

## KAJIAN PENINGKATAN KINERJA PENGGUNAAN LARUTAN MAGNETIT PADA PENCUCIAN BATUBARA BAYAH DENGAN PARAMETER FRAKSI BUTIR:

Sebuah studi awal untuk mengetahui pengurangan kandungan abunya

**M. Ulum A. Gani<sup>1</sup>, Harijanto Soetjijo<sup>1</sup>, R. Amelia<sup>1</sup>, dan Fuad Saebani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135

Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593

Email: ulumgany@yahoo.com, ulumgany@techie.com

### Sari

Analisa proksimat batubara Sanggo, Bayah menunjukkan bahwa kandungan abu batubara tersebut adalah 27,42 %, sehingga pembakaran batubara tersebut dapat menimbulkan akibat yang negatif terhadap lingkungan dan juga merusak tungku pembakaran batubara. Studi pencucian untuk mengetahui pengurangan kandungan abu batubara telah dilakukan di laboratorium. Batubara tersebut dicuci dengan menggunakan larutan magnetit berdasarkan metode metode sink and float test. Perlakuan ini didasarkan pada perbedaan spesifik graviti antara mineral-mineral batubara (sumber abu) dengan batubara. Parameter-parameter yang berlaku dalam studi adalah sebagai berikut : spesifik graviti : 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7; kecepatan putaran 1.500 RPM; besar butir : -3+7; -7+12; -40+80, -80+100 dan -100 mesh dan waktu pengadukan 15 menit. Hasil pencucian ini menghasilkan lima buah grafik washability curve yang menunjukkan bahwa semakin tinggi SG larutan magnetit yang digunakan dalam pencucian ini maka recovery dan kandungan abunya semakin tinggi. Disamping itu semakin kecil ukuran butir batubara yang digunakan dalam percobaan ini, maka recoverynya juga semakin tinggi serta kandungan abunya semakin kecil.

**Kata kunci:** abu batubara, sink and float test, larutan magnetit, spesifik graviti, washability curve

### Abstract

*The proximate analysis of Sanggo, Bayah coal indicates that ash content of the coal is 27,42 % so that the burning of that coal will result a negative impact to environment and also breaking down the combustion furnace. A study of coal treatment for determining the removing of the ash content from the coal has been conducted in laboratory. The coal is treated by washing the coal with sink and float test using magnetite solution. This treatment is based on the difference between specific gravity of coal and coal minerals. The parameters used in the study are as follows : specific gravity of 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7; particle size of : -3+7; -7+12; -40+80; -80+100 and -100 mesh; agitation velocity of 1,500 rpm; and agitation time of 15 minutes. The result of the study produces five washability curves that the higher SG of magnetite solution used in this experiment, the higher of recovery and the ash content. In the other hand the finer particle size used in this experiment, the higher of recovery as well and the lower of ash content.*

**Keywords:** coal ash content, sink and float test, magnetite solution, specific gravity, washability curve

## PENDAHULUAN

Batubara adalah satu sumberdaya energi yang secara alamiah didapatkan di Indonesia. Berdasarkan data dari Direktorat Batubara, Departemen Sumberdaya Mineral dan Energi (Mei 2003) maka sumberdaya batubara Indonesia diperkirakan sebesar 57,85 milyar dan kebanyakan terdapat di Sumatera Selatan dan sebagian besar merupakan batubara peringkat rendah. Salah satu kendala dalam pemanfaatan batubara peringkat rendah di berbagai industri adalah kandungan abunya yang cukup tinggi karena abu ini memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling* pada tungku pembakaran khususnya apabila titik leleh abu lebih rendah dari tungku sehingga mempercepat rusaknya tungku dan juga mempercepat terjadinya korosi pada alat (Tsai, SC, 1982).

Dalam kaitannya dengan peningkatan kualitas batubara dengan cara mengurangi kandungan abunya maka studi pencucian batubara dengan metode *sink and float test* yang berdasarkan kepada perbedaan spesifik graviti dilakukan di Puslit Geoteknologi LIPI. Pada Penelitian sebelumnya (2008), percobaan pengurangan kandungan abu batubara dilakukan terhadap conto batubara yang berasal dari Bojongmanik, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten yang mempunyai kandungan abu batubara tinggi yaitu sebesar 44,90 % (Hadiyanto, 1993).

Pada penelitian sekarang telah dilakukan percobaan pengurangan kandungan abu batubara dari batubara Songgo, Bayah yang mempunyai kandungan abu batubara sebesar 27,42 % dengan parameter tetap kecepatan putaran 1500 rpm, dan waktu putaran 15 menit, sedangkan parameter berubah adalah besar butir yang terdiri dari : -3+7; -7+40; -40+80; -80+100, dan -100.

## METODE PENELITIAN

### LATAR BELAKANG TEORI

Batubara terdiri dari fraksi bahan organik dan fraksi bahan inorganik (Tsai, S.C, 1982). Bahan fraksi organik adalah batubara yang terdiri dari kandungan maceral vitrinit, liptinit dan inertinit. Pada pembakaran batubara bahan organik ini habis terbakar, sedangkan bahan inorganik yang kandungannya utamanya terdiri dari komposisi mineral (sekitar 5-20 %) dan sedikit kandungan komposisi organo-metallic dan kation-kation yang dapat saling bertukar (Gluskoter, H.J, 1975). Komposisi mineral memegang peranan yang sangat penting dalam pemakaian batubara karena komposisi mineral ini akan berubah menjadi abu setelah pembakaran atau merupakan sumber dari abu.

Batubara terdiri dari batubara dan pengotornya (impuritis), dimana abu batubara sebagai sisa pembakaran yang berasal dari pengotornya yang terdiri dari mineral-mineral batubara (Tsai, S.C, 1982). Batubara dan pengotornya mempunyai spesifik graviti (SG) yang berbeda, dimana batubara mempunyai SG yang lebih rendah yaitu berkisar antara 1,2-1,4, sedangkan pengotor batubara yang terdiri dari mineral-mineral batubara sebagai sumber abu batubara mempunyai spesifik graviti yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 0,5- 2,7. (Leonard, J.W, 1980). Dengan perbedaan spesifik graviti ini, maka memberikan peluang untuk pemisahan batubara dengan pengotornya atau peluang untuk mengurangi kandungan abu batubara dengan pengolahan berdasarkan spesifik gravitinya. Salah satu metode yang digunakan untuk memisahkan kandungan abunya adalah metode *sink and float test* yang menggunakan media pemisahan dengan SG yang berbeda atau SG yang lebih besar dari SG batubara. Serbuk magnetit yang mempunyai SG yang tinggi berkisar 7 memungkinkan digunakan sebagai larutan magnetit dengan mencampur dengan air pada perbandingan tertentu, sehingga didapatkan larutan magnetit dengan SG yang bervariasi. Batubara bersih akan mengapung (*float*), sedangkan batubara kotor akan tenggelam (*sink*), (Gaudin, A.M, 1980).

## KARAKTERISASI

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara yang berasal dari Songgo, Bayah, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten. Untuk mengetahui karakteristik batubara tersebut terutama yang berkaitan dengan sifat-sifat fisik maupun kimia, maka telah dilakukan berbagai macam analisis di laboratorium dengan standard ASTM terhadap conto batubara Songgo yang terdiri dari analisis proksimat, ultimat, analisis komposisi abu, titik leleh abu, analisis petrografi dan XRD. Hasil analisis proksimat; nilai kalori; dan ultimat ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut sedangkan pada Tabel 2 tercantum hasil analisis sifat fisik; petrografi; dan kimia abu batubara.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Proksimat; Nilai Kalori dan Ultimat Batubara Songgo, Bayah (adb)

Analisis Proksimat dan Nilai Kalori		Analisis Ultimat	
Parameter Analisis	Hasil Analisis (%)	Parameter Analisis	Hasil Analisis (%)
Air	10,03	Karbon	48,98
Zat Terbang	29,90	Hidrogen	3,93
Abu	27,42	Nitrogen	0,80
Karbon Tertambat	32,65	Total Sulfur	2,95
Nilai Kalori	3.545 kcal/kg	Oksigen	15,92

**Tabel 2.** Hasil Analisis Sifat Fisik; Petrografi; dan Kimia Abu Batubara Songgo, Bayah

Sifat Fisik		Petrografi		Kimia abu	
Parameter Analisis	Hasil Analisis	Parameter Analisis	Hasil Analisis	Oksida	Hasil Analisis (%)
HGI	56	Vitrinit	58,4	SiO <sub>2</sub>	66,2
TSG	1,89	Liptinit	6,8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,68
FSI	0	Inertinit	5,6	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,29
Titik Leleh Abu	>1500°C	Mineral Matter	29,2	K <sub>2</sub> O	2,04
		Vitrinite	0,46	Na <sub>2</sub> O	0,33
		Reflectance (Rv)		CaO	0,23
				MgO	0,76
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,85
				SO <sub>3</sub>	0,48
				H <sub>2</sub> O	0,24
				MnO	0,019
				LOI	0,98

### Analisis XRD

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa batubara Songgo, Bayah mengandung komposisi mineral yang terdiri dari: kuarsa, pirit dan nakrit.

## PERCOBAAN

### Prosedur Percobaan

Untuk keperluan percobaan *sink and float test*, maka conto batubara dari Songgo, Bayah diperkecil ukurannya dengan menggunakan *crusher* kemudian diperhalus ukurannya dengan menggunakan Ball Mill dan diayak sampai didapatkan ukuran -3 + 7; -7+12; -65+ 80; -80+100 dan -100 mesh. Pada pencucian batubara dengan menggunakan metode *sink and float test*, media larutan yang digunakan adalah larutan magnetit dengan spesifik graviti : 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 dan 1,7. Pembuatan larutan magnetit dengan SG: 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 dan 1,7. dilakukan dengan mencampur air dengan bubuk magnetit berukuran -300 mesh didalam gelas ukur dengan ratio antara berat larutan magnetit dan volumenya sampai didapatkan SG yang diinginkan (SG: 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 dan 1,7).

Selanjutnya conto batubara yang telah dipreparasi dari berbagai ukuran fraksi (-3 + 7; -7+12; -65+ 80; -80+100 dan -100 mesh), ditimbang sebanyak 100 gram dengan timbangan digital dimasukkan kedalam gelas beker yang berisi larutan magnetit mulai dengan SG terendah, kemudian diaduk dengan *mixer* dengan kecepatan 1500 rpm selama lebih kurang 15 menit hingga terbentuk 2 lapisan yang terpisah yaitu lapisan *float* (lapisan terapung) yang berupa abu batubara bersih (*clean coal*) dan lapisan *sink* (lapisan tenggelam) sebagai batubara kotor. Kedua lapisan tersebut kemudian dipisahkan dan disaring , fraksi *float* kemudian dikeringkan di panaskan pada oven dengan suhu 110°C, kemudian dianalisa kandungan abunya. Prosedur yang sama dilakukan berturut-turut terhadap SG yang lebih besar pada fraksi ukuran butir yang lain.

### Hasil Pencucian Batubara

Hasil analisis kandungan abu batubara pencucian batubara dengan SG 1,3-1,7 diplot pada fraksi individual dan *cumulative float* (Tabel 3, 4,5,6 dan 7).

### Pembuatan Grafik *sink and float Test (washability curve)*

Hasil analisis kadar abu pencucian batubara Songgo, Bayah (Tabel 3, 4,5,6, dan 7)) diplot dalam grafik *washability curve* (Gambar 1,2,3,4,5,dan 6) yang terdiri dari 4 grafik yaitu: Grafik 1 (*Specific Gravity Vs Cumulative Weight Float*); Grafik 2 (*Cumulative Ash Float Vs cumulative Weight Float*); Grafik 3 (*Cumulative Sink Ash vs Cumulative Weight Sink*); dan Grafik 4 (*Elementary Ash Vs Cumulative Weight Float* :

**Tabel 3.** Hasil Pencucian Batubara Songgo Bayah Yang Menggunakan Media Larutan Magnetit dengan Ukuran Fraksi Butir -3 + 7

SG	Individual Fraction			Cumulative Float			Cumulative Sink		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Wt (%)	Ash (%)	Faktor Abu	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)
<1,3	15,15	14,98	226,95	15,15	226,95	14,98	100,00	2733,10	27,33
1,3-1,4	25,08	16,21	418,22	40,23	645,17	16,04	84,85	2506,15	29,53
1,4-1,5	21,12	15,59	329,26	61,35	974,43	15,88	59,77	2087,93	34,93
1,5-1,6	20,19	31,44	634,78	81,54	1609,21	19,73	38,65	1758,67	45,50
1,6-1,7	9,63	49,68	478,42	91,17	2087,63	22,90	18,46	1123,89	60,88
>1,7	8,83	73,10	645,47	100,00	2733,10	27,33	8,83	645,47	73,10

**Tabel 4.** Hasil Pencucian Batubara Songgo Bayah Yang Menggunakan Media Larutan Magnetit dengan Ukuran Fraksi Butir -7+12

SG	Individual Fraction			Cumulative Float			Cumulative Sink		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Wt (%)	Ash (%)	Faktor Abu	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)
<1,3	15,49	14,09	218,25	15,49	218,25	14,09	100,00	2520,69	25,21
1,3-1,4	28,13	15,19	427,19	43,62	645,44	14,80	84,51	2302,44	27,24
1,4-1,5	19,17	16,79	321,86	62,79	967,30	15,41	56,38	1875,22	33,26
1,5-1,6	21,18	30,25	640,70	83,97	1608,00	19,15	37,21	1553,39	41,75
1,6-1,7	8,13	48,79	396,66	92,10	2004,66	21,77	16,03	912,69	56,94
>1,7	7,90	65,32	516,03	100,00	2520,69	25,20	7,90	516,03	65,32

**Tabel 5.** Hasil Pencucian Batubara Songgo Bayah Yang Menggunakan Media Larutan Magnetit dengan Ukuran Fraksi Butir -65+80

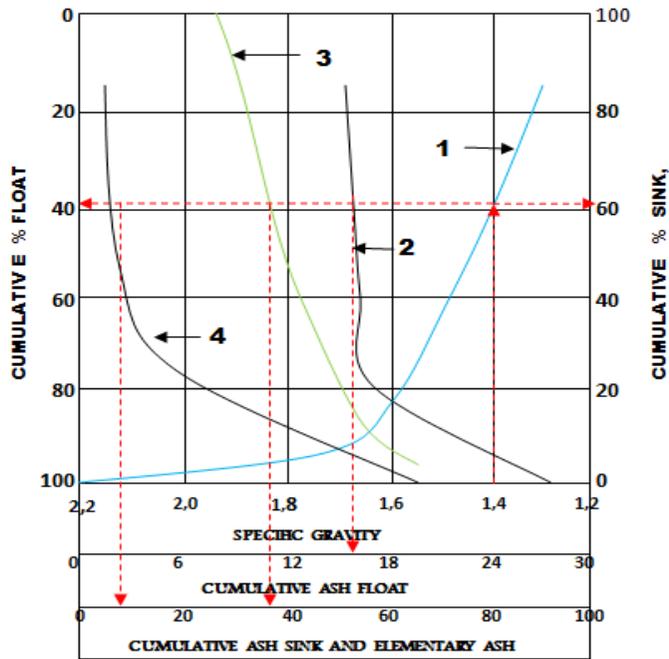
SG	Individual Fraction			Cumulative Float			Cumulative Sink		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Wt (%)	Ash (%)	Faktor Abu	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)
<1,3	15,93	13,56	216,01	15,93	216,01	13,56	100,00	2340,79	23,41
1,3-1,4	23,64	12,99	307,08	39,57	523,09	13,22	84,07	2124,76	25,27
1,4-1,5	26,19	13,98	366,14	65,76	889,23	13,52	60,43	1817,70	30,08
1,5-1,6	19,96	34,75	693,61	85,72	1582,84	18,47	34,24	1451,56	42,39
1,6-1,7	10,04	47,96	481,52	95,76	2064,39	21,56	14,28	757,95	53,08
>1,7	4,24	65,19	276,40	100,00	2340,79	23,41	4,24	276,40	65,19

**Tabel 6.** Hasil Pencucian Batubara Songgo Bayah Yang Menggunakan Media Larutan Magnetit dengan Ukuran Fraksi Butir -80 + 100

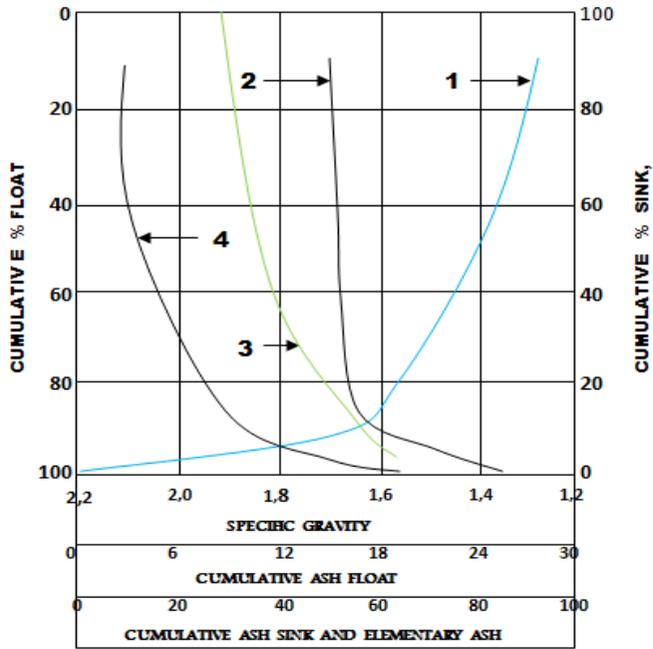
SG	Individual Fraction			Cumulative Float			Cumulative Sink		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Wt (%)	Ash (%)	Faktor Abu	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)
<1,3	18,76	12,12	227,37	18,76	227,37	12,12	100,00	2128,35	21,28
1,3-1,4	28,63	12,97	371,33	47,39	598,70	12,63	81,24	1900,98	23,40
1,4-1,5	24,19	13,01	314,71	71,58	913,41	12,76	52,61	1529,65	29,08
1,5-1,6	15,03	34,78	522,74	86,61	1436,15	16,58	28,42	1214,94	42,75
1,6-1,7	9,76	46,29	451,79	96,37	1887,94	19,59	13,39	692,20	51,70
>1,7	3,63	66,23	240,41	100,00	2128,35	21,28	3,63	240,41	66,22

**Tabel 7.** Hasil Pencucian Batubara Songgo Bayah Yang Menggunakan Media Larutan Magnetit dengan Ukuran Fraksi Butir -100

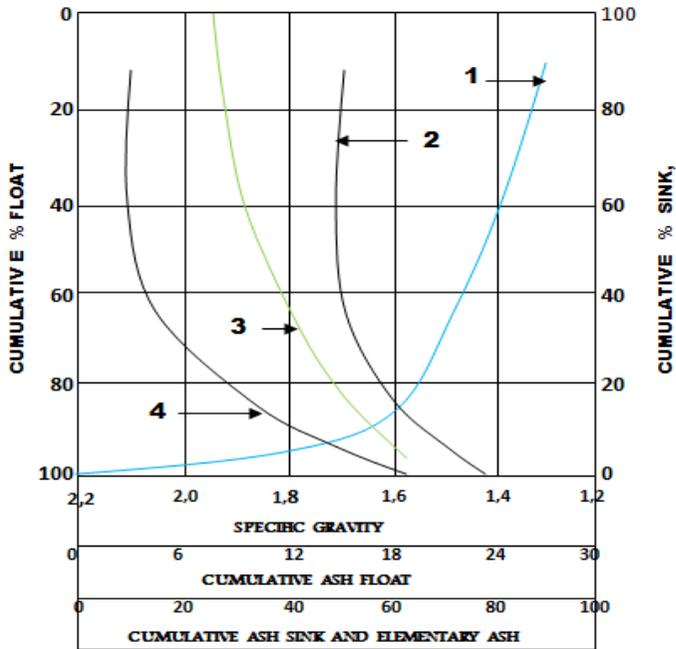
SG	Individual Fraction			Cumulative Float			Cumulative Sink		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Wt (%)	Ash (%)	Faktor Abu	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)	Wt (%)	Faktor Abu	Ash (%)
<1,3	19,79	9,12	107,52	19,79	107,52	5,43	100,00	1734,43	17,34
1,3-1,4	30,64	9,99	306,09	50,43	413,61	8,20	80,21	1626,91	20,28
1,4-1,5	25,44	10,58	269,16	75,87	682,77	9,00	49,57	1320,82	26,65
1,5-1,6	11,12	33,80	375,86	86,99	1058,63	12,17	24,13	1051,66	43,58
1,6-1,7	9,12	45,89	418,52	96,11	1477,15	15,37	13,01	675,80	51,94
>1,7	3,89	66,14	257,28	100,00	1734,43	17,34	3,89	257,28	67,17



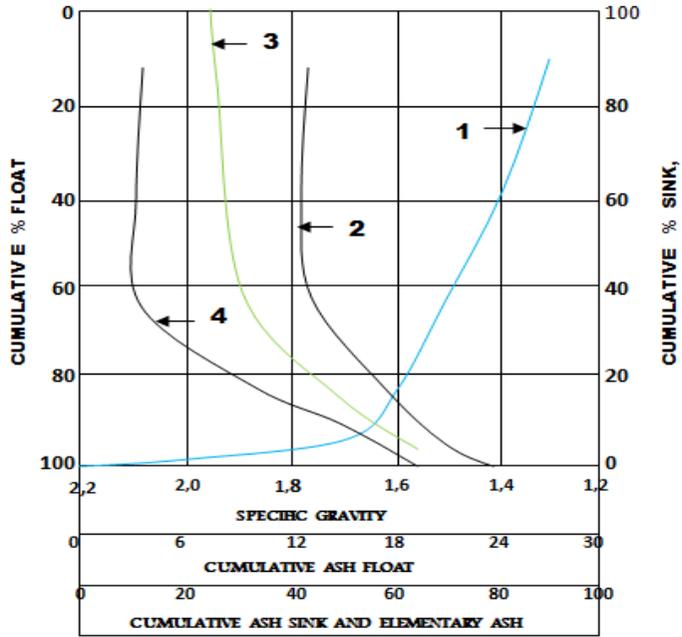
**Gambar 1.** Washability Curves dengan Pemisahan Pada Fraksi Butir -3 +7



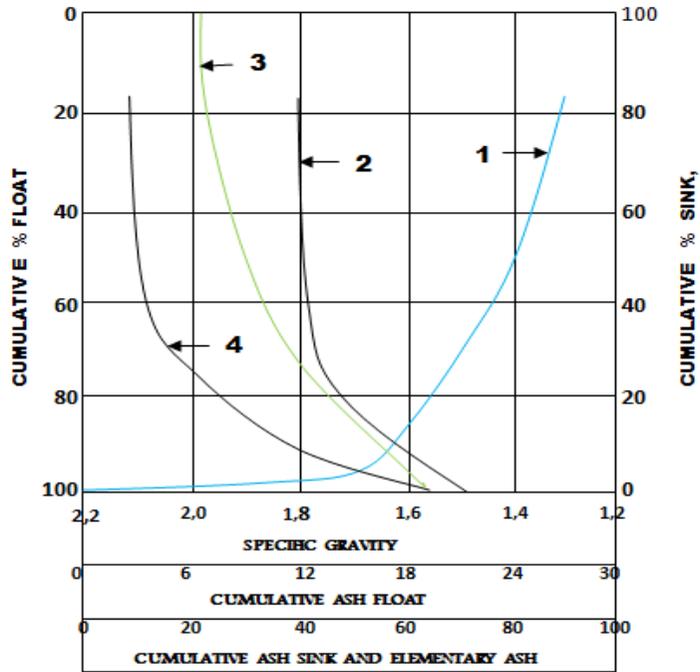
**Gambar 2.** Washability Curves dengan Pemisahan pada Fraksi butir -7+12



**Gambar 3.** Washability Curves dengan Pemisahan pada Fraksi Butir -65+80



Gambar 4. Washability Curves dengan Pemisahan pada Fraksi Butir -80+100



Gambar 5. Washability Curves dengan Pemisahan pada Fraksi butir -100

## PEMBAHASAN

Dari hasil analisis proksimat (Tabel 1) terlihat bahwa kandungan abu batubara Songgo, Bayah yang digunakan dalam studi pencucian ini cukup besar yaitu 24,70 %. Kandungan abu batubara yang tinggi ini disebabkan oleh besar kandungan mineral-mineral yang ada dalam batubara (sebagai sumber abu batubara) yang ditunjukkan oleh hasil analisis petrografi dengan kandungan *mineral matter* sebesar 29,2 % (Tabel 3). Berdasarkan hasil analisis petrografi dari conto batubara Bayah yang digunakan dalam percobaan (Tabel 2) terlihat bahwa *vitrinite reflectance* rata-rata sebesar 0,46 sehingga berdasarkan klasifikasi batubara menurut Cock, 1982, maka batubara tersebut diklasifikasikan sebagai batubara peringkat rendah (*low rank*) yaitu jenis *sub bituminous*.

Hasil analisis pencucian batubara (Tabel 3, 4, 5, 6, dan 7) dan *grafik washability curve* (Gambar 1, 2, 3, 4, dan 5) menunjukkan bahwa semakin tinggi spesifik graviti larutan magnetit yang digunakan dalam percobaan (pencucian batubara) ini maka semakin tinggi *recovery* batubara dan semakin tinggi kandungannya atau pengurangan kandungan abu lebih kecil. Disamping itu juga semakin halus ukuran butir yang digunakan dalam percobaan ini, maka semakin tinggi juga *recovery* batubara, sedangkan kandungan abunya semakin kecil atau pengurangan kandungan abunya semakin besar. Hal ini ditunjukkan pada pencucian batubara yang menggunakan ukuran butir -3 + 7 (Gambar 1), dengan SG 1,3 *recovery* 40,23% dengan kandungan abu 16,04%, dan SG 1,7 *recovery* 91,17 dengan kandungan abu 22,9%.; ukuran butir -7+12 (Gambar 2), dengan SG 1,3 *recovery* 43,62 % dengan kandungan abu 14,80%, dan SG 1,7 *recovery* 92,10 % dengan kandungan abu 21,77%.; ukuran butir -65+80 (Gambar 3), dengan SG kecil 1,3 *recovery* 39,57% dengan kandungan abu 13,22 %, dan SG 1,7 *recovery* 95,76% dengan kandungan abu 21,56%; ukuran butir -80+100 (Gambar 4), dengan SG 1,3 *recovery* 47,39% dengan kandungan abu 12,63%, dan SG 1,7 *recovery* 96,37% dengan kandungan abu 19,59% dan ukuran butir -100 (Gambar 5), dengan SG 1,3 *recovery* 50,43% dengan kandungan abu 8,20%, dan SG 1,7 *recovery* 96,11% dengan kandungan abu 15,37%.

Hal ini disebabkan karena pada penggunaan larutan magnetit dengan SG tinggi kesempatan mineral-mineral batubara sebagai sumber abu batubara akan terapung (terikut dengan batubara bersih) lebih besar sehingga *recovery*nya semakin besar dan kandungannya juga semakin besar. (Lowry H.H, 1988). Disamping itu juga semakin halus ukuran butir yang digunakan, maka semakin banyak mineral-mineral pengotor (sumber abu) yang terliberasi (terlepas) atau derajat liberasinya semakin tinggi, sehingga mineral-mineral pengotor tersebut akan lebih banyak kesempatannya untuk terpisah pada lapisan tenggelam (*sink*) dan tidak ikut dengan lapisan batubara yang terapung (*float*), sehingga kandungan abu batubara bersih (*clean coal*) semakin kecil dan pengurangan kandungan abu semakin besar (Gaudin, 1980)

Pada pencucian batubara ini terlihat bahwa hasil perolehan batubara bersih dan pengurangan kandungan abunya belum maksimal. Hal ini kemungkinan disebabkan karena sebagian mineral-mineral batubara bersatu dengan struktur batubara, sehingga sulit dipisahkan dengan pencucian yang berdasarkan spesifik graviti (*physical treatment*) dan hanya dapat dipisahkan dengan terlebih dahulu merubah struktur batubara (Leonard, 1968). Disamping itu juga pada pencucian menggunakan larutan magnetit dengan SG tinggi, pengurangan abunya relatif kecil, karena mineral-mineralnya ikut terapung bersama dengan batubara bersih yang terapung (*float*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil bahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil karakterisasi menunjukkan conto batubara dari Songgo, Bayah yang digunakan dalam percobaan pencucian batubara diklasifikasikan sebagai batubara peringkat rendah (*low rank*) atau *subbituminous*.
- Semakin tinggi SG yang digunakan dalam pencucian batubara, maka semakin tinggi *recovery* batubara dan kandungan abunya juga yang semakin tinggi
- Semakin halus ukuran butir yang digunakan dalam pencucian ini, maka juga semakin tinggi *recovery* batubara dan semakin kecil kandungan abu batubara atau semakin tinggi pengurangan kandungan abunya .
- Pada hasil pencucian batubara (*recovery*) yang diperoleh dan pengurangan kandungan abu batubara belum optimal. Hal ini kemungkinan disebabkan karena mineral-mineral pengotor batubara sebagai sumber abu belum terliberasi dengan baik pada waktu pengecilan ukuran butir akibat mineral-mineral tersebut bersatu dengan struktur batubara tersebut, disamping itu juga pada pencucian menggunakan larutan magnetit dengan SG tinggi mineral-mineral batubara ini ikut terapung dengan batubara bersih (*float*).

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, *Sampling and Analyses of Coal and Cokes*, D271-248, New York, 1982
- Cook, A.C., Edward, G.E., *Vitrinite Content and Coke Strength*, Wollongong University, Wollongong, 1971.
- Direktorat Batubara., *Potensi Sumber Daya Batubara di Indonesia*, Departemen EDSM, Jakarta, 2003.
- Gaudin, MA, *Principle of Mineral Dressing*, TMH Edition, McGraw Hill Book Co, LTD, New York., 1980.
- Gluskoter, H.J, *Trace Element in Fuel*, Advances in Chemistry Series, 141, 1-22 , 1975, edited by S.P Babu.
- Hadiyanto, *Potensi Sumber Daya Batubara Indonesia*, Kursus Geologi dan Eksplorasi Batubara, Subdit Eksplorasi Batubara & Gambut, Direktorat Sumberdaya Mineral, Departemen EDSM, Bandung, 1990.
- Lowry, H.H, *Chemistry of Coal Utilization*, Wiley and Sons, New York, London, 1963.
- Leonard, J.W, *Coal Preparation*, The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Eng. Inc, New York., 1988.
- Tsai, SC, *Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization*, Elsevier, Amsterdam, Oxford New York, 1982.