

Metode Aglomerasi Air-Minyak Sawit Untuk Menurunkan Kadar Sulfur Pada Batubara Bituminus

Nukman dan Suhardjo Poertadji¹

Program Pascasarjana Sains Material FMIPA, Universitas Indonesia¹, Jakarta, 10440

e-mail: ir_nukman2001@yahoo.com

Abstrak

Metode aglomerasi dapat digunakan untuk mengurangi kadar sulfur pirit pada batubara. Batubara bituminus dari Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan kadar abu 13,34 % dan sulfur total 1,86 % sebagai bahan baku, dicampur dengan air dan minyak di dalam suatu tabung baja tahan karat, kemudian diaduk sehingga menjadi aglomerat. Dengan menggunakan minyak goreng sawit dan minyak sawit mentah (CPO) sebagai minyak aglomerasi, kadar abu turun menjadi 4,66 % dan sulfur menjadi 1,42 %.

Kata kunci: Batubara bituminus, metode aglomerasi, kadar abu-sulfur, minyak sawit dan minyak sawit mentah.

Abstract

Agglomeration method could be used to decrease the pyritic sulfur content in the coal. Bituminous coal from Tanjung Enim Sumatera Selatan with 13.34 % of ash and 1.86 % of sulfur contents as raw materials, were mixed by water and oil in the stainless steel cylinder, then be agitated to produce agglomerate. By using the palm oil and crude palm oil (CPO) as agglomerating oils, the ash and sulfur contents decreased to 4.66 % and 1.42 % respectively.

Keywords: Bituminous coal, agglomeration method, ash-sulfur contents, palm oil and crude palm oil.

1. Pendahuluan

Batubara adalah salah satu sumber energi yang terpenting masa kini. Karena cadangan minyak di Indonesia yang semakin tipis dan diperkirakan akan habis dalam jangka waktu dekat, pemerintah Indonesia telah menetapkan batubara sebagai sumber energi alternatif utama yang cukup untuk 200 sampai 300 tahun mendatang [1].

Kandungan sulfur dalam batubara apabila dibakar akan berubah menjadi oksida sulfur [2]. Senyawa ini dapat bereaksi dengan uap air yang ada di udara sehingga membentuk H_2SO_3 (asam sulfit) dan H_2SO_4 (asam sulfat). Bila kedua asam tersebut terkondensasi diudara dan kemudian jatuh bersama-sama dengan air hujan, maka terjadilah hujan asam. Pelepasan oksida sulfur dari pembakaran batubara dapat menimbulkan hujan asam sampai sejauh ratusan kilometer [3].

Selain itu, batubara dengan kadar sulfur yang tinggi, bila dibakar akan menimbulkan korosi pada boiler dan terjadi pembentukan kerak pada pipa boiler tersebut. Sedangkan pada pengecoran logam, abu dan sulfur akan menimbulkan terak yang merupakan kotoran dan harus dibuang dari tanur.

Sulfur sangat menjadi perhatian dari berbagai pihak dan merupakan salahsatu parameter kualitas batubara.

Sulfur di dalam batubara dapat berbentuk senyawa organik atau anorganik seperti pirit, markasit dan sulfat. Dalam senyawa organik, sulfur merupakan bahan yang stabil. Sulfur ini sering disebut sulfur organik dan tersebar secara merata ke seluruh batubara. Dalam jumlah sangat kecil sulfur dapat terbentuk sebagai sulfat seperti kalsium sulfat atau besi sulfat. Kadar sulfur dalam batubara bervariasi mulai dari jumlah yang sangat kecil (*traces*) sampai lebih dari 4 % [4].

Dari berbagai jenis sulfur ini, sulfur dari bahan anorganik pada batubara dapat dikurangi kadarnya dengan cara mencuci batubara tersebut dengan metode aglomerasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi kadar abu dari batubara dan pengaruhnya terhadap kadar sulfur yang dikandung batubara dengan metode aglomerasi

2. Metode Aglomerasi

Metode ini merupakan pencucian secara kimia, yaitu dengan cara menambahkan media pemisah yang berupa cairan. Sulfur dapat terpisah dari batubara berdasarkan perbedaan tegangan permukaan. Metode aglomerasi air-minyak adalah suatu teknik yang efektif untuk *recovery* dan mengeliminasi abu dari batubara [5-7]. Proses aglomerasi mampu mengolah batubara jenis antrasit, sub bituminus maupun bituminus.

Aglomerasi minyak dapat digunakan untuk menghasilkan suatu padatan, produk kental yang digabung dari berbagai ukuran partikel batubara, yang disebut sebagai aglomerat. Tiap aglomerat dapat mengandung *fragment* (bagian-bagian kecil) batubara yang bervariasi pada bentuk ukuran sebesar 2 mm sampai partikel sangat halus dengan ukuran beberapa mikrometer, dan akan memiliki kekuatan melekat yang cukup besar untuk tetap utuh. Metode aglomerasi ini dapat diterapkan karena sifat *lipophilic* (oil loving) dan *hydrophobic* (water hating) dari permukaan batubara [8]. Material yang tenggelam pada media merupakan bahan buangan, sedangkan material yang mengapung pada media yang sama (air) adalah batubara yang bersih [4].

3. Pengurangan Kadar Abu

Sulfur dalam bentuk anorganik terdapat pada permukaan batubara dan bersama abu merupakan elemen-elemen *impurities* (kotoran pengganggu).

Untuk mengurangi kadar abu pada batubara bituminus asal Tanjung Enim

Sumsel, dilakukan dengan menggunakan metode aglomerasi campuran air-minyak sawit.

Karena partikel-partikel batubara pada dasarnya *hydrophobic*, mereka dapat dibuat menjadi aglomerat dalam bentuk campuran batubara minyak. Pada sisi lain, partikel-partikel mineral yang *hydrophilic* (yang menjadi sumber kadar abu dan sulfur pada batubara) tidak dipengaruhi dan tetap bertahan dalam air. Karena partikel-partikel aglomerat batubara lebih besar daripada partikel mineral, maka mereka dapat dipisahkan.

Dengan adanya minyak saat pencucian, mengakibatkan air bercampur abu tidak akan melekat lagi ke permukaan batubara.

4. Eksperimental.

Batubara yang diteliti adalah batubara jenis bituminus dari Tanjung Enim Sumatera Selatan dan dikenal sebagai Lumut Coal (LMC) dengan kadar abu sebesar 13.32 % dan kadar sulfur 1.86 %.

Alat yang dipakai untuk metode aglomerasi ini terdiri dari silinder berdiameter 4 inci dan tinggi 10 inci [7] dilengkapi dengan stir yang dapat diputar dengan kecepatan 1450 rpm. Silinder dan stir dibuat dari baja tahan karat.

Batubara digerus dengan *crusher* dan kemudian diayak dengan *sieve* untuk mendapatkan ukuran-ukuran partikel antara 20 sampai 30 mesh, antara 40 sampai 50 mesh, dan antara 60 sampai 70 mesh. Proses kerja aglomerasi, yaitu dengan memasukkan air kedalam silinder yang kemudian memasukkan batubara halus dan diaduk selama 4 (empat) menit. Pada awal menit ke lima, minyak dimasukkan dan terus diaduk selama satu menit.

Untuk mengurangi kadar air yang masih tersisa pada aglomerat, maka aglomerat disaring dengan *sieve* (ayakan) sehingga air akan menetes ke bawah (*dewatering*) selama 24 jam. Selanjutnya untuk analisa abu dan sulfur, aglomerat tersebut dipanaskan pada temperatur 110^o C selama 2 (dua) jam, sehingga air yang tersisa hanyalah *inherent*

moisture yaitu molekul air di dalam pori-pori batubara.

Kadar abu diukur dengan cara membakar batubara dalam dapur *muffle*. Sedangkan sulfur diukur dengan memakai *bomb washing*.

Sebagai media minyak, digunakan dua jenis minyak, yaitu minyak goreng sawit kemasan botol yang dijual di pasaran merek Filma dan minyak sawit mentah (CPO – Crude Palm Oil) yang didapat dari pabrik pengolahan minyak sawit di Sumatera Selatan. Kedua jenis minyak ini tidak mengandung sulfur [9].

Untuk selanjutnya, istilah “sawit mentah” akan digunakan untuk “minyak sawit mentah”, sedangkan istilah “minyak sawit” untuk “minyak goreng sawit Filma”.

5. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan parameter penelitian maka dibuat suatu kodifikasi bagi sampel, agar mudah mengidentifikasinya.

Setiap sampel diberi kode:

Bx PySz

Dengan

Bx = ukuran partikel batubara, sebesar x mesh, dengan variasi x = 20, 40 dan 60 mesh.

Py = persentase padatan batubara di dalam air, dengan variasi y = 10, 15 dan 20%.

Sz = persentase minyak sawit terhadap batubara, dengan variasi z = 5, 10 dan 15 %.

Kode sampel lain:

C = CPO (minyak sawit mentah)

Btc = Batubara tanpa cuci

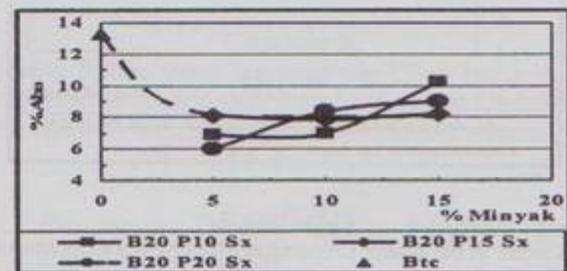
Dari rencana ukuran partikel yang akan dipakai 20, 40 dan 60 mesh, ternyata partikel 20 mesh tidak dapat dibuat aglomerat dengan media sawit mentah.

5.1. Pengaruh Porsen Minyak Sawit pada Partikel 20 Mesh

Pada besar butir 20 mesh, ternyata semakin besar kadar minyak yang diberikan menyebabkan kadar abu yang terbang semakin sedikit (gambar 1). Naiknya kadar

abu dengan adanya penambahan minyak kemungkinan akibat lengketnya minyak sawit pada dinding silinder saat pengadukan. Dengan kata lain, efisiensi pembuangan abu menurun, bila konsentrasi minyak meningkat. Efisiensi kemungkinan bisa ditingkatkan dengan memperbesar diameter tabung. Dibandingkan dengan batubara yang tidak mengalami pencucian (Btc), maka batubara 20 mesh dapat mengalami penurunan kadar abu sampai sekitar 50%, bila dilakukan proses aglomerasi dengan kadar minyak sawit 5 %.

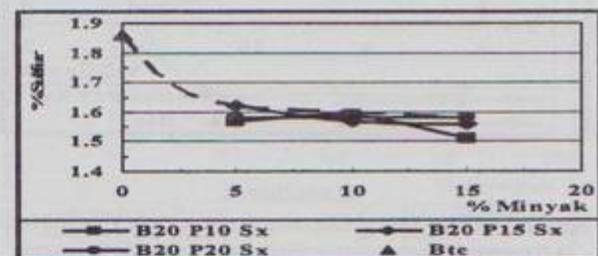
Secara rata-rata, kadar abu batubara 20 mesh yang mengalami proses aglomerasi dengan kadar minyak sawit antara 5 sampai 15 % adalah sekitar 8 % atau turun sebesar 38 % relatif terhadap batubara yang tidak mengalami proses aglomerasi. (gambar 1).



Gambar 1.

Kadar Abu yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara untuk Partikel 20 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Penambahan kadar minyak pada B20 P20 Sx dari 5 % menjadi 10 dan 15 %, hampir tidak berpengaruh terhadap penurunan kadar sulfur. (gambar 2).



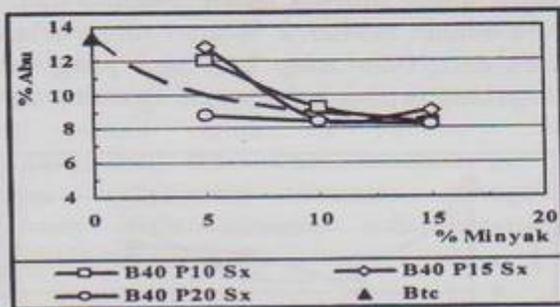
Gambar 2.

Kadar Sulfur yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara Ukuran Partikel 20 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Dengan proses aglomerasi air-minyak sawit pada batubara 20 mesh telah terjadi penurunan kadar sulfur sekitar 16 % relatif dibandingkan dengan batubara yang tidak dicuci (dari sekitar 1,85 % menjadi sekitar 1,55 % kadar sulfur).

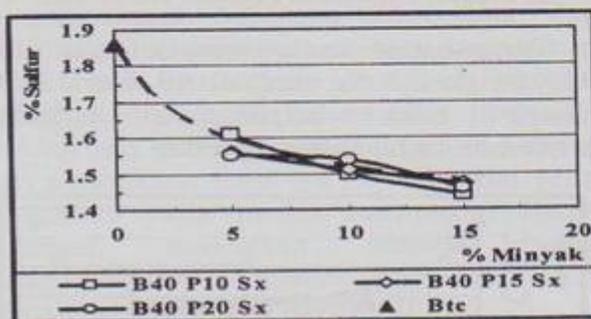
5.2. Pengaruh Persen Minyak Sawit pada Partikel 40 Mesh

B40 P15 S5, dengan kadar minyak 5 % masih mengandung kadar abu yang tinggi yakni 12,82 %, begitu juga untuk B40 P20 S5 kadar abunya 11,98 %. (gambar 3).



Gambar 3.

Kadar Abu yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara untuk Partikel 40 mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.



Gambar 4

Kadar Sulfur yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara untuk Ukuran Partikel 40 mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Dengan penambahan kadar minyak, maka kadar abu menjadi sekitar 8,5 %. Penambahan kadar minyak ternyata

menurunkan kadar abu batubara 40 mesh masih sedikit lebih tinggi.

Penurunan kadar abu dengan penambahan kadar minyak ternyata diikuti oleh turunnya kadar sulfur pada ketiga jenis padatan (gambar 4).

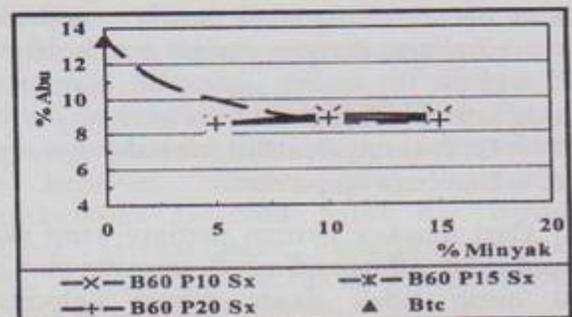
Kadar sulfur pada batubara 40 mesh yang mengalami proses aglomerasi dengan minyak sawit 15 % adalah sekitar 1,45 %, atau sedikit lebih rendah daripada batubara 20 mesh (1,55 %).

5.3. Pengaruh Persen Minyak Sawit pada Partikel 60 Mesh

Penambahan kadar minyak dari 5 % sampai 15 %, ternyata tidak menurunkan kadar abu lebih lanjut, yaitu antara 8,5 sampai 9 % (gambar 5). Penurunan kadar abu terjadi bila padatan ditambah dengan kadar minyak dari 10 % yang menjadi 15 %.

Dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian sampel, dapat dikatakan bahwa jumlah minyak sawit sebesar 10 sampai 15 % dapat menurunkan kadar abu menjadi sekitar 8 sampai 9 %.

Agak berbeda dengan kadar abu, kadar sulfur ternyata menunjukkan kecenderungan menurun, apabila kadar minyak sawit aglomerat dinaikkan dari 5 menjadi 10 dan 15 % (gambar 6).

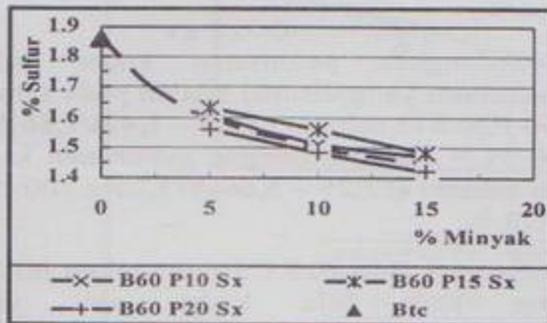


Gambar 5.

Kadar Abu yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara untuk Partikel 60 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Namun demikian, kadar sulfur pada setiap batubara (dengan ukuran 20, 40 dan 60

mesh) ternyata tetap berada pada kisaran antara 1,45 sampai 1,55 %, apabila batubara tersebut mengalami proses aglomerasi dengan minyak sawit yang berkadar antara 10 sampai 15 %.

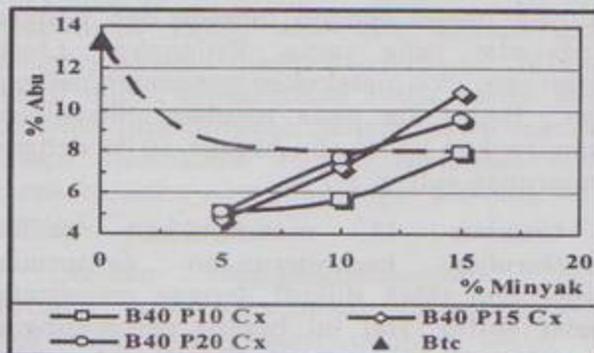


Gambar 6.

Kadar Sulfur yang Dipengaruhi Oleh Persentase Minyak Sawit untuk Batubara untuk Ukuran Partikel 60 mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

5.4. Pengaruh Persen Sawit Mentah pada Besar Partikel 40 Mesh

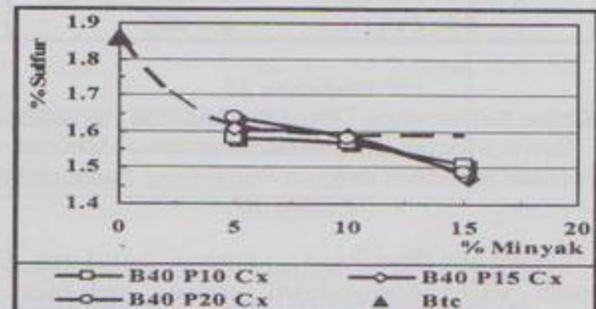
Pada dasarnya penambahan minyak pada padatan metode aglomerasi ini menurunkan kadar abu sampai mencapai 4,7 % (gambar 7). Namun, penambahan dari kadar minyak ke 10 dan 15 %, ternyata tidak menurunkan kadar abu lebih lanjut. Diperkirakan hal ini karena banyaknya minyak yang tidak melekat pada permukaan batubara.



Gambar 7.

Kadar Abu yang Dipengaruhi Oleh Persentase Sawit Mentah untuk Batubara untuk Partikel 40 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Dilain pihak penambahan kadar minyak tersebut menurunkan kadar sulfur sampai mencapai 1,5% (gambar 8). Terlihat disini bahwa dengan kadar abu yang rendah (4,7%), kadar sulfurnya masih relatif tinggi (1,6 %). Hal ini karena kadar sulfur tersebut adalah kadar sulfur total, sedangkan kadar sulfur piritnya rendah, karena terbuang bersama abu.

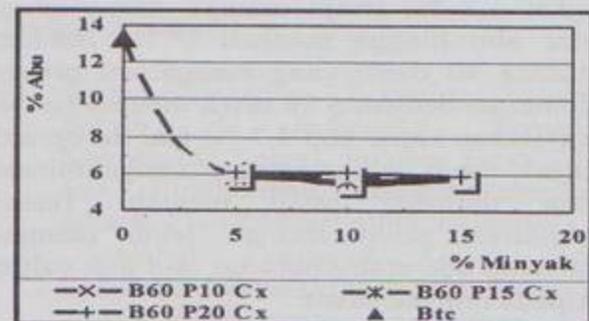


Gambar 8.

Kadar Sulfur yang Dipengaruhi Oleh Persentase Sawit Mentah untuk Batubara untuk Ukuran Partikel 40 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

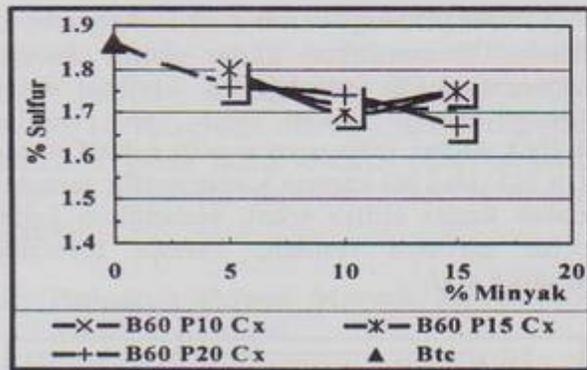
5.5. Pengaruh Persen Sawit Mentah pada Partikel 60 Mesh

Semua sampel batubara 60 mesh berkadar minyak 5 % mempunyai pola yang sama, yaitu mengalami penurunan kadar abu sekitar 54 % (menjadi sekitar 6 %) apabila kadar minyak dinaikkan dari 5 % menjadi 10 dan 15 % (gambar 9).



Gambar 9.

Kadar Abu yang Dipengaruhi Oleh Persentase Sawit Mentah untuk Batubara untuk Partikel 60 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.



Gambar 10.

Kadar Sulfur yang Dipengaruhi Oleh Persentase Sawit Mentah untuk Batubara untuk Ukuran Partikel 60 Mesh dengan Persentase Padatan 10, 15 dan 20.

Namun demikian, sampel batubara 60 mesh yang mengalami proses aglomerasi dengan sawit mentah ini ternyata masih memiliki kandungan sulfur sekitar 1,7 %. Sedangkan batubara yang mengalami aglomerasi dengan minyak sawit hanya mengandung sulfur pada kisaran antara 1,45 sampai 1,55 % (gambar 10).

Data-data diatas menunjukkan bahwa penurunan kadar abu tidak selalu diikuti penurunan kadar sulfur secara linier. Minyak sawit dapat menurunkan kadar sulfur batubara sampai menjadi 1,5 %, tetapi hanya dapat menurunkan kadar abu ke tingkat sekitar 8,5 %.

Dilain pihak, sawit mentah hanya mampu menurunkan kadar sulfur ke ke tingkat 1,7 %, tetapi mampu menurunkan kadar abu hingga menjadi 6 %. Bahkan batubara 40 mesh yang mengalami proses aglomerasi dengan 5 % sawit mentah hanya menyisakan kadar abu 4,7 %. Hal ini berarti minyak sawit lebih mampu mengeliminasi sulfur daripada sawit mentah. Tetapi sebaliknya, sawit mentah lebih mampu menyerap abu atau impuritas lain non sulfur daripada minyak sawit.

5.6. Pengaruh Kadar Abu Terhadap Penurunan Kadar Sulfur.

Hubungan antara kadar abu minimum dengan kadar sulfurnya dan kadar sulfur minimum dengan kadar abunya tertera pada

gambar 11. Kadar abu pada B40 P15 C5 dibandingkan dengan batubara tanpa cuci telah mengalami penurunan sebesar $(13,25 - 4,66)/13,25 \% \times 100 \% = 64,83 \%$, yang diikuti dengan penurunan kadar sulfur sebesar $(1,86 - 1,61) / 1,86 \% \times 100 \% = 13,4 \%$.

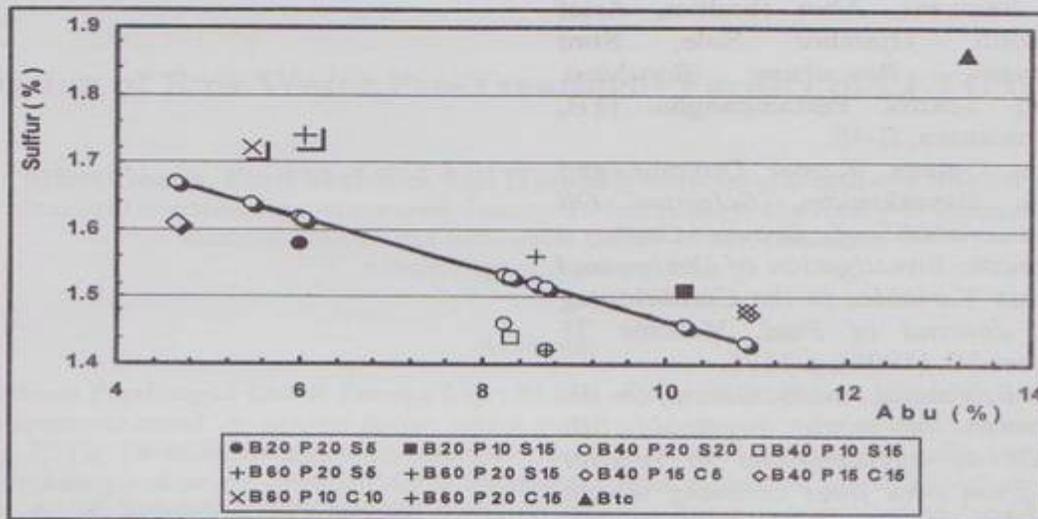
Sedangkan penurunan kadar sulfur maksimum yang dicapai adalah pada sampel B60 P20 S15 sebesar $(1,86 - 1,42)/1,86 \% \times 100 \% = 23,7 \%$, dengan penurunan kadar abu sebesar $(13,25 - 5,66) / 13,25 \times 100 \% = 57,28 \%$.

Sampel B40 P15 C5 merupakan pilihan yang baik bila kadar abu yang dipertimbangkan sebagai dasar pemilihan hasil cuci batubara. Tetapi bila kadar sulfur menjadi faktor penentu utama maka B60 P20 S15 adalah pilihannya. Keduanya ini merupakan hasil terbaik dari pencucian batubara bituminus dengan metode aglomerasi air - minyak sawit.

Selain daripada itu, minyak sawit adalah minyak yang dapat menjadikan aglomerat berkadar sulfur rendah, yaitu pada B40 P20 S20, B40 P10 S15 dan B60 P20 S15.

Penurunan kadar abu dengan metode aglomerasi air minyak sawit ini ternyata lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh G.A. Robbins, dkk [10] maupun Linda Pulungan, dkk [11]. G.A. Robbins, dkk dapat menurunkan maksimum 20 % untuk jenis batubara bituminus dan minyak diesel dengan metode dan dengan jenis alat yang sama. Sedangkan Linda Pulungan, dkk melakukan pencucian dengan alat Baum Jig pada batubara bituminus, menurunkan kadar abu hingga 50 % dengan penurunan sulfur 1,7 %.

Gambar 11 menunjukkan secara keseluruhan kecenderungan penurunan kadar abu tidak diikuti dengan penurunan kadar sulfur. Hal ini berarti perbandingan jumlah sulfur dan non-sulfur di dalam abu yang terbuang tidak selalu tetap. Semakin besar jumlah abu yang terbuang, akan semakin kecil persentase kandungan sulfur di dalam abu yang terbuang tersebut. Penyebab kejadian ini perlu diteliti lebih lanjut.



Gambar 11:

Hubungan Antara Kadar Abu Minimum dengan Sulfurnya dan Kadar Sulfur Minimum dengan Kadar Abunya yang Dapat Dicapai dari Batubara Bituminus dengan Ukuran 20, 40 dan 60 Mesh dengan Persen Padatan 10, 15 dan 20 %, Serta Persen Minyak Sawit (S) dan Minyak Mentah (C) Sebesar 5, 10 dan 15 %. Btc Adalah Batubara Bituminus yang Tidak Dicuci.

6. Kesimpulan

Secara umum pencucian dengan metode aglomerasi ini dapat menurunkan kadar abu dan sulfur ke tingkat relatif rendah. Dengan metode aglomerasi air-minyak sawit ini, kadar abu dari batubara bituminus dapat diturunkan hingga 64,83 %. Sedangkan kadar sulfur dapat diturunkan hingga 23,7 %.

Minyak sawit dan sawit mentah, berpengaruh cukup besar terhadap penurunan kadar abu bila dibandingkan dengan minyak diesel dan lainnya. Minyak sawit dapat menurunkan kadar sulfur lebih banyak dibandingkan dengan sawit mentah, tetapi sebaliknya dengan memakai sawit mentah, kadar abu yang dapat dibuang lebih banyak.

Dengan mempertimbangkan faktor ketidak pastian sampel, dapat diyakini bahwa minyak sawit dengan kadar 10 sampai 15 % dapat menurunkan kadar abu sekitar 35 % (kadar abu menjadi sekitar 8,5 %). Dan kadar sulfur sekitar 19% (menjadi sekitar 1,5 %).

Sawit mentah dengan kadar 10 sampai 15 % dapat menurunkan kadar abu antara 39

sampai 65%(menjadi antara 4,7 % sampai 8%) dan kadar sulfur sekitar 11 % (menjadi sekitar 1,65 %). Penurunan kadar sulfur ternyata tidak berbanding lurus dengan penurunan kadar abu di dalam batubara bituminus.

Ukuran partikel batubara antara 20 sampai 60 mesh dan persentase padatan batubara di dalam air pencucian antara 10 sampai 20 % tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam penurunan kadar abu maupun kadar sulfur.

Daftar Acuan

- [1]. Djoko Sulaksono, *Teknologi Batubara Bersih di Indonesia*, Prosiding Konperensi Energi, Sumber Daya Alam dan Lingkungan, BPP Teknologi, Jakarta 11-12 Maret 1997, halaman 1.
- [2]. Suganal, *Pengaruh Kadar Sulfur Batubara Indonesia terhadap Emisi SO₂ pada Pembakaran Pulverized Coal untuk PLTU*, Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII, Jurusan Kimia FMIPA, UGM, 2000, halaman 123.
- [3]. Mukhlis Akhadi, *Dari Polutan ke Gypsum*, *Majalah Energi*, edisi Desember Tahun II, 2000. halaman 46.

- [4]. Edy Sanwani, Alwi Ibrahim, Arief Sudarsono, Djamhur Sule, Simi Handayani, *Pencucian Batubara*, Jurusan Teknik Pertambangan ITB, 1998, halaman, II-40.
- [5]. Ahmet Gurses, Kemal Doymus and Samih Bayrakceken, *Selective Oil Agglomeration of Brown Coal: a systematic Investigation of Design and Process Variables in the Conditioning Step*, *Journal of Fuel*, Volume 75 Number 10, (1996), p.1175.
- [6]. Adolfo F, Valdes, Ana B. Garcia, *On the utilization of waste vegetable oils (WVO) as agglomerants to recover coal from coal fines cleaning wastes (CFCW)*, *Journal of Fuel*, 85 (2006), page 607.
- [7]. M. I. Alonso, A. F. Valdes, R. M. Martinez-Tarazona and A. B. Garcia, *Coal recovery from fines wastes by agglomeration with colza oil: a contribution to the environment and energy preservation*, *Journal of Fuel Processing Technology*, 75 (2002), page 85.
- [8]. G. Osborne, *Coal Preparation Technology*, Volume 1, Graham dan Trotman Limited, London, 1988, p. 460.
- [9]. Dasril Sajoeti, *Studi Penggunaan Minyak Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif Motor Diesel*, *Fakultas Pascasarjana*, Institut Pertanian Bogor, (1991), halaman 30.
- [10]. G.A. Robbins, R.A. Winschel, C.L. Amos and F. P. Burke, *Agglomeration of low-rank coal as a pretreatment for direct coal liquefaction*, *Journal of Fuel*, Volume 71, Elsevier, (1992), p.1039.
- [11]. Linda Pulungan dan Hilyati Manan, *Pemantauan Kualitas Batubara dengan Metode Pencucian*, *Jurnal Tambang Unisba*, nomor 01-02, (2002-2003), halaman 87.

