

Pemanfaatan Batubara pada Pembuatan Karbon Aktif untuk Adsorbed Natural Gas

Coal Utilization In The Making Of Activated Carbon For Adsorbed Natural Gas

¹Novia Rosa, ²Sri Widayati, ³Ika Monika

^{1,2}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
e-mail: ¹novia.rosa011192@gmail.com

Abstract. ANG technology generally uses materials or carbon materials known as active carbon. Adsorbed Natural Gas (ANG) is one technique of natural gas storage in porous solid media. The solids that are used in the form of carbon materials with certain specifications so that it can absorb and store methane gas at room temperature and pressure state relative (low 93.5 to 4.0 MPa). ANG technology is the best storage technology for methane gas because the gas can be stored at room temperature and atmospheric pressure. Therefore, to improve the adsorption capability of the methane gas, in addition to the choice of raw materials also need to learn the activation method. In order to improve the quality of activated carbon to the sub-bituminous coal C type with chemical activation by mixing semikokas and the activation ingredients with ratio of 1: 3, that is 10 gr semikokas 30 gr activation ingredients and testing of iodine numbers which gained the highest yield at a temperature of 800°C for 60 minutes at 1197.6 mg/gr. Coal can be used not only as fuel but can also absorb gases at ANG so as to provide added value to minerals, especially coal. Coal activated carbon with iodine 656 mg/gr has a surface area of 491 m²/g. With This, if the activated carbon has 1197 mg/gr, the surface area of activated carbon can be assumed to 1242,4 m²/gr. The ability to absorb and store the methane gas is 99,9 mg/gr.

Keywords: ANG, Iodin Numbers, Activated Carbon

Abstrak. Teknologi ANG umumnya menggunakan material atau bahan karbon yang dikenal dengan karbon aktif. *Adsorbed natural gas* (ANG) merupakan salah satu teknik penyimpanan gas alam dalam media padatan berpori. Padatan yang digunakan berupa bahan karbon dengan spesifikasi tertentu sehingga dapat menyerap serta menyimpan gas metana pada keadaan suhu kamar dan tekanan yang relatif (rendah 93,5-4,0 Mpa). Teknologi ANG merupakan teknologi penyimpanan yang terbaik untuk gas metana karena gas dapat disimpan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap gas metana, selain pemilihan jenis bahan baku juga perlu mempelajari metoda aktivasinya. Untuk dapat meningkatkan kualitas karbon aktif pada batubara sub-bituminus tipe C dilakukan metoda aktivasi kimia pencampuran semikokas dan bahan pengaktif yaitu dengan rasio 1 : 3, yaitu 10 gr semikokas 30 gr bahan pengaktif dan dilakukan pengujian bilangan Iodin yang dimana diperoleh hasil tertinggi pada suhu 800°C selama 60 menit sebesar 1197,6 mg/gr. Batubara tidak hanya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar tetapi dapat juga menyerap gas pada ANG sehingga dapat memberikan nilai tambah terhadap bahan tambang khususnya batubara. Karbon aktif batubara dengan bilangan iodin 656 mg/gr memiliki luas permukaan 491 m²/gr. Dengan demikian, jika karbon aktif memiliki bilangan iodin 1197 mg/gr. Karbon aktif dengan luas permukaan b sebesar 1242,4 m²/gr dengan kemampuan untuk menyerap dan menyimpan gas metana yaitu 99,9 mg/gr.

Kata kunci : ANG, Bilangan nIodin, Karbon Aktif

A. Pendahuluan

Latar Belakang

Adsorbed natural gas (ANG) merupakan salah satu teknik penyimpanan gas alam dalam media padatan berpori. Padatan yang digunakan berupa bahan karbon dengan spesifikasi tertentu sehingga dapat menyerap serta menyimpan gas metana pada keadaan suhu kamar dan tekanan yang relatif (rendah 93,5-4,0 Mpa). Teknologi ANG merupakan teknologi penyimpanan yang terbaik untuk gas metana karena gas dapat disimpan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer.

Jenis batubara dan metoda aktivitasnya dapat menentukan jumlah atau kapasitas metana yang terserap. Dari beberapa hasil penelitian, tercatat *methane capacity* tertinggi sebesar 211 mg/g oleh karbon aktif dengan luas 3.100 m²/g dan *apparent density* 0,37 g/cc. Sedangkan *methane capacity* terendah yaitu 48 mg/g oleh karbon aktif Norit WX6 dengan luas permukaan 445 m²/g dan *apparent density* 0,71 g/cc (Menon dan Komarneni, 1998). Jika mengacu pada karbon aktif batubara hasil percobaan sebelumnya dengan metoda aktivasi uap dengan luas permukaan 500 m²/g (Monika, 2010), maka berdasarkan literatur tersebut di atas, kemampuan untuk mengadsorpsi metana dalam kisaran nilai 40-50 mg/g. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap gas metana, selain pemilihan jenis bahan baku juga perlu mempelajari metoda aktivasinya.

Tujuan Penelitian

1. Melakukan peningkatan kualitas karbon aktif dengan metoda aktivasi kimia untuk memperoleh karbon aktif dengan daya serap bilangan iodin >1000 mg/g.
2. Melakukan peningkatan pemanfaatan batubara selain sebagai bahan bakar, sehingga dapat memberikan nilai tambah terhadap bahan tambang khususnya batubara.
3. Mengevaluasi hasil percobaan sebagai karbon aktif untuk ANG.

B. Landasan Teori

1. Batubara

Batubara adalah batuan sedimen yang berasal dari material - material organik (*organoclastic sedimentary rock*), yang dapat terbakar dan memiliki kandungan utama C, H, dan O. Selain itu batubara merupakan hasil dari akumulasi tumbuhan -tumbuhan dan material organik pada suatu lingkungan pengendapan tertentu, yang disebabkan oleh proses *syn-sedimentary*. Bahan organik utamanya yaitu tumbuhan yang dapat berupa jejak kulit pohon, daun, akar, struktur kayu, spora, pollen, damar, dan lain-lain. Selanjutnya bahan organik tersebut mengalami berbagai tingkat pembusukan (dekomposisi) sehingga menyebabkan perubahan sifat-sifat fisik maupun kimia sebelum ataupun sesudah tertutup oleh endapan lainnya.

Tabel 1. Klasifikasi batubara berdasarkan ASTM 1981

Coal rank		Volatile reflectance (%)	Volatile matter (wt % dmmf)	Fixed carbon (wt %)	Calorific value (MJ/kg)	Hydro- gen generation	Principal uses
Class	Group						
Anthracite ²	Meta-anthracite	—	2	—	—	Dry Gas	Space heating Chemical production
	Anthracite	2.50	8	—	—	Wet Gas	Metallurgical coke production Cement production Thermal electric power generation
	Semianthracite	1.92	14	—	—		
Bituminous	Low volatile bituminous	1.51	22	—	—	Oil and Gas	Thermal electric power generation Conversion to liquid and gaseous petroleum substitutes
	Medium volatile bituminous	1.12	31	—	—		
	High volatile A bituminous	0.75	—	32.6	—		
	High volatile B bituminous	0.50	—	30.2	—		
	High volatile C bituminous	0.50 ¹	—	26.8	—		
Subbituminous	Subbituminous A ³	—	—	8-10	—	Early Gas	Thermal electric power generation Char production Space heating
	Subbituminous B	—	—	—	24.4		
	Subbituminous C	—	—	—	22.1		
Lignite	Lignite A	—	—	—	19.3	—	Thermal electric power generation Char production Space heating
	Lignite B	—	—	—	14.7		
	Peat	—	—	—	—	—	—

1) dmmf - Dry, mineral matter free
 2) Non-agglomerating; if agglomerating, classified as low volatile bituminous
 3) If agglomerating, classified as high volatile C bituminous

Figure 23.1 Classification of coals by rank and indices of organic maturity. The chart is a composite modified from ASTM (1981), Teichmüller and Teichmüller (in Stach et al., 1983), Dow (1977) and Cameron (1986).

Sumber: ASTM, 1981

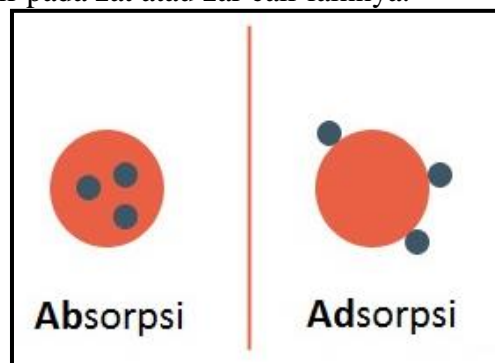
2. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu bahan organik dengan penggunaan karbon aktif antara lain sebagai katalis, penghilangan bau, penyerapan warna, zat purifikasi, dan sebagainya. Karbon aktif merupakan karbon dengan struktur *amorphous* atau mikrokristalin yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas yang biasanya diperoleh berdasarkan luas permukaannya yang berkisar antara 300 - 2000 m²/gr.

Kemampuan karbon aktif mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimia yaitu C, H, dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsi. Karbon aktif merupakan bahan karbon yang memiliki pori-pori dan daya serap tinggi. Sehingga banyak dimanfaatkan dalam industri, misalnya untuk menghilangkan bau dan warna cairan. Secara umum, ada dua jenis karbon aktif yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas. Karbon aktif fasa cair dihasilkan dari material dengan berat jenis rendah, sedangkan karbon aktif fasa gas dari material dengan berat jenis tinggi.

3. Absorpsi dan Adsorpsi

Ada dua macam peristiwa sorpsi yaitu absorpsi dan adsorpsi, yang membedakan keduanya adalah tempat berkumpulnya zat yang terserap. Adsorpsi atau penyerapan adalah peristiwa menempelnya molekul, ion, maupun atom pada permukaan. Proses ini menghasilkan lapisan tipis adsorbat (zat yang terjerap) pada permukaan adsorben (zat yang menyerap). Sedangkan absorpsi yang merupakan proses masuknya zat cair pada zat atau zat cair lainnya.



Gambar 1. Skema Perbedaan Absorpsi dan Adsorpsi

4. Karbon aktif untuk ANG berdasarkan US Patent 4,769,35

United States Patent No 4,769,359 ini dipatenkan pada 6 September 1988. Paten ini menjelaskan pembuatan karbon aktif yang dapat digunakan untuk adsorben

gas metana. Bahan baku yang digunakan adalah Pittsburgh No 8 dengan karakteristik kadar karbon lebih dari 92,0%, kadar hidrogen 3,9%, kadar zat terbang 9,0% dan kadar abu kurang dari 5%. Sangat dianjurkan bahan baku memiliki kadar abu serendah mungkin. Ukuran bahan baku tidak lebih dari 1 mm.

5. Adsorbed Natural Gas (ANG)

Teknologi ANG membutuhkan kapasitas penyimpanan metana sebesar 180 v/v. Penelitian karakteristik dan prospek berbagai jenis bahan berpori seperti karbon, zeolit, silica gel dan padatan mesopori untuk penyimpanan metana telah dilakukan oleh menon dan komarneni pada tahun 1990-an, dan dilaporkan bahwa luas permukaan tertentu dari suatu struktur kimia bahan berpori memiliki hubungan langsung dengan kapasitas adsorpsi metana. Adsorpsi gas metana dalam bahan berpori menghasilkan kepadatan gas metana seperti halnya gas alam yang terkompresi pada tekanan rendah berkisar antara 3,5-4,0 Mpa. Salah satu adsorben yang paling banyak dimanfaatkan di industri adalah karbon aktif, karena memiliki struktur pori yang dapat dikembangkan dengan baik, memiliki luas permukaan tinggi, dan dapat digunakan untuk proses adsorpsi mulai dari yang bersifat cair sampai yang gas. (Arash Arami, et.al., 2012). Dalam pembuatan karbon aktif, salah satu kendala adalah mendapatkan metoda yang tepat dalam menghasilkan karbon aktif yang cocok dengan aplikasi yang diinginkan. Beberapa hasil penelitian, seperti Biloe menyatakan bahwa untuk kapasitas adsorpsi metana disukai bahan dengan luas permukaan yang tinggi, volume pori-pori mikro tinggi dan ukuran rata-rata pori dalam kisaran 8-15Å°.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Uji Proksimat Sebelum dan Sesudah Karbonisasi

Uji proksimat dilakukan untuk mengetahui dan memastikan karakterisasi awal dari batubara yang akan dijadikan karbon aktif. Uji proksimat ini mengacu pada SNI 06 - 3730 - 1995 yang mencantumkan kadar air, abu, zat terbang dan karbon padat sebagai spesifikasi persyaratan arang untuk karbon aktif.

Tabel 2. Data Hasil Uji Proksimat Sebelum Karbonisasi

Sampel Karbonaktif	Moisture In Air Drieg Sample %, adb	Kadar Abu %, adb	VM %, adb	Fixed Carbon %, adb
Sebelum semi kokas	17.1	4.96	39.98	37.96

Sumber: Hasil Pengujian Proksimat di tekMIRA,2015.

Tabel 3. Data Hasil Uji Proksimat Sesudah Karbonisasi

Sampel Karbonaktif	Moisture In Air Drieg Sample %, adb	Kadar Abu %, adb	VM %, adb	Fixed Carbon %, adb
Semikokas	6.31	7.545	30.62	55.525

Sumber: Hasil Pengujian Proksimat di tekMIRA,2015.

Penentuan kondisi proses karbonisasi ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya untuk pembuatan karbon aktif ANG dengan contoh batubara sub-bituminus A, dengan suhu karbonisasi 500°C dan waktu tinggal/waktu proses selama 60 menit, mengasilkan karbon aktif dengan daya serap bilangan Iodin tertinggi 1004 mg/g.

2. Proses Pencampuran dan Pemanasan

Pada tahap pencampuran, bahan kimia yang digunakan adalah campuran KOH – NaOH dengan perbandingan 1:3 dengan artinya dibutuh 1 gram semikokas dengan campuran 30gr KOH - NaOH. Pada proses pencampuran, dilakukan pemanasan dengan suhu antara 100 - 150oC selama ±1 jamsampai campuran berbentuk gel. Pemanasan bertujuan untuk mengoptimalkan proses pencampuran.

3. Proses Aktivasi

Proses aktivasi yaitu tahap pemanasan campuran sampel dengan alat yang sama pada saat proses karbonisasi.

Tabel 4. Data Hasil Percobaan Aktivasi

Sampel	Suhu (°C)	Waktu (menit)	KOH (gr)	NaOH (gr)	Aquades (ml)	KarbonAktif (gr)	Laju Nitrogen (cc/menit)
Aktivasi 01	850	60	17,57	12,42	100	10,02	5
Aktivasi 02	850	30	17,57	12,44		10,02	
Aktivasi 03	850	90	17,60	12,44		10,03	
Aktivasi 04	750	30	17,56	12,52		10,01	
Aktivasi 05	750	60	17,61	12,50		10,02	
Aktivasi 06	750	90	17,62	12,52		10,05	
Aktivasi 07	800	30	17,49	12,58		10,05	
Aktivasi 08	800	60	17,57	12,50		10,03	
Aktivasi 09	800	90	17,59	12,39		10,02	

Sumber: Hasil Pengujian di tekMIRA,2015

Proses pemanasan pada tahap ini memakai suhu 750°C, 800°C dan 850°C dengan waktu proses masing-masing selama 30, 60 dan 90 menit. Kenaikan suhu 8°C/menit dan dialiri nitrogen dengan laju alir 5 cc/menit (merujuk pada US Patent 4,769,359). Kenaikan bertahap tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan mekanisme reaksi.

4. Uji Nilai Iodin Sesudah Aktivasi

Contoh Perhitungan :

$$\text{Bil Iod} = \frac{N_1 \times 12693 - (2,2 \times N_2 \times 126,93 \times \text{mL tio})}{M} \times D$$

Dengan :

N_1 : Normalitas Iodin

N_2 : Normalitas tiosulfat

M : Berat sampel karbon aktif (gr)

D : Faktor Koreksi, Didapat dari nilai C,

Tabel faktor koreksi terlampir (lampiran C)

$$\text{yaitu } C = \frac{\text{vol. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ yang terpakai} \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{50}$$

Sampel nomer 08

$$\begin{aligned} C &= \frac{\text{vol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ yang terpakai} \times \text{NT10}}{50} \\ &= \frac{7,00 \times 0,0996}{50} \\ &= 0,0139 \end{aligned}$$

$$D = 0,0139 \sim 1,0688 \text{ (tabel koreksi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Bil Iodin} &= \frac{N_1 \times 12693 - (2,2 \times N_2 \times 126,93 \times \text{ml T10})}{M} \times D \\ &= \frac{(0,0992 \times 12693) - (2,2 \times 0,0996 \times 126,93 \times 7,0)}{0,9499} \times 1,0688 \\ &= 1197,6943 \text{ mg/gr} \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Pengujian Iodin Sebelum dan Sesudah Aktivasi Karbon Aktif

Sampel	Berat sampel karbon aktif (gr)	V Na-tiosulfat (V _{TAT}) (mL)	Faktor Koreksi	Billodin (mg/gr)
sampel 1 850/60	0.1995	30.60	0.7308	526.9
sampel 2 850/30	0.9322	14.15	0.9438	620.0
sampel 3 850/90	0.9526	17.60	0.9250	499.2
sampel 4 750/30	1.0047	15.75	0.9294	524.3
sampel 5 750/60	0.8761	10.75	0.9863	1075.6
sampel 6 750/90	0.9119	20.40	0.8699	659.9
sampel 7 800/30	0.9926	16.65	0.9257	742.4
sampel 8 800/60	0.9499	7.00	1.0688	1197.6
sampel 9 800/90	0.9666	16.45	0.9270	768.7

Sumber: Hasil Pengujian Iodin Numberpada Karbon Aktif Batubara Hasil Aktivasi di tekMIRA,2016

5. Penentuan Luas Permukaan dan Kapasitas Adsorpsi Metana Berdasarkan Regresi Linier

Slope dan intercept untuk perhitungan luas permukaan

$$\begin{aligned} \text{Slope (b)} &= \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \\ &= \frac{7 \times 2599310 - 3603 \times 4227}{7 \times 2307569 - (3603)^2} \\ &= 0,935 \text{ mg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Intercept (a)} &= \frac{\sum Y - b \cdot \sum X}{n} \\ &= \frac{4227 - 0,93052 \times 3603}{7} \\ &= 122,59 \text{ mg/gr} \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Data Karakteristik Karbon Aktif ANG

No	Luas Permukaan (m ² /gr) (X)	Methane Capacity (mg/gr) (Y)	X.Y	X ²
1	445	44	19580	198025
2	445	148	65860	198025
3	640	75	48000	409600
4	900	65	58500	810000
5	900	87	78300	810000
6	1030	75	77250	1060900
7	1190	80	95200	1416100
8	1240	82	101680	1537600
9	1270	92	116840	1612900
10	1350	99	133650	1822500
11	1502	108	162216	2256004
12	1730	109	188570	2992900
13	1860	129	239940	3459600
14	2415	144	347760	5832225
15	2500	175	437500	6250000
16	2671	164	438044	7134241
17	2796	170	475320	7817616
18	3100	211	654100	9610000
Jumlah	27984	2057	3738310	55228236

Sumber: Manon dan Komarneni,1998

Slope dan intercept untuk perhitungan kapasitas adsorpsi metana

$$\begin{aligned} \text{Slope (b)} &= \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \\ &= \frac{18 \times 3738310 - 27984 \times 2057}{18 \times 2307569 - (27984)^2} \\ &= 0,0461 \text{ mg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Intercept (a)} &= \frac{\sum Y - b \cdot \sum X}{n} \\ &= \frac{2057 - 0,0461 \times 27984}{18} \\ &= 42,613 \text{ mg/gr} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan asumsi luas permukaan pada pengujian sampel 8

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan} &= a + b \times \text{bil. Iodin} \\ &= 122,59 + 0,935 \times 1197,6 \\ &= 1242,4 \text{ m}^2/\text{gr} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan asumsi kapasitas adsorpsi metana pada pengujian sampel 8

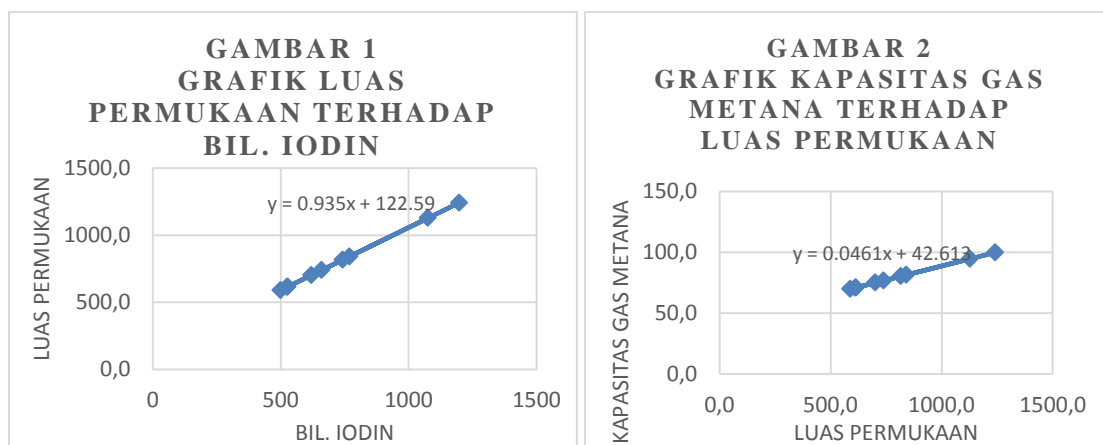
$$\begin{aligned} \text{Kap. metana} &= a + b \times \text{luas permukaan} \\ &= 42,613 + 0,0461 \times 1242,4 \\ &= 99,9 \text{ m}^2/\text{gr} \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Asumsi Luas permukaan dan Kapasitas Gas Metana

Sampel	Luas Permukaan (m ² /gr)	Methane Capacity (mg/gr)
sampel 1 850/60	615.3	71.0
sampel 2 850/30	702.3	75.0
sampel 3 850/90	589.4	69.8
sampel 4 750/30	612.8	70.9
sampel 5 750/60	1128.3	94.6
sampel 6 750/90	739.6	76.7
sampel 7 800/30	816.7	80.3
sampel 8 800/60	1242.4	99.9
sampel 9 800/90	841.3	81.4

Sumber: Hasil Perhitungan luas permukaan dan kapasitas gas metana, 2016

Data pada tabel diatas dengan menggunakan regresi linier, dapat diasumsikan jika karbon aktif memiliki bilangan Iodin 1197,6 mg/gr maka luas permukaan karbon aktif tersebut sebesar 1242,4 m²/gr. Dengan kemampuan untuk menyerap dan menyimpan gas metana yaitu 99,9 mg/gr. Dari Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi bilangan Iodin yang didapat maka semakin besar luas permukaan yang dihasilkan, sama halnya dengan Gambar 2 dibawah, dimana pada grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi luas permukaan semakin tinggi pula kemampuan menyerap/menyimpan gas metana.



Gambar 2. Grafik

D. Kesimpulan

1. Untuk dapat meningkatkan kualitas karbon aktif pada batubara sub-bituminus tipe C dilakukan metoda aktivasi kimia pencampuran semikokas dan bahan pengaktif yaitu dengan rasio 1 : 3, yaitu 10 gr semikokas 30 gr bahan pengaktif dan dilakukan pengujian bilangan Iodin yang dimana diperoleh hasil tertinggi pada suhu 800°C selama 60 menit sebesar 1197,6 mg/gr.
2. Batubara tidak hanya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar tetapi karbon aktif pada batubara dapat juga menyerap gas pada pembuatan ANG sehingga dapat memberikan nilai tambah terhadap bahan tambang yaitu batubara.
3. Karbon aktif batubara dengan bilangan iodin 920 mg/gr memiliki luas permukaan 884 m²/gr. Dengan demikian, jika karbon aktif memiliki bilangan iodin 1197 mg/gr maka luas permukaan karbon aktif tersebut dapat berdasarkan regresi linier diasumsikan sebesar 1242,4 m²/gr dengan kemampuan untuk menyerap dan menyimpan gas metana yaitu 99,9 mg/gr.

Daftar Pustaka

- Abdullah, R., dan Wahidin.2015. *Pembuatan Karbon Aktif Dari Batubara Untuk Adsorbed Natural Gas*. Teknik Kimia POLBAN. Bandung
- Alson, J.A., Adler, J.M., dan Baines, T.M. 1989. *Alternative Transportation Fuel*. New York.
- Anonim. 1981. *ASTM D 388 – 77: Standard Specification For Classification Of Coals by Rank*. United State : ASTM International
- Anonim, 2014. *Buku Panduan PT Bukit Asam Persero Tbk Tanjung Enim*. Tanjung Enim. PT Bukit Asam Persero Tbk
- Anonim, (BSN) Badan Standar Nasional. 1995. “SNI 06-3730.1995. *Arang AktifTeknis*”. Jakarta : BSN (SNI 06-3730.1995)
- Apriyahanda, Onny. 2015. *Mengenal Compressed Natural Gas dan Manfaatnya*. Energi Today. Jakarta
- Arami, Arash, 2012. *Production of microporous palm shell based activated carbon for methane adsorption: Modeling and optimization using response surface methodology*, chemical engineering research and design.
- Kumar, Abhishankar, 2011. *Adsorpsion Of Methane On Activated Carbon By Volumetric Method*. Department Of Chemical Engineering National Institute Of

- Technology. Rourkela
- Matar, S & Hatch L. F. 1994. *Proses petrokimia edisi ke-2*. Houston, Texas : Gulf Publishing Company.
- Menon, V.C., Komarneni, S. 1998. *Porous adsorbents fof vehicular natural gas storage : a review*, dalam *Journal of Porous Materials*.
- Milan. Smisek, 1970, “*Manufacture of active carbon*”, *Applications of active carbon Chapters 2 and 5 in Active Carbon Milan Smisek and Slovoj Cerny*, Editors Elsevier Amsterdam-London-New York pp 42 & 256-257.
- Monika,Ika., dan Hernawati, T., 2010. *Pengukuran Valume dan Ukuran Pori-Pori Karbon Aktifdari Batubara Airlaya*. Prosiding Seminar Teknik Kimia Universitas Parahyangan. Bandung
- Muchjidin, 2006. *Pengendalian Mutu Dalam Industri Batu Bara*. Bandung : Penerbit ITB.
- R.M. Suzuki, dkk, 2007. *Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Bran*. Departemen of Chemistry, Universidade Estadual de Maringo, Brazil.
- Satish, M, Manocha. 2003. *Porous Carbons*. Sadana Vol. 28, part 1 & 2.
- Speight, J. G. 2007. *Natural gas : a basic handbook*. Houston, Texas : Gulf Publishing Company.
- Viswanathan, B *et al.* 2009. *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*. Chennai : National Centre for Catalysis Research Department of Chemistry Indian Institute of Technology Madras.
- World Coal Institute. 2005. *Sumber daya batubara : tinjauan lengkap mengenai batubara*.
- Zakaria, Z, dkk. 2006. *The development of adsorbent based natural gas storage for vehicle application*. Department of Chemical Engineering Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering Universitas Teknologi Malaysia.