

# PENGARUH UKURAN PARTIKEL, WAKTU REAKSI DAN JUMLAH OKSIDAN PADA DESULFURISASI SECARA KIMIAWI TERHADAP BATUBARA BINUNGAN

## *Effect of Particle Size, Reaction Time and Oxidant in Chemical Desulfurisation of Binungan Coal*

HARIYANTO SOETJIJO

Pusat Penelitian Geopteknologi LIPI  
Komplek LIPI, Gedung 80  
Jalan Sangkuriang, Bandung 40135  
e-mail: bmwhay@yahoo.com

---

### SARI

Percobaan desulfurisasi secara kimiawi dengan menggunakan hidrogen peroksida 15%v/v dalam larutan 0.1 N asam sulfat telah dilakukan terhadap batubara Binungan (Kalimantan Timur) dengan menggunakan sebuah reaktor berpengaduk terbuat dari stainless steel dengan volume 1 liter. Variabel percobaan meliputi dari ukuran partikel batubara {(-20+100) dan (-100) mesh}, waktu reaksi (30 sampai 180 menit) dan jumlah oksidan (500 dan 250 ml). Hasil percobaan memperlihatkan bahwa pengurangan kandungan sulfur batubara Binungan bervariasi tergantung pada ukuran partikel, waktu reaksi dan jumlah oksidan yang dipergunakan. Selain itu hasil analisa kimia serta difraksi sinar X mengindikasikan bahwa sebagian besar sulfur yang dihilangkan adalah sulfur piritik.

Kata kunci: desulfurisasi kimiawi; batubara; kandungan sulfur, oksidan.

### ABSTRACT

*A chemical desulphurization using aqueous hydrogen peroxide with concentration of 15% v/v in 0.1 N sulfuric acid had been conducted for Binungan coal (East Kalimantan) in a stirred batch reactor made of stainless steel with 1 liter volume. The influence of coal particle sizes {(-20+100) and (-100) mesh}, reaction time (30 to 180 minutes) and oxidant concentration (500 and 250 milli litre) on the degree of desulphurization were investigated. The result of the experiment showed that the reduction of sulfur in Binungan coal varied depending on particle size, reaction time and amount of oxidant used. Beside that the result of the chemical and Xray diffraction analyses indicate that most of coal removed is pyritic sulfur.*

*Keywords: chemical desulphurization; coal; sulfur content, oxidizer.*

---

### PENDAHULUAN

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Statistik Batubara Indonesia, 2011), sumber daya batubara yang terdapat Indonesia adalah berjumlah sekitar 106 milyar ton dengan penyebarannya sebagian besar di Kalimantan (48,83%) dan Sumatera (46,34%), dan sekitar 21 milyar ton adalah cadangan batubara yang dapat

ditambang (mineable). Kondisi saat ini konsumsi batubara tercatat 82 juta ton, yang sebagian besar dikonsumsi PLTU (Direktorat Jendral Mineral Batubara, 2012). Jenis batubara yang terdapat di Indonesia didominasi oleh batubara dengan peringkat rendah yaitu sub-bituminus sebesar 29,75% dan lignit sebesar 56,41%, yang merupakan jenis batubara yang kurang disukai dan tidak kompetitif untuk pasar ekspor.

Pemanfaatan batubara di dalam negeri pada umumnya meliputi penggunaan di PLTU, industri semen, kertas, tekstil, metalurgi dan lainnya. Batubara lignit dan sub bituminus secara umum merupakan batubara berkalori rendah, dengan kadar air tinggi dan sebagian memiliki sulfur yang tinggi pula. Penggunaan jenis batubara khususnya dengan kandungan sulfur tinggi lebih terbatas karena pembakaran batubara tersebut menghasilkan gas-gas polusi seperti SO<sub>x</sub> dengan konsentrasi lebih tinggi yang mengakibatkan terjadinya hujan asam yang berbahaya bagi kehidupan di muka bumi ini. Berkaitan dengan kondisi tersebut maka proses desulfurisasi batubara merupakan salah satu cara untuk mengurangi bahkan menghilangkan sulfur sebagai salah satu sumber pembentukan gas polutif.

Proses desulfurisasi batubara secara kimiawi atau biologi biasanya cocok diterapkan untuk batubara yang memiliki sulfur organik dan sulfur piritik yang berukuran halus atau tersebar merata di dalam batubara. Salah satu proses desulfurisasi batubara secara kimia adalah pengurangan sulfur dengan menggunakan oksidan hidrogen peroksida. Metode tersebut cukup efektif untuk mengurangi kandungan sulfur secara cepat dan mempunyai kemampuan untuk mengubah sulfur piritik menjadi senyawa lain serta dapat dilakukan pada tekanan dan kondisi yang relatif normal (Ahnonkitpanit dan Prasassarakich, 1989).

Tujuan penelitian adalah menguji pengaruh dari perbedaan ukuran butir batubara, waktu reaksi dan jumlah oksidan yang digunakan dalam percobaan terhadap kandungan sulfur dan berat batubara.

## METODOLOGI

### Peralatan

Sebuah reaktor rendam berpengaduk (*stirred batch reactor*) yang terbuat dari *stainless steel* digunakan untuk percobaan desulfurisasi. Volum reaktor adalah 1 liter dan reaktor dilengkapi pengaduk dan mempunyai lapisan pendingin air serta pengatur temperatur.

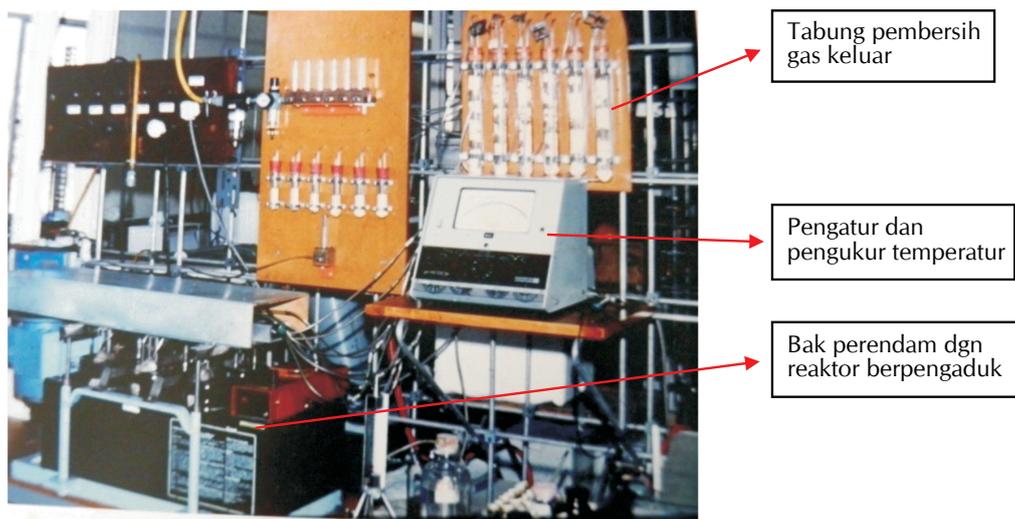
Gambar 1 memperlihatkan susunan peralatan yang digunakan dalam percobaan.

### Batubara

Batubara yang berasal dari daerah Binungan, Kalimantan Timur dipergunakan pada percobaan desulfurisasi. Analisis proksimat dari batubara Binungan dapat dilihat pada Tabel 1. Sebelum digunakan batubara digerus dan disaring. Ukuran saringan yang digunakan adalah 20 dan 100 mesh sehingga sebagai hasil penyaringan diperoleh dua macam ukuran batubara yaitu (-20 + 100) and (-100) mesh.

## PERCOBAAN

Percobaan desulfurisasi batubara Binungan dengan hidrogen peroksida dilakukan dengan menggunakan larutan 15% hidrogen peroksida dan sebagai pengencernya digunakan larutan 0,1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (untuk membantu menguatkan oksidasi). Jumlah



Gambar 1. Peralatan yang digunakan dalam eksperimen

Table 1. Hasil analisis dari batubara Binungan

Analisis	Hasil
Air (adb %)	14,4
Abu (adb %)	2,5
Zat terbang (adb %)	40,6
Karbon (adb %)	42,5
Sulfur total (daf %)	1,21
Sulfur piritik (daf %)	0,69
Nilai kalori (adb, cal/gr)	5996

Keterangan:

Adb : air dried basis;

daf : dry ash free.

Pengaduk diatur pada putaran 125 rpm. Pada setiap percobaan, jumlah batubara yang digunakan adalah 100 gram.

Setiap percobaan dilakukan selama 180 menit dan pengambilan percontoh batubara untuk keperluan analisis sulfur dilakukan setiap 30 menit.

Analisis sulfur dilakukan untuk sulfur total, sedangkan analisa sulfur piritik dilakukan terbatas pada percontoh batubara awal sebelum proses dan satu percontoh dari hasil percobaan. Jumlah percobaan adalah 4 kali percobaan.

larutan oksidan yang dipergunakan adalah 500 dan 250 ml.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan yang dilakukan telah disusun dan dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2. Hasil eksperimen desulfurisasi batubara Binungan

Deskripsi desulfurisasi	No	Besar butir mesh	waktu menit	Sulfur Total (%)		Sulfur piritik (%)		Berat batubara (gram)	
				sebelum	sesudah	sebelum	sesudah	sebelum	sesudah
* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc. = 15% v/v * vol. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 500 ml	1		0	1,21	1,21	0,69	0,69	100,02	100,02
	1.1	-100	30	1,21	0,87	-	-	-	-
	1.2		60	1,21	0,78	-	-	-	-
	1.3		90	1,21	0,65	-	-	-	-
	1.4		120	1,21	0,62	-	-	-	-
	1.5		150	1,21	0,55	-	-	-	-
	1.6		180	1,21	0,52		0,03		74,36
*H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc. = 15% v/v *vol. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 500 ml	2		0	1,21	1,21	0,69	0,69	100,08	100,08
	2.1	80	30	1,21	0,95	-	-	-	-
	2.2.		60	1,21	0,84	-	-	-	-
	2.3		90	1,21	0,8	-	-	-	-
	2.4		120	1,21	0,76	-	-	-	-
	2.5		150	1,21	0,62	-	-	-	-
	2.6		180	1,21	0,55				80,46
* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc. = 15% v/v * vol. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 250 ml	3		0	1,21	1,21	0,69	0,69	100,04	100,04
	3.1	-100	30	1,21	0,9	-	-	-	-
	3.2		60	1,21	0,81	-	-	-	-
	3.3		90	1,21	0,73	-	-	-	-
	3.4		120	1,21	0,69	-	-	-	-
	3.5		150	1,21	0,6	-	-	-	-
	3.6		180	1,21	0,55				78,38
* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Conc. = 15% v/v * vol. of H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 250 ml	4		0	1,21	1,21	0,69	0,69	100,03	100,03
	4.1	80	30	1,21	0,98	-	-	-	-
	4.2		60	1,21	0,92	-	-	-	-
	4.3		90	1,21	0,86	-	-	-	-
	4.4		120	1,21	0,8	-	-	-	-
	4.5		150	1,21	0,68	-	-	-	-
	4.6		180	1,21	0,65				82,45

Secara mendasar, desulfurisasi batubara secara kimiawi dengan menggunakan larutan hidrogen peroksida merupakan sebuah proses oksidasi yang mengarah kepada perubahan dan pemecahan struktur atau komponen-komponen batubara. Produk rombakan yang dihasilkan dari reaksi batubara dengan hidrogen peroksida adalah gas-gas dan beberapa komponen bahan lainnya. Gas-gas yang dihasilkan antara lain berupa gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sedangkan komponen/bahan lainnya berupa campuran dari fraksi-fraksi aromatik dan alifatik yang lebih dikenal dengan sebutan asam humik atau asam batubara (*humic acids* atau *coal acid*).

Dekomposisi dari hidrogen peroksida, reaksi oksidasi batubara dan pembentukan gas-gas berkaitan erat dengan kondisi dari temperatur reaksi yang terjadi. Reaksi antara batubara dengan hidrogen peroksida adalah reaksi yang bersifat katalitik dan komponen besi yang terdapat didalam batubara yang diwakili oleh pirit atau markasit/FeS<sub>2</sub> akan berfungsi sebagai katalis pada reaksi dekomposisi hidrogen peroksida dan oksidasi batubara. Proses desulfurisasi batubara terjadi secara bersamaan dan berlangsung secara kontinu dengan proses oksidasinya (Uzun dan Ozdogon, 2006). Dari tiga jenis sulfur yang ditemukan dalam batubara yaitu piritik, sulfat dan organik dan secara umum, sulfur piritik atau *pyrite*/FeS<sub>2</sub> dapat ditemukan dalam batubara dalam berbagai jenis ukuran dari ukuran beberapa mikro meter sampai ukuran masif berupa nodul. Biasanya ukuran sulfur piritik yang besar mudah dipisahkan dengan cara konvensional melalui proses pencucian karena adanya perbedaan berat jenis antara batubara dengan sulfur piritik (berat jenis 5) tetapi teknik tersebut tidak berjalan baik untuk batubara yang mempunyai sulfur piritik yang berukuran halus atau tersebar merata didalam batubara (Arslan, 1999). Proses desulfurisasi batubara secara kimiawi atau biologi biasanya cocok diterapkan untuk batubara demikian (Joshi dan Sangal, 1998). Selain itu desulfurisasi batubara dengan menggunakan hidrogen peroksida mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode desulfurisasi lainnya karena metode desulfurisasi ini dilakukan pada kondisi normal dalam arti tidak memerlukan kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi, sehingga lebih mudah dilakukan dan murah biayanya.

Dari Tabel 2, hasil percobaan desulfurisasi memperlihatkan bahwa pengurangan sulfur teramati pada setiap percobaan (percobaan no 1, 2, 3 dan 4). Jumlah pengurangan sulfur tidak sama, bervariasi

tergantung pada kondisi percobaan.

Hasil perhitungan memperlihatkan pada percobaan no 1 dengan kondisi: ukuran batubara –100 mesh dan volum hidrogen peroksida (konsentrasi 15%v/v) 500 ml, jumlah pengurangan sulfur total adalah 28,10%; 35,54%; 46,28%; 48,76%; 54,55% dan 57,02% setelah percobaan berjalan selama 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 menit berturut-turut (dihitung dari hasil percobaan no 1.1. sd no 1.6). Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa makin lama waktu reaksi maka jumlah pengurangan sulfur makin tinggi pula. Pembahasan selanjutnya mengenai hubungan antara waktu reaksi dan pengurangan sulfur dibahas berikut ini. Hal serupa juga teramati pada percobaan berikutnya yaitu pada percobaan no 2, no 3 dan no 4. Percobaan no 2 dengan kondisi: ukuran batubara (–20+100) mesh dan volum hidrogen peroksida (konsentrasi 15%v/v) 500 ml, jumlah pengurangan sulfur total adalah 21,49%; 30,58%; 33,88%; 37,19%; 48,76% dan 54,55% setelah percobaan berjalan selama 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 menit berturut-turut (dihitung dari hasil percobaan no 2.1 sd 2.6). Hasil percobaan no 3 dengan kondisi: ukuran batubara – 100 mesh dan volum hidrogen peroksida (konsentrasi 15%v/v) 250 ml, jumlah pengurangan sulfur total adalah 25,62%; 33,06%; 39,67%; 42,98%; 50,46% dan 54,55% setelah percobaan berjalan selama 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 menit berturut-turut (dihitung dari hasil percobaan no 3.1 sd 3.6). Pada percobaan no 4 dengan kondisi: ukuran batubara (–20+100) mesh dan volum hidrogen peroksida (konsentrasi 15%v/v) 250 ml, jumlah pengurangan sulfur total adalah 19,01%; 23,97%; 28,93%; 37,88%; 43,80% dan 46,28% setelah percobaan berjalan selama 30; 60; 90; 120; 150 dan 180 menit berturut-turut (dihitung dari hasil percobaan no 4.1 sd 4.6).

#### **Pengaruh waktu reaksi terhadap nilai pengurangan sulfur**

Data hasil percobaan tersebut di atas memperlihatkan bahwa jumlah pengurangan sulfur pada setiap percobaan berjalan seiring dengan waktu reaksi dan pengurangan sulfur bertambah seiring dengan makin panjangnya waktu reaksi. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa pengurangan sulfur berjalan cepat pada awal proses yaitu diantara waktu 30 menit sampai 120 menit, sedangkan sesudahnya (150 dan 180 menit) pengurangan sulfur berjalan lebih lambat. Hal tersebut mengungkapkan bahwa sepanjang waktu proses 120 menit pertama reaksi pengubahan pirit berjalan lancar karena jumlah piritik sulfur masih melimpah sedangkan setelah proses

berjalan diatas 120 menit, reaksi lebih lambat seiring dengan berkurangnya pirit dalam batubara. Dalam hal ini piritik sulfur sebagai sumber utama pada reaksi oksidasi sudah menurun jumlahnya sehingga kecepatan reaksi oksidasi juga mengecil dan mengakibatkan penurunan produknya (Alper dkk., 2008).

Di lain pihak data di atas juga memperlihatkan bahwa pengurangan sulfur dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya yaitu ukuran partikel batubara dan jumlah oksidan yang dipergunakan. Pengaruh kedua faktor tersebut dibahas berikut ini.

**Pengaruh ukuran partikel batubara terhadap nilai pengurangan sulfur**

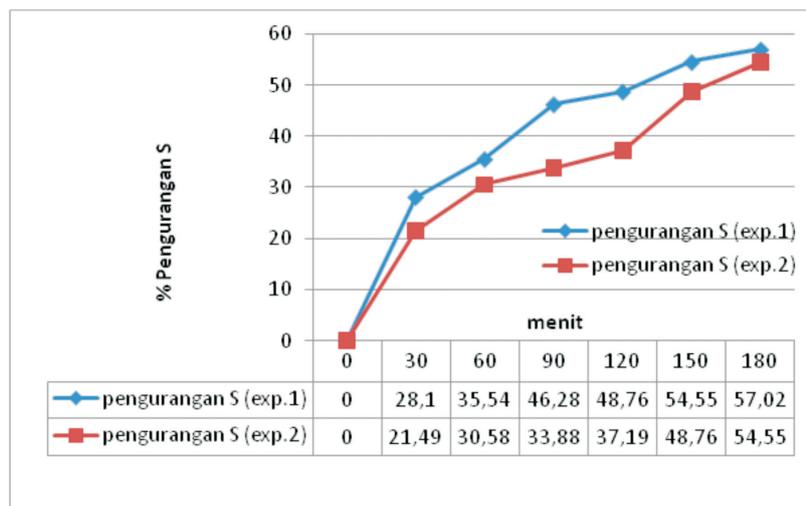
Data percobaan no 1 dan no 2 memperlihatkan bahwa jumlah pengurangan sulfur total yang teramati selama proses desulfurisasi pada percobaan no 1 ternyata lebih tinggi nilainya dibandingkan hasil yang diperoleh dari percobaan no 2 (Gambar 2). Hal serupa juga teramati pada perbandingan hasil eksperimen no 3 dan no 4 seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kedua gambar tersebut memperlihatkan bahwa penurunan ukuran partikel batubara dari (-20 + 100) mesh menjadi -100 mesh mampu meningkatkan jumlah sulfur yang dapat dihilangkan dari batubara Binungan tersebut. Secara teknis hal tersebut berkaitan dengan kondisi yang terjadi selama reaksi berlangsung yaitu semakin kecil ukuran batubara menyebabkan makin luas permukaan batubara sehingga reaksi antara oksidan dengan batubara makin efektif (Rubinstein dan Samygin, 2003) sehingga makin banyak sulfur yang

mengalami oksidasi dan mengakibatkan tingkat pengurangan sulfur semakin besar pula.

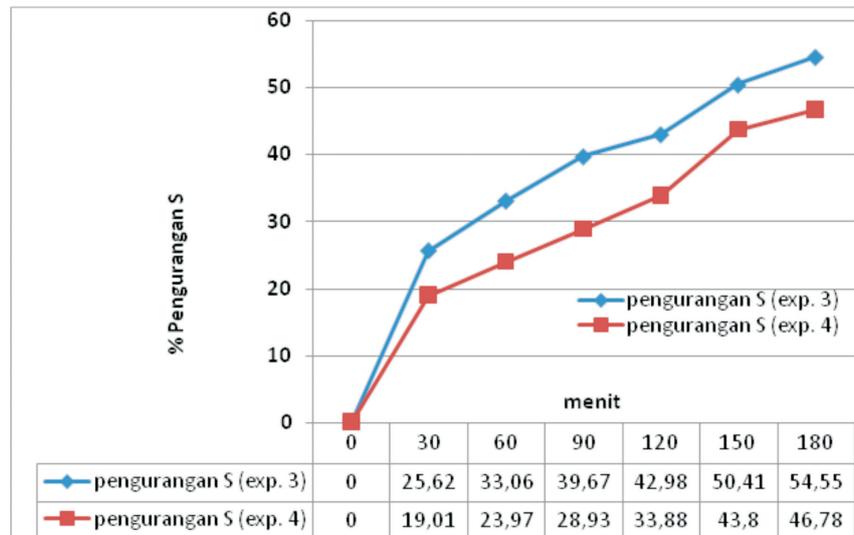
**Pengaruh jumlah oksidan terhadap nilai pengurangan sulfur**

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa jumlah oksidan (larutan 15%v/v hidrogen peroksida) juga mempengaruhi banyaknya pengurangan sulfur yang terjadi. Jumlah oksidan yang dipergunakan pada percobaan no 1 dan no 2 adalah 500 ml sedangkan pada percobaan no 3 dan no 4 jumlahnya 250 ml. Gambar 4 memperlihatkan grafik pengurangan sulfur total pada percobaan no 1 dan no 3 dengan ukuran partikel batubara -100 mesh, sedangkan Gambar 5 memperlihatkan grafik pengurangan sulfur total pada percobaan no 2 dan no 4 dengan ukuran partikel batubara (-20 + 100) mesh. Kedua gambar tersebut memperlihatkan bahwa pengurangan sulfur total pada percobaan dengan 500 ml oksidan lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan yang menggunakan 250 ml oksidan, meskipun penelaahan lebih lanjut menunjukkan bahwa perbedaan jumlah oksidan yang mencapai dua kali lipat (dari 250 ml menjadi 500 ml) tidak berbanding lurus dengan perbedaan jumlah sulfur yang dihilangkan. Jadi dari kedua grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah oksidan yang tepat untuk keberhasilan proses perlu diteliti kembali, dalam hal ini penambahan oksidan mungkin dicari di antara angka 250 ml dan 500 ml.

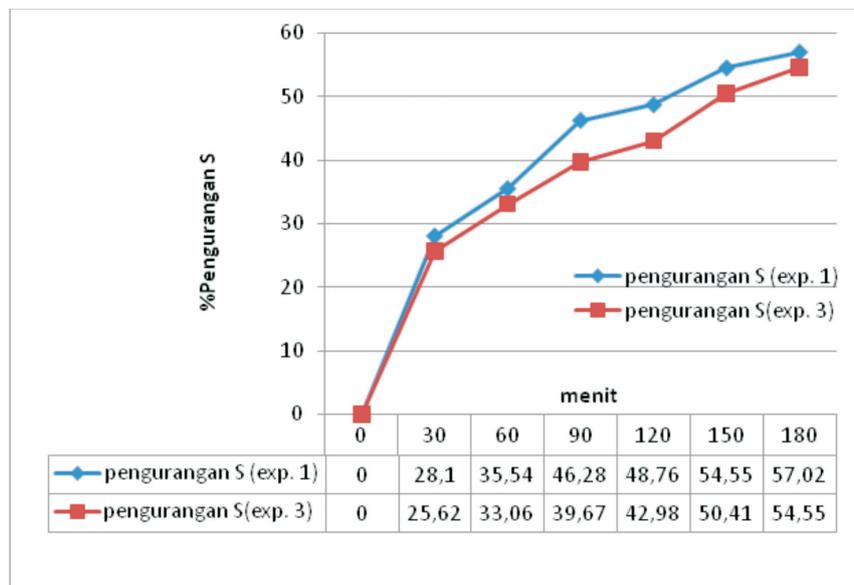
Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa angka pengurangan sulfur total yang paling tinggi adalah 57,02% yang diperoleh dari percobaan no 1.6.



Gambar 2. Pengurangan sulfur pada percobaan no. 1 and 2 (pengaruh ukuran partikel)



Gambar 3. Pengurangan sulfur pada percobaan no. 3 and 4 (pengaruh ukuran partikel)



Gambar 4. Pengurangan sulfur pada percobaan no. 1 and 3 (pengaruh jumlah oksidan)

Pertanyaan yang muncul adalah bagaimana kemampuan proses desulfurisasi ini untuk menghilangkan piritik sulfur? Seperti telah dijelaskan di atas, analisis sulfur pada studi ini dilakukan pada sulfur total, sedangkan analisis sulfur piritik dilakukan sangat terbatas yaitu pada batubara awal sebelum diproses dan pada batubara sesudah percobaan yaitu pada percontoh hasil percobaan no 1.6. Hasil analisis sulfur pada percontoh batubara awal sebelum proses memperlihatkan kandungan piritik sulfur sebesar 0.69% dan pada percontoh batubara percobaan no

1.6 yang memperlihatkan kandungan piritik sulfur sebesar 0,03%.

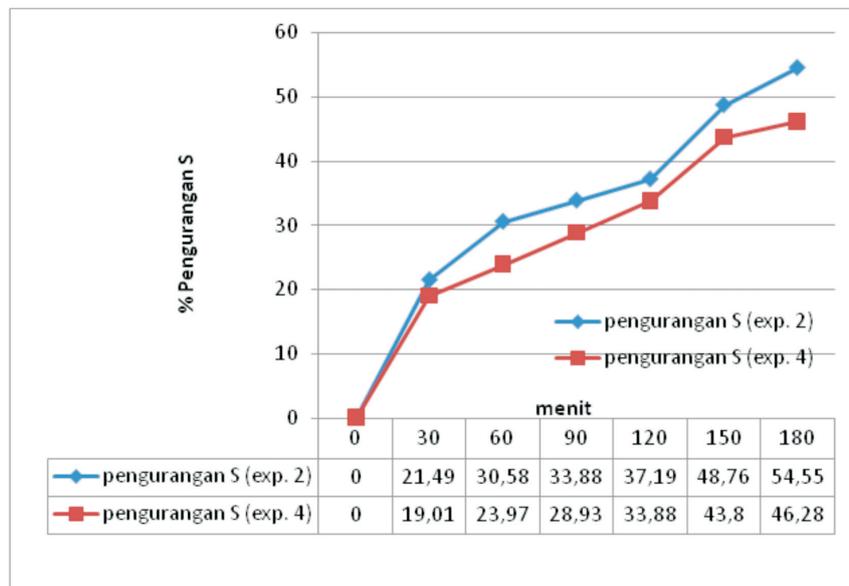
Hasil analisis pada percontoh batubara sebelum percobaan menunjukkan bahwa batubara Binungan mempunyai kandungan sulfur piritik sebesar 0,69% (lihat Tabel 1) sedangkan setelah diproses selama 180 menit yaitu percontoh no 1.6 mengandung 0.03% (lihat Tabel 2) yang menunjukkan terjadinya pengurangan kandungan sulfur piritik sebanyak 95,65%. Evaluasi terhadap percontoh batubara

dengan menggunakan hasil analisis difraksi sinar X mendukung hal tersebut. Hasil XRD dari percontoh batubara Binungan sebelum percobaan memperlihatkan adanya mineral-mineral kaolinit, kristobalit, kuarsa dan pirit (Gambar 6) sedangkan analisis XRD pada batubara sesudah percobaan yaitu dari percontoh percobaan no 1.6 setelah proses berjalan 180 menit memperlihatkan bahwa batubara hanya mengandung mineral kaolinit dan kuarsa sedangkan pirit tidak teridentifikasi lagi (Gambar 7). Hal ini mirip dengan hasil yang diperoleh oleh Ahnonkitpanit dan Prasassarakich (1989) yang memperlihatkan

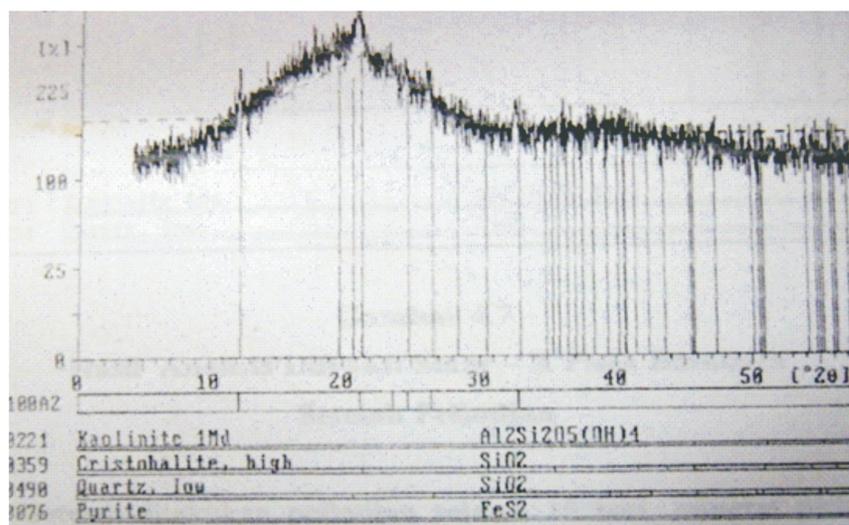
kan bahwa proses desulfurisasi dengan hidrogen peroksida mampu menghilangkan hampir seluruh sulfur piritik (97%) yang terdapat pada batubara Mae Moh dalam kurun waktu 2 jam. Analisis sulfur yang lebih lengkap yang meliputi sulfur total dan sulfur piritik pada seluruh percontoh batubara akan bermanfaat untuk menjelaskan hal tersebut.

**Pengurangan berat batubara**

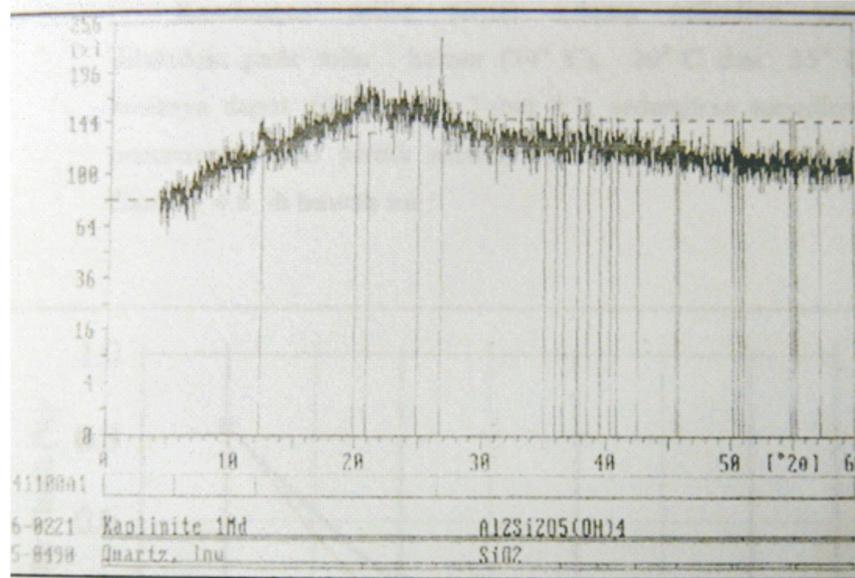
Data pada Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa berat batubara sesudah percobaan berkurang apa-



Gambar 5. Pengurangan sulfur pada percobaan no. 2 and 4(pengaruh jumlah oksidan)



Gambar 6. Hasil XRD untuk batubara Binungan sebelum percobaan



Gambar 7. Hasil XRD untuk batubara Binungan sesudah percobaan

bila dibandingkan dengan berat batubara sebelum percobaan. Hasil perhitungan dari data berat batubara pada Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa kehilangan berat batubara adalah 25,05%; 19,60%; 21,65% dan 17,57% pada percobaan no 1.6; no 2.6; no 3.6 dan no 4.6 berturut-turut setelah proses desulfurisasi berjalan selama 180 menit. Percobaan no 1 (no 1.1 sd no 1.6) dan no 3 (no 3.1. sd no 3.6) yang menggunakan 500 ml hidrogen peroksida mengalami pengurangan berat batubara sebanyak 25,05% dibandingkan dengan percobaan dengan 250 ml hidrogen peroksida sebanyak 21,60% yaitu pada percobaan no 2 (no 2.1 sd no 2.6) dan no 4 (no 4.1 sd no 4.6). Dalam hal ini jumlah oksidan mempengaruhi banyaknya pengurangan berat batubara karena semakin banyak hidrogen peroksida yang digunakan mengakibatkan pengurangan berat batubara bertambah pula. Selain itu ukuran partikel batubara ternyata juga berperan dalam pengurangan berat batubara. Semakin besar ukuran partikel batubara menyebabkan menurunnya jumlah pengurangan berat batubara seperti yang terlihat pada hasil percobaan no 2.6 dan no 4.6 yaitu sebanyak 19,60% dan 17,57%. Pengurangan ukuran partikel batubara menambah luas permukaan batubara yang menyebabkan penetrasi hidrogen peroksida yang makin tinggi ke dalam struktur batubara dan mengakibatkan makin tinggi pula konversi sulfur terjadi (Yang dkk., 1999).

Dilain pihak Given (1984) mengungkapkan bahwa hidrogen peroksida mengoksidasi unit aromatik yang terdapat pada struktur batubara dan kondisi

ini menyebabkan terjadinya akselerasi pemecahan partikel batubara yang mengarah pada pengurangan berat batubara. Kehilangan berat batubara ini berhubungan erat dengan jumlah produksi asam humik (Pietrzak dkk., 2004). Asam humik yang diproduksi sebagai akibat dari reaksi oksidasi antara batubara dengan hidrogen peroksida tersusun dari campuran antara unit aromatik dan alifatik (Zhihong dkk., 2009). Identifikasi campuran ini mengungkapkan adanya berbagai jenis asam seperti: *oxalic acids*; *benze-nepolycarboxylic acids* (BPCAs); *naphthalenecarboxylic acids*; *phenomthretricarboxylic acids*; *antracencarboxylic acids*; *dimethylprotocatechuic acids*; *succini*; *glutanic* dan *adipic acids*. (Pietrzak dkk., 2004). Asam humik tersebut dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti antara lain: *drilling mud thickener*, *boiler scale inhibitor*; dan *soil conditioners*. Reaksi lebih lanjut antara asam humik dengan *exposides*, *polyol* dan *ethanolamine* akan menghasilkan beberapa jenis resin yang mempunyai beberapa keunggulan seperti antara lain larut dalam air, tahan lama disimpan, dan mempunyai kekuatan seperti foundry resin, atau sebagai pengikat/*binder* untuk *fiber glass* (Laskowski, 2001).

Selain itu, proses desulfurisasi dengan hidrogen peroksida menghasilkan gas-gas terutama CO and CO<sub>2</sub>. Reaksi pembentukan gas-gas tersebut merupakan reaksi eksotermik sehingga akan dihasilkan panas dan produksi panas tersebut mungkin dapat dimanfaatkan pula (Soetjijo, 1997).

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Proses desulfurisasi dengan hidrogen peroksida berhasil mengurangi kandungan sulfur yang terdapat pada batubara Binungan, Kalimantan Timur. Angka pengurangan sulfur bervariasi tergantung pada ukuran besar butir batubara, waktu reaksi dan jumlah oksidan yang digunakan.
2. Analisis difraksi sinar X dari percontohan batubara Binungan sesudah percobaan memperlihatkan bahwa piritik sulfur tidak terdeteksi lagi. Hal ini didukung oleh data kandungan sulfur piritik pada salah satu percontohan batubara setelah proses (percobaan no 1.6) yang memperlihatkan kandungan sulfur piritik sebanyak 0,03% saja.
3. Selama proses desulfurisasi batubara mengalami perombakan yang menyebabkan terjadinya kehilangan berat batubara. Kehilangan berat batubara ini diperkirakan berhubungan erat dengan jumlah produksi asam humik (*humic acid*) yang tersusun dari campuran antara unit aromatik dan alifatik. Dalam hal ini disarankan agar dilakukan analisis kimia terhadap cairan produk desulfurisasi untuk menentukan jenis senyawa kimia bentukannya. Selain itu pemanfaatan asam humik sebagai: *drilling mud thickener, boiler scale inhibitor*; dan *soil conditioners* serta reaksi lebih lanjut antara asam humik dengan *exposides, polyol* dan *ethanolamine* untuk menghasilkan beberapa jenis resin yang mempunyai beberapa keunggulan seperti antara lain larut dalam air, tahan lama disimpan, dan mempunyai kekuatan seperti *foundry resin*, atau sebagai pengikat/*binder* untuk *fiber glass* perlu diprioritaskan.
4. Desulfurisasi batubara dengan menggunakan hidrogen peroksida menghasilkan pembentukan gas-gas CO and CO<sub>2</sub> yang merupakan reaksi eksotermik dan menghasilkan panas (teoritis) maka produksi panas tersebut mungkin dapat dimanfaatkan baik sebagai pemanas atau sumber energi lainnya. Penelitian lebih lanjut disarankan mengarah juga pada hal tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahnonkitpanit, E., Prasassarakich, P., 1989. Coal desulphurisation in aqueous hydrogen peroxide. *Fuel*, Vol. 68, July, hal. 819-824.
- Alper, E.W., Calimli A., Seven, F., Duzgoren, M.K., 1989. Oxydesulphurization of Turkish lignites in acidic and basic slurries. *Fuel*, vol. 68, Issue 8, August, hal. 1081-1085.
- Arslan, V., 1999. Desulphurization of Tunebilek lignitic coals by washing. *Innovations Miner. Coal Process, Proc. Int. Miner. Process Symp., 7th*, hal. 421-425.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2011. *Statistik batubara Indonesia*. Dikompilasi oleh: Tim Kajian Batubara Nasional, Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara, Puslitbang Tekmira.
- Direktorat Jendral Mineral Batubara, 2012. *Produksi batubara Indonesia*, Diolah Pusdatin.
- Given, P.H., 1984. *Coal sciences*. Editors: Gorbaty, M.L., Larsen, J.W., Wender, I., Academic Press, Orlando, hal. 63.
- Joshi, A.R., Sangal, S.P., 1998. Desulphurization of coal – A review. *J. Mines Met. Fuels*. 46 (34), hal. 138-144.
- Laskowski, J.S., 2001. *Development in mineral processing, Volume 14*, hal. 111-179.
- Pietrzak R., Kozłowski M., Wacharvska, H. Yperman, J., 2004. Studies of the soluble part of oxidised coals. *Central European Journal of Chemistry*. 2 (2), hal. 278-289.
- Zhihong, Q., Chun, J., Cuili, H., Xingshun, L., Liying, Z., Juan, C., dan Bin, J., 2009. Solubilization of small molecules from coal and the resulting effects on the pore structure distribution. *Mining Science and Technology, Volume 19*, Issue 6, hal. 761-768.
- Rubinstein, J.B., Samygin, V.D., 1998. Effect of particle and bubble size on flotation kinetics. *Recent Adv. Coal Process*, 2, (II), hal 51-80.
- Soetjijo, H., 1997. Comparative coal desulphurization using hydrogen peroxide conducted in stirred batch reactor and fluidization column. *Prosiding Kolokium Pertambangan 1997*. Puslitbang Tekmira. Bandung, hal. 221-226.

Uzun, D., Ozdogon, S., 2006. Sulfur removal from original and acid treated lignites by pyrolysis. *Fuel*, Volume 85, Issue 3, hal. 315-322.

Yang, Q., Chen, B., Ji, X., He, Y.F., Chen, G.Q., 1999. Influence of coal nature on the preparation of ultra clean coal. *Proc. Annu. Int. Pittsburg Coal Conf.*, 15, hal. 1236-1241.