMUR

*(Lithotype, Petrography, and Chemical Composition of Coals from
Pulubalang and Balikpapan Formations as Supporting Data for
Hydrocarbon Potential, Kutai Basin, East Kalimantan)*

Mulyono Dwiantoro¹, Sundoyo²

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Kutai Kartanegara^{1,2}

Email: mulyonodwiantoro@unikarta.ac.id

Abstrak

Studi ilmiah tentang litotipe, petrografi organik, dan komposisi kimia telah dilakukan pada tujuh sampel batubara yang berasal dari dua formasi berbeda yaitu Formasi Pulubalang dan Formasi Balikpapan. Tujuan penelitian untuk menganalisis perbedaan karakter batubara pada kedua formasi tersebut yang ditinjau dari komposisi material organik, lingkungan pengendapan, tingkat kematangan, dan komposisi kimianya. Batubara pada kedua formasi secara makroskopis menunjukkan perbedaan kilap dan hadirnya lapisan pengotor di dalam tubuh batubara. Batubara Formasi Pulubalang memiliki kilap yang lebih cerah dan sedikit sekali hadir lapisan pengotor jika dibandingkan terhadap batubara Formasi Balikpapan. Perbedaan tersebut juga sangat jelas terlihat dari hasil pengukuran reflektan vitrinit dan nilai kalor yang membuktikan bahwa Formasi Pulubalang memiliki peringkat (*rank*) yang lebih tinggi dibandingkan Formasi Balikpapan. Berdasarkan komposisi maseralnya, batubara Formasi Pulubalang diindikasikan terbentuk pada zona telmatik, lingkungan pengendapan *lower delta plain*, dan stadia *wet forest swamp*. Adapun batubara pada Formasi Balikpapan terbentuk pada zona telmatik, lingkungan *upper delta plain*, dan stadia *wet forest swamp*. Selain itu, berdasarkan hasil analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa batubara Formasi Pulubalang memiliki nilai abu yang lebih rendah dan nilai sulfur yang lebih tinggi dibandingkan Formasi Balikpapan. Kondisi ini menunjukkan bahwa batubara Formasi Pulubalang selama proses pembentukannya masih dipengaruhi oleh air laut dan sedikit dipengaruhi material pengotor dari lingkungan darat. Hasil penelitian membuktikan bahwa batubara pada kedua formasi memiliki karakter yang berbeda ditinjau dari pendekatan ilmiah yang telah dilakukan. Penelitian ini dapat berguna sebagai data pendukung untuk penelitian selanjutnya di dalam mengidentifikasi potensi gas hidrokarbon di daerah ini.

Kata Kunci: Formasi Pulubalang, Formasi Balikpapan, Petrografi Organik, Komposisi Kimia.

Abstract

A scientific study about lithotype, organic petrography, and chemical composition has been carried out on seven coal samples from two different formations that were Pulubalang and Balikpapan Formations. The aim of this study is to investigate the different of coal's characteristics that were viewed by organic material composition, paleoenvironment, maturity, and chemical composition. Physically, those studied coals exhibited different features of brightness and impurity of layers within their bodies. Coals from Pulubalang Formation had a good brightness and less impurity of layers than coals from Balikpapan Formation. These differences clearly appeared based on the reflectance vitrinite measurements and calorific value results which indicated that Pulubalang Formation had a higher maturity than Balikpapan Formation. The paleoenvironment of coals from Pulubalang Formation was assigned to take place in telmatic zone, lower delta plain environment, and wet forest swamp stadium. Meanwhile, coals from Balikpapan Formation were also suggested to take place in different environment that is upper delta plain within wet forest swamp stadium. Based on chemical composition analysis, it also can be recognized that coals from Pulubalang Formation to have low ash and high sulphur values. This condition indicated that coals during their deposition were still influenced by the shallow marine environment and slightly influenced by the impurity of materials from terrestrial environment. The research results proved that coals from two formations had different characters in terms of scientific approaches that have been accomplished. For the next upcoming research on hydrocarbon gaseous potential in this study area, the analyses results can be applied as supporting data.

Keywords: Pulubalang Formation, Balikpapan Formation, Organic Petrography, Chemical Composition.

PENDAHULUAN

Penelitian tentang petrografi batubara di Cekungan Kutai telah banyak dilakukan oleh para peneliti terdahulu seperti Widodo dkk. (2009), Dwiantoro dkk. (2013), Thuzar dkk. (2014), dan

Santoso (2017). Secara umum, hasil penelitian tersebut menguraikan tentang karakteristik material organik dan lingkungan pengendapannya. Seperti diketahui bahwa berdasarkan sejarah tektonostratigrafinya, Cekungan Kutai dibedakan atas dua subcekungan yaitu Kutai Atas dan Kutai

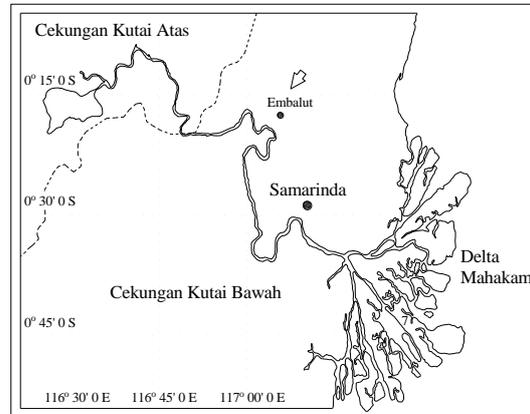
Bawah (Witts dkk, 2015; Calvert, 1999 dalam Anisa dan Dwianto, 2017), yang mana pada kedua sub-cekungan tersebut terendapkan batuan sedimen yang kaya akan batubara terutama di Cekungan Kutai Bawah dan memiliki potensi hidrokarbon (Anggayana dkk., 2014; Dwianto, 2016). Penelitian saat ini dilakukan pada sebuah area penambangan terbuka yang sampelnya berupa batubara dari dua formasi yang berbeda yaitu Formasi Pulubalang dan Formasi Balikpapan. Tujuan penelitian untuk menganalisis karakter batubara pada kedua formasi tersebut yang terbentuk pada umur berbeda yaitu Miosen Tengah sampai Miosen Akhir (Saytana dkk, 1999). Pendekatan ilmiah yang dilakukan yaitu dengan cara pengamatan makroskopis (litotipe), mikroskopis (petrografi organik), dan menganalisis komposisi kimia (lengas bawaan, abu, sulfur, dan nilai kalor). Selanjutnya, berdasarkan pendekatan tersebut maka akan diketahui karakter tentang material organik, lingkungan pengendapan, tingkat kematangan, dan kualitas batubara. Uraian secara detil tentang standar baku, hasil penelitian, pembahasan, dan hasil yang diharapkan tertuang di dalam paragraf-paragraf selanjutnya.

TATANAN GEOLOGI

Menurut Satyana (1999), cekungan di Kalimantan Timur dahulunya merupakan area yang sangat luas dan kemudian mengalami penurunan (*subsidence*) yang diikuti proses sedimentasi pada Tersier Awal. Selanjutnya pada kala Miosen terjadi pengangkatan sehingga cekungan ini terbagi menjadi tiga bagian yaitu Cekungan Tarakan di sisi utara, Cekungan Kutai di bagian tengah, dan Cekungan Barito di sisi selatan. Cekungan Kutai sendiri terbagi menjadi dua sub-cekungan yaitu Cekungan Kutai Atas dan Cekungan Kutai Bawah yang arah pengendapan sedimennya dimulai dari Tinggian Kuching di sebelah barat menuju ke arah timur sebagai akibat terjadinya pemekaran di Selat Makasar (Witts dkk., 2015). Daerah penelitian terletak di Embalut -Tenggarong (Gambar 1).

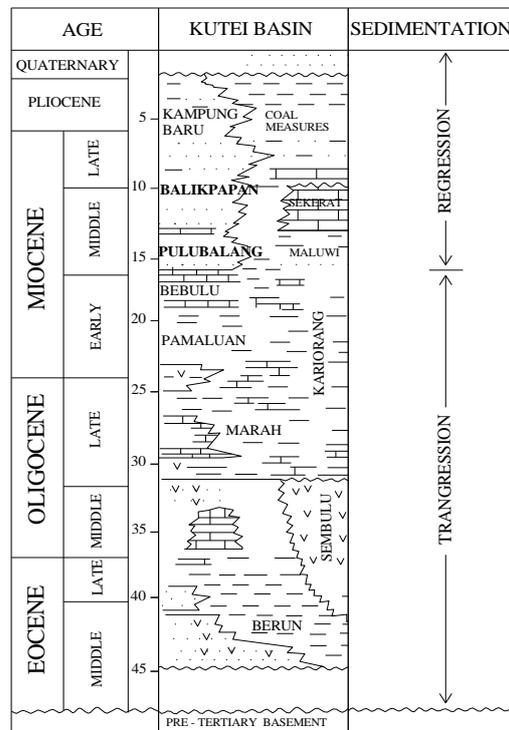
Sementara itu, Cekungan Kutai Bagian Atas merupakan wilayah tektonik yang mengalami pengangkatan akibat adanya pembalikan pada Miosen Awal dari *depocenter* Paleogen yang selanjutnya mengalami erosi (Calvert, 1999 dalam Anisa dan Dwianto, 2017). Pengangkatan di sisi barat dari cekungan ini menyebabkan terjadinya pengendapan batuan sedimen yang tebal dan dalam, serta berbentuk asimetri ke arah timur. Bentuk asimetri ini dapat dilihat pada kondisi saat ini di Cekungan Kutai Bagian Bawah yaitu berupa mega struktur lipatan yang dikenal sebagai Antiklinorium Samarinda disertai struktur sesar (Satyana, 2013; Witts dkk., 2015). Endapan batubara di Cekungan Kutai

Bawah sangat melimpah dengan beragam dimensi dan kualitas jika dibandingkan terhadap Cekungan Kutai Atas yang mana kondisi tersebut sangat dikontrol oleh sejarah tektonik yang telah terjadi.



Gambar 1. Lokasi penelitian terletak di Embalut

Formasi pembawa lapisan batubara di Cekungan Kutai Bawah pada umumnya adalah Pulubalang, Balikpapan, dan Kumpangbaru yang memiliki endapan batubara dengan beragam dimensi dan kualitas yang terbentuk saat fase regresi pada lingkungan delta progradasi (Gambar 2).



Gambar 2. Stratigrafi formasi batuan pada Cekungan Kutai, terlihat bahwa Formasi Pulubalang terbentuk pada fase peralihan antara transgresi ke regresi dan berumur lebih tua daripada Formasi Balikpapan (digambar ulang dari Satyana dkk., 1999).

Tampak bahwa Formasi Pulubalang terbentuk pada Miosen Tengah yang merupakan peralihan dari fase transgresi ke regresi. Hal ini dicirikan hadirnya sisipan batulempung gampingan sebagai indikasi masih berpengaruhnya kondisi laut dangkal pada peralihan fase tersebut (Satyana dkk., 1999).

METODOLOGI PENELITIAN

Material

Material yang diteliti berupa tujuh sampel batubara yang diperoleh dari area penambangan. Tujuh sampel batubara tersebut terdiri atas tiga sampel dari Formasi Pulubalang yang memiliki ketebalan 2,2 m dan empat sampel dari Formasi Balikpapan yang memiliki ketebalan 4,0 m.

Pengamatan Makroskopis (Litotipe)

Metode yang digunakan di dalam penelitian ini mencakup studi makroskopis yaitu pengamatan secara visual terhadap sampel batubara sehingga akan diketahui karakter fisiknya yang meliputi warna, bentuk, dan kilap. Selain itu akan diketahui juga ada tidaknya lapisan pengotor berupa lempung dan mineral penyerta lainnya seperti pirit dan kuarsa di dalam batubara. Metode ini dikenal sebagai pengamatan litotipe (Kalkreuth dan Marchioni, 1991 dalam Dwiantoro, 2013). Pengamatan makroskopis yang telah dilakukan mengacu klasifikasi litotipe pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi litotipe (Marchioni dan Kalkreuth, 1991 dalam Dwiantoro, 2013)

Division	Nomenclature	Description
Vitrain	Bright coal	Subvitreous to vitreous or conchoidal fracture, less than 10% dull
	Banded bright coal	Bright lignite with some thin dull bands with 10-40% dull
Clarain	Banded coal	Bright and dull lignite bands in equal with 40-60% dull
	Banded dull coal	Dull lignite with some thin bright bands with 10-40% bright
Durain	Dull coal	Matt lustre, uneven fracture less than 10% bright
	Fibrous coal	Satin lustre, friable
Fusain	Sheared coal	Variable lustre, disturbed bedding, various slip or slickenslide surfaces, very brittle.

Preparasi Sayatan Poles (Polished Block)

Metode lebih detil selanjutnya untuk meneliti karakter batubara adalah pengamatan

mikroskopis dengan menggunakan perangkat keras bantu berupa mikroskop polarisasi. Preparasi dan pengamatan mikroskopis dilakukan di PT Geoservices, Ciledug-Jakarta. Mikroskop yang digunakan di dalam penelitian ini adalah model terbaru yaitu *Leica DM4500*. Sebelum melakukan pengamatan secara mikroskopis, batubara harus dipreparasi terlebih dahulu, yaitu dihancurkan dan kemudian disaring menggunakan alat saringan (*sieve*) sehingga akan diperoleh batubara yang berukuran homogen (<1mm). Selanjutnya batubara berukuran homogen tersebut dimasukkan ke dalam cetakan PVC (diameter ± 3cm, tinggi 3cm) yang telah diisi *epoxy resin* atau dikenal sebagai *polyexposide* yang merupakan cairan kimia polimer berwarna bening, kental, dan berbau sangat tajam. Selanjutnya diaduk secara merata dan diberi cairan pengeras (*hardener*) agar cepat mengering sehingga akan terbentuk briket yang keras. Proses ini dikenal sebagai pencetakan (*mounting block*). Langkah selanjutnya adalah proses penghalusan pada permukaan briket tersebut menggunakan mesin penghalus otomatis yaitu *Polisher Machine AutoMet 250* dari *Buehler*. Alat penghalus pertama pada mesin tersebut berupa piringan amplas yang terbuat dari *silicon carbide*. Alat penghalus kedua adalah piringan amplas berupa *diamond grinding discs* yang berfungsi sebagai penghalus pada tahap akhir. Metode preparasi ini mengacu pada standar baku dari ISO-7404 part 2 (2009).

Pengamatan Mikroskopis

Pengamatan di bawah mikroskop dapat dilakukan setelah sayatan poles (briket) selesai dihaluskan permukaannya dan siap untuk diamati. Hal yang sangat penting sebelum langkah ini dilakukan adalah mengetahui tata nama (*nomenclature*) maseral batubara. Standar tata nama yang digunakan adalah ISO 7404 part 1 (1994) (Tabel. 2). Standar ISO tersebut dibuat oleh perkumpulan ahli petrologi organik dari Eropa yang bernama *International Committee of Coal Petrology* (ICCP). Tata nama ini mencakup untuk batubara peringkat rendah (lignite) dan menengah-tinggi (sub-bituminous-bituminous-antrasit).

Langkah penting selanjutnya adalah melakukan pengukuran reflektan pada maseral vitrinit (ISO 7404 - part 5). Pengukuran ini dilakukan terhadap maseral vitrinit karena memiliki pola yang linier, di mana semakin tinggi peringkat batubara maka akan semakin tinggi pula nilai reflektannya. Hal tersebut tidak terjadi pada maseral liptinit dan inertinit. Proses standarisasi harus dilakukan terlebih sebelum pengukuran reflektan berlangsung, yaitu menggunakan *Yttrium-Alluminium-Garnet* (YAG) yang memiliki nilai reflektan sebesar 0,892% dan *Spinel* sebesar 0,426%.

Tabel 2. Tata nama maseral (ISO 7404- part 1, 1994)

Grup	Sub-Grup	Maceral for Sub-bituminous Bituminous, Anthracite	Maceral for lignite
Vitrinite <i>Huminite</i>	Telovitrinite	Telinite	Textinite
	<i>Telohuminite</i>	Colloletinite	Ulminite
	Detrovitrinite	Vitrodetrinite	Attrinite
	<i>Detrohuminite</i>	Colloledetrinite	Densinite
	Gelovitrinite	Corpogelinite	Corpohuminite
	<i>Gelohuminite</i>	Gelinite	Gelinite
Inertinite	Maceral with plant cell structure	Fusinite Semifusinite Funginite	
	Maceral lacking plant cell structure	Secretinite Macrinite Micrinite	
	Fragmental inertinite	Inertodetrinite	
		Cutininite Suberinite Sporinite	
Liptinite	Strictly a bitumen rather than a maceral	Resinite	Corporesinite Fluorinite
		Exudatinitite	
		Chlorophyllinite	
		Alginite	Telalginite Lamalginite
		Liptodetrinite	
		Bituminite	

Selanjutnya, minyak imersi (indeks bias 1,52 dengan panjang gelombang 546 nm) harus dioleskan pada permukaan briket sebelum pengukuran reflektan dilakukan. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi pembiasan atau pembelokan sinar dari mikroskop ke permukaan briket. Selain itu untuk meningkatkan resolusi *image* yang diamati. Suhu ruangan juga harus diatur sedemikian rupa pada temperatur 23°C.

Proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan persentase secara kuantitatif (*counting macerals*) terhadap kehadiran maseral pada setiap briket yang diamati. Terdapat alat tambahan untuk menghitung secara otomatis yaitu berupa *point counter* untuk menghitung persentase kehadiran maseral. Alat ini terpasang pada mikroskop polarisasi yang disebut Prior G.

Lingkungan Pengendapan Batubara

Suatu lapisan batubara berdasarkan kenampakan fisik (makroskopis) akan mencerminkan lingkungan pengendapannya yang dipengaruhi oleh iklim, permukaan air, tumbuhan pembentuk. Lingkungan pengendapan ini akan mengontrol penyebaran, ketebalan, dan kualitas suatu batubara. Hampir 90% batubara di dunia terbentuk di lingkungan rawa-rawa yang berdekatan dengan pantai (Diessel, 1992 dalam Widyanto dkk., 2014). Penelitian tentang komposisi material organik batubara maka akan dapat mengetahui lingkungan pengendapannya.

Ada dua parameter untuk menentukan lingkungan tersebut yaitu dengan menganalisis tingkat pengawetan struktur/jaringan kulit tumbuhan (*Tissue Preservation Index/TPI*) dan tingkat gelifikasi suatu material organik (*Gelification Index/GI*). TPI merupakan perbandingan struktur/jaringan tumbuhan yang masih terawetkan terhadap struktur tumbuhan yang telah terdekomposisi atau terlapukan. Adapun GI merupakan perbandingan struktur tumbuhan yang ter-gelifikasi terhadap struktur tumbuhan yang sudah rusak akibat oksidasi (terfusinitkan). Berikut rumusan TPI dan GI menurut Diessel tahun 1992 (dalam Dwiantoro, 2013):

$$TPI = \frac{\text{telinite} + \text{telocolinite} + \text{fusinite} + \text{semifusinite}}{\text{colodetrinite} + \text{macrinite} + \text{inertodetrinite}}$$

$$GI = \frac{\text{vitrinite} + \text{macrinite}}{\text{semifusinite} + \text{fusinite} + \text{inertodetrinite}}$$

Adapun penggambaran (*plotting*) data TPI dan GI menggunakan diagram yang dibuat oleh Lamberson (1992). Diagram ini berguna untuk mengetahui lingkungan pengendapan selama pembentukan batubara.

Komposisi Kimia Batubara

Sejumlah tujuh contoh batubara telah diuji komposisi kimia yang mencakup: lengas bawaan (ASTM D.3173-11, 2011), kandungan abu (ASTM D.3174-10, 2010), total sulfur (ASTM D5016, 2016), dan nilai kalor batubara (ASTM D.5865-10a, 2010). Uji komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Batubara PT. Tanito Coal di Loa Tebu, Tenggara-

Kalimantan Timur yang bertujuan untuk mengetahui kualitas dan tingkat pembatubaraan yang telah dicapai oleh tujuh sampel batubara yang diuji.

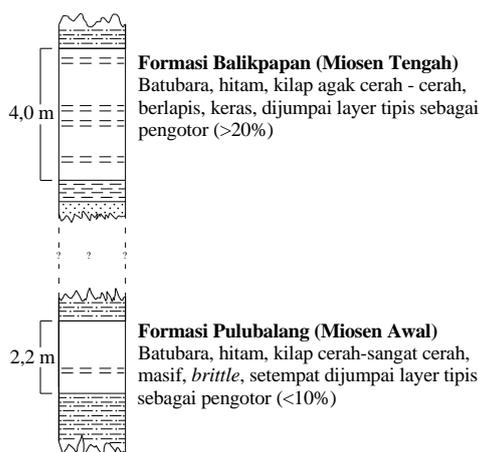
HASIL PENELITIAN

Berikut adalah hasil penelitian yang meliputi tiga analisis yaitu berdasarkan pengamatan makroskopis (litotipe), mikroskopis (komposisi material organik/maseral), dan komposisi kimia (lengas, abu, total sulfur, dan nilai kalor).

Analisis Makroskopis

Batubara Formasi Pulubalang, memiliki ketebalan 2,2 m yang memiliki ciri fisik kilap cerah, cenderung *brittle* (mudah dihancurkan menggunakan palu), dan tidak dijumpai adanya sisipan lapisan pengotor ataupun pirit. Adapun batubara Formasi Balikpapan memiliki ketebalan 4,0 m dan kilapnya menunjukkan rentang *medium-high clusture*, dan dijumpai sisipan tipis lapisan pengotor (*carbonaceous coal*) secara berulang, selain itu memiliki kekerasan yang baik (tidak mudah dihancurkan oleh palu).

Secara megaskopis, batubara pada kedua formasi menunjukkan kenampakan visual yang berbeda terutama pada kilapnya. Batubara pada Formasi Pulaubalang memiliki kilap yang lebih cerah dibandingkan batubara pada Formasi Balikpapan. Kilap yang lebih cerah tersebut diduga sebagai indikasi bahwa batubara diendapkan pada kondisi basah, lembab, dan sedikit pengaruh material pengotor. Profil litotipe kedua batubara pada formasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

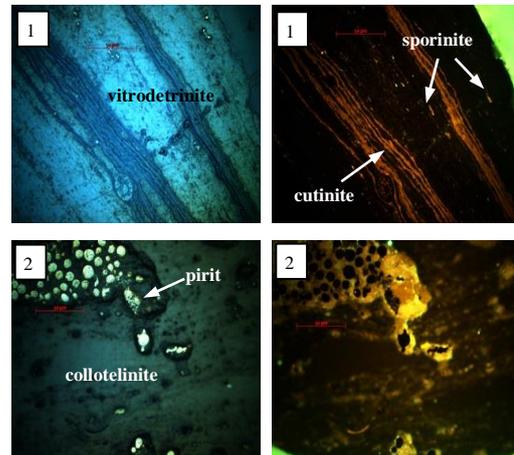


Gambar 3. Profil lapisan batubara Formasi Pulubalang dan Formasi Balikpapan.

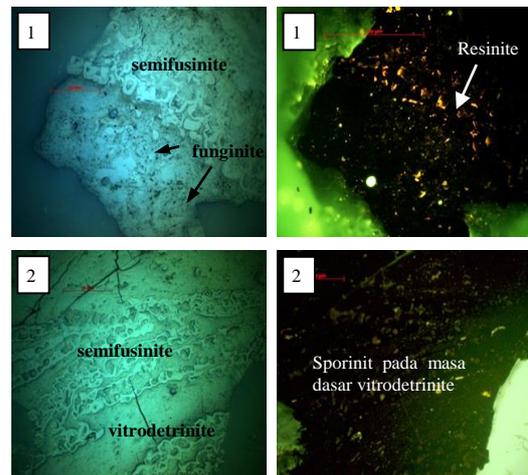
Analisis Maseral

Kenampakan maseral di bawah mikroskop dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5,

tampak bahwa maseral vitrinit lebih dominan dibandingkan liptinit ataupun inertinit yang mengisi rekahan atau hanya menempel pada permukaan vitrinit. Secara mikroskopis terlihat bahwa vitrinit pada Formasi Pulubalang tampak lebih jernih dibandingkan Formasi Balikpapan yang memiliki banyak maseral penyerta.



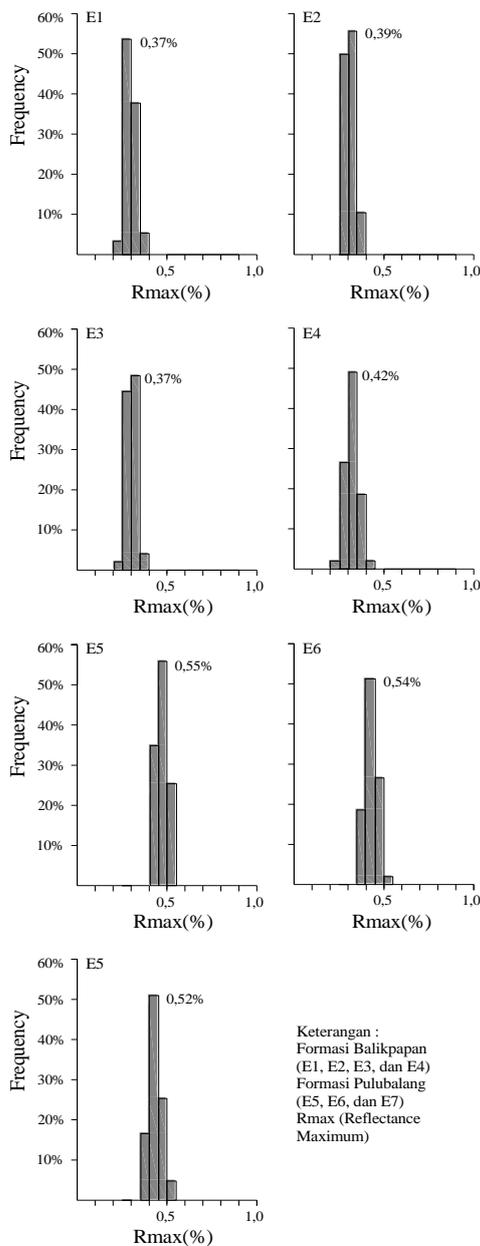
Gambar 4. Fotomikrograf maseral batubara Formasi Pulubalang. Vitrinit memiliki permukaan yang lebih halus dan hadirnya maseral penyerta seperti liptinit (cutinite, resinite, dan sporinite) dan sedikit hadir inertinite (funginite). Tampak mineral pirit pada massa dasar collotelinite. Foto sebelah kiri adalah kenampakan sinar normal dan foto sebelah kanan adalah kenampakan sinar *fluoresence*.



Gambar 5. Fotomikrograf maseral batubara Formasi Balikpapan. Vitrinit memiliki permukaan yang kasar dengan hadirnya maseral penyerta seperti liptinit (cutinite, resinite, dan sporinite) dan hadir cukup banyak inertinite (semifusinite dan funginite). Foto sebelah kiri adalah kenampakan sinar normal dan foto sebelah kanan adalah kenampakan sinar *fluoresence*.

Analisis Tingkat Kematangan

Hasil pengukuran reflektan vitrinit (R_{max}) menunjukkan tingkat kematangan yang berbeda antara kedua formasi. Batubara Formasi Pulubalang memiliki rentang nilai R_{max} antara 0,52-0,55 (%) sedangkan batubara Formasi Balikpapan memiliki rentang nilai R_{max} 0,37-0,42 (%). Menurut Cook, 1982 (dalam Santoso, 2017), nilai reflektan tersebut mengindikasikan tahapan pembatubaraan yang telah dicapai adalah sub-bituminus untuk batubara Formasi Pulubalang dan lignit-sub bituminus untuk batubara Formasi Balikpapan (Gambar 6).



Gambar 6. Histogram distribusi hasil pengukuran nilai reflektan vitrinit maksimum (R_{max}) pada tujuh sampel batubara.

Analisis Kehadiran Maseral

Komposisi kehadiran maseral pada batubara Formasi Pulubalang didominasi oleh maseral vitrinite (83,1-84,4 %), yang kemudian diikuti oleh liptinite (13,0-14,6 %) dan inertinite (1,4-2,2 %). Adapun komposisi maseral pada batubara Formasi Balikpapan juga didominasi oleh maseral vitrinite (75,8-79,6%), diikuti oleh liptinite (8,6-13,0%) dan inertinite (10,4-1,6%). Komposisi maseral dapat dilihat pada Tabel 3 pada Lampiran 1.

Komposisi Kimia

Berikut adalah hasil analisis komposisi kimia padatujuh sampel yang telah diuji. Batubara Formasi Balikpapan memiliki rentang nilai: lengas bawaan 13,01-13,83 (%), kandungan abu antara 1,77-3,15 (%), total sulfur antara 0,12-0,18 (%), dan nilai kalor 5747-5988 (cal/g). Sementara itu, karakter batubara Formasi Pulubalang memiliki nilai lengas bawaan 6,97-8,00 (%), kandungan abu 1,58-1,95 (%), total sulfur 0,21-0,24 (%), dan nilai kalor 6654-6756 (cal/g). Basis data yang digunakan adalah *air dried base* (adb). Hasil uji komposisi kimia batubara pada kedua formasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi kimia batubara.

No.	Kode Sampel	Lengas Bawaan (% , adb)	Abu (% , adb)	Total Sulfur (% , adb)	Nilai Kalor (Cal/g)
1	E-1	13,26	3,15	0,16	5.945
2	E-2	14,14	1,77	0,18	5.824
3	E-3	13,01	1,97	0,12	5.988
4	E-4	13,83	2,26	0,18	5.747
5	E-5	8,01	1,58	0,24	6.654
6	E-6	7,06	1,95	0,24	6.756
7	E-7	6,97	1,59	0,21	6.747

E1 s/d E4 = Formasi Balikpapan
 E5 s/d E7 = Formasi Pulubalang

PEMBAHASAN

Pembahasan pada penelitian ini dimulai dari hasil pengamatan makroskopis yaitu dengan cara menganalisis perubahan litotipe pada tubuh lapisan batubara. Hal ini merupakan kunci awal untuk menduga secara umum tentang: komposisi material organik, proses pengendapannya, tingkat dan kematangan. Dugaan tersebut kemudian akan ditunjang oleh penelitian lebih lanjut yang mencakup analisis petrografi dan komposisi kimia. Jadi untuk sementara dapat dihipotesa bahwa kenampakan litotipe batubara akan memiliki keterkaitan terhadap karakter petrografi dan komposisi kimia. Berikut adalah pembahasan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.

Interpretasi Kondisi Pengendapan Batubara Berdasarkan Karakter Litotipe

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa batubara pada kedua formasi

memiliki karakter litotipe yang berbeda. Batubara Formasi Pulubalang memiliki kilap yang sangat cerah, masif, *brittle*, dan sedikit sekali hadir lapisan pengotor. Kilap cerah tersebut mengindikasikan bahwa batubara terbentuk pada kondisi basah dan lembab. Sedikit hadirnya lapisan pengotor menunjukkan bahwa saat terbentuknya batubara telah terjadi minimnya suplai material pengotor.

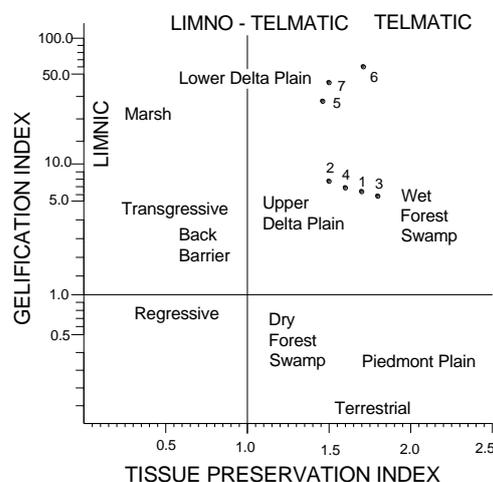
Kenampakan litotipe pada Formasi Balikpapan menunjukkan kilap agak cerah-cerah, berlapis, keras, dan hadir material pengotor secara berulang dan tidak teratur. Hal ini sebagai indikasi bahwa saat pembentukan batubara terdapat suplai material pengotor akibat banjir yang sering terjadi. Meskipun berdasarkan kilapnya, batubara ini juga terbentuk pada kondisi basah dan lembab.

Interpretasi Lingkungan Pengendapan Formasi Pulubalang

Batubara Formasi Pulubalang memiliki nilai TPI berkisar antara 1,46-1,72 (%) yang didominasi oleh maseral vitrinite (83,1-84,4%). Hal ini mengindikasikan tentang: a) tingginya persentase kehadiran tumbuhan kayu/lignin, b) jaringan tumbuhannya terawetkan dengan baik, c) dekomposisi oleh proses oksidasi rendah. Sementara itu, nilai GI relatif tinggi, bervariasi antara 38,36-59,85 (%). Hal ini sebagai indikasi rendahnya pengaruh oksidasi yang dibuktikan dari sedikitnya kehadiran inertinit (1,2-2,2%). Selain itu, nilai tersebut menunjukkan bahwa gambut dalam kondisi basah atau terjaga kelembabannya. Hasil penggambaran nilai TPI versus GI menunjukkan bahwa batubara pada formasi ini terbentuk pada lingkungan *lower delta plain* (stadia rawa basah/*wet forest swamp*), dan berada pada zona *telmatic* (Gambar 7) yang didominasi oleh tumbuhan kayu yang dibuktikan dengan kehadiran maseral *vitrodetrinite* dan *colotellinite* yang dominan. Lingkungan *lower delta plain* dipengaruhi oleh air laut pada saat kondisi pasang, hal ini memungkinkan air laut membawa makanan ke dalam rawa gambut sehingga menyebabkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Selain itu, akan muncul kandungan pirit framboidal pada batubara yang terbentuk dari reduksi sulfat yang ada di dalam air laut. Hal ini ditunjukkan oleh kehadiran pirit framboidal dari hasil pengamatan mikroskopis dan dari uji total sulfur yang telah dilakukan meskipun persentasenya relatif rendah (0,21-0,24%). Batubara pada lingkungan *lower delta plain* diinterpretasi memiliki penyebaran yang luas namun tidak tebal seperti halnya batubara pada formasi ini.

Interpretasi Lingkungan Pengendapan Formasi Balikpapan

Batubara pada formasi ini memiliki nilai TPI berkisar antara 1,54-1,68 (%), mirip seperti halnya pada batubara Formasi Pulubalang yang didominasi oleh maseral vitrinit (75,8-78,6%) yang berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (kayu/lignin) yang terawetkan dengan baik. Adapun nilai GI relatif rendah berkisar antara 6,60-7,60 (%) yang menunjukkan tingkat oksidasi cukup berperan. Hal ini ditunjukkan dengan hadirnya inertinit yang berkisar agak banyak (10,4-11,6 %). Hasil penggambaran menunjukkan bahwa batubara pada formasi ini terbentuk pada lingkungan *upper delta plain* (stadia hutan rawa basah/*wet forest swamp*), dan berada pada zona *telmatic*. Kondisi hutan rawa basah merupakan kondisi yang relatif tergenang air di mana pembentukan batubara berkembang dengan baik. Meskipun oksidasi relatif berperan pada kondisi ini, namun karena berada pada kondisi yang relatif lembab/basah dan suplai oksigen terbatas, maka tumbuhan dapat hidup dengan baik (Lamberson, 1991 dalam Widiyanto dkk., 2014). Hal ini diprediksi terjadinya produktivitas material organik yang tinggi dan penimbunan yang terjadi secara perlahan-lahan secara terus menerus dalam kondisi reduksi sehingga batubara terbentuk relatif tebal. Adapun, pengaruh air laut relatif sangat kecil yang ditunjukkan dari nilai total sulfur yang rendah (0,12-0,18%).

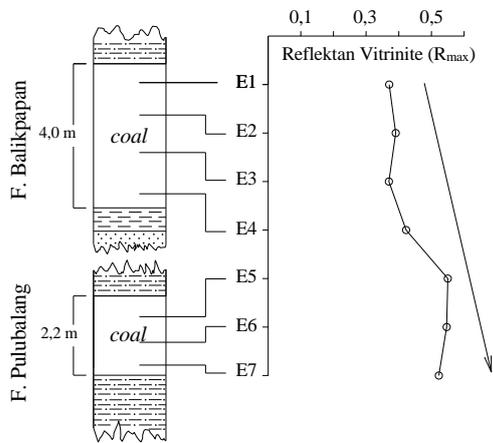


Gambar 7. Lingkungan pengendapan batubara pada Formasi Pulubalang (5,6,7), dan Formasi Balikpapan (1,2,3,4) berdasarkan penggambaran nilai TPI dan GI.

Peringkat Batubara (Rank)

Hasil pengukuran reflektan vitrinit menunjukkan bahwa batubara pada Formasi Pulubalang memiliki peringkat lebih tinggi dibandingkan batubara Formasi Balikpapan. Batubara pada Formasi Pulubalang mencapai tahap pematubaraan bituminus ($R_{max}=0,52-0,55\%$), sedangkan batubara pada Formasi Balikpapan berada pada tahapan lignit-subituminus ($R_{max}=0,37-0,42\%$).

Profil nilai reflektan vitrinit dapat dilihat pada Gambar 8.



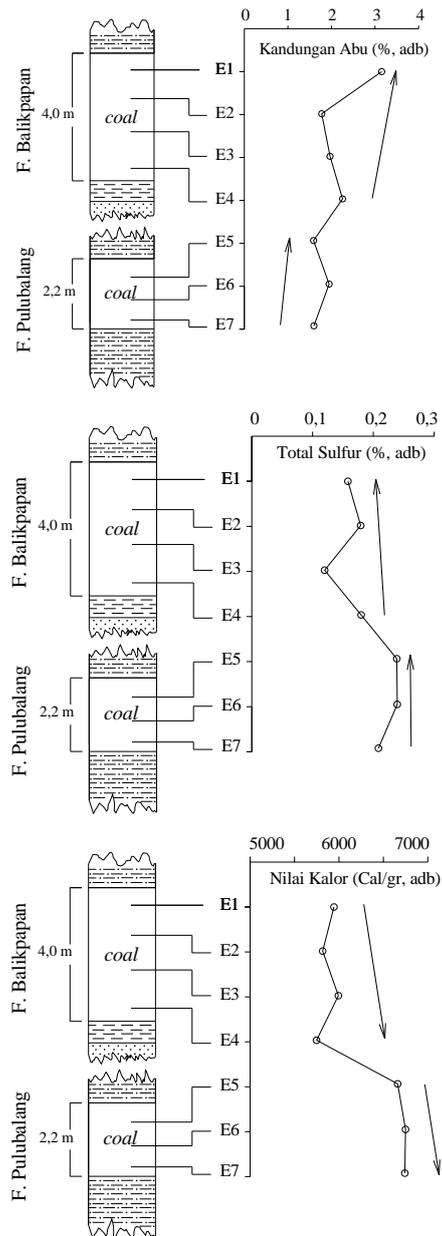
Gambar 8. Profil nilai reflektan vitrinit yang menunjukkan tingkat kematangan semakin tinggi ke arah formasi yang lebih tua.

Analisis Kondisi Pengendapan Batubara Berdasarkan Komposisi Kimia

Kondisi lingkungan pengendapan batubara pada dua formasi dapat diprediksi berdasarkan data komposisi kimia yang dihasilkan (Gambar 9).

Formasi Pulubalang, berdasarkan nilai kalor maka menunjukkan bahwa batubara memiliki *rank* yang lebih tinggi (6654-6756 Cal/g), nilai sulfur yang relatif lebih tinggi (0,1-0,4%) mengindikasikan bahwa pengaruh laut dangkal masih berperan, adapun kandungan abunya (1,58-1,95%) mengindikasikan bahwa pengaruh material pengotor dari darat relatif sedikit. Kondisi ini sesuai dengan sejarah pengendapan formasi ini yang terbentuk pada peralihan antara laut dangkal-darat (Satyana, 2013; Witte, 2015).

Formasi Balikpapan, secara stratigrafi terletak di atas Formasi Pulubalang dan memiliki *rank* yang lebih rendah (5747-5988 Cal/g), kandungan sulfurnya (0,1-0,18%) lebih rendah dibandingkan Formasi Pulubalang yang diinterpretasi terbentuk pada lingkungan delta yang mana pengaruh air laut relatif rendah. Lingkungan pengendapan delta pada batubara ini didukung oleh hadirnya kandungan abu yang lebih besar (1,77-3,15%) dibandingkan Formasi Pulubalang.



Gambar 9. Profil komposisi kimia batubara.

KESIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan memberikan bukti bahwa batubara pada kedua formasi yang diteliti memiliki karakter berbeda yang ditinjau dari sisi makroskopis (litotipe), mikroskopis (petrografi), dan komposisi kimia. Berdasarkan komposisi maseral, batubara Formasi Pulubalang terbentuk pada lingkungan *lower delta plain* sedangkan batubara Formasi Balikpapan terbentuk pada lingkungan *upper delta plain*. Sebagai informasi bahwa hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar untuk penelitian selanjutnya di dalam menganalisis potensi gas hidrokarbon di daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kemenristekdikti atas hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2017. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Sumargyanto dan Samsul Rizal dari PT. Kitadin di Embalut-Tenggarong Seberang atas bantuannya di dalam pengambilan sampel batubara, Sani Gunawan dan Tidar Nugroho dari PT Geoservices Jakarta atas bantuan preparasi dan pengukuran reflektan vitrinit, Dudik Hananto Lukitoharjo dan Bobby Eko Nugroho dari PT Tanito Coal di Loa Tebu-Tenggarong atas bantuan menganalisis komposisi kimia batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggayana, K., Dwiantoro, M., dan Widayat, A.H., 2014, Hydrocarbon Generation Potential of Indonesian Coals: from the Viewpoints of Organic Petrology and Geochemistry, *Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology*, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
- Annisa, Dwiantoro M., 2017, Karakteristik Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Haloq dan Formasi Batuayau, Cekungan Kutai Atas: Pendekatan Organik dan Anorganik. *Jurnal Geologi Pertambangan*. Vol.1, No.21, p.16-28.
- ASTM D5865 – 10a, 2010, *Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- ASTM D3173 – 11, 2010, *Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample Coal and Coke*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- ASTM D3174 – 10, 2010, *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- ASTM D5016, 2016, *Standard Test Method for Total Sulphur in Coal and Coke Analysis*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Dwiantoro D., Notosiswoyo S., Anggayana K., Widayat A.H., 2013, Paleoenvironmental Interpretation Based on Lithotype and Macerals Variations from Ritan's Lignite, Upper Kutai Basin, East Kalimantan, *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 6, p.155-162.
- Dwiantoro, M., 2016, Optical Properties of Some Tertiary Coals from Kutai Basin, Indonesia: Their Depositional Environments and Hydrocarbon Potential. *Jurnal Geologi Pertambangan*. Vol. 2, No.20, p.26-36.
- ISO 7404 part 1 (1994): Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and antracite – Part 1: Vocabulary. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 7404 part 2 (2009): Methods for the petrographic analysis of coals – Part 2: Methods of preparing coal samples, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 7404 part 5 (2009): Methods for the petrographic analysis of bituminous coal and Antracite – Part 5: Methods of determining microscopically the reflectance of vitrinite, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Santoso B., 2017, Petrographic Characteristics Of Selected Tertiary Coals From Western Indonesia According To Their Geological Aspects. e- ISSN 2527 8797, Vol.20, No.1, 2017.
- Satyana A.H., Nugroho D., Surantoko I., 1999, Tectonic Controls on the Hydrocarbon Habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basin, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major Dissimilarities in Adjoining Basins. *Journal of Asian earth Science*, Vol. 17, p.99-122.
- Satyana A.H., 2013, Gravity Tectonics in Indonesia: Petroleum Implication. *Prosiding Indonesian Petroleum Association*. IPA95-1.1-230,1-13.
- Thuzar Win, Amijaya D.H., Surjono S.S., Husein S., 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*, Article ID 571895, p.17
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/571895>.
- Widodo S., Betchel A., Anggayana K., and Puttman W., 2009. Distribution of Sulfur and Pyrite in Coal Seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): Implication for Paleoenvironmental Conditions. *International Journal of Coal Geology*, Vol.81, No.3, p.151-162.
- Widyanto, D., W., Djohor, D., S., Pramudito, H., Untung, 2014, Studi Penentuan Fasies Lingkungan Pengendapan Batubara dalam Pemanfaatan Potensi Gas Metana Batubara di daerah Balikpapan, Kalimantan Timur, Berdasarkan Analisa Proximate dan Petrografi, *MINDAGI*, Vol.8, No.2, p.23-36.
- Witts D., Davies L., Morley R.J., Anderson L., 2015, Neogen Feformation of East Kalimantan: A Regional Perspective. *Prosiding Indonesian Petroleum Association*.

Lampiran 1.

Tabel 3. Persentase kehadiran maseral pada batubara Formasi Pulubalang dan Balikpapan

No.	Formasi	Sampel	Te	Col	Vtr	Cldt	Tx	Crph	Den	Atr	Crp	Gel	Vitr
1	BPN	1	7,8	18,2	29,8	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	75,8
2		2	10,0	10,8	33,8	14,6	0,0	1,8	0,0	0,0	7,6	0,0	78,6
3		3	9,8	16,2	31,8	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	77,8
4		4	9,0	12,8	33,8	15,6	0,0	1,8	0,0	0,0	6,6	0,0	79,6
5	PBL	5	11,8	14,4	36,2	17,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	84,4
6		6	12,0	16,8	30,8	16,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	0,0	83,8
7		7	12,0	16,0	30,2	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	83,1

No.	Formasi	Sampel	Fu	Sf	Fg	Ma	Idt	Inert
1	BPN	1	0,4	4,6	3,4	0,8	2,4	11,6
2		2	0,0	4,4	4,2	0,4	1,4	10,4
3		3	0,4	6,6	3,4	0,8	2,4	13,6
4		4	0,0	5,8	4,2	0,4	1,4	11,8
5	PBL	5	0,0	0,6	0,4	0,0	1,2	2,2
6		6	0,0	0,4	0,6	0,0	0,4	1,4
7		7	0,0	0,8	0,4	0,2	0,4	1,8

Keterangan:

BPN (Balikpapan), PBL (pulubalang),
 Te (telinite), Col (collotelinite),
 Vtr (vitrodetrinite), Cldt (Colodetrinite),
 Tx (textinite), Crph (Corpohuminite)
 Den (Densinite), Atr (Atrinite),
 Crp(Corpogelinite), Gel (Gelinite),
 Vitr (Vitrinite), Sp (Sporinite), Cu (Cutinite),
 Sb (Suberinite), Re (Resinite), Al (Alginite),
 Ltd (Liptodetrinite), Lipt (Liptinite),
 Rv (Reflectance vitrinite),
 TPI (Tissue preservation Index),
 GI (Gelification Index)

No.	Formasi	Sampel	Sp	Cu	Sb	Re	Al	Ltd	Lipt	Σ	Rv(%)	TPI	GI
1	BPN	1	2,4	1,8	1,0	5,2	0,0	2,6	13,0	100	0,37	1,68	6,60
2		2	1,4	2,8	0,2	5,2	0,0	1,4	11,0	100	0,39	1,54	7,60
3		3	2,4	1,4	1,0	2,2	0,0	1,6	8,6	100	0,37	1,79	5,78
4		4	1,4	2,8	0,2	3,2	0,0	1,4	9,0	100	0,42	1,59	6,78
5	PBL	5	3,4	1,2	2,0	4,2	0,0	2,2	13,0	100	0,55	1,46	38,36
6		6	4,0	2,8	1,2	5,0	0,0	1,6	14,6	100	0,54	1,72	59,86
7		7	2,4	4,4	1,6	4,2	0,0	2,0	14,6	100	0,52	1,51	46,28