

KESESUAIAN BATUBARA LAPISAN D UNTUK PROSES GASIFIKASI BAWAH PERMUKAAN

Suitability of Coal Seam D for Underground Coal Gasification Processes

SILTI SALINITA^{1,2*}, ASEP B. PURNAMA^{2*}, YUYUN YUNIARDI^{1**}, NURDRAJAT^{1**} dan YOGA A. SENDJADJA^{1**}

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Dipati Ukur No. 35 Bandung

² BBPMB tekMIRA, Jl. Jend. Sudirman No. 623 Bandung,

e-mail korespondensi: silti.salinita@esdm.go.id

* Kontributor Utama, ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

Batubara lapisan D termasuk ke dalam Blok Suban Burung, Formasi Muara Enim, Subcekungan Palembang Tengah, Cekungan Sumatera Selatan, berumur Miosen Tengah sampai Miosen Akhir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kesesuaian karakteristik batubara dengan teknologi gasifikasi bawah permukaan (*underground coal gasification/UCG*). Penelitian ini dilakukan terhadap percontoh batubara lapisan D dari pengeboran pada kegiatan gasifikasi bawah permukaan dengan metode komposisi maseral untuk mengetahui karakteristik kegunaan batubara. Beberapa parameter kualitas batubara juga diujikan, yaitu nilai kalor, reflektan vitrinit, kandungan total sulfur, kandungan abu, kandungan air, titik leleh abu, kandungan abu ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), komposisi maseral (vitrinit, liptinit dan inertinit), kandungan zat terbang serta kandungan karbon dan hidrogen. Kesesuaian pemanfaatan batubara dan teknologi yang digunakan mengacu pada diagram Bielowicz. Selanjutnya untuk mendapatkan hubungan dengan kesesuaian penerapan UCG dilakukan pengujian parameter ketebalan dan kedalaman lapisan batubara. Dari hasil penelitian diketahui batubara lapisan D mempunyai karakteristik yang sesuai jika dimanfaatkan untuk pembakaran normatif dan gasifikasi dengan gasifier unggun tetap (*fixed bed gasifier*) yang secara proses hampir sama dengan proses gasifikasi batubara bawah permukaan. Ketebalan dan kedalaman batubara lapisan D sesuai untuk penerapan teknologi UCG.

Kata kunci: batubara lapisan D, karakteristik batubara, gasifikasi, UCG.

ABSTRACT

Coal seam D is part of the Suban Burung Block, Muara Enim Formation, Central Palembang Subbasin, South Sumatra Basin, and is dated to the Middle to Late Miocene. The aims of this study is to determine the suitability of coal characteristics for (UCG) technology. The research was conducted on coal samples from seam D obtained from drilling during Underground Coal Gasification activities that utilized using the maceral composition method for coal utilization. Several coal quality parameter were tested, including calorific value, vitrinite reflectance, total sulfur content, ash content, total moisture content, ash fusion temperature, alkali oxide content ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), maceral composition (vitrinite, liptinite, and inertinite), volatile matter content, as well as carbon and hydrogen content. Additionally, to assess its applicability for UCG, the parameters of coal seam thickness and depth were also considered. The study results indicate that the characteristics of coal seam D has suitable for normative combustion and gasification using a fixed bed gasifier, a process similar to underground coal gasification. The thickness and depth of coal seam D are suitable for the application of Underground Coal Gasification (UCG) technology.

Keywords: D seam coal, coal characteristics, gasification, UCG.

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang dominan digunakan di Indonesia, karena ketersediaan sumberdaya yang melimpah. Cadangan batubara Indonesia tahun 2022 teridentifikasi sebesar 35,05 miliar ton dengan sebaran terbesar berada di Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan (Dewan Energi Nasional, 2023). Sumberdaya batubara bawah permukaan pada Desember 2022 sebesar 502,58 juta ton dengan total cadangan 16,36 juta ton (Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, 2022). Sektor pertambangan merupakan salah satu sektor ekonomi yang memerlukan nilai investasi yang cukup besar di Indonesia. Biaya yang besar dibutuhkan untuk pelaksanaan kegiatan pertambangan mulai dari penyelidikan umum, eksplorasi, konstruksi hingga operasi (Rosyid, 2020).

Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara yang berwujud padat menjadi campuran gas yang memiliki nilai bakar. Teknologi gasifikasi batubara bisa dilakukan di permukaan dan juga dibawah permukaan secara insitu yang dikenal dengan *Underground Coal Gasification/UCG* (Triantoro, Mustofa dan Riswan, 2013). Teknologi UCG merupakan teknologi yang dapat meningkatkan nilai batubara. UCG dapat diaplikasikan untuk pembangkit listrik, pemanasan, dan industri kimia (Anggara dkk., 2022).

Di Cina penerapan gasifikasi batubara dianggap sebagai teknologi yang menjanjikan dan dapat memenuhi kebutuhan energi dan perubahan iklim (Wahid, Mustafida dan Husnil, 2020). Gasifikasi batubara terbagi kedalam tiga tipe yaitu: *fixed bed*, *fluidized bed* dan *entrained flow*. Proses UCG dapat dianalogikan dengan proses gasifier unggun tetap (*fixed bed gasifier*), yaitu memanfaatkan batuan pengapit batubara sebagai reaktor. Teknologi ini memanfaatkan batubara kalori rendah (*low rank coal*) yang relatif lebih mudah digasifikasi dibandingkan dengan batubara kalori tinggi (Dincer, Rosen dan Khalid, 2018). Pemanfaatan batubara peringkat rendah dapat dikembangkan untuk memproduksi gas dimetil eter (DME) yang bisa menggantikan *liquefied petroleum gas* (LPG) melalui proses gasifikasi batubara (Afin dan Kiono, 2021).

Teknologi UCG diharapkan menjadi salah satu solusi dalam permasalahan pemanfaatan batubara tanpa perlu melakukan penambangan dengan cara konvensional yang hanya dapat mengeksploitasi sekitar 15-20% dari 18 triliun ton cadangan batubara dunia serta mencukupi kebutuhan batubara sampai 150 tahun ke depan (Self, Reddy dan Rosen, 2012). Potensi pemanfaatan batubara peringkat rendah di Indonesia sangat besar (Otoshi, Sasaki dan Anggara, 2022), mengingat hampir seluruh batubara di Indonesia termasuk batubara Tersier (Neogen dan Paleogen) yang kaya akan kandungan vitrinit dan mempunyai kalori rendah kecuali di beberapa daerah yang terkena pengaruh intrusi batuan beku seperti batubara di Bukit Asam, Tanjung Enim yang mempunyai kalori tinggi (antrasit) (Santoso, 2015, 2017; Susilawati dkk., 2015; Friederich dan van Leeuwen, 2017) dan sebagian batubara di Kalimantan Timur akibat pengaruh struktur geologi di daerah Samarinda bagian utara dan Sangata dengan peringkat batubara bituminus.

Beberapa penelitian terdahulu yang membahas karakteristik batubara untuk proses UCG berdasarkan beberapa aspek, seperti nilai kalor, nilai reflektan vitrinit, proksimat serta secara parsial masih mengkategorikan batubara lignit sampai subbituminus sangat cocok untuk proses UCG (Imran dkk., 2014; Khadse, 2015; Purnama dkk., 2017a; Fachier, 2020; Kurniawan, Nalendra dan Gandapradana, 2020; Akbar, Guntoro dan Ulfa, 2022). Penelitian lain menyarankan perlunya kajian terkait kedalaman, ketebalan, kualitas, kondisi struktur dan lapisan penutup batubara, serta jenis batubara bituminus untuk proses UCG (Santoso, 2015). UCG akan lebih efektif diterapkan pada batubara peringkat rendah karena cenderung menyusut saat dipanaskan, sehingga meningkatkan permeabilitas yang bermanfaat dalam proses konektivitas antara dua lubang bor (Burton, Upadhye dan Friedmann, 2019). Oleh karena itu, batubara yang efektif untuk proses gasifikasi dengan metode UCG adalah lignit hingga sub-bituminus. Lokasi yang direkomendasikan untuk eksplorasi UCG sebaiknya memiliki struktur geologi sederhana yang tidak ada patahan besar yang dapat memengaruhi lapisan batubara secara langsung (Bielowicz dan Kasiński, 2014). Lebih baik lagi jika struktur batubara berbentuk lipatan sinklin (Dwitama, Ramdhani dan Ulfa, 2021).

Penelitian Purnama dkk. (2017) menyebutkan bahwa batubara lapisan D mempunyai kadar air total dan kadar abu <60%; nilai kalor 4.912 sampai dengan 6.275 kkal/kg; reflektansi vitrinit 0,23 - 0,44 (lignit-subbituminus) dengan ketebalan lebih dari 5 m dan berada pada kedalaman antara 200-300 m, dengan sumberdaya terukur sebesar 2,47 juta ton, tertunjuk 1,9 juta ton dan tereka 3,31 juta ton. Batubara lapisan D ini diendapkan pada lingkungan pengendapan limnik dengan maseral yang mendominasi berupa vitrinit yaitu sekitar 71% (Purnama dkk., 2018).

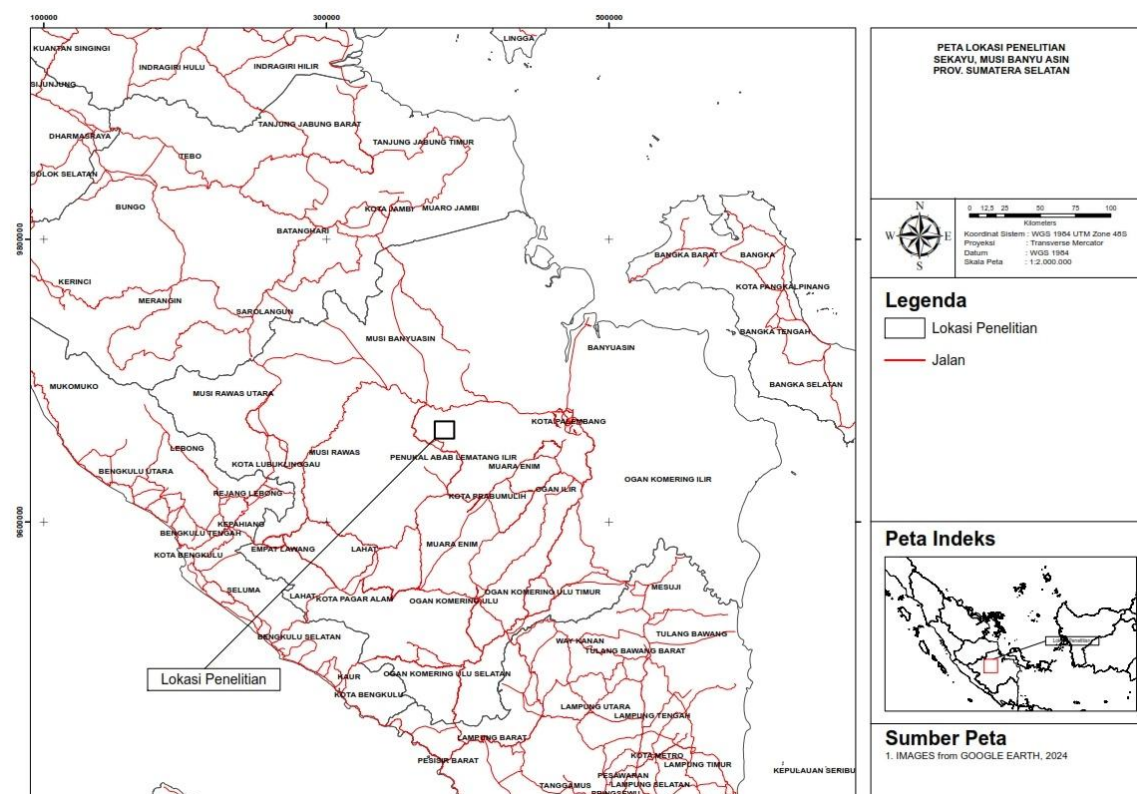
Studi ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian karakteristik batubara lapisan D dengan teknologi pemanfaatannya, dikaji dari komposisi maseral (vitrinit, liptinit dan inertinit), serta parameter kualitas batubara antara lain: nilai kalor, reflektan vitrinit, kandungan total sulfur, kandungan abu, kandungan air total (*total moisture*), titik leleh abu, kandungan abu

($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), kandungan zat terbang, serta kandungan karbon dan hidrogen. Karakteristik manfaat/kegunaan batubara berdasarkan komposisi maseralnya mengacu pada diagram kegunaan batubara, sedangkan kesesuaian karakteristik batubara dengan teknologi pemanfaatannya mengacu pada diagram Bielowicz.. Adapun ketebalan serta posisi kedalaman perlu dikaji pula sebagai parameter tambahan terkait pemanfaatan batubara menggunakan teknologi UCG.

Daerah penelitian berada di Desa Macang Sakti, Kecamatan Sanga Desa, Kabupaten Musi Banyuasin (Gambar 1).

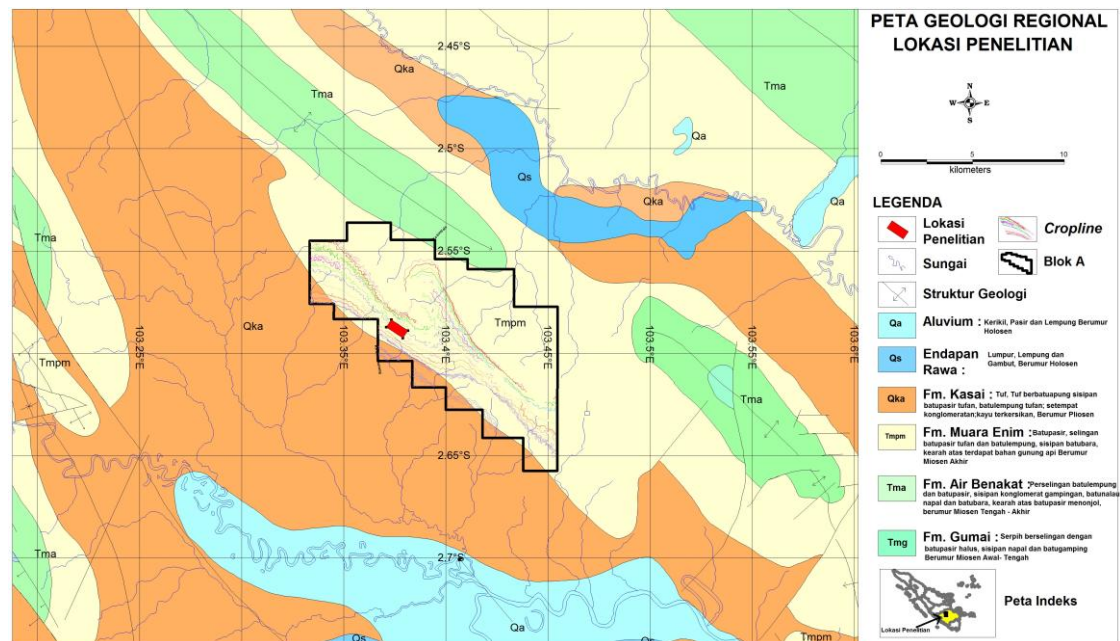
Geologi Regional

Secara regional daerah penelitian masuk kedalam Peta Geologi Lembar Sarolangun (Suwarna dkk., 1992). Daerah penelitian terletak dalam Blok Suban Burung (Gambar 2).



Sumber: Modifikasi dari Google Earth (2024)

Gambar 1. Lokasi penelitian



Sumber: Modifikasi dari Suwarna dkk. (1992)

Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian

Daerah ini mempunyai morfologi yang cukup bergelombang dengan elevasi sekitar 74-81 m diatas permukaan laut. Berdasarkan peta geologi regional, daerah penelitian berada pada Cekungan Sumatera Selatan yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik pergerakan lempeng kerak bumi, yakni Lempeng Eurasia dan Lempeng Samudra Hindia (Darman dan Sidi, 2000). Interaksi kedua lempeng ini mengakibatkan deformasi yang sangat kuat pada kompleks batuan berumur Mesozoikum dan Paleozoikum sepanjang Pegunungan Barisan yang terletak agak sisi barat Sumatera. Di sebelah timur pegunungan tersebut, pada sisi barat Paparan Sunda berderet cekungan tersier yang berkembang, salah satunya adalah Cekungan Sumatera Selatan.

Siklus sedimentasi yang berkembang pada Cekungan Sumatera Selatan pada daerah rawa yang sangat luas dan batubara terbentuk pada lingkungan paralik-limnik dan airpayau Kerangka tektonik Cekungan Sumatera Selatan terdiri atas Paparan Sunda di sebelah timur dan jalur tektonik Bukit Barisan di sebelah barat. Daerah cekungan ini dibatasi oleh Cekungan Jawa Barat dan Tinggian Lampung. Cekungan Sumatera Selatan dan Cekungan Sumatera Tengah merupakan satu cekungan besar yang dipisahkan oleh Pegunungan Tigapuluh. Cekungan-cekungan ini terbentuk akibat

adanya pergerakan ulang sesar bongkah pada batuan Pra-Tersier serta diikuti oleh kegiatan vulkanik. Daerah Cekungan Sumatera Selatan dibagi menjadi depresi Jambi di utara, Subcekungan Palembang Utara, Subcekungan Palembang Tengah dan Subcekungan Palembang Selatan atau Depresi Lematang, masing-masing dipisahkan oleh tinggian batuan dasar.

Di daerah Sumatera Selatan terdapat tiga antiklinorium utama, dari selatan ke utara: Antiklinorium Muara Enim, Antiklinorium Pendopo Benakat dan Antiklinorium Palembang. Struktur geologi yang berkembang akibat gaya tegasan yang bekerja dengan arah barat daya-timur laut membentuk lipatan dan sesar. Struktur lipatan membentuk antiklinorium Pendopo-Benakat. Jurus umum masing-masing antiklin dan sinklin berarah barat laut-tenggara yang sesuai dengan arah memanjang Sumatera (Gambar 2).

Stratigrafi Regional

Sedimentasi di Cekungan Sumatera Selatan berlangsung menerus selama Zaman Tersier disertai dengan penurunan dasar cekungan hingga ketebalan sedimen mencapai 600 m. Siklus pengendapan di Cekungan Sumatera Selatan terbagi dalam dua fase, yaitu:

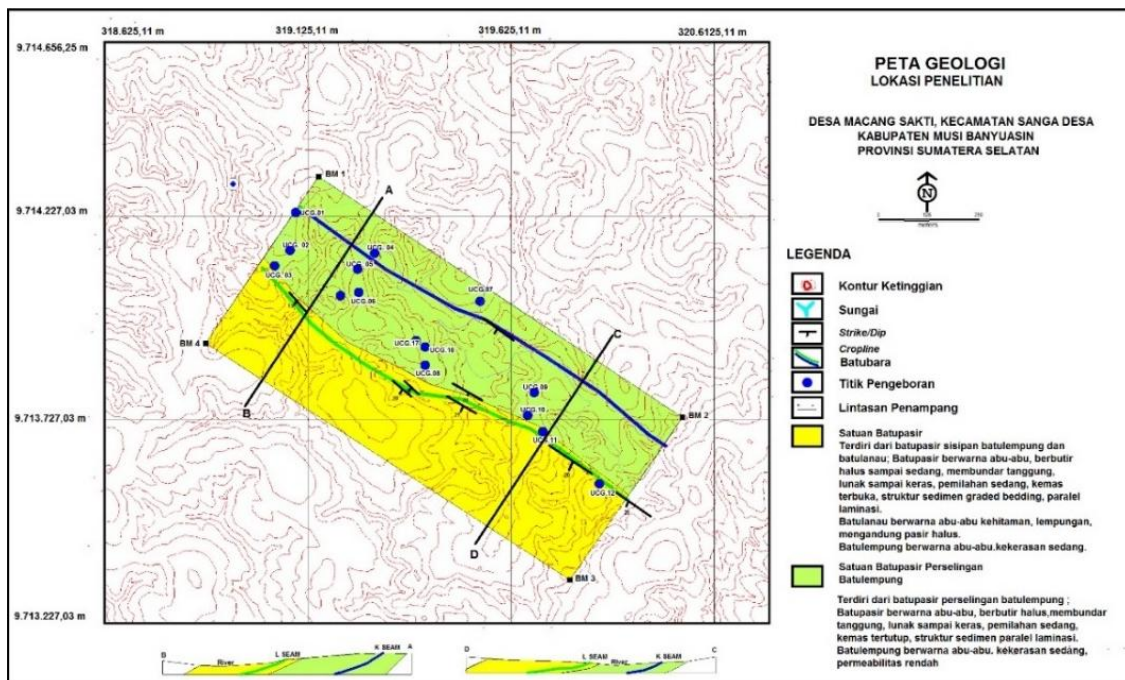
- 1 Fase transgresif, menghasilkan endapan Kelompok Telisa yang terdiri atas Formasi Lahat, Talang Akar, Baturaja dan Gumai. Kelompok Telisa ini diendapkan tidak selaras di atas batuan dasar berumur Pra-Tersier.
- 2 Fase regresif, menghasilkan endapan Kelompok Palembang yang terdiri atas Formasi Air Benakat, Muara Enim dan Kasai, sedimentasi yang terjadi selama Tersier berlangsung pada lingkungan laut setengah tertutup.

Pada fase transgresif terbentuk urutan fasies darat-transisi-laut dangkal, sedangkan pada fase regresif terbentuk urutan sebaliknya, yaitu laut dangkal-transisi-darat. Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan dapat dikenal satu daur besar yang terdiri atas suatu transgresi yang diikuti regresi. Endapan Tersier pada cekungan ini, dari tua ke muda terdiri atas Formasi Lahat, Talang Akar, Baturaja, Gumai dan Air Benakat. Batuan dan endapan batubara yang termasuk kedalam Formasi Muara Enim memiliki siklus pengendapan regresif.

Geologi Lokal

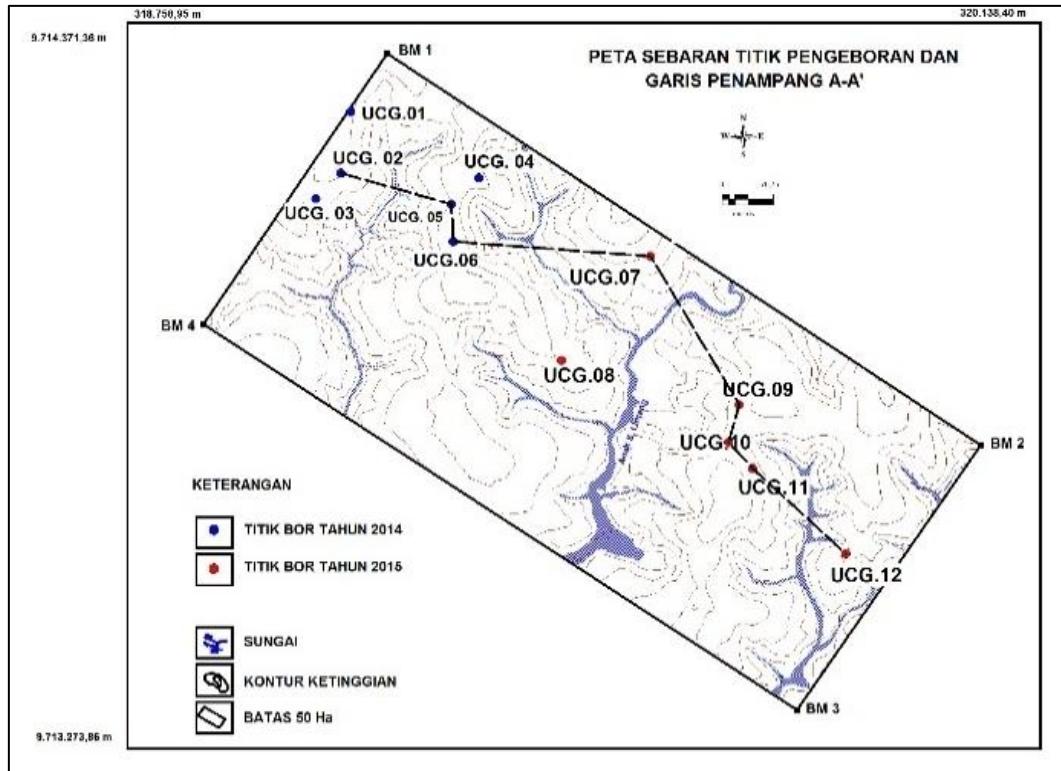
Lokasi penelitian termasuk kedalam subcekungan Palembang Tengah, berada pada daerah perbukitan bergelombang berkemiringan 3-15% (Syufra, Ibrahim dan Fatimah, 2000) dengan batuan penyusun terdiri atas sedimen klastik yang terbagi kedalam dua satuan batuan, yaitu Satuan Batupasir dan Satuan Batupasir Perselingan Batulempung (Gambar 3).

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi penyebaran batubara lapisan relatif menerus, terjadi penebalan dan penipisan batubara. Arah penyebarannya relatif barat-laut-tenggara dengan kemiringan lapisan kearah baratdaya ($N120^{\circ}E/20^{\circ}$). Di lokasi penelitian didapatkan singkapan batubara lapisan L dan batubara lapisan K dengan lebar singkapan 1 m, sedangkan batubara lapisan D ditemukan disebelah utara lokasi penelitian dengan lebar singkapan 34 m. Dari hasil pengeboran sedikitnya didapatkan lima lapisan utama batubara, yaitu L, K, J, F dan D (Gambar 4 dan 5). Batubara yang diteliti adalah batubara lapisan D dengan kondisi batubara berwarna hitam kekusaman, terdapat cleat, belah sampai belah konkoidal, dan terdapat damar.

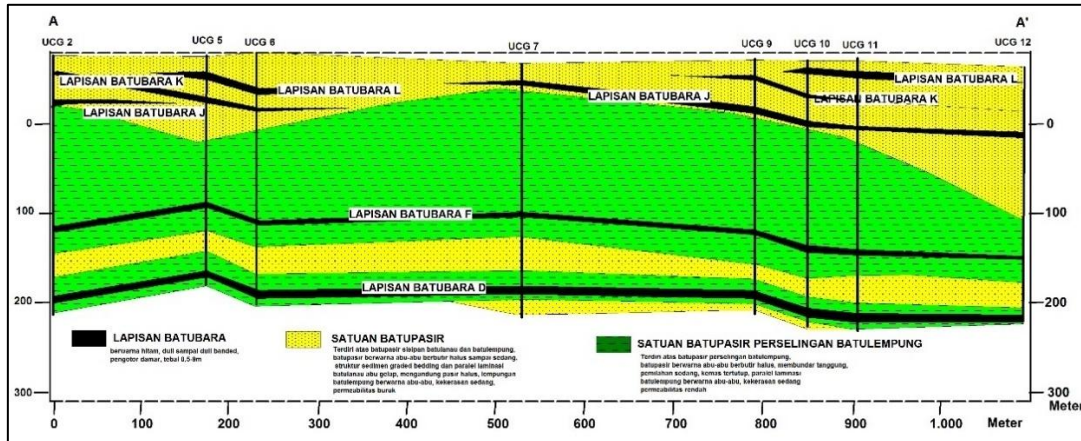


Sumber: modifikasi dari Purnama dkk. (2018)

Gambar 3. Peta geologi lokal daerah penelitian



Gambar 4. Peta sebaran titik dan garis penampang



Gambar 5. Peta penampang A-A'

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis kuantitatif dan kualitatif terdiri dari analisis petrografi batubara dengan mengamati maseral percontoh batubara berbentuk sayatan poles di bawah mikroskop sinar pantul yang dilengkapi dengan sinar fluorecent dan mesin penghitung untuk perhitungan kuantitatif petrografi batubara.

Analisis petrografi batubara dilakukan pada 500 titik pengamatan menggunakan mesin penghitung yang dihubungkan dengan mikroskop. Lintasan pengamatan dilakukan dari atas ke bawah pada sayatan poles dengan panjang langkah pengamatan 0,5 mm. Berdasarkan perhitungan dan pengamatan tersebut, persentase volume setiap maseral dan mineral dapat dihitung, sehingga diperoleh

persentase komposisi maseral untuk penentuan kandungan maseral yang bisa dimanfaatkan dengan memasukkan kedalam diagram kegunaan batubara.

Selain itu juga dilakukan analisis reflektansi vitrinit pada masing-masing percontoh sebanyak 30 kali untuk mengetahui nilai reflektansi maksimum rata-rata, sehingga dapat diketahui tingkat kematangan batubara tersebut. Analisis reflektansi vitrinit adalah analisis untuk menentukan besarnya intensitas sinar yang dipantulkan kembali oleh maseral vitrinit. Peningkatan besaran intensitas ini bersifat progresif dengan meningkatnya pembatubaraan, sehingga dapat digunakan sebagai parameter tingkat kematangan (peringkat) suatu lapisan batubara.

Pengukuran reflektansi vitrinit dilakukan di bawah minyak imersi (*immersion oil*) yang memiliki indeks refraksi 1,52 pada panjang gelombang 546 nm dan temperatur 23°C. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, digunakan standar reflektansi yang diketahui. Dalam penelitian ini standar reflektansi yang dipergunakan adalah spinel sintetik dengan besaran reflektansi 0,586%. Pengukuran standar reflektansi dilakukan sebelum pengukuran reflektansi vitrinit (Tabel 1) (ASTM International, 2009).

Tabel 1. Hubungan nilai reflektan vitrinit dan peringkat batubara

Rv max (%)	Peringkat batubara
<0,2	gambut
0,2-0,35	<i>brown coal</i> /lignit
0,35-0,70	subbituminus
0,70-1,10	bituminus zat terbang tinggi
1,10-1,50	bituminus zat terbang menengah
1,50-1,90	bituminus zat terbang rendah
1,90-2,20	semi-antrasit
> 2,20	antrasit

Sumber: ASTM International (2009)

Tabel 2. Komposisi maseral batubara lapisan D

Grup Maseral	UCG 2	UCG 5	UCG 6	UCG 7	UCG 9	UCG 11	UCG 12
Vitrinit	73	66	68,2	73	64	74	74,267
Liptinit	8	14	8,93	3,4	6	5,3	3,63
Inertinit	14	15	17,73	20	17	16	18,667
Mineral	6,2	6	6,84	3,8	15	5,2	4,01

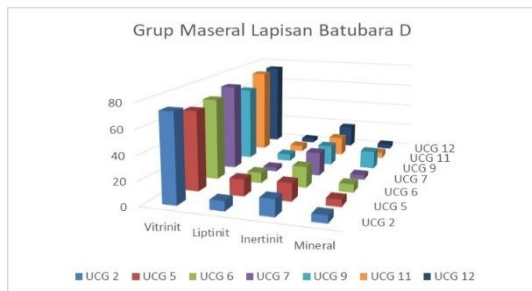
Selain itu juga dilakukan analisis kimia, baik proksimat maupun ultimat, untuk mengetahui kualitas batubara. Hasil analisis tersebut dicocokkan dengan diagram kesesuaian penggunaan batubara dan klasifikasi teknologi untuk batubara peringkat rendah (Bielowicz, 2012).

Bielowicz (2012) menyebutkan bahwa klasifikasi kesesuaian pemanfaatan batubara peringkat rendah dilakukan berdasarkan parameter seperti nilai kalor, kandungan total sulfur, kandungan abu, kandungan air total, titik leleh abu, komposisi abu ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), komposisi maseral (vitrinit, liptinit dan inertinit), kandungan zat terbang, serta kandungan karbon dan hidrogen. Dari parameter di atas dapat ditentukan kesesuaian teknologi untuk batubara tersebut, dan untuk memudahkan klasifikasi dibuat klasifikasi kesesuaian pemanfaatan batubara berdasarkan tiga kondisi parameter, yaitu kandungan abu (*grade/kualitas*), peringkat (*rank*) dan jenis (*type*) (Bielowicz, 2012, 2013; Bielowicz dan Kasiński, 2015). Parameter tersebut berguna untuk mengetahui kesesuaian pemanfaatan batubara yang dibedakan menjadi tiga yaitu untuk pembakaran, gasifikasi dan pencairan batubara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Maseral

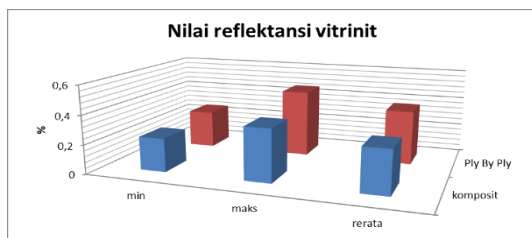
Hasil analisis maseral pada tujuh percontoh batubara lapisan D yang diuji menunjukkan adanya kemiripan komposisi maseral. Maseral vitrinit sebagai grup maseral yang dominan ditemukan yaitu antara 64-74,26%, dengan rata-rata 70,35%; sedangkan maseral lain ditemukan dalam jumlah kecil adalah inertinit (antara 14-20%, rata-rata 16,91%); maseral liptinit (antara 3.4-14%, rata-rata 7,03%); sisanya berupa mineral dengan rata-rata 6,7%. Komposisi maseral tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.



Gambar 6. Komposisi maseral batubara lapisan D

Analisis reflektansi vitrinit

Analisis reflektansi vitrinit dilakukan pada batubara lapisan D di tujuh set percontoh: lubang bor komposit (UCG 2, UCG 5, UCG 6) dan percontoh perlapisan (UCG 7, UCG 9, UCG 11, UCG 12). Berdasarkan hasil analisis reflektansi vitrinit, batubara lapisan D untuk percontoh komposit mempunyai rentang reflektansi vitrinit antara 0,23 -0,36 % dengan nilai rata-rata 0,29 % sedangkan untuk percontoh per lapisan (*ply by ply*) mempunyai rentang antara 0,26%-0,46 % dengan nilai rata-rata 0,37%, sehingga dapat ditarik kesimpulan berdasarkan klasifikasi ASTM (2009) batubara lapisan D mempunyai peringkat kematangan batubara lignit sampai subbituminus (Gambar 7).



Gambar 7. Nilai reflektansi vitrinit batubara lapisan D

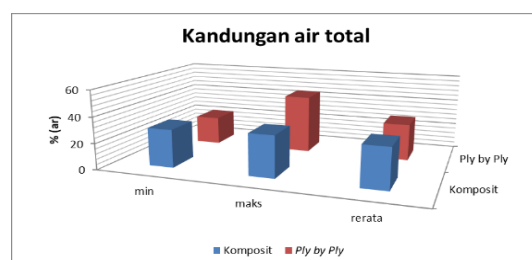
Selain itu parameter pengujian dalam menentukan karakteristik batubara berkaitan erat dengan kualitas batubara seperti parameter uji proksimat, ultimat dan nilai kalor, parameter uji tersebut sangat erat kaitannya dengan aplikasi penggunaan batubara untuk gasifikasi bawah permukaan. Uji kualitas batubara lapisan D dilakukan pada percontoh

UCG 2, UCG 5 dan UCG 6 secara komposit pada tiga bagian yaitu bagian atas, tengah dan bawah, sedangkan pada percontoh UCG 7, UCG 9, UCG 11 dan UCG 12 dilakukan analisis percontoh per lapisan setiap 1,5 m, hal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas batubara secara vertikal di batubara lapisan D. Dari hasil analisis kualitas secara komposit dan per lapisan didapatkan kualitas proksimat, ultimat, nilai kalor dan total sulfur pada beberapa titik sampling pengeboran UCG. Hasil analisis proksimat dan ultimat secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

Analisis Proksimat

Kadar air

Kadar air dalam batubara dapat terbentuk dalam dua jenis yaitu kelembaban permukaan (bebas) dan kelembaban *inherent* (higroskopis, dekomposisi dan mineral). Kandungan yang diuji adalah nilai rata-rata kandungan air total (*total moisture*) batubara lapisan D dari percontoh komposit sekitar 30,75%, nilai minimal 29,19% nilai maksimal 31,8%, sedangkan nilai rata-rata kandungan air total dari percontoh per lapisan adalah 28,15% dengan nilai minimal 21,9 % dan nilai maksimal 44,6%, (Gambar 8). Tingginya nilai kandungan air merupakan indikasi awal bahwa batubara lapisan ini merupakan batubara peringkat rendah. Melihat kondisi batubara yang memiliki kandungan air lembab yang cukup tinggi, maka diperlukan energi tambahan berupa kompresor tekanan udara yang lebih besar untuk dapat mengurangi dan membuang air lembab tersebut dalam proses gasifikasi batubara bawah permukaan.



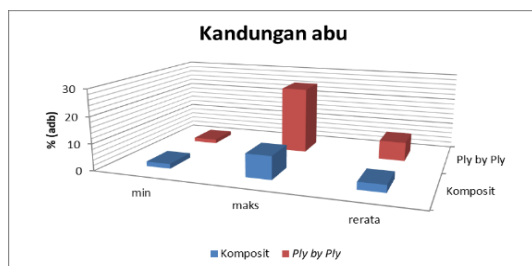
Gambar 8. Kandungan air total batubara lapisan D.

Tabel 3. Hasil uji proksimat dan ultimat batubara lapisan D

Analisis	Komposit			Per lapisan (<i>ply by ply</i>)		
	min	maks	rata-rata	min	maks	rata-rata
Proksimat	UCG 2, 5 dan 6			UCG 7, 9, 11 dan 12		
Kandungan air total (% , ar)	29,19	31,8	30,75	21,9	44,6	28,15
Abu (% , adb)	1,77	8,65	2,79	1,53	25,16	7,15
Zat terbang (% , adb)	36,58	41,68	39,58	31,96	41,66	37,72
Karbon tertambat (% , adb)	32,75	44,68	41,04	30,31	43,1	39,29
Nilai Kalor (cal/g, adb)	4,912	6,275	5,845	4,410	6,100	5,577
Ultimat						
Karbon (% , adb)	53,12	65,52	61,87	45,61	62,61	57,64
Hidrogen (% , adb)	6,50	7,33	6,77	4,67	6,8	5,96
Nitrogen (% , adb)	1,15	1,26	1,20	0,9	6,16	1,28
Total sulfur (% , adb)	0,08	0,26	0,19	0,09	0,89	0,25
Oksigen (% , adb)	24,24	31,77	27,16	22,86	32,66	27,80

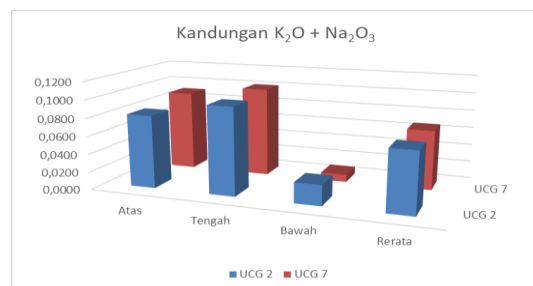
Abu batubara

Kandungan abu batubara adalah komponen inorganik yang tidak terbakar ketika batubara dibakar dengan oksigen melimpah. Dari hasil analisis kandungan abu batubara lapisan D dari percontoh komposit (UCG 2, 5 dan 7) mempunyai nilai rata-rata 2,79% dengan nilai minimal 1,77% dan maksimal 8,65%, sedangkan kandungan abu dari percontoh per lapisan (UCG 7, 9, 11 dan 12) mempunyai nilai rata-rata 7,15% dengan nilai minimal 1,53% dan maksimal 25,16% (Gambar 9).



Gambar 9. Kandungan abu batubara lapisan D

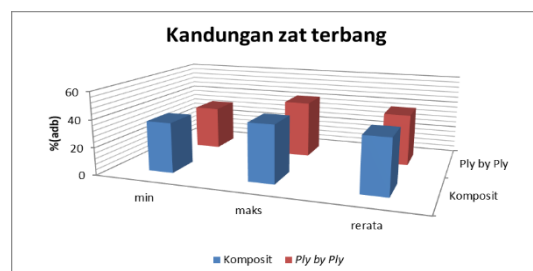
sekitar 900°C, dengan kondisi oksigen terbatas kecuali kandungan air. Senyawa ini terbebas dari senyawa organik atau mineral dalam batubara. Kandungan zat terbang batubara lapisan D dari percontoh komposit (UCG 2, 5 dan 7) mempunyai nilai rata-rata 39,58% dengan nilai minimal 36,58% dan nilai maksimal 41,68%, sedangkan kandungan zat terbang dari percontoh per lapisan (UCG 7, 9, 11 dan 12) mempunyai nilai rata-rata 37,72% dengan nilai minimal 31,96% dan nilai maksimal 41,66% (Gambar 11).

Gambar 10. Kandungan Na₂O + K₂O dalam abu batubara lapisan D

Selain itu diuji juga komposisi dalam abu batubara untuk mengetahui potensi penyebab kerak yang dihasilkan oleh pembakaran batubara seperti kandungan alkali (Na₂O + K₂O), dari hasil analisis kandungan alkali batubara lapisan D masih jauh di bawah 0,5%, sehingga aman untuk digunakan (Gambar 10).

Zat terbang

Selanjutnya kandungan zat terbang adalah material yang terdapat dalam batubara dan merupakan komponen yang terbebaskan (hilang) apabila dipanaskan pada suhu tinggi



Gambar 11. Kandungan zat terbang batubara lapisan D

Karbon tertambat

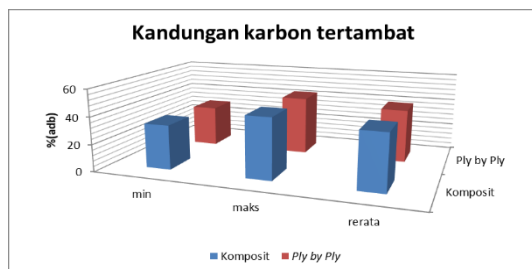
Kandungan karbon tertambat merupakan komponen karbon dalam batubara saat kandungan zat terbang sudah terlepas. Nilai karbon tertambat merupakan hasil perhitungan dari persamaan:

$$FC = 100\% - (TM + VM + AC)$$

Keterangan:

FC : karbon tertambat (*fixed carbon*)
 TM : kandungan air total (*total moisture*)
 VM : zat terbang (*volatile matter*)
 AC : kandungan abu (*ash content*)

Kandungan karbon tertambat dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 41,04% dengan nilai minimal 32,75% dan nilai maksimal 44,68%, sedangkan kandungan karbon tertambat dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 39,28% dengan nilai minimal 30,31% dan maksimal 43,1% (Gambar 12).



Gambar 12. Kandungan karbon tertambat batubara lapisan D

Nilai kalor

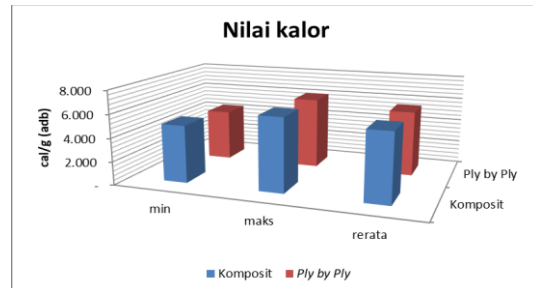
Nilai kalor batubara lapisan D dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 5.845 cal/g dengan nilai minimal 4.912 cal/g dan nilai maksimal 6.275 cal/g, sedangkan nilai kalori batubara lapisan D dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 5.577 cal/g dengan nilai minimal 4.410 cal/g dan nilai maksimal 6.100 cal/g (Gambar 13).

Analisis Ultimat

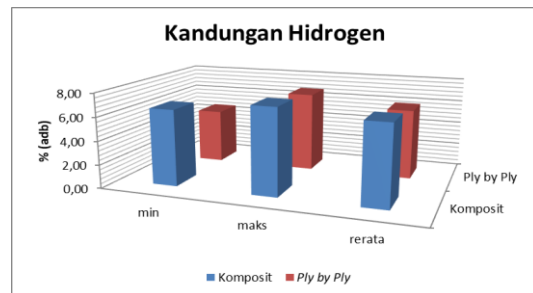
Hidrogen

Kandungan unsur hidrogen batubara lapisan D dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 6,77% dengan nilai minimal 6,5% dan

nilai maksimal 7,33%. Kandungan unsur hidrogen dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 5,96% dengan nilai minimal 4,67% dan nilai maksimal 6,8% (Gambar 14).



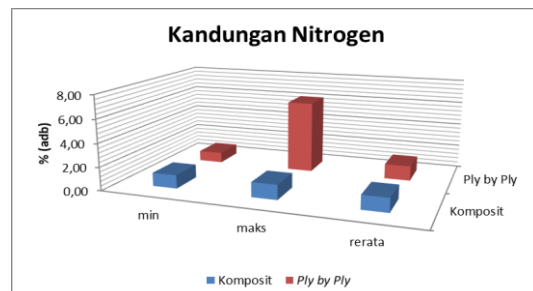
Gambar 13. Nilai kalor batubara lapisan D



Gambar 14. Kandungan hidrogen batubara lapisan D

Nitrogen

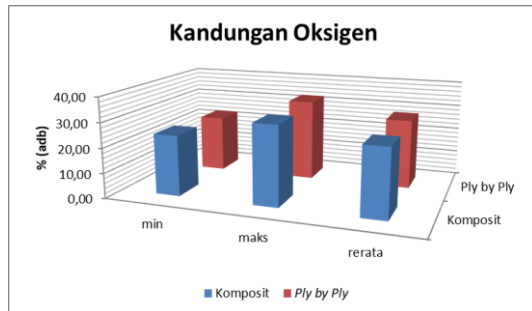
Kandungan unsur nitrogen batubara lapisan D dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 1,2% dengan nilai minimal 1,15% dan nilai maksimal 1,26%. Kandungan unsur nitrogen dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 1,28% dengan nilai minimal 0,9% dan nilai maksimal 6,16% (Gambar 15).



Gambar 15. Kandungan nitrogen batubara lapisan D

Oksigen

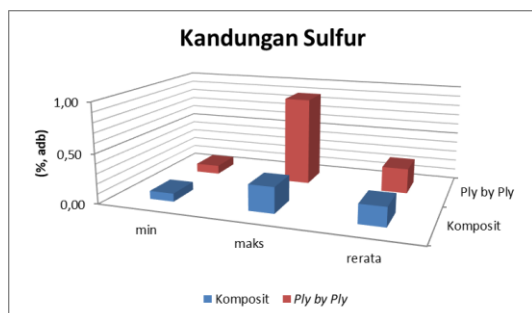
Kandungan unsur oksigen batubara lapisan D dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 27,16% dengan nilai minimal 27,16% dan nilai maksimal 31,77%. Kandungan unsur oksigen dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 27,8% dengan nilai minimal 22,86% dan nilai maksimal 32,66% (Gambar 16)



Gambar 16. Kandungan Oksigen Batubara lapisan D

Total sulfur

Kandungan total sulfur batubara lapisan D dari percontoh komposit mempunyai nilai rata-rata 0,19% dengan nilai minimal 0,08% dan nilai maksimal 0,26%, sedangkan kandungan total sulfur dari percontoh per lapisan mempunyai nilai rata-rata 0,25% dengan nilai minimal 0,19% dan nilai maksimal 0,89% (Gambar 17).

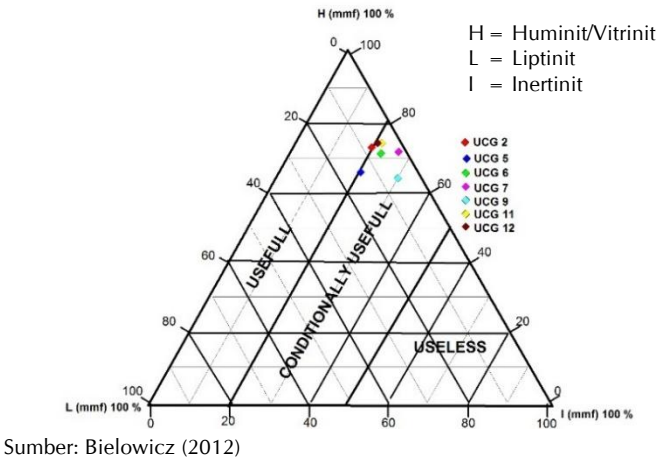


Gambar 17. Kandungan sulfur batubara lapisan D

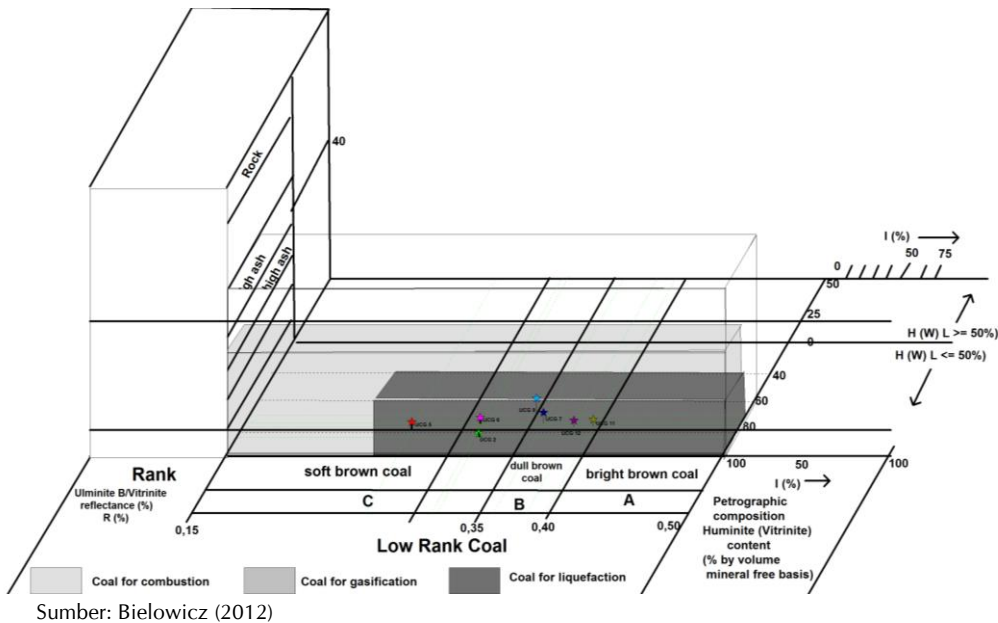
Berdasarkan hasil analisis beberapa parameter uji pada batubara lapisan D yang telah dijelaskan di atas dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

- 1 Berdasarkan kualitas, kandungan abu batubara sebesar 2,79% (adb) atau setara dengan 3,1% (db) untuk percontoh komposit dan 7,15% (adb) atau setara dengan 8,5 % (db) untuk percontoh per lapisan, sehingga dikategorikan sebagai batubara kandungan abu rendah (*low ash*);
- 2 Berdasarkan nilai peringkat dengan reflektansi vitrinit, sebesar 0,29% untuk percontoh komposit dan 0,37% untuk percontoh per lapisan atau dikategorikan batubara lignit sampai subbituminus atau berdasarkan diagram Bielowicz (2012) sebagai *soft brown coal* sampai *dull brown coal*;
- 3 Berdasarkan nilai kandungan maseral, kandungan maseral vitrinit dan liptinit 77,4%, serta inertinit 17%, sehingga termasuk dalam kategori *moderately high vitrinite*;
- 4 Nilai kalor batubara rata-rata berkisar antara 5.577 cal/g setara dengan 23,35 MJ/Kg untuk percontoh komposit dan 5.845 cal/g setara dengan 24.47 MJ/Kg untuk percontoh per lapisan;
- 5 Kandungan total sulfur mempunyai nilai rata-rata 0,19% untuk percontoh komposit dan 0,25% untuk percontoh per lapisan;
- 6 Kandungan air total mempunyai nilai rata-rata 28,15% untuk percontoh komposit dan 30,75% untuk percontoh per lapisan;
- 7 Nilai titik leleh abu pada percontoh UCG 11 adalah sebesar 1.223°C pada kondisi reduksi, sedangkan pada kondisi oksidasi sebesar 1.234°C;
- 8 Kandungan nilai $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ kurang dari 0,5%;
- 9 Kandungan unsur karbon mempunyai nilai rata-rata 57,64% dan 61,87%; dan
- 10 Kandungan unsur hidrogen mempunyai nilai rata-rata 5,96% dengan nilai maksimal 6,77%.

Dari kondisi parameter tersebut, kemudian diplotkan pada diagram kegunaan batubara (Gambar 19) dan diagram jenis pemanfaatan batubara (Gambar 20) serta pengklasifikasian teknologi untuk batubara peringkat rendah serta ketentuan pada Tabel 4, disimpulkan bahwa batubara lapisan D secara umum sangat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pembakaran normatif dan gasifikasi dengan gasifier unggun tetap yang secara proses hampir sama dengan proses UCG.



Gambar 19. Diagram kegunaan batubara berdasarkan nilai maseral



Gambar 20. Kesesuaian penggunaan batubara

Tabel 4. Klasifikasi teknologi untuk batubara peringkat rendah berdasarkan Bielowicz (2012)

Tipe Batubara	Batubara untuk pembakaran		Batubara untuk gasifikasi			Batubara untuk pencairan	
Diskriminan jenis sub tipe batubara	normatif	tidak normatif	gasifier unggun tetap	gasifier unggun terfluidisasi	gasifier terdispersi	pencairan langsung	pencairan tidak langsung
Diskriminan subtype							
Parameter							
Nilai Kalor Bersih	> 6.5 MJ/Kg	> 6.5 MJ/Kg					
Kandungan Total Sulfur	< 2%	< 2%					
Kandungan Abu	< 40%	> 40%	< 25%				
Kandungan Air Total	+++	+++					
Komposisi							
Na ₂ O + K ₂ O	< 0.5%	< 0.5%					
Komposisi Petrografi			L + W/H > 80% I < 20%	L + W/H > 80% I < 20%	L + W/H > 80% I < 20%	L + W/H > 70% I < 10%	L + W/H > 80% I < 20%
Lengas			+++	+++	+++	> 30%	++
Suhu Leleh Abu	+++	+++	> 1200°C	> 1100°C	< 1300°C		+++
Kandungan Karbon						60-85%	
Kandungan Hidrogen						> 4.5%	

Keterangan:
nd-tidak menentukan +++ parameter penting
Jika S > 2%-batubara sulfat, karakteristik sistem desulfurisasi gas buang, diperlukan

KESIMPULAN

Batubara lapisan D mempunyai karakteristik sangat bermanfaat dan dapat digunakan untuk proses pembakaran dan gasifikasi unggun tetap yang secara proses hampir sama dengan proses gasifikasi batubara bawah permukaan (UCG), selain itu juga didukung dengan kondisi ketebalan dan kedalamannya sesuai untuk penerapan teknologi UCG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMIRA yang telah memberikan dukungan penuh atas terlaksananya kegiatan penelitian UCG ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dr. Asep Bahtiar Purnama, S.T., M.T. yang telah membimbing penulis serta kepada rekan-rekan di laboratorium batubara yang telah membantu menganalisis batubara secara cermat. Tidak lupa juga kepada seluruh tim kegiatan penelitian di lapangan, atas kerja kerasnya dalam menyelesaikan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Afin, A.P. dan Kiono, B.F.T. (2021) "Potensi energi batubara serta pemanfaatan dan teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050: Gasifikasi Batubara," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(2), hal. 144–122. Tersedia pada: <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11429>.

Akbar, E.I., Guntoro, D. dan Ulfa, R.M. (2022) "Karakterisasi batubara untuk Underground Coal Gasification di Daerah Sekayu Musi Banyuasin," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, hal. 117–124. Tersedia pada: <https://doi.org/10.29313/jrtp.v2i2.1315>.

Anggara, F., Riassetiawan, M., Assamarqandi, F.R., Sartika, B.F., Rizaldi, I.J., Syahra, V., Ibrahim, M.A. dan Rahmat, S.B. (2022) "Screening criteria of underground coal gasification (UCG): a case study from Mangunjaya Area, South Sumatra Basin, Indonesia," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1071(1), hal. 012023. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1071/1/012023>.

ASTM International (2009) "Section 5 Petroleum Products and Fossil Fuels, volume 05.06

Gaseous fuel: coal and coke, revision issued annually," in *Annual Book of ASTM Standards 2009*, hal. 776.

Bielowicz, B. (2012) "A new technological classification of low-rank coal on the basis of Polish deposits," *Fuel*, 96, hal. 497–510. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.066>.

Bielowicz, B. (2013) "Petrographic composition of Polish lignite and its possible use in a fluidized bed gasification process," *International Journal of Coal Geology*, 116–117, hal. 236–246. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.07.003>.

Bielowicz, B. dan Kasiński, J.R. (2014) "The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits," *International Journal of Coal Geology*, 131, hal. 304–318. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.06.025>.

Bielowicz, B. dan Kasiński, J.R. (2015) "Reprint of 'The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits,'" *International Journal of Coal Geology*, 139, hal. 191–205. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.10.010>.

Burton, E., Upadhye, R. dan Friedmann, S. (2019) *Best Practices in Underground Coal Gasification*. Livermore, CA (United States). Tersedia pada: <https://doi.org/10.2172/1580018>.

Darman, H. dan Sidi, F.H. (ed.) (2000) *An outline of the geology of Indonesia*. Jakarta: Indonesian Association of Geologists.

Dewan Energi Nasional (2023) *Laporan Analisis Neraca Energi Nasional 2023*. Jakarta.

Dincer, I., Rosen, M.A. dan Khalid, F. (2018) "Thermal energy production," in *Comprehensive Energy Systems*. 1st Editio. Elsevier, hal. 673–706. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00335-7>.

Dwitama, E.P., Ramdhani, M.R. dan Ulfa, R.M. (2021) "A preliminary evaluation of Underground Coal Gasification potential in South Sumatra Basin: A case study of the Muara Enim coal formation," *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2), hal. 83–97. Tersedia pada: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i2.326>.

Fachier, M.F. (2020) "Identifikasi seam batubara Formasi Muara Enim untuk pengembangan potensi gasifikasi batubara bawah permukaan,

- PT.Bukit Asam Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan," *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 4(6), hal. 2013–2015.
- Friederich, M.C. dan van Leeuwen, T. (2017) "A review of the history of coal exploration, discovery and production in Indonesia: The interplay of legal framework, coal geology and exploration strategy," *International Journal of Coal Geology*, 178, hal. 56–73. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.04.007>.
- Imran, M., Kumar, D., Kumar, N., Qayyum, A., Saeed, A. dan Bhatti, M.S. (2014) "Environmental concerns of underground coal gasification," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, hal. 600–610. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.024>.
- Khadse, A.N. (2015) "Resources and economic analyses of underground coal gasification in India," *Fuel*, 142, hal. 121–128. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.057>.
- Kurniawan, E., Nalendra, S. dan Gandapradana, M.T. (2020) "Estimasi sumberdaya Underground Coal Gasification (UCG), daerah Banjarsari, Tanjung Enim, Sumatera Selatan," *Prosiding TPT XXIX PERHAPI*, hal. 55–64.
- Otoshi, A., Sasaki, K. dan Anggara, F. (2022) "Screening of UCG chemical reactions and numerical simulation up-scaling of coal seam from laboratory models," *Combustion Theory and Modelling*, 26(1), hal. 25–49. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/13647830.2021.1984584>.
- Purnama, A.B., Salinita, S., Sudirman, S., Sendjaja, Y.A. dan Muljana, B. (2018) "Penentuan lingkungan pengendapan lapisan batubara D, Formasi Muara Enim, Blok Suban Burung, Cekungan Sumatera Selatan," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 14(1), hal. 1–18. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol14.No1.2018.182>.
- Purnama, A.B., Subarna, Y.S., Sendjadja, Y.A., Muljana, B. dan Santoso, B. (2017) "Potensi batubara untuk pengembangan gasifikasi bawah permukaan : Studi kasus Desa Macang Sakti, Provinsi Sumatera Selatan," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 13(1), hal. 13–30. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol13.No1.2017.156>.
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (2022) *Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2022*.
- Rosyid, F.A. (2020) "Analisis dampak investasi terhadap perekonomian daerah: Studi kasus investasi pertambangan mineral logam Provinsi Papua," *Indonesian Mining Professionals Journal*, 2(1), hal. 11–28. Tersedia pada: <https://doi.org/10.36986/impj.v2i1.18>.
- Santoso, B. (2015) *Petrologi batubara Sumatera dan Kalimantan: Jenis, peringkat dan aplikasi*. Jakarta: LIPI Press.
- Santoso, B. (2017) "Petrographic characteristics of selected tertiary coals from Western Indonesia according to their geological ASPECTS," *Indonesian Mining Journal*, 20(1), hal. 1–30. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/imj.Vol20.No1.2017.178>.
- Self, S.J., Reddy, B. V dan Rosen, M.A. (2012) "Review of underground coal gasification technologies and carbon capture," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(1), hal. 16. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1186/2251-6832-3-16>.
- Susilawati, R., Evans, P.N., Esterle, J.S., Robbins, S.J., Tyson, G.W., Golding, S.D. dan Mares, T.E. (2015) "Temporal changes in microbial community composition during culture enrichment experiments with Indonesian coals," *International Journal of Coal Geology*, 137, hal. 66–76. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.10.015>.
- Suwarna, N., Suharsono, S., Gafoer, Amin, T.C., Kusnama dan Hermanto, B. (1992) *Peta geologi lembar Sarolangun skala 1:250.000*. Bandung.
- Syufra, I., Ibrahim, D. dan Fatimah (2000) "Pengkajian endapan batubara di dalam cekungan Sumatera Selatan, daerah Sekayu, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan," in *Kolokium Hasil Kegiatan Lapangan DIK-S, DSM*, hal. 5-15–10.
- Triantoro, A., Mustofa, A. dan Riswan (2013) "Pengaruh agen gasifikasi batubara terhadap produk gas yang dihasilkan oleh batubara peringkat rendah," *Info Teknik*, 14(2), hal. 201–210.
- Wahid, A., Mustafida, R. dan Husnil, A. (2020) "Exergy analysis of coal-fired power plants in ultra supercritical technology versus integrated gasification combined cycle," *Evergreen*, 7(1), hal. 32–42. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5109/2740939>.