

## Potensi Gasifikasi Batubara Bawah Tanah Daerah Muara Tiga Besar, PT. Bukit Asam Tbk. Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan

Deri Rafsanjani<sup>1,a)</sup>, Marsel Akbar<sup>1)</sup> dan M Tressna Gandapradana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya

<sup>2)</sup> PT. Bukit Asam, Tbk.

<sup>a)</sup>Corresponding author: 03071181621071@student.unsri.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini terletak di Kecamatan Muara Tiga Besar, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Pemanfaatan batubara sebagai sumber energi memiliki kekurangan dari aspek lingkungan dan efisiensi dalam tahap produksi, salah satu metode yang dapat mengatasi kedua masalah tersebut adalah dengan gasifikasi bawah permukaan atau *underground coal gasification* (UCG), Semakin dalam lapisan batubara maka biaya dan resiko produksinya akan semakin tinggi bila dilakukan dengan metode konvensional, proses gasifikasi ini merupakan salah satu metode yang dapat menambah nilai ekonomi batubara Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis potensi dan membangun model komprehensif sumberdaya batubara yang dapat dimanfaatkan untuk proses gasifikasi batubara bawah permukaan sebagai inovasi dalam pemanfaatan batubara yang lebih ramah lingkungan. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis proksimat dan analisis *wireline logging* dari 7 titik *borehole* pada area dengan luas 2 km<sup>2</sup>. Hasil dari penelitian menunjukkan terdapat 5 *seam* batubara pada area penelitian dan 3 *seam* batubara yang berpotensi untuk dilakukan gasifikasi bawah tanah yaitu *seam A1 borehole DR 03*, *Seam A2*, *seam B borehole DR 065* dan *seam B borehole DR 069*.

**Kata Kunci:** Batubara; Bawah Tanah; Gasifikasi; Sumberdaya; Proksimat

### ABSTRACT

*This research is located in Muara Tiga Besar District, Lahat Regency, South Sumatra. Utilization of coal as an energy source has disadvantages from environmental aspects and efficiency in the production stage, one method that can overcome these two problems is underground coal gasification (UCG), the deeper the coal seam, the higher the cost and risk of production. If done with conventional methods, this gasification process is a method that can add to the economic value of coal. The purpose of this study is to analyze the potential and build a comprehensive model of coal resources that can be utilized for subsurface coal gasification processes as an innovation in the use of more friendly coal environment. The method used in this research is proximate analysis and wireline logging analysis of 7 borehole points in an area of 2 km<sup>2</sup>. The results showed that there were 5 coal seams in the research area and 3 coal seams that have the potential for underground gasification, namely A1 borehole DR 03 seam, A2 seam, B borehole DR 065 seam and B borehole DR 069 seam.*

**Keywords:** Coal; Underground; Gasification; Resource; Proximate

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam dan sumber daya geologi yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan masyarakat. Salah satu sumber daya geologi yang ada yaitu sumber daya batubara. Keberadaan batubara yang sangat terbatas pada tempat-tempat tertentu menyebabkan terjadinya peningkatan kegiatan eksplorasi terutama pada Pulau Sumatera. Batubara merupakan salah satu sumber energi di Indonesia. Jumlah batubara di Indonesia mencapai 124,796 miliar ton dan cadangannya mencapai 32,38 miliar ton (Badan Geologi, 2014). Berdasarkan analisis geologi batubara, diperkirakan potensi batubara yang dimiliki Indonesia sampai kedalaman ± 300m cukup besar, sumber daya mencapai 161 miliar ton dan cadangan 28 miliar ton (Sukhyar, 2012), sedangkan batubara masih ada sampai kedalaman 1.000 m, bahkan potensinya jauh lebih besar dari apa yang dilaporkan saat ini (Fatimah dkk, 2014).

Penelitian ini berada pada Daerah Muara Tiga Besar, PT. Bukit Asam Tbk. Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Untuk mendukung penggunaan energi yang ramah lingkungan, batubara dapat

dimanfaatkan sebagai industri gasifikasi bawah permukaan atau *underground coal gasification* (UCG), Semakin dalam lapisan batubara maka biaya dan resiko produksinya akan semakin tinggi bila dilakukan dengan metode konvensional, proses gasifikasi ini merupakan salah satu metode yang dapat menambah nilai ekonomi batubara. Proses penambangan batubara dengan kedalaman hingga kurang lebih 100 meter dapat dilakukan secara konvensional. Namun, untuk batubara yang memiliki kedalaman yang lebih dalam lagi, dapat menggunakan sebuah metode yang dikenal sebagai gasifikasi batubara bawah tanah (*underground coal gasification*). UCG merupakan teknologi pemanfaatan batubara yang dilakukan melalui konversi batubara secara in-situ dengan cara menyuntikan udara atau oksigen melalui sumur injeksi untuk membakar lapisan batubara, yang kemudian dihasilkan gas untuk dialirkan. Namun dalam proses pembakaran perlu diperhatikan elemen yang dapat menjadi polusi dan berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi batubara untuk dilakukan gasifikasi bawah permukaan pada daerah penelitian.

## 2. METODE

Penelitian menggunakan analisis laboratorium dan analisis data lapangan yang meliputi analisis proksimat dan analisis data logging sumur bor. Analisis laboratorium meliputi analisis proksimat dalam basis *air dried basis* (adb) yang berupa kadar *ash*, *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon*, *total sulfur* dan *gross calorific value* (GCV). Analisis penentuan jenis batubara diawali dengan melakukan konversi nilai kualitas dari basis adb menjadi *dried mineral matter free* (dmmf). Setelah didapatkan nilai kualitas (*volatile matter*, *fixed carbon*, *gross calorific value*) dalam basis dmmf, dilakukan analisis berdasarkan *classification of coal rank* (ASTM, 2004), untuk mengkonversi menjadi basis dmmf digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Fixed Carbon dmmf} = \frac{FC \text{ adb} - (0,15 \times TS \text{ adb})}{100 - [IM + (1,08 \times AC \text{ adb}) + (0,55 \times TS \text{ adb})]} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Volatile Matter} = 100 - \text{FC dmmf} \quad (2)$$

$$\text{Fixed Carbon dmmf} = \frac{[(GCV \text{ adb} \times 1,8) - (50 \times TS \text{ adb})]}{100 - (1,08 \times AC \text{ adb}) + (0,55 \times TS \text{ adb})} \times 100 \quad (3)$$

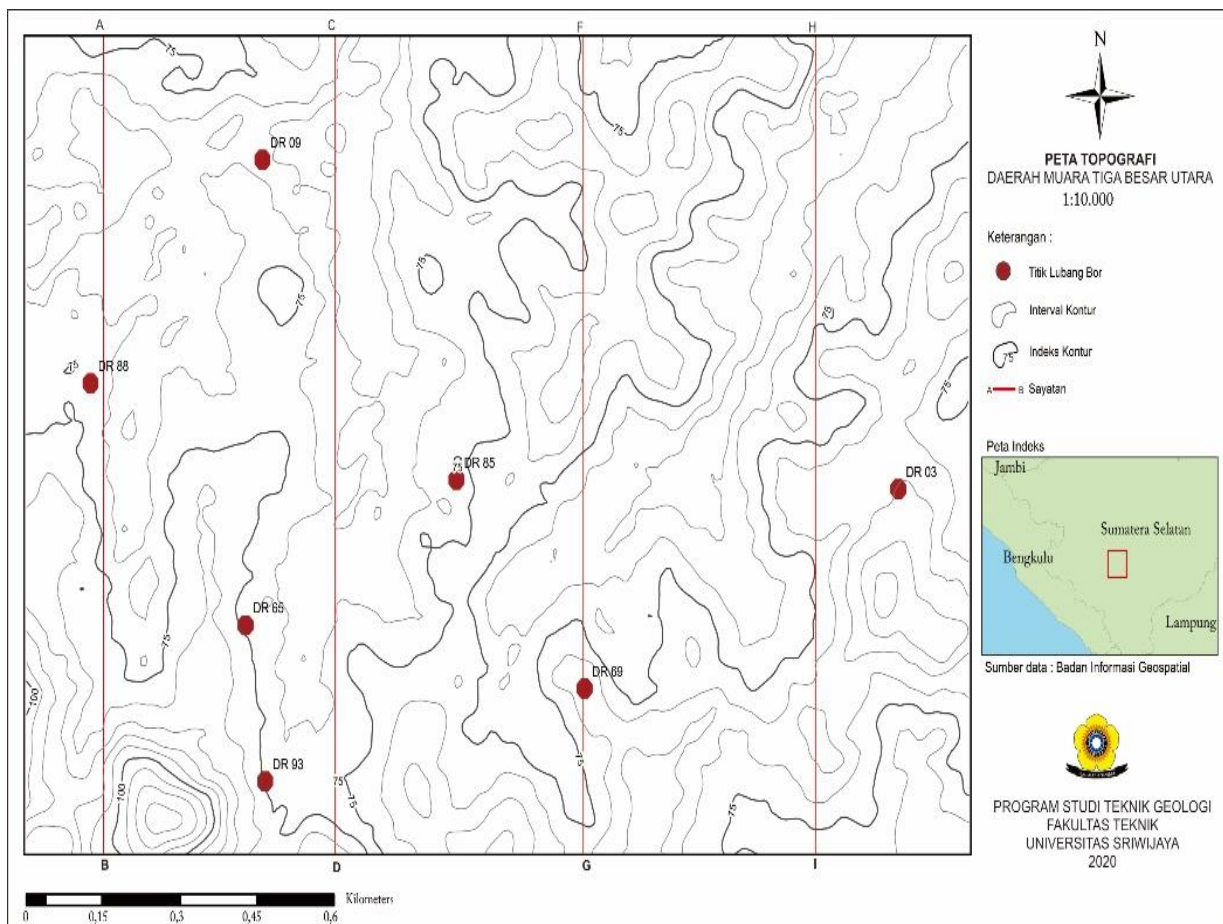
$$\text{GCV dmmf (Kcal/kg)} = \text{GCV dmmf (Btu/lb)} / 1,799 \quad (4)$$

Hasil analisis dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi berupa peta dan penampang stratigrafi. Peta-peta tersebut dibuat menggunakan bantuan beberapa *software* ArcGis dan Surfer 10 dengan metode *Inverse distance weighted* (IDW). Model 2 dimensi ini dibuat menggunakan *software* Minescape 5.7. dengan data meliputi topografi, kualitas batubara, dan data kedalaman *roof-floor* lapisan batubara.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data log bor terdiri dari 7 titik yaitu DR\_03, DR\_09, DR\_65, DR\_69, DR\_88, DR\_85 dan DR\_93, jarak antar sumur berkisar 500 meter untuk mendapatkan data yang detail, elevasi dari morfologi daerah ini berkisar antara 65-115 mdpl (Gambar 1). Untuk mendapatkan data bawah permukaan dilakukan penarikan 4 sayatan yaitu A-B, C-D, E-F, dan G-H dengan arah utara-selatan (Gambar 2). Penampang A-B menunjukkan *seam* A1, A2, dan B tersingkap di permukaan pada bagian selatan daerah penelitian, dari penampang terlihat pola kedudukan batubara yang cukup terjal dan mulai agak landai pada elevasi minus 80 mdpl. Jarak antar *seam* batubara relatif berhimpitan, pada *seam* A1 dan *seam* A2 dibatasi oleh lapisan lempung dengan ketebalan 1-2 meter sehingga dalam pemodelan terlihat berhimpitan, *seam* C1 dan *seam* C2 berada pada kedalaman paling bawah dengan interval

dengan *seam* B antara 30-40 meter. Apabila dilakukan proses gasifikasi pada *seam* A1 ,A2 dan B akan terjadi penurunan permukaan sebesar 39,5 meter yaitu penjumlahan ketebalan antar *seam*.



**Gambar 1.** Peta Topografi Daerah Penelitian  
Sumber data : Badan Informasi Geospasial

Hasil analisis batubara berupa data nilai kalori/*gross calorific value* dalam basis data *air dried basis* (adb) menjadi salah satu indikator dalam mengklasifikasi peringkat batubara pada daerah penelitian, nilai kalori dikonversi dalam basis *dried mineral matter free* (dmmf) untuk menentukan jenis batubara didasarkan pada *classification of coal rank* (ASTM, 2004), hasil analisis peringkat batubara pada daerah penelitian dapat dilihat pada (Tabel 1).

Dalam metode UCG semakin tinggi nilai GCV maka akan semakin prospek untuk di produksi, dari data yang telah didapatkan diinterpretasikan setiap sumur dapat dilakukan proses gasifikasi, menurut klasifikasi Mastalerz dkk. (2011), dikatakan bahwa jenis batubara yang ideal untuk dilakukan gasifikasi batubara bawah tanah adalah batubara bituminus kualitas rendah. Berdasarkan *classification of coal rank* (ASTM, 2004) batubara peringkat *high volatile B bituminous* termasuk kedalam kualitas sedang.

Kandungan air atau *moisture* akan semakin rendah pada batubara kualitas tinggi dan semakin tinggi pada batubara kualitas rendah, dalam metode eksploitasi UCG kadar *moisture* yang ideal adalah lebih rendah dari 15%, pada *seam* A1 nilai *moisture* cenderung rendah dan terdapat 3 contoh yang termasuk dalam kategori ideal, yaitu pada DR\_03, DR\_09 dan DR\_065. Pada *seam* A2 hanya terdapat 2 contoh yang termasuk dalam kategori ideal yaitu pada DR\_065 dan DR\_069, *Seam* B terdapat 3 contoh yaitu DR\_065, DR\_069 dan DR\_93, *seam* C1 kadar *moisture* yang ideal pada empat contoh yaitu DR\_03, DR\_09, DR\_069, dan DR\_93. Hasil analisis dari *Seam* C1 menunjukkan 3 contoh yang termasuk

dalam kategori ideal yaitu DR\_69 dan DR\_88. Dari pemodelan berupa peta iso *moisture* daerah yang berpotensi adalah pada zona ungu hingga hijau yaitu pada rentang nilai 0 – 15% (Gambar 3). Dari pola yang terbentuk semakin dalam atau semakin ke arah utara kadar *moisture* batubara cenderung tinggi, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah akuifer air tanah, litologi lempung dapat menjadi batuan yang menjebak air tetap tertahan sehingga dapat mempengaruhi nilai *moisture* batubara yang berhimpitan pada litologi yang bersifat *impermeable*. Proses pembakaran batubara menyebabkan sulfur yang terdapat dalamnya akan mengalami perubahan menjadi SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub> yang mencemari udara. Selain itu, sulfur tersebut juga menimbulkan korosi pada permukaan pemanas boiler. Oleh karena itu, total sulfur pada *steam coal* diharapkan tidak lebih dari 1% (Mastalerz dkk, 2011). Nilai sulfur pada *seam B* cenderung rendah yaitu dibawah 1%. Sedangkan pada *seam C2* kadar sulfur memiliki nilai yang relatif tinggi, pada DR\_93 kadar sulfur berada pada nilai di atas 2% (Gambar 4).

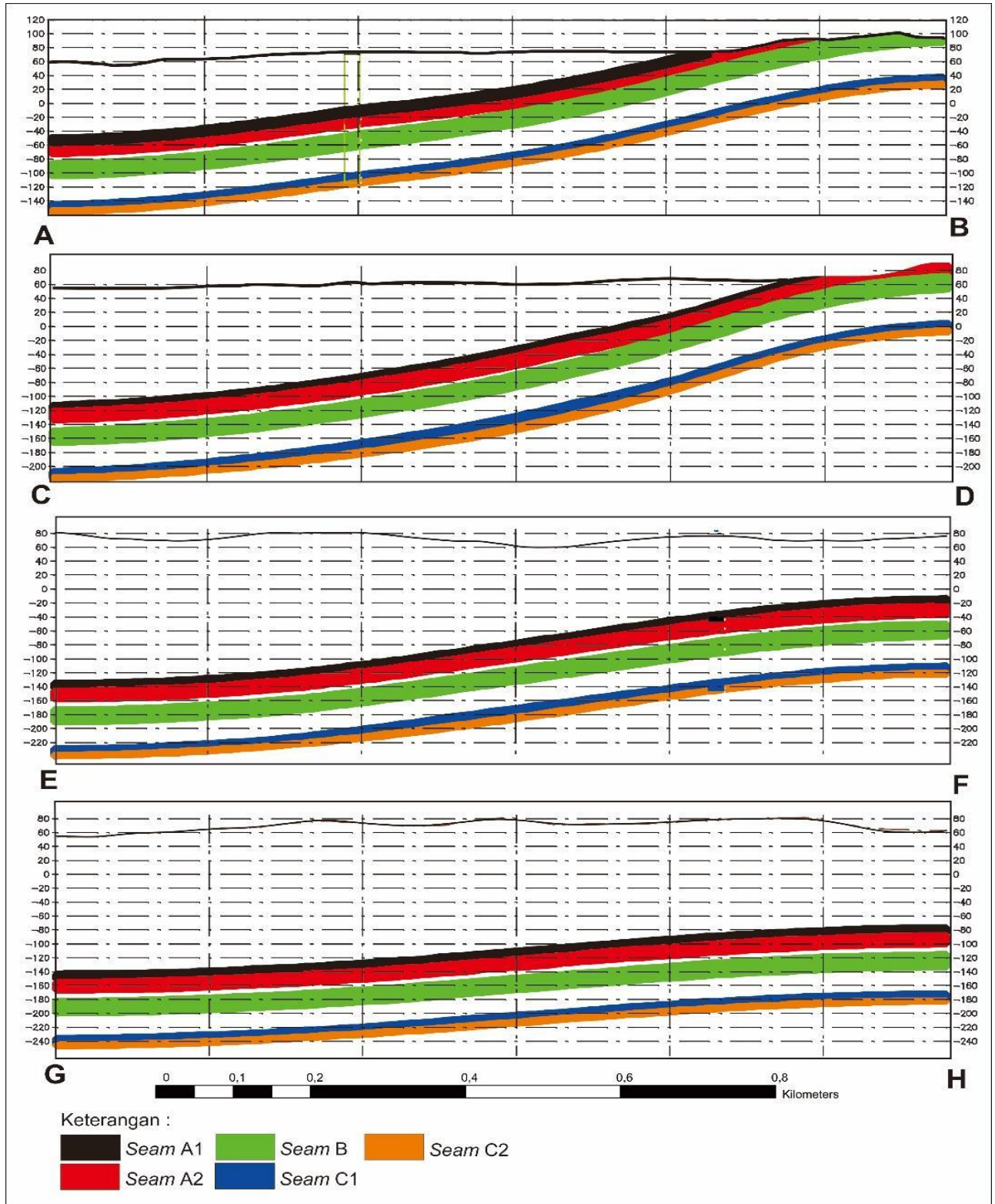
Data analisis *fixed carbon* dalam standard gasifikasi UCG menurut (Mastalerz dkk, 2011) tidak digunakan, nilai FC berpengaruh terhadap kualitas batubara, sebaran nilai FC pada (gambar 4.2) menunjukkan pada tiap titik cenderung memiliki nilai yang tidak terlalu signifikan dengan rata-rata 31-33 (adb) (Gambar 5). Nilai FC yang rendah dapat dipengaruhi oleh karbon yang berikatan dengan unsur lainnya seperti hidrogen, oksigen dan kalsium. Kadar abu pada setiap *seam* batubara memiliki sebaran yang relatif beragam, pada *seam A1* kadar abu pada bagian utara relatif rendah dan akan semakin tinggi pada area bagian selatan, kondisi ini hampir sama dengan *seam A2* dan *seam C2*. Pada *seam B* kadar abu relatif sama pada setiap area, dan pada *seam C1* area yang memiliki nilai abu rendah adalah pada bagian utara dan selatan daerah penelitian dengan kadar paling tinggi cenderung ke arah Timur (Gambar 6). dari parameter kadar abu setiap *seam* memiliki nilai lebih kecil dari 50% dalam kondisi *air dried based*.

*Volatile matter* atau zat terbang pada lokasi penelitian cenderung homogen yaitu pada rentang nilai 49-52 (adb), pada *seam A* dan *seam B* dominasi nilai VM yang tinggi berada pada bagian utara atau semakin dalam, sedangkan pada *seam A2*, C1 dan C2 nilai VM cenderung tinggi pada bagian selatan atau batubara yang memiliki nilai kedalaman lebih rendah (Gambar 7). Nilai VM sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran dalam proses gasifikasi, nilai VM dipengaruhi oleh faktor di antaranya susunan penyusun, lingkungan pengendapan dan peringkat batubara. *Gross caloric value* adalah nilai yang menjadi acuan pada kalori yang dihasilkan pada saat pembakaran untuk pembangkit dilakukan. Batubara daerah penelitian cenderung memiliki nilai kalori yang medium dalam pengklasifikasian tergolong dalam *high volatile c bituminous coal* dan *high volatile b bituminous coal*. Semakin dalam batubara maka nilai kalori cenderung lebih tinggi, dari nilai rata-rata batubara pada *seam A1* memiliki nilai kalori yang paling tinggi (Gambar 8).

Batubara yang digunakan dalam proses UCG ditentukan dengan lima parameter (Mastalerz dkk, 2011) yaitu nilai *Inhern moisture* lebih kecil dari 15%, kandungan abu dibawah 50%, kandungan total sulfur lebih kecil dari 1%, nilai kualitas yang digunakan adalah hasil analisis dalam kondisi *air dried base* (adb). Dari sisi geometri batubara idealnya memiliki ketebalan antara 2-15 meter yang akan mempengaruhi nilai penurunan permukaan tanah pada lokasi gasifikasi, kedalaman yang prospektif berkisar antara 92-460 meter dari permukaan bumi.

Analisis proksimat dilakukan pada 29 contoh batubara terdiri dari 7 sumur bor dan setiap sumur terdiri antara 2 hingga 7 *seam* batubara. Perbandingan antara data analisis dengan parameter ideal dari gasifikasi batubara bawah tanah dapat dilihat pada (Tabel 2). Hasil komparasi menunjukkan 4 contoh yang tergolong dalam setiap kriteria gasifikasi ideal berdasarkan klasifikasi yaitu pada *seam A1* dengan nilai IM 14,96 (adb), kadar abu 5,74 (adb), total sulfur 0,98 (adb), dan nilai *gross caloric value* 13314,71825(dmmf). Pada *seam A2* nilai *inhern moisture* yaitu 10,2 (adb), kadar abu 8,2 (adb), kadar sulfur 0,24 (adb), dan nilai *gross caloric value* 12147,92715 (dmmf). Pada *seam B* lubang bor DR\_069

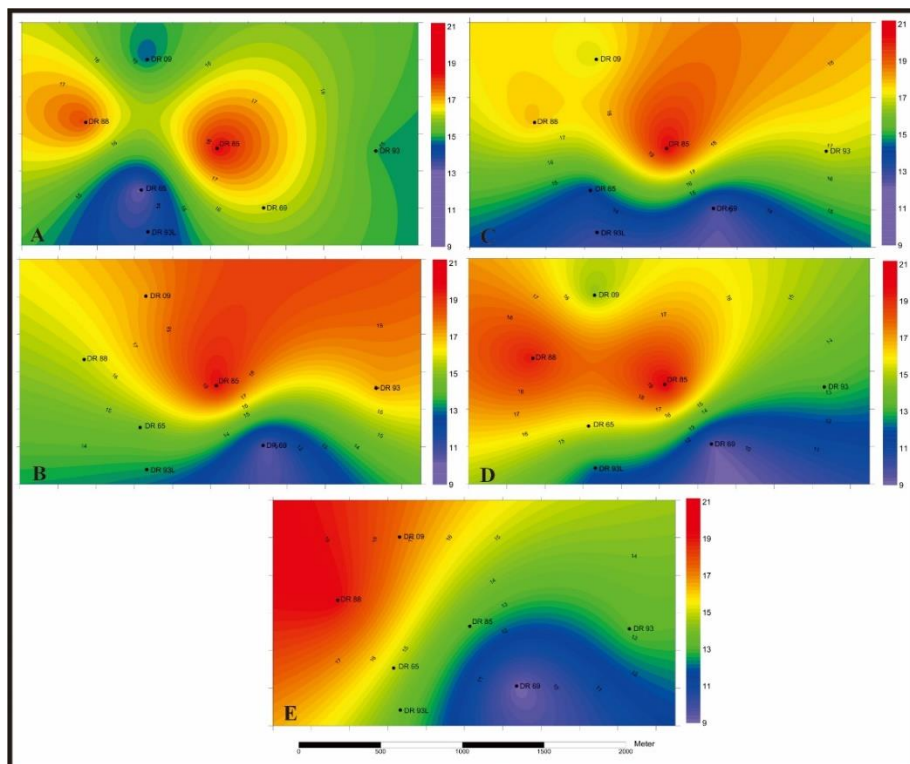
nilai *inheren moisture* yaitu 12,5 (adb), kadar abu 7,3 (adb), kadar sulfur 0,25 (adb) dan nilai *gross caloric value* 12389,51409(dmmf). *seam B* lubang bor DR\_065 nilai *inheren moisture* yaitu 14 (adb), kadar abu 5,6 (adb), kadar sulfur 0,2 (adb) dan nilai *gross caloric value* 12470,01262 (dmmf). Sebaran potensi gasifikasi dimodelkan dalam bentuk peta iso dengan metode *inverse distance weighted* (Gambar 9).



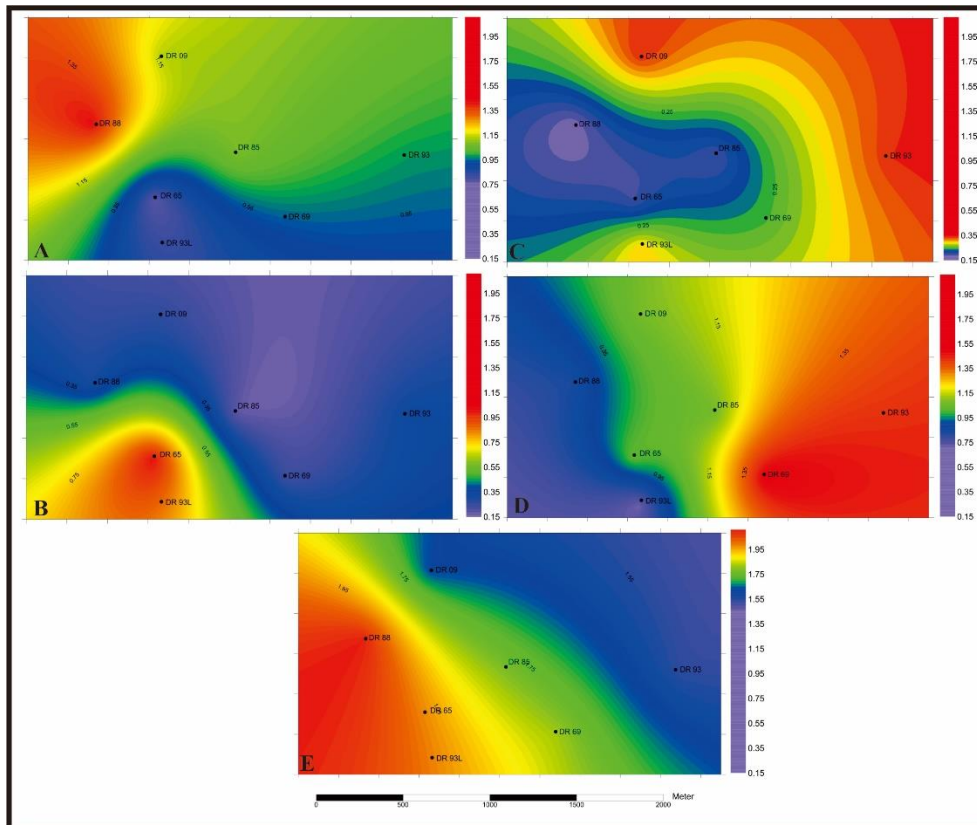
Gambar 2. Penampang lapisan batubara daerah penelitian

**Tabel 1.** Peringkat Batubara (ASTM, 2004)

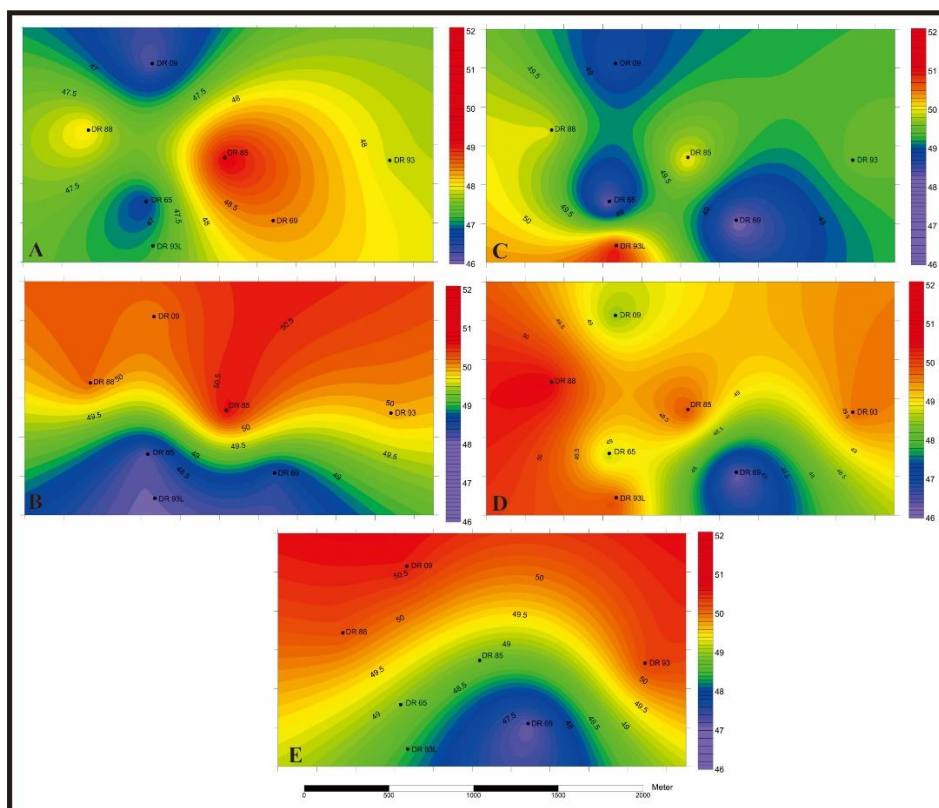
Sumur	Seam	Gross caloric value	Peringkat Batubara
DR 03	A1	13314,71825	High Volatile B Bituminous Coal
DR 03	A2	12924,78696	High Volatile C Bituminous Coal
DR 03	B	13412,92889	High Volatile B Bituminous Coal
DR 03	C1	13504,44833	High Volatile B Bituminous Coal
DR 03	C2	13460,78157	High Volatile B Bituminous Coal
DR 09	A1	13176,44562	High Volatile B Bituminous Coal
DR 09	A2	12974,30638	High Volatile C Bituminous Coal
DR 09	B	13261,53526	High Volatile B Bituminous Coal
DR 09	C1	13542,06133	High Volatile B Bituminous Coal
DR 09	C2	13203,86056	High Volatile B Bituminous Coal
DR 065	A1	12374,55053	High Volatile C Bituminous Coal
DR 065	A2	12589,0514	High Volatile C Bituminous Coal
DR 065	B	12470,01262	High Volatile C Bituminous Coal
DR 065	C1	12967,8402	High Volatile C Bituminous Coal
DR 069	A2	12147,92715	High Volatile C Bituminous Coal
DR 069	B	12389,51409	High Volatile C Bituminous Coal
DR 069	C1	12370,13478	High Volatile C Bituminous Coal
DR 069	C2	12346,92879	High Volatile C Bituminous Coal
DR 085	A1	12823,3297	High Volatile C Bituminous Coal
DR 085	A2	12767,31862	High Volatile C Bituminous Coal
DR 085	B	12985,42014	High Volatile C Bituminous Coal
DR 085	C1	13308,10306	High Volatile B Bituminous Coal
DR 088	A1	12812,58445	High Volatile C Bituminous Coal
DR 088	A2	12725,22879	High Volatile C Bituminous Coal
DR 088	B	12818,05574	High Volatile C Bituminous Coal
DR 088	C1	13033,7732	High Volatile B Bituminous Coal
DR 088	C2	12896,39487	High Volatile C Bituminous Coal
DR 93	B	12876,40773	High Volatile C Bituminous Coal
DR 93	C1	13184,50872	High Volatile B Bituminous Coal



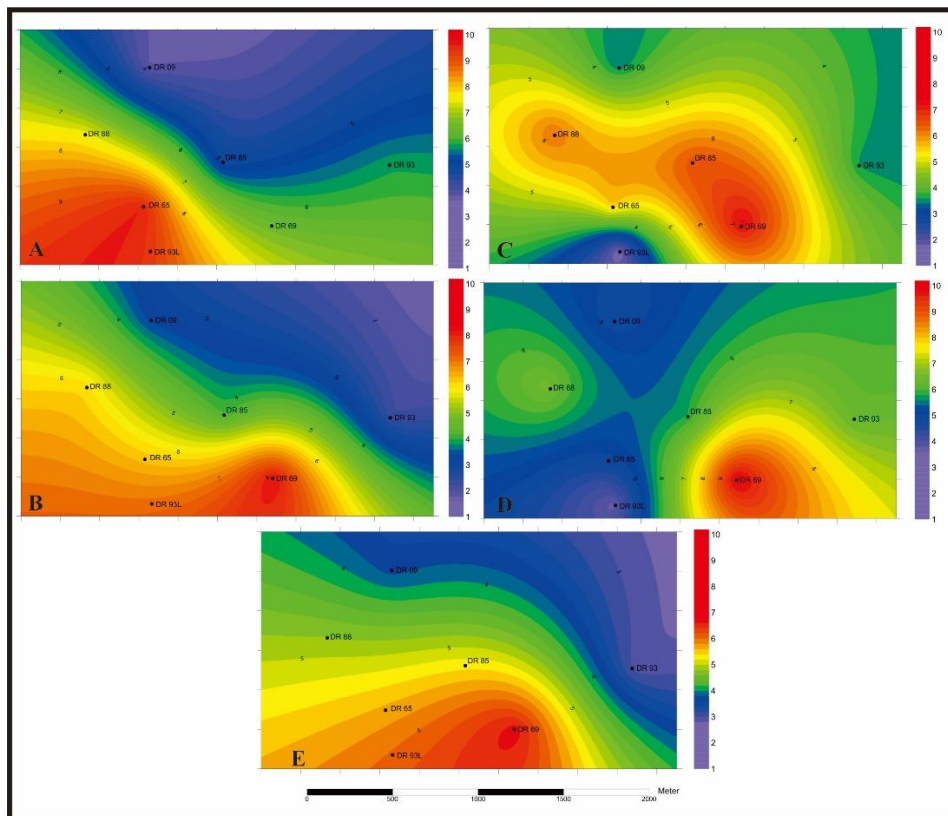
**Gambar 3.** Peta iso moisture (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2



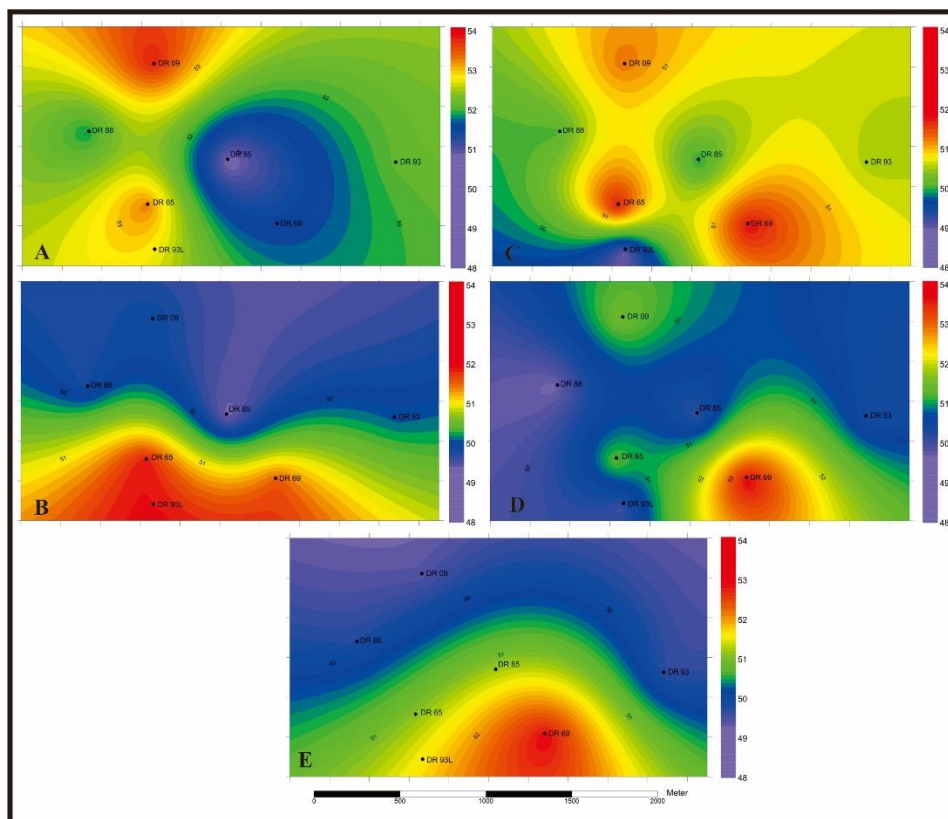
Gambar 4. Peta iso sulfur (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2



Gambar 5. Peta iso fixed carbon (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2

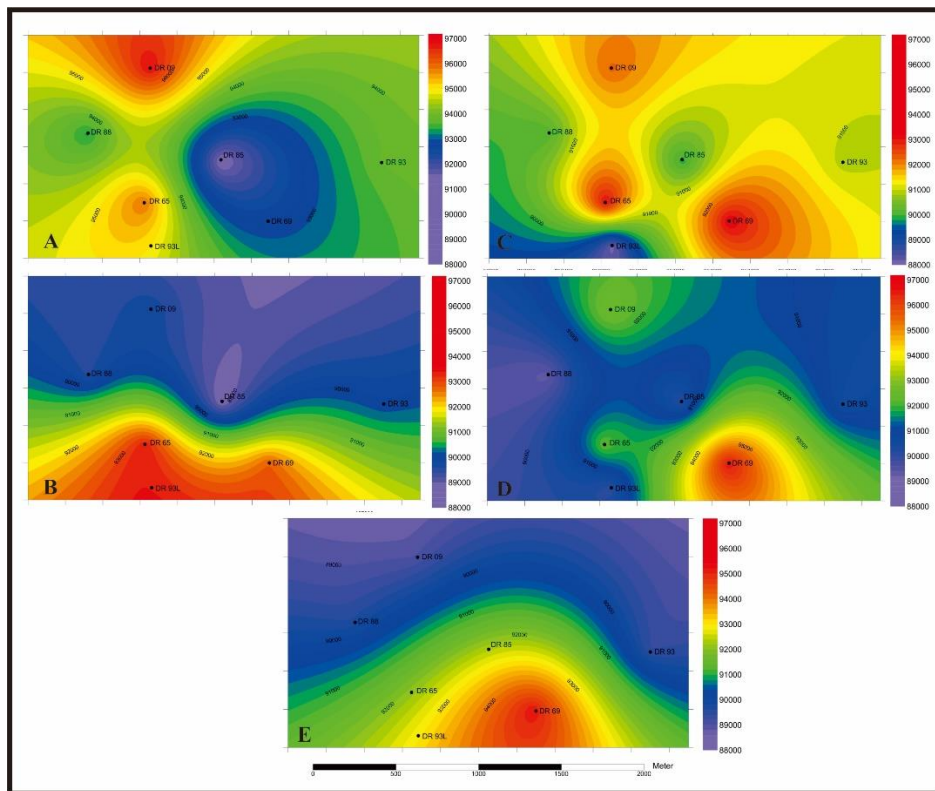


Gambar 6. Peta iso ash (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2

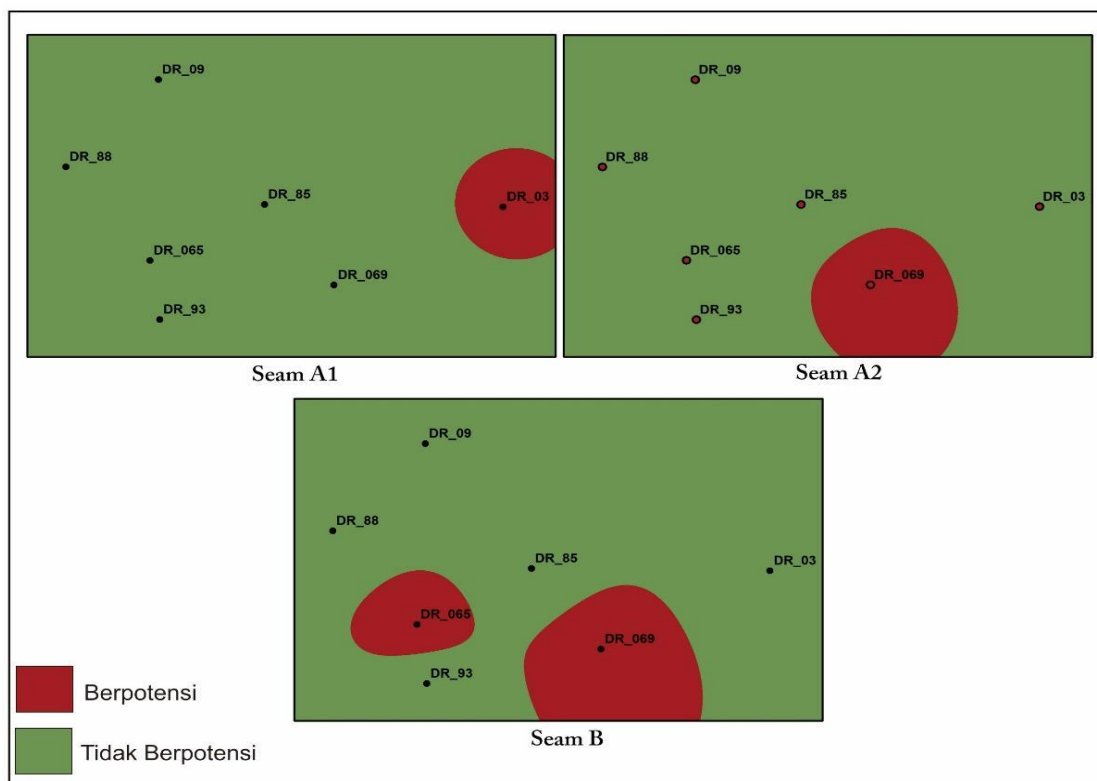


Gambar 7. Peta iso volatile matter (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2





Gambar 8. Peta iso gross caloric value (a) seam A1 (b) seam A2, (c) seam B, (d) seam C1, (e) seam C2



Gambar 9. Peta sebaran potensi gasifikasi

**Tabel 2.** Perbandingan kualitas data dengan karakteristik ideal batubara  
(Mastalerz dkk, 2011)

Sumur	Seam	IM (adb)	Ash (adb)	TS (adb)	Gross caloric value (dmmf)	Kedalaman	Ketebalan
DR 03	A1	14,96	5,74	0,98	93808,24222	213,8	8,4
DR 03	A2	17,14	2,24	0,33	90054,70175	229,3	11,6
DR 03	B	16,93	3,52	0,34	90918,93871	262	17,4
DR 03	C1	13,16	6,32	1,42	90558,17584	305,2	8,6
DR 03	C2	13,3	2,9	1,54	89398,18617	307,9	1,8
DR 09	A1	14,57	3,8	1,14	96836,52383	169,7	6,8
DR 09	A2	17,27	3,29	0,26	89753,91906	185,1	12,6
DR 09	B	16,99	3,39	0,34	92261,06594	217,4	17,6
DR 09	C1	14,63	4,82	1,07	92634,83044	266,2	8,1
DR 09	C2	17,38	3,7	1,63	88934,80733	268,3	1,2
DR 065	A1	13,1	9,6	0,78	95848,07111	53,75	8,5
DR 065	A2	14,6	6,3	1,01	93365,54625	70,75	14,1
DR 065	B	14	5,6	0,2	93086,61417	100,75	18,8
DR 065	C1	15,5	4,9	1,02	92240,01828	152,1	8,8
DR 069	A2	10,4	8,2	0,24	92777,83274	144,8	12,8
DR 069	B	12,5	7,3	0,25	93225,88538	177,9	18,3
DR 069	C1	9,2	10	1,5	96655,92954	227,7	8,8
DR 069	C2	9	6,7	1,82	95193,21633	230,2	1,3
DR 085	A1	18,6	4,9	1,08	91304,10647	150,6	7,8
DR 085	A2	19,7	4,2	0,18	88773,86497	165,3	13
DR 085	B	20,4	6,5	0,2	89869,53829	197,45	17,4
DR 085	C1	19,9	5,8	1,07	90168,68356	243,3	7,3
DR 088	A1	17,9	7,5	1,42	93325,39077	87,2	8
DR 088	A2	15,7	6,1	0,3	89568,12042	102,5	13,7
DR 088	B	17,9	6,2	0,18	90079,87707	134,7	18
DR 088	C1	19,4	6,5	0,83	89313,88394	183,7	8,8
DR 088	C2	19,3	4,8	2,1	89581,77304	186,7	1,2
DR 93	B	13	1,6	0,3	88096,17756	10,65	7,65
DR 93	C1	12	3,7	0,71	90031,11395	69,80	
Nilai Ideal Mastalerz dkk.( 2011)		<15%	<50%	<1%	Setinggi Mungkin	92-460	2 - 15

## Keterangan

- Tidak sesuai kriteria  
 Sesuai kriteria

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui kualitas batubara pada umumnya termasuk dalam klasifikasi *high volatile b bituminous coal* dan *high volatile c bituminous coal*. Terdapat empat titik dari hasil analisis yang termasuk kedalam klasifikasi (Mastalerz dkk, 2011) sebagai lapisan yang ideal untuk dilakukan gasifikasi bawah permukaan, yaitu *seam A1 borehole DR 03* dengan nilai kalori 13314,71825, *Seam A2 borehole DR 069* dengan nilai kalori 12147,92715, *seam B borehole DR 065* dengan nilai kalori 12470,01262 dan *seam B borehole DR 069* dengan nilai kalori 12389,51409.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta karena telah menyelenggarakan Seminar Nasional Teknik Lingkungan 2020, selain itu kami ucapkan terima kasih kepada pihak PT. Bukit Asam. Tbk, yang telah memberikan izin dan fasilitas laboratorium dari penelitian di kawasan IUP Muara Tiga Besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barber, A. J., Crow M. J., dan Milsom J. S. (2005). *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*, Geological Society Memoir No. 31, London: The Geological Society.
- Bielowicz B, Kasiński J. (2015). The possibility of underground gasification of lignite from Polish deposits. *International Journal of Coal Geology* 139. 191–205.
- Fatimah, Suryana, A. dan Wibisono, S. A. (2014). Potensi deep seated coal Indonesia. *Jurnal Mineral dan Energi* 12(2), hal. 18–28.
- Ginger David., Fielding Kevin. (2005). The Petroleum Systems And Future Potential Of The South Sumatra Basin. *Proceeding of The Indonesian Petroleum Association, 30<sup>st</sup> Annual Convention.* 67-89.
- Lee be charke, lesley L, Slos. (1992). *Trace Element-emission from coal combustion and gasification.* IEA Coal Research, London.
- Madiutomo, N. (2014). Potensi risiko Lingkungan Teknologi Gasifikasi Batubara Bawah Tanah (Underground coal gasification - UCG). Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Majalah Mineral & Energi, pp.49-59.
- Mastalerz ME, Droniak A, Parke M, Rupp J., (2011). *Site evaluation for subsidence risk, hydrology, and characterization of Indiana coals for Underground Coal Gasification* . West Lafayette: Center for Coal Technology Research.
- Michele G. Bishop, (2001). *South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System.* U. S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- 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*, vol 13 (September 2016), pp.13–30.
- Sukhyar. (2012). Potensi Batubara di Indonesia. Badan Geologi: Kementerian ESDM.