

PENGURANGAN KADAR ABU DAN SULFUR PADA BATUBARA SEMI ANTRASIT DARI TANJUNG ENIM DENGAN CARA PENCUCIAN BERMEDIA AIR-MINYAK SAWIT

THE DECREASING OF THE ASH AND SULPHUR CONTENTS OF TANJUNG ENIM'S SEMI ANTHRACITE COAL BY WASHING AND WATER-PALM OIL AS MEDIA

Nukman dan Hasan Basri

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Inderalaya - Sumatera Selatan, 30662

Email: ir_nukman2001@yahoo.com

Abstrak: Abu dan Sulfur adalah bahan pengotor pada batubara yang keberadaannya harus dalam persentase seminimal mungkin. Kadar abu dan Sulfur yang tinggi menyebabkan nilai kalori batubara menjadi rendah dan sulit untuk dinyalakan. Abu sisa hasil pembakaran akan mencemari lingkungan. Adapun Sulfur pada batubara akan menghasilkan emisi gas buang berupa SO_2 . Penurunan kadar abu dan sulfur pada batubara semi antrasit dilakukan dengan cara mencuci batubara. Metoda yang dipakai adalah metoda aglomerasi air-minyak sawit. Batubara semi antrasit dari Tanjung Enim dengan kadar abu sebesar 6,22 % dan sulfur sebesar 2,07 % dicampur dengan air dan minyak di dalam satu tabung baja tahan karat kemudian diaduk sehingga menjadi aglomerat. Dengan menggunakan minyak goreng sawit dan atau minyak sawit mentah (crude palm oil – CPO) sebagai minyak aglomerasi, kadar abu turun menjadi 3,19 % dan sulfur menjadi 1,4 %.

Kata kunci: Batubara semi antrasit, aglomerasi, abu-sulfur, minyak sawit, dan minyak sawit mentah.

Abstract: Ash and sulphur are the impurities of coal that the content must be minimized. The higher content of ash and sulphur caused the calorific value of coal become low and difficult to ignite the coal. The ash of combustion product would to pollute the environment. The other hand, the sulfur of coal would produce the emission as SO_2 . The decreasing of the ash and sulfur contents of semi anthracite coal be done by washing the coals. Tanjung Enim's semi anthracite coal with 6.22 % of ash and 2.07 % 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 3.19 % and 1.4 % respectively.

Keywords: Semi anthracite coal, agglomeration, ash – sulfur, palm oil, and crude palm oil.

PENDAHULUAN

Batubara terbanyak dipakai dalam industri berskala besar utamanya pada pembangkit tenaga listrik, pabrik semen, dan industri yang memerlukan proses pemanasan seperti pabrik pengecoran dan pengolahan besi baja. Di dunia ketiga, batubara banyak digunakan dalam rumah tangga, untuk memasak dan pemanasan ruang.

Mengingat bahwa minyak dan gas bumi sebagai sumber energi utama cadangan yang sangat terbatas dan diperkirakan akan habis dalam waktu yang tidak terlalu lama lagi apabila tidak ditemukannya cadangan baru, maka pemerintah telah menetapkan batubara sebagai sumber energi alternatif utama yang cukup untuk 200 sampai 300 tahun mendatang (Sulaksono, 1997).

Kandungan sulfur dalam batubara apabila dibakar akan berubah menjadi oksida sulfur (Suganal, 2000). Oksida sulfur (SO_x) akan menjadi H_2SO_4 (asam sulfat) dalam udara lembab

atau berair, dan bila jatuh ke bumi akan menjadi hujan asam dan menimbulkan dampak negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuh-tumbuhan (Ismail, 1995).

Secara global, emisi sulfur dioksida meningkat sekitar 100 juta ton per tahunnya dan masih akan bertambah karena negara-negara Dunia Ketiga tengah bergegas untuk menempatkan diri sejajar dengan negara-negara industri (Firor, 1995).

Bila batubara dengan kadar sulfur tinggi dibakar akan menimbulkan korosi pada boiler dan membentuk terak pada pipa-pipa boiler. Di industri pengecoran logam, abu dan sulfur dari batubara akan menimbulkan terak yang merupakan kotoran.

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 dan tersebar secara merata ke seluruh batubara. Dalam jumlah 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 % (Edy, 1998). Sulfur dari bahan anorganik pada batubara dapat dikurangi kadarnya dengan cara mencuci batubara tersebut dengan metoda aglomerasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi kadar abu dari batubara semi antrasit dengan cara mencuci batubara memakai metoda aglomerasi dan pengaruhnya terhadap kadar sulfur yang dikandung batubara tersebut.

METODA AGLOMERASI

Metoda ini merupakan pencucian secara kimia dan fisika, dimana sulfur dapat terpisah dari batubara berdasarkan perbedaan tegangan permukaan dan dengan menambahkan media pemisah yang berupa cairan.

Metoda aglomerasi air-minyak adalah suatu teknik yang efektif untuk mengeliminasi abu dari batubara (Gurses –1996, Alonso-2002, Alfonso-2006). Proses aglomerasi mampu mengolah batubara jenis antrasit, bituminus maupun sub bituminus.

Suatu padatan sebagai aglomerat adalah produk kental yang digabung dari berbagai ukuran partikel batubara yang didapat dari proses aglomerasi air-minyak. Aglomerat terdiri bagian-bagian kecil batubara yang bervariasi dari bentuk ukuran sebesar 2 mm sampai partikel sangat halus berukuran beberapa mikrometer, dan akan memiliki kekuatan melekat yang cukup besar untuk tetap utuh. Metoda aglomerasi ini dapat diterapkan karena sifat *oil loving* (*lipophilic*) dan *water hating* (*hydrophobic*) dari permukaan batubara (Osborne, 1998). Material yang tenggelam pada media air dan mengendap merupakan bahan buangan, sedangkan material yang mengapung pada media yang sama (air) adalah batubara yang bersih dengan permukaan yang dilapisi minyak.

PENGURANGAN KADAR ABU

Sulfur dalam bentuk anorganik terdapat pada permukaan batubara dan bersama abu merupakan elemen-lernen *impurities* (kotoran pengganggu). Untuk mengurangi kadar abu pada batubara semi antrasit asal Tanjung Enim Sumsel, dilakukan dengan menggunakan pencucian metoda 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.

EKSPERIMENTAL

Suatu silinder berdiameter 4 inci dan tinggi 10 inci dilengkapi dengan stir (Robbins, 2002), yang dibuat dari baja tahan karat dan diputar dengan kecepatan 1450 rpm adalah alat yang dipakai untuk metoda aglomerasi ini.

Dua jenis minyak digunakan sebagai medianya, yaitu minyak goreng sawit kemasan botol yang dijual di pasaran merek Filma (akan disebut sebagai minyak sawit) dan minyak sawit mentah (CPO – *Crude Palm Oil*) (akan disebut sebagai sawit mentah) yang didapat dari pabrik pengolahan minyak sawit di Sumatera Selatan. Minyak sayur (*Vegetable oils*) ini tidak mengandung sulfur (Gence, 2005).

Batubara yang diteliti adalah batubara jenis semi antrasit dari Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan kadar abu sebesar 6,22 % dan kadar sulfur 2,07 %. Batubara digerus dengan *crusher* dan kemudian diayak dengan *sieve* (ayakan) untuk mendapatkan ukuran-ukuran partikel 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* sehingga air akan menetes ke bawah (*dewatering*) selama 24 jam. Selanjutnya untuk analisa abu dan sulfur, aglomerat tersebut dipanaskan pada temperatur 110⁰ 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*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu kodifikasi bagi sampel dibuat berdasarkan parameter penelitian, dengan maksud, agar mudah mengidentifikasinya.

Setiap sampel diberi kode:

S_Ax P_y S_z

Dengan:

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

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

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

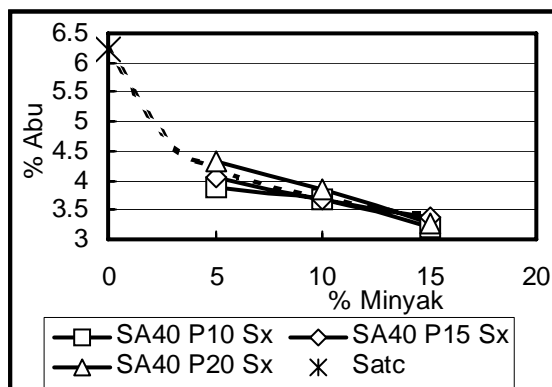
Kode sampel lain:

C = CPO (minyak sawit mentah)

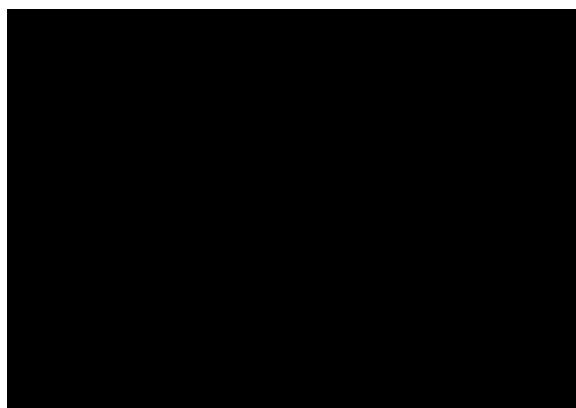
S_At_c = Batubara Semi Antrasit tanpa cuci

Pengaruh Persen Minyak Sawit pada Partikel 40 Mesh

SA40 P10 S15, dengan kadar minyak 15 % mengandung kadar abu yang terendah yakni 1,57 %, namun kadar abu tertinggi adalah pada SA40 P20 S5 dengan kadar minyak 5 %. (gambar 1). Kecenderungan garis disini memperlihatkan bahwa dengan menambah persentase minyak maka kadar abu akan semakin menurun. Disini terlihat bahwa peningkatan jumlah minyak sangat berpengaruh atas penurunan kadar abu.



Gambar 1. Kadar Abu yang dipengaruhi oleh persentase minyak sawit untuk batubara partikel 40 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.



Gambar 2. Kadar Sulfur yang dipengaruhi oleh persentase minyak sawit untuk batubara partikel 40 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.

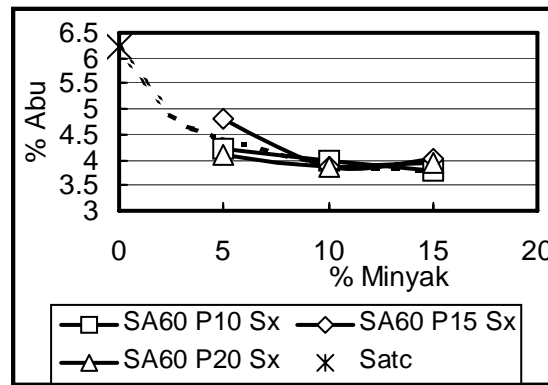
Penurunan kadar abu dengan penambahan kadar minyak secara umum ternyata tidak diikuti oleh turunnya kadar sulfur dengan pola garis penurunan yang sama pada ketiga jenis padatan (gambar 2). Penambahan minyak 10 % pada SA40 P20 S15 dan SA40 P15 S15 ternyata tidak menurunkan kadar sulfur lebih lanjut, walaupun ditambahkan menjadi 15 % minyak sawit, penurunan kadar sulfur tidak berlanjut lebih jauh.

Pengaruh Persen Minyak Sawit pada Partikel 60 Mesh

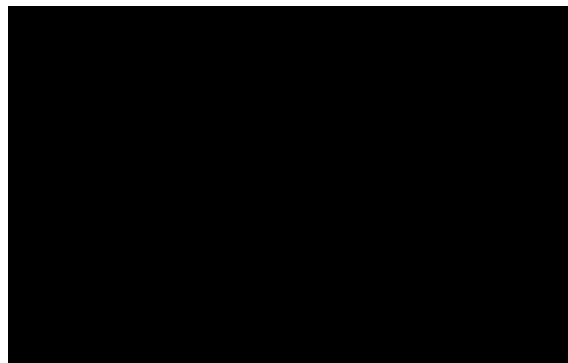
Penambahan minyak sebesar 5 % pada SA60 P15 S5 menurunkan abu menjadi 4,8 %. Penambahan kadar minyak dari 5 % sampai 15 %, dapat menurunkan kadar abu bagi semua

padatan lebih lanjut, yaitu antara 3,6 sampai 4 % (gambar 3). Penurunan kadar abu terjadi tidak terlalu signifikan bila padatan ditambah dengan kadar minyak dari 10 % yang menjadi 15 %.

Dapat dikatakan bahwa penambahan kadar minyak lebih lanjut tidak akan menurunkan kadar abu lebih besar lagi. Karena dengan 15 % minyak saja ternyata kadar abu dapat diturunkan menjadi rata-rata 4 %.



Gambar 3. Kadar Abu yang dipengaruhi oleh persentase minyak sawit untuk batubara partikel 60 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.



Gambar 4. Kadar Sulfur yang dipengaruhi oleh persentase minyak sawit untuk batubara partikel 60 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.

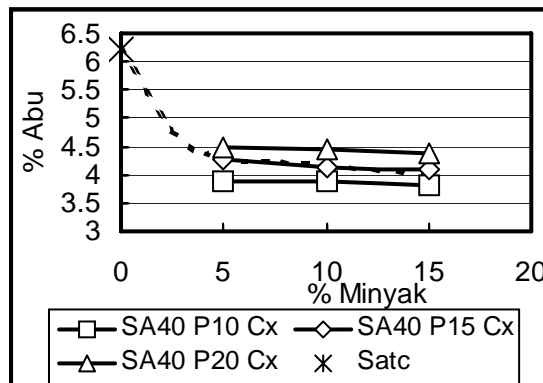
Sebaliknya kadar sulfur ternyata menunjukkan kecenderungan menurun yang lebih tajam (gambar 4), apabila kadar minyak sawit aglomerat dinaikkan dari 5 menjadi 10 dan 15 % dan ini agak berbeda dengan kadar abu.

Namun demikian, kadar sulfur pada batubara dengan penambahan minyak 5 sampai dengan 15 % ternyata menurunkan kadar sulfur pada kisaran antara 1,6 sampai 1,8 %, dan ini lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran partikel 40 mesh yang dapat menurunkan sampai pada kisaran 1,6 sampai dengan 1,7 %.

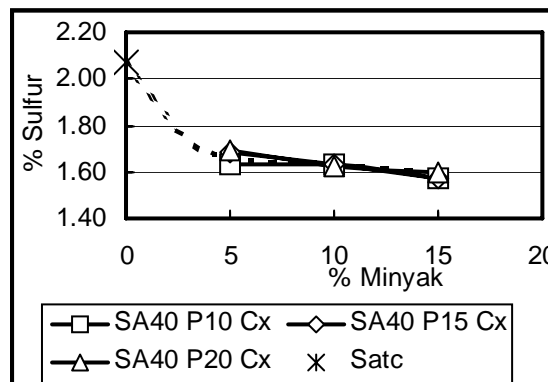
Pengaruh Persen Sawit Mentah pada Partikel 40 Mesh

Penambahan minyak pada padatan 40% dengan metode aglomerasi ini menurunkan kadar abu sampai mencapai 4,3 % (gambar 5). Penambahan kadar minyak dari 5 ke 10 dan 15

%, ternyata tidak menurunkan kadar abu lebih banyak dan ini terlihat pada grafik yang menunjukkan penurunan yang tidak begitu tajam.



Gambar 5. Kadar Abu yang dipengaruhi oleh persentase sawit mentah untuk batubara partikel 40 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.



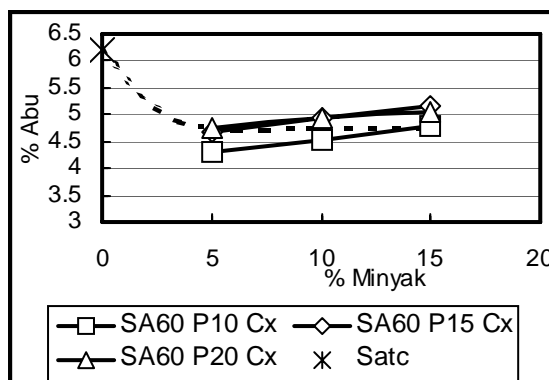
Gambar 6. Kadar Sulfur yang dipengaruhi oleh persentase sawit mentah untuk batubara partikel 40 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.

Penurunan kadar abu tersebut ternyata diikuti dengan pola grafik yang sama untuk kadar sulfur. Dari gambar 6 terlihat bahwa penurunan kadar sulfur mencapai 1,65%. Dapat diperkirakan bahwa penambahan persentase minyak tidak akan banyak menurunkan kadar abu dan sulfur. Diperkirakan hal ini terjadi karena semua minyak telah dapat diserap oleh permukaan partikel batubara, yang berarti bahwa jumlah persentase minyak yang ditambahkan sebesar 5 % pada campuran sudah cukup dapat menurunkan kadar abu dan sulfur secara signifikan. Sehingga berapapun tambahan minyak diberikan tidak akan menurunkan kadar abu dan sulfur lebih lanjut.

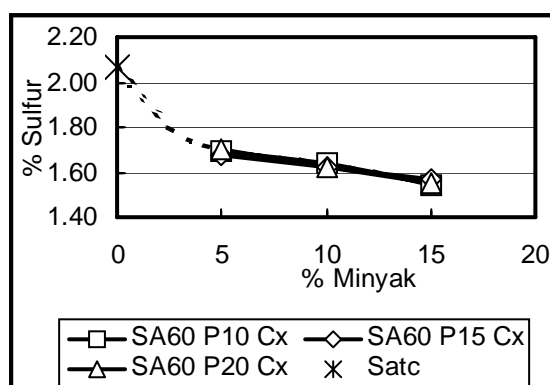
Penurunan kadar abu secara rata-rata adalah 32 % dari 6,2 % menjadi rata-rata 4,2%. Sedangkan kadar sulfur yang dapat diturunkan rata-rata 20 % dari 2,07 % menjadi rata-rata 1,65%.

Pengaruh Persen Sawit Mentah pada Partikel 60 Mesh

Grafik pada gambar 7 ini mempunyai pola yang berbeda dengan gambar-gambar 1, 3 dan 5. Pola grafik dari ketiga gambar tersebut menunjukkan penurunan kadar abu bila persentase minyak ditambahkan. Dengan persentase sawit mentah 5 %, maka proses aglomerasi ini mampu menurunkan kadar abu pada titik minimum, yaitu turun dari 6,2 % menjadi sekitar 4,5 % yang berarti terjadi penurunan sebesar 27,5 %. Namun sebaliknya pada gambar 9 ini, terjadi kecenderungan peningkatan kadar abu bila persentase sawit mentah ditambahkan menjadi 10 maupun 15 %. Ini berarti bahwa dengan persentase minyak yang lebih sedikit akan menurunkan kadar abu yang lebih banyak.



Gambar 7. Kadar Abu yang dipengaruhi oleh persentase sawit mentah untuk batubara partikel 60 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.



Gambar 8. Kadar Sulfur yang dipengaruhi oleh persentase sawit mentah untuk batubara partikel 60 mesh dengan persentase padatan 10, 15 dan 20.

Pola grafik dari gambar 8, ternyata tidak menyerupai pola grafik 7, dimana pada gambar 8 ini terlihat bahwa penambahan sawit mentah ternyata diikuti dengan penurunan kadar sulfur. Disini terlihat bahwa kadar sulfur dapat diturunkan hingga mencapai sekitar rata-rata 20 %, atau dari 2,07 % menjadi rata-rata 1,65 %.

Walaupun pada beberapa gambaran diatas menunjukkan bahwa penurunan kadar abu tidak selalu diikuti penurunan kadar sulfur secara linier. Minyak sawit dapat menurunkan kadar abu sampai dengan mencapai 3,2 % dan dapat menurunkan kadar sulfur batubara sampai menjadi 1,5 %.

Disisi lain, sawit mentah hanya mampu menurunkan kadar sulfur ke tingkat 1,54%, dan mampu menurunkan kadar abu hingga menjadi 3,9 %. Hal ini berarti minyak sawit lebih mampu mengeliminasi sulfur daripada sawit mentah dan begitu juga kadar abu yang dapat diturunkannya.

Pengaruh Kadar Abu terhadap Penurunan Kadar Sulfur.

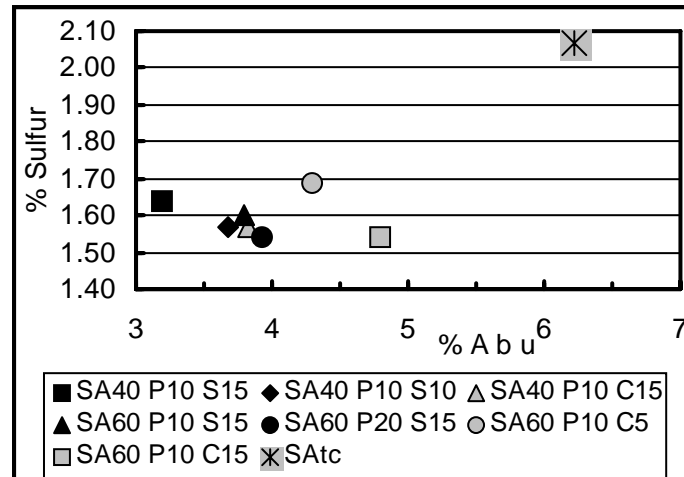
Gambar 9 adalah hubungan antara kadar abu minimum dengan kadar sulfurnya dan kadar sulfur minimum dengan kadar abunya. Bila dibandingkan dengan batubara yang tidak dicuci (Satec), maka kadar abu pada SA40 P10 S15 telah mengalami penurunan sebesar $(6,22 - 3,19)/6,22 \times 100 \% = 48,72 \%$, yang diikuti dengan penurunan kadar sulfur sebesar $(2,07 - 1,64) / 2,07 \times 100 \% = 20,8 \%$.

Sebaliknya pada penelitian ini penurunan kadar sulfur terminimum yang dicapai adalah pada sampel SA60 P20 S15 yaitu sebesar $(2,07 - 1,54)/2,07 \times 100 \% = 25,6 \%$, dimana penurunan kadar abunya sebesar $(6,22 - 3,93) / 6,22 \times 100 \% = 36,8 \%$. Juga terjadi pada sampel SA60 P10 C15 dengan kadar sulfur yang sama, namun kadar abu yang dapat dibuang dan terminimum adalah 4,79 % (atau dapat dibuang sebanyak $(6,22 - 4,79) / 6,22 \times 100 \% = 23 \%$).

Membandingkan ketiga macam sampel ini, maka baik sampel SA40 P10 S15 dengan kadar abu yang terendah maupun sampel SA60 P20 S15 dan SA60 P10 C15 dengan kadar sulfur terendah, maka ketiganya adalah pilihan yang baik untuk dipertimbangkan sebagai hasil pencucian dengan metoda aglomerasi air-minyak sawit yang optimum. Selain daripada itu, minyak sawit maupun sawit mentah dapat menurunkan kadar sulfur terendah bagi batubara dengan ukuran partikel 60 mesh, ini terlihat pada sampel-sampel SA60 P20 S15 dan SA60 P10 C15.

Dengan metoda dan alat yang sama, maka penurunan kadar sulfur dengan batubara semi antrasit ini ternyata lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya untuk batubara bituminus (Nukman, 2007) yang diturunkan sebanyak 24 %. Begitu juga dengan kadar sulfur pada batubara sub bituminus yang dapat diturunkan maksimum mencapai 20 % (Nukman, 2006). Dengan menggunakan minyak diesel dan dengan metoda dan jenis alat yang sama (Robbins, 1992) dapat menurunkan kadar abu maksimum 20 % untuk jenis batubara bituminus.

Gambar 9 menunjukkan pengaruh minyak sawit sangat dominan untuk menurunkan kadar sulfur. Namun tidak untuk sawit mentah, dimana pemakaian sawit mentah tidak dapat menurunkan kadar sulfur ke titik optimum, namun kadar abu yang dapat diturunkannya hampir menyamai pengaruh penambahan minyak sawit. Hal ini berarti pemakaian minyak sawit lebih dapat menurunkan kadar abu dan sulfur dari batubara semi antrasit ke titik yang optimum. Hal ini diperkirakan karena pengaruh kotoran dan zat-zat lain pada sawit mentah (seperti *gum*) yang menyebabkan sawit mentah tidak dapat menempel pada permukaan partikel batubara seutuhnya.



Gambar 9. Hubungan antara Kadar Abu minimum dengan Sulfurnya dan Kadar Sulfur minimum dengan kadar Abunya yang dapat dicapai dari Batubara Semi Antrasit.

KESIMPULAN

Dengan metoda aglomerasi ini, secara umum pencucian dapat menurunkan kadar abu dan sulfur ke tingkat relatif rendah. Dengan metoda aglomerasi air-minyak sawit ini, kadar abu dari batubara semi antrasit dapat diturunkan sekitar 50 %. Sedangkan kadar sulfur dapat diturunkan hingga 25,6 %.

Minyak sawit dapat menurunkan kadar sulfur lebih banyak dibandingkan dengan sawit mentah, begitujuga dengan memakai sawit mentah, kadar sulfur yang dapat dibuang lebih banyak, walau kadar abunya relatif sama.

Untuk ukuran partikel 60 mesh yang dicuci dengan minyak sawit, menunjukkan grafik kadar sulfur yang cenderung menurun yang lebih tajam, apabila kadar minyak sawit aglomerat dinaikkan dari 5 menjadi 10 dan 15 % dan ini agak berbeda dengan kadar abu. Hal ini menunjukkan suatu keuntungan yaitu dengan persentase minyak sedikit, maka kadar sulfur yang dapat dibuang lebih banyak.

Daftar Pustaka

- 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.
- Alonso M. I., 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.
- Edy Sanwani, Alwi Ibrahim, Arief Sudarsono, Djamhur Sule, Simi Handayani. Pencucian Batubara, *Jurusan Teknik Pertambangan ITB*, 1998, halaman, II-40.
- Firor, John. Perubahan Atmosfer- Sebuah Tantangan Global. Terjemahan oleh Yuliani Liputo, Penerbit PT Rosda Jayaputra Jakarta, 1995, halaman 9.
- Gence, Nermin. "Coal recovery from bituminous coal by agglototation with petroleum oils". *Journal of Fuel*, 85, (2006), page 1138.
- Gurses Ahmet, 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.
- Ismail, Syarifuddin. Batubara Indonesia: *Potensi dan Harapan*. Penerbit Universitas Sriwijaya, 1995, halaman 46.

- Nukman dan Suhardjo Poertadji. "Pengurangan Kadar Abu dan Sulfur pada Batubara Sub Bituminus dengan metode aglomerasi air-minyak sawit". Jurnal Sains Materi Indonesia, Juni 2006, Vol.7, No. 3.
- Nukman dan Suhardjo Poertadji. "Metode Aglomerasi Air-Minyak Sawit untuk menurunkan kadar Sulfur pada batubara Bituminus". Jurnal Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Maret 2007.
- Osborne G. Coal Preparation Technology. Volume 1, Graham dan Trotman Limited, London, 1988, page 460.
- Robbins, G.A., 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.
- 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.
- Sulaksono, Djoko. "Teknologi Batubara Bersih di Indonesia". Prosiding Konperensi Energi, Sumber Daya Alam dan Lingkungan, BPP Teknologi. Jakarta 11–12 Maret 1997, halaman 1.