

Penentuan Rasio Optimum Campuran CPO: Batubara Dalam Desulfurisasi dan *Deashing* Secara Flotasi Sistem Kontinyu

Andi Aladin*

Program Studi Magister Teknik Kimia
Program Pascasarjana Universitas Muslim Indonesia (UMI)
Jl. Urip Sumahraja Km. 4 No. 225 Makassar

Abstract

The problem related to the utilisation of Indonesian coal is the high sulphur and ash contents of the coal which may defect the combustor units and pollute the environment. Flotation is one of the methods to reduce the inorganic sulphur and ash in coal. Research on desulphurisation and deashing of coal from Mallawa (Sulawesi) was performed in a continuous flotation column. Variables which give maximum desulphurisation were studied and covered in this article, e.g. mixing ratio of crude palm oil (CPO) surfactant to coal. It was found that optimum mixing ratio of CPO to coal was 1:4, based on optimum conditions previously determined, i.e. resident time of 60 minutes, air flow rate of 1.22 l/min, pH 6.5 and coal particle size of 169 μm . In these optimum conditions, the sulphur content was reduced from 3.3% to 0.93% or 72% sulphur recovery, while the ash content was reduced from 11.25% to 9.75%, the calorific value was maintained at 6000 kcal/kg. The desulphurised and deashed coal meets the specification criteria of the industrial fuel.

Key words: ash, sulphur, continuous flotation, calorific value, ratio CPO:coal

Abstrak

Salah satu problem penggunaan batubara Indonesia adalah kandungan sulfur dan abu yang relatif tinggi sehingga dapat berdampak pada kerusakan alat pembakar dan pencemaran lingkungan. Flotasi merupakan salah satu metode untuk mereduksi kandungan sulfur (anorganik) dan abu batubara. Penelitian *desulfurisasi* dan *deashing* batubara asal daerah Mallawa (Sulawesi) dilakukan dalam sebuah alat kolom flotasi dengan sistem *kontinyu*. Diamati beberapa variabel flotasi yang dapat memberikan hasil desulfurisasi yang maksimum, diantaranya adalah variabel rasio campuran surfaktan CPO (*Crude Palm Oil*) terhadap bahan batubara, dibahas dalam artikel ini. Diperoleh rasio campuran optimum adalah 1:4, berdasarkan kondisi optimum variabel lain yang telah diperoleh sebelumnya yaitu waktu tinggal 60 menit, laju alir udara 1,22 liter/menit, pH 6,5 dan ukuran partikel batubara 169 μm . Pada kondisi optimum ini kandungan sulfur batubara dapat direduksi dari 3,3% menjadi 0,93% atau *recovery* sulfur 72% dan kandungan abu dapat diturunkan dari 11,25% menjadi 9,75% dengan nilai kalor dapat dipertahankan 6000 kkal/kg. Batubara hasil *desulfurisasi* dan *deashing* ini telah memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai bahan bakar di industri.

Kata kunci: abu, sulfur, flotasi, nilai kalor, kontinyu, rasio CPO:Batubara

Pendahuluan

Cadangan batubara di Indonesia mencapai 38,8 milyar ton, termasuk batubara Sulawesi yang terkonsentrasi di propinsi Sulawesi Selatan, dimana daerah ini tergolong tiga besar daerah yang mengandung cadangan batubara terbesar di Indonesia setelah Kalimantan dan Sumatra. Namun sayangnya batubara asal Sulawesi belum dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar di industri sebab kandungan sulfur dan abunya yang relatif tinggi. Dampak pemanfaatan batubara berkadar sulfur tinggi, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan kerusakan pada alat pembakaran. Pembakaran batubara yang mengandung sulfur pirit tinggi dapat membentuk

polutan gas SO_x seperti gas SO_2 , yang berpotensi membentuk hujan asam yang bersifat korosif, berbahaya bagi kelangsungan hidup di darat dan di laut (Davis dan Cornwell, 1998; Krevelen, 1981). Seperti di Provinsi Zhejiang (Cina) dilaporkan bahwa pada tahun 1998 telah terjadi pencemaran udara akibat pembakaran batubara. Emisi gas SO_2 mencapai 620 ribu ton dan asap debu 350 ribu ton serta hujan asam mencakup hingga 96% area provinsi tersebut dengan pH berkisar 4,05 – 4,76 (Weihong, 1998).

Dalam usaha mereduksi kadar sulfur batubara, berbagai teknologi *desulfurisasi* telah dan sedang dikembangkan, diantaranya adalah desulfurisasi dengan metode *flotasi*. Metode flotasi terbukti efektif untuk menurunkan kandungan sulfur anorganik batubara Turki yang juga memiliki

* Alamat korespondensi: email: addin@pascaumi.ac.id

problem kandungan sulfur tinggi (Demirbas, 2002). Dalam metode flotasi, disamping terjadi proses reduksi kandungan sulfur (desulfurisasi), khususnya sulfur pirit (depiritisasi), juga sekaligus dapat mereduksi kandungan abu batubara (*deashing*) (Mandasini dan Aladin, 2003). Desulfurisasi batubara dalam kolom flotasi sistem *batch* skala laboratorium menunjukkan reduksi sulfur anorganik sangat efektif dengan mengoptimasi beberapa variabel flotasi (Aladin dkk, 2005). Untuk dapat diterapkan metode desulfurisasi batubara secara flotasi pada skala industri, maka variabel-variabel flotasi optimum sistem *batch* di atas perlu diujicobakan (dan kemungkinan terjadi koreksi) dalam flotasi sistem kontinyu (alir).

Tujuan utama penelitian ini adalah mereduksi kandungan sulfur dan abu batubara asal daerah Sulawesi Selatan dengan metode flotasi sistem kontinyu, sehingga memenuhi kriteria industri pemakai bahan bakar batubara (sulfur maksimal 1% dan abu maksimal 10%). Secara khusus penelitian ini bertujuan melakukan koreksi terhadap variabel-variabel flotasi optimum sistem kontinyu berdasarkan variabel-variabel flotasi optimum sistem *batch* yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya (Aladin dkk, 2005). Variabel flotasi optimum yang akan dikoreksi antara lain rasio campuran surfaktan atau kolektor *crude palm oil (CPO)* terhadap bahan batubara berdasarkan pH optimum campuran *slurry*. Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan, yaitu berupa data kondisi optimum desulfurisasi secara flotasi dengan sistem kontinyu dan pemahaman fenomena dan mekanisme pemisahan sulfur dan abu dari batubara secara flotasi dengan menggunakan kolektor sabun CPO. Bagi masyarakat, bangsa dan negara, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yaitu meningkatkan nilai ekonomi CPO, meningkatkan nilai ekonomi hasil tambang batubara, mengatasi atau mengeliminir ancaman krisis sumber energi dan bahan bakar minyak dan gas alam, serta mengeliminir ancaman pencemaran sulfur dan abu pada lingkungan.

Tinjauan pustaka

Suatu bahan seperti batubara yang mengandung unsur karbon, hidrogen, oksigen, dan sulfur berpotensi digunakan sebagai bahan bakar (*fuel*) sebab unsur-unsur tersebut memberikan kontribusi terhadap panas pembakaran, dengan nilai panas pembakaran

berturut-turut 396, 150, 100 dan 250 kJ/g.atom (Krevelen, 1993; Razjevic, 1976).

Suatu partikel bola kaku dapat mengalami flotasi (pengapungan) atau sedimentasi (pengendapan) di dalam media fluida, ditentukan oleh resultante dari ketiga jenis gaya yang bekerja. Ketiga gaya tersebut adalah gaya apung F_b (*buoyant force*), gaya gravitasi F_g (*gravitation force*) dan gaya gesek F_d (*Drag force*), berturut-turut dinyatakan dalam persamaan 1, 2 dan 3 (Geankoplis, 1993).

$$F_b = \frac{m \cdot \rho_p \cdot g}{\rho_p} = V_p \cdot \rho_p \cdot g \quad (1)$$

$$F_g = m \cdot g \quad (2)$$

$$F_D = C_D \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \cdot A \quad (3)$$

Kesetimbangan ketiga gaya tersebut menghasilkan persamaan kecepatan jatuh bebas (*free setting velocity*) atau kecepatan akhir (*terminal velocity*) v_t , yaitu :

$$v_t = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho)g \cdot D_p}{3C_D \rho}} \quad (4)$$

dimana v : kecepatan gerak partikel (m/s), v_t : *terminal velocity*, kecepatan partikel jatuh bebas (m/s), m : massa partikel (kg), ρ_p : massa jenis partikel (kg/m^3), ρ : massa jenis fluida (kg/m^3), V_p : volume partikel ($= m/\rho_p$; m^3), g : kecepatan gravitasi (m/s^2), D_p : diameter partikel, (m) dan C_D : koefisien gesek.

Koefisien gesek pada aliran turbulents ($N_{Re} : 10^3-10^5$) adalah konstan ($C_D = 0,44$), sehingga kecepatan gerak (pengendapan) partikel bola dalam aliran fluida turbulents menjadi :

$$v_t = \sqrt{\frac{3,03(\rho_p - \rho)g \cdot D_p}{\rho}} \quad (5)$$

sedangkan pada aliran laminar merupakan fungsi Reynold, $C_D = f(N_{Re})$, dan khusus pada $N_{Re} \leq 1$, disebut daerah **Hukum Stokes**, dimana $C_D = 24/N_{Re}$. Sehingga kecepatan gerak (pengendapan) partikel bola menjadi :

$$v_t = \frac{g(\rho_p - \rho)D_p^2}{18\mu} \quad (6)$$

Jika $\rho_p < \rho$, maka nilai v_t negatif, berarti partikel bergerak mengapung (terjadi flotasi). Persamaan gaya gesek pada partikel bola dalam aliran *fluida laminar*, mengikuti hukum Stokes :

$$F_D = 3(\pi \cdot \mu \cdot D_p) v \tag{7}$$

Untuk sistem lebih terkondisi, proses flotasi berlangsung pada suatu sistem yang terdiri dari tiga fasa yaitu fasa gas, cair dan padat, yang saling berinteraksi sedemikian rupa (dengan tambahan *flotation agent*) sehingga terjadi pemisahan antara komponen *hidrofobik* (anti air) dan komponen *hidrofilik* (suka air). Suatu partikel yang akan dipisahkan (diapungkan) dalam sistem flotasi, biasanya digunakan media pengangkut berupa gelembung udara. Partikel ini berukuran halus, bersifat hidrofobik atau dibuat hidrofobik oleh surfaktan dapat melekat pada permukaan gelembung udara dengan adanya gaya adhesi. Besaran kerja (gaya) adhesi antara dua fasa padat-udara dalam sistem tiga fasa pada flotasi dirumuskan oleh Dupre :

$$W_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} - \gamma_{SA} \tag{8}$$

dimana γ_{SA} , γ_{SL} dan γ_{LA} berturut-turut menyatakan tegangan permukaan pada padat-udara, padat-cair, dan cair-udara, (Kawatra dan Eisele, 1997; Kirk dan Othmer, 1980).

Berdasarkan persamaan 8, untuk meningkatkan kemampuan mengapung suatu partikel (yang dapat mengendap oleh gaya gravitasi) bersama gelembung udara maka perlu rekayasa penurunan tegangan permukaan antara partikel padat-udara (γ_{SA}), di antaranya adalah dengan penambahan kolektor yang berfungsi sebagai *surfaktan* (dalam penelitian ini digunakan surfaktan CPO). Penurunan tegangan tersebut menyebabkan peningkatan gaya adhesi antara partikel padat dengan permukaan gelembung udara, sehingga partikel padat mudah terflotasi bersama gelembung udara. Senyawa sabun dari *crude palm oil* (CPO) kelapa sawit dapat berfungsi ganda sebagai *surfaktan* dan *frother* dalam flotasi batubara (Bayrak, dkk., 2000; Kirk dan Othmer, 1980).

Rekayasa lain adalah memperbesar ukuran gelembung udara guna memperbesar *sudut kontak* yang dapat menurunkan tegangan permukaan γ_{SA} , sebagaimana dinyatakan dalam persamaan *Young* sebagai berikut (Kirk dan Othmer, 1980; Schweitzer, 1979):

$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cdot \cos \theta \tag{9}$$

dimana θ adalah besaran sudut kontak. Kombinasi persamaan *Young-Dupre* diperoleh (Kirk dan Othmer, 1980):

$$W_{SA} = \gamma_{LA} (1 - \cos \theta) \tag{10}$$

Dalam penelitian ini, dengan mengatur sedemikian laju alir udara berdampak pada ukuran gelembung udara yang masuk dalam kolom flotasi.

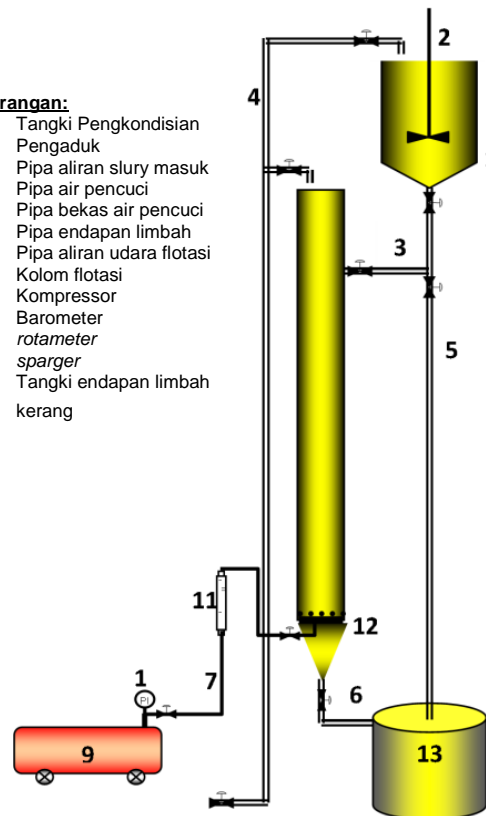
Metode Penelitian

Bahan utama dalam penelitian ini batubara bersumber dari daerah Maros (Sulawesi Selatan). Bahan bantu adalah minyak kasar kelapa sawit (CPO) diperoleh dari pabrik CPO PTPN XIV, Burau, Luwu Timur (Sulawesi Selatan) dan bahan kimia lainnya diperoleh pada tempat penelitian.

Alat utama berupa (1) reaktor sintesis sabun CPO yang juga berfungsi sebagai tangki pengkondisian, dan (2) kolom flotasi sistem alir terbuat dari bahan akrilit dengan tinggi maksimal kolom (L) 150 cm dan diameter kolom (D) 6,5 cm (L/D = 23, volume total kolom 5,5 liter) yang dilengkapi dengan kompresor dan tangki pengkondisian, *sparger* dan *flowmeter* (gambar 1). Alat lainnya berupa alat *spektrofotometer UV* untuk analisis sulfur, alat bom kalorimeter untuk pengukuran nilai kalor batubara sebelum dan sesudah desulfurisasi.

Keterangan:

1. Tangki Pengkondisian
 2. Pengaduk
 3. Pipa aliran slury masuk
 4. Pipa air pencuci
 5. Pipa bekas air pencuci
 6. Pipa endapan limbah
 7. Pipa aliran udara flotasi
 8. Kolom flotasi
 9. Kompresor
 10. Barometer
 11. rotameter
 12. sparger
 13. Tangki endapan limbah
- kerang



Gambar 1: Skema alat penelitian

Preparasi bahan batubara dengan cara *crushing*, *grinding* dan pengayakan. Sebagian sampel batubara ini dikarakterisasi dan dianalisis mengikuti ASTM Standar. Dalam prosedur flotasi sistem alir dilaksanakan dengan menggunakan variabel optimum yang telah diperoleh dalam penelitian flotasi sistem semi *batch* (Aladin dkk, 2005). Ke dalam tangki pengkondisian dimasukkan air 10 liter dan CPO 125 g, kemudian ditambahkan larutan Na_2CO_3 2M 100 cm^3 , diaduk (± 15 menit), pH campuran diatur hingga 6,5 dengan penambahan larutan HCL 1 M. Selanjutnya dimasukkan 550 gr bahan batubara 100/150 mesh (diameter rata-rata $\bar{d}_p = 121 \mu\text{m}$), diencerkan dengan air hingga volume campuran 55 liter sambil diaduk (± 15 menit), pH dicek dan diatur kembali hingga tetap 6,5. Setelah campuran ini terkondisikan maka mulai dialirkan masuk ke dalam kolom flotasi dengan laju alir umpan (Q) 0,1 liter/menit (waktu tinggal (τ) 55 menit). Bersamaan itu kompresor dihidupkan, udara dialirkan masuk kolom flotasi melalui *sparger* dengan laju alir udara 1,86 liter/menit. Hasil flotasi batubara bagian atas kolom (produk *top*) ditampung untuk dianalisis. Dengan prosedur yang sama flotasi diulangi dengan variasi laju alir umpan yang lain. Masing-masing sampel batubara hasil flotasi dengan variasi laju alir umpan tersebut dianalisis kadar sulfur sisanya, kemudian dibuat grafik hubungan kadar sulfur sisa atau *recovery* sulfur batubara hasil flotasi dengan laju alir umpan (waktu tinggal, τ). Dari grafik tersebut dapat dibaca laju alir umpan optimum yang memberikan kadar sulfur tertinggal minimum atau *recovery* sulfur maksimum. Prosedur flotasi diulangi dengan melakukan variasi pH campuran *slurry*, laju alir udara (v), ukuran batubara (\bar{d}_p) sebagaimana telah dibahas dalam pustaka (Aladin dkk, 2008a; Aladin dkk, 2008b).

Berdasarkan kondisi optimum yang telah diperoleh yaitu $\tau_{\text{opt}} = 60$ menit, $v_{\text{opt}} = 1,22$ liter/menit, $\text{pH}_{\text{opt}} = 6\frac{1}{2}$ dan $\bar{d}_{p_{\text{opt}}} = 169 \mu\text{m}$, prosedur flotasi di atas diulangi dengan variasi rasio campuran bahan surfaktan CPO terhadap bahan utama batubara (R_1) = 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, dan $\frac{1}{16}$. Dibuat grafik hubungan kadar sulfur sisa atau *recovery* sulfur batubara hasil flotasi dengan rasio campuran CPO:batubara. Dari grafik tersebut dapat dibaca rasio campuran optimum yang memberikan kadar sulfur tertinggal minimum atau *recovery* sulfur maksimum.

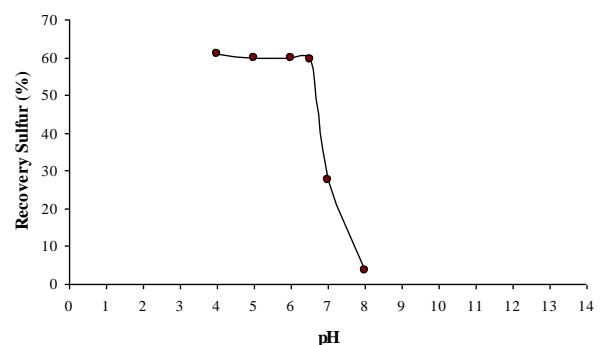
Hasil dan Pembahasan

Karakteristik batubara

Hasil karakterisasi batubara Mallowa menunjukkan kandungan sulfur total 3,3% terdiri atas sulfur anorganik 2,4% dan sisanya sulfur organik 0,89%, abu 11,3%, zat terbang 34,4%, kadar air 8% dan karbon tetap 46,3% serta nilai kalor 5900 kkal/kg. Karakteristik ini menunjukkan bahwa kualitas batubara asal daerah Mallowa masih rendah. Kandungan sulfur total sebesar 3,3% termasuk kategori tinggi yang belum memenuhi syarat dipergunakan sebagai bahan bakar di industri (maksimal 1%) sebagaimana kriteria penggunaan batubara sebagai bahan bakar di industri semen dan PLTU. Demikian pula kandungan abu batubara Mallowa sebesar 11,25% relatif tinggi, juga belum memenuhi syarat dipergunakan sebagai bahan bakar di industri (maksimal 10%). Batubara Mallowa termasuk kelas batubara *subbituminous*.

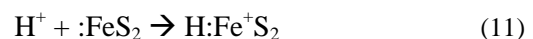
Penentuan pH optimum

Data hasil penelitian desulfurisasi batubara secara flotasi dengan variasi pH disajikan dalam grafik pH versus *recovery* sulfur (Gambar 2). Desulfurisasi terjadi pada pH asam (4 – 6,5), sedangkan pada pH basa tidak (sulit) terjadi. Disimpulkan pH optimum = 6,5 yang dapat *recovery* sulfur maksimum 60%. Grafik pada Gambar 2 dikenal sebagai *kurva pH kritis* dalam flotasi.



Gambar 2: Kurva pH kritis

Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa sulfur dalam bentuk pirit (FeS_2) terlebih dahulu mengalami ionisasi (parsial) membentuk molekul polar dengan adanya ion asam (H^+) dengan reaksi:



Pirit dalam bentuk terionkan ($\text{H}^+:\text{FeS}_2$) akan bersifat lebih hidrofilik sehingga lebih mudah bergabung (tertarik) dengan komponen hidrofilik

lainnya (air) dan karenanya akan lebih mudah dipisahkan dari campuran batubara (komponen hidrofobik). Campuran *slurry* dalam kondisi basa, maka kehadiran anion OH⁻ tidak akan dapat meningkatkan kehidrofilikan pirit, bahkan sebaliknya anion OH⁻ (yang bermuatan negatif) cenderung tolak menolak dengan molekul pirit yang bermuatan negatif parsial (atom Fe dalam pirit memiliki pasangan elektron bebas pada kulit terluarnya dan bersifat elektronegatif). Akibatnya molekul pirit menjadi sulit ditarik (*recovery*) dari campuran batubara yang bersifat basa tersebut (Aladin, dkk., 2008a)

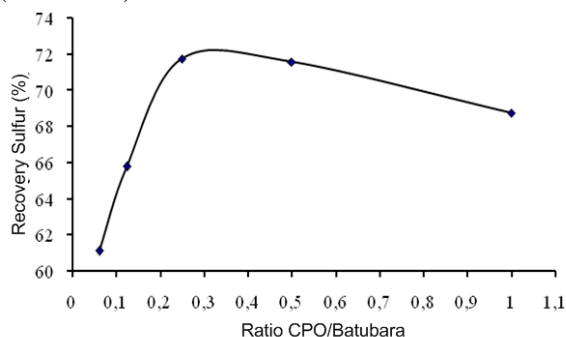
Penentuan rasio campuran CPO: batubara optimum

Pengaruh variabel rasio campuran CPO dengan bahan batubara, diperoleh data seperti disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data desulfurisasi batubara sebagai fungsi rasio CPO dan batubara

Run No	Rasio C/B	Sulfur sisa (%)	Sulfur <i>recovery</i> (%)
1	1	1,03	68,75
2	0,5	0,93	71,59
3	0,25	0,93	71,76
4	0,125	1,12	65,78
5	0,0625	1,28	61,11

Berdasarkan data di atas nampak bahwa terjadi peningkatan *recovery* sulfur dalam batubara dengan meningkatnya rasio (perbandingan) CPO terhadap bahan batubara pada rentang rasio C/B 0,0625 hingga 0,25 (Gambar 3).



Gambar 3. Profil *recovery* sulfur batubara sebagai fungsi rasio CPO:batubara
(Variabel tetap: $t = 60$ menit, $pH = 6,5$, $d_p = 169 \mu m$, $v = 1,22$ liter/menit)

Hal ini mengingat peran kolektor CPO sebagai surfaktan yang dapat menurunkan tegangan permukaan antara partikel padat-udara (γ_{SA}) seperti yang dinyatakan dalam persamaan

Dupre (persamaan 8). Penurunan tegangan menyebabkan peningkatan gaya adhesi antara partikel padat dengan permukaan gelembung udara, sehingga partikel padat mudah terflotasi bersama dengan udara, (Kirk and Othmer, 1980). Besarnya pengaruh surfaktan CPO terhadap penurunan tegangan permukaan antara partikel padat-udara tersebut berbanding dengan kuantitas CPO.

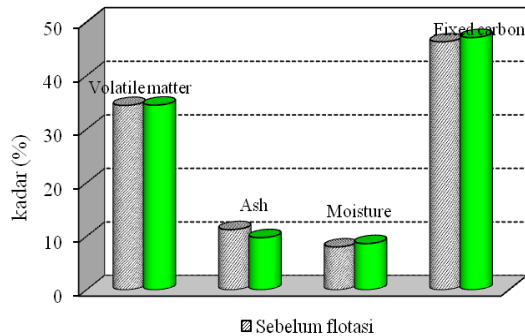
Namun kenaikan rasio CPO terhadap bahan batubara dari $C/B = 0,25$ hingga $C/B = 1$ tidak lagi memberikan efek kenaikan *recovery* sulfur batubara yang signifikan, bahkan cenderung turun. Hal ini disebabkan bahwa dengan konsentrasi CPO yang sudah demikian besar mengakibatkan kenaikan viskositas campuran *slurry* (μ), dimana menurut persamaan 6 kecepatan gerak partikel batubara (v_t) menjadi kecil dan proses flotasi sulit terjadi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berdasarkan variabel optimum yang telah diperoleh sebelumnya ($t_{opt} = 60$ menit, $pH_{opt} = 6,5$, $v_{opt} = 1,22$ liter/menit dan $\bar{d}p_{opt} = 169 \mu m$), variabel rasio CPO terhadap bahan batubara optimum $R_{t_{opt}} = 0,25$ yang dapat menurunkan kadar sulfur batubara dari 3,28 menjadi 0,93% atau *recovery* sulfur maksimum 72 %. Nilai rasio optimum campuran CPO terhadap batubara dalam penelitian flotasi sistem alir ini sama dengan nilai rasio optimum dalam penelitian flotasi sistem *batch* (Aladin dkk, 2005).

Desulfurisasi batubara berdasarkan gabungan variabel optimum

Data yang tersaji dalam Tabel 2 di atas (run no 3), merupakan hasil flotasi batubara berdasarkan variabel-variabel optimum, yaitu waktu tinggal $\tau_{opt} = 60$ menit, laju alir udara $v_{opt} = 1,22$ liter/menit, $pH_{slurry} = pH_{opt} = 6,5$, ukuran partikel batubara $\bar{d}p_{opt} = 169 \mu m$, dan rasio campuran CPO:Batubara $R_{t_{opt}} = 1:4$ Pada kondisi optimum tersebut kadar sulfur batubara dapat direduksi dari 3,3% turun menjadi 0,93% atau *recovery* sulfur 72%, dengan dapat mempertahankan, bahkan relatif meningkatkan, nilai kalor batubara menjadi 6000 kkal/kg. Nilai kalor relatif sama sekalipun kadar sulfurnya berkurang, karena nilai *fixed carbon* batubara hasil flotasi dalam penelitian ini relatif tetap (Gambar 3), (Peele dan Church, 1941).

Dibandingkan dengan nilai variabel optimum data *batch* (Aladin dkk, 2005) terdapat perbedaan nilai dengan variabel optimum data

flotasi sistem alir dalam penelitian ini, kecuali pH tetap 6,5 dan rasio R_t tetap 1:4. Nilai variabel sistem alir ini merupakan koreksi terhadap data *batch*, dimana waktu flotasi dalam sistem *batch* $t = 40$ menit, sedangkan waktu flotasi (waktu tinggal) dalam sistem alir (τ) = 60 menit, laju alir udara sistem *batch* (v) = 1,86 liter/menit, sedangkan laju alir udara sistem alir (v) = 1,22 liter/menit, ukuran partikel batubara rata-rata sistem *batch* $dp = 121 \mu\text{m}$, sedangkan dalam sistem alir $dp = 169 \mu\text{m}$.



Gambar 4. Perbandingan karakteristik batubara sebelum dan setelah flotasi

Perbandingan relatif karakteristik batubara sebelum dan setelah flotasi berdasarkan variabel rasio optimum campuran CPO terhadap bahan batubara dan variabel-variabel optimum lainnya seperti disebutkan di atas, disajikan dalam gambar 4. Dalam desulfurisasi batubara Mallawa secara flotasi menunjukkan selain kandungan sulfur dapat direduksi, kandungan abu juga turut tereduksi dari 11,25% menjadi 9,75%. Reduksi abu (*deashing*) dapat terjadi dengan mekanisme seperti desulfurisasi, komponen abu yang terdiri dari molekul-molekul anorganik seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO dan Na_2O serupa dengan molekul pirit (FeS_2), bersifat hidrofilik sehingga memungkinkan untuk berpisah dari komponen hidrofobik (batubara) secara flotasi, (Davis, 2000; Hessley, dkk., 1986; McKetta, 1991).

Seperti pada Gambar 4, tampak peningkatan kecil kadar air (*moisture*) setelah flotasi, namun efek ini terhadap nilai *fixed carbon* dapat diimbangi dengan terjadinya penurunan kadar abu sehingga nilai *fixed carbon* relatif bertahan bahkan dalam penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan dari 46,31 menjadi 47,11%. Akibatnya, seperti yang diprediksi Peele dan Church (1941) nilai kalor batubara juga relatif bertahan, bahkan sedikit meningkat dari 5905 menjadi 5980 kkal/kg atau menghampiri 6000 kkal/kg.

Variabel flotasi optimum tersebut di atas ($\tau = 60$ menit; $v = 1,22$ liter/menit; $\text{pH} = 6,5$; $dp = 169 \mu\text{m}$ dan variabel tetap $L/D = 23$ dan $R_t = 1:4$) yang memberikan reduksi sulfur maksimum telah mencapai target kadar sulfur sisa maksimum 1%, demikian pula kadar abu sisa maksimum telah mencapai target dibawah 10%, sementara nilai kalor batubara hasil flotasi dapat dipertahankan bahkan sedikit meningkat mendekati nilai 6000 kkal/kg. Kualitas batubara hasil flotasi sistem alir ini telah memenuhi target kualitas batubara yang dipersyaratkan oleh industri pemakai bahan bakar batubara seperti industri semen dan PLTU.

Kesimpulan

Dari penelitian desulfurisasi batubara asal daerah Mallawa, Sulawesi Selatan secara flotasi menggunakan surfaktan CPO (*Crude Palm Oil*) dengan sistem alir (kontinyu) yang beroperasi pada variabel dimensi kolom tetap ($L/D = 23$) diperoleh beberapa variabel (optimum) flotasi terkoreksi terhadap variabel flotasi dengan sistem *batch*, yaitu: waktu tinggal $\tau_{\text{opt}} = 60$ menit, laju alir udara $v_{\text{opt}} = 1,22$ liter/menit, pH slurry $\text{pH}_{\text{opt}} = 6,5$ dan ukuran partikel batubara rata-rata $dp_{\text{pot}} = 169 \mu\text{m}$ serta rasio campuran CPO : batubara $R_{t_{\text{opt}}} = 1 : 4$. Berdasarkan kondisi variabel flotasi optimum ini, kandungan sulfur batubara Mallawa dapat diturunkan dari 3,3 turun menjadi 0,93% atau *recovery* sulfur maksimum $R_{\text{max}} = 72\%$, reduksi kandungan abu (*ash*) dari 11,25 menjadi 9,75% dengan tetap dapat mempertahankan, bahkan sedikit meningkatkan nilai *fixed carbon* dari 46,31 menjadi 47,11% sehingga nilai kalor relatif tetap pada kisaran 6000 kkal/kg.

Kualitas batubara hasil flotasi sistem alir di atas telah memenuhi target kualitas batubara yang dipersyaratkan oleh industri pemakai bahan bakar batubara (seperti industri semen dan PLTU), khususnya dalam kriteria kadar sulfur di bawah 1%, kadar abu di bawah 10% dan nilai kalor mencapai 6000 kkal/kg.

Daftar Pustaka

- Aladin, A., Mandasini, Lastri W., Roesyadi A. dan Mahfud, 2005. Desulfurisasi Batubara Secara Flotasi Menggunakan Kolektor Minyak Sawit, Laporan Penelitian HIBAH PEKERTI 2004/2005.
- Aladin, A., Mandasini, Lastri W., dan Suryanto, A., 2008. Desulfurisasi Batubara Secara Flotasi Sistem Kontinyu, Prosiding Seminar Nasional Teknik

- Kimia Soehadi Reksowardojo, ITB, Bandung, November 2008.
- Aladin, A., Mandasini, Lastri W., dan Suryanto, A., 2008. Desulfurisasi Batubara Secara Flotasi Sistem Kontinyu (Penentuan Waktu Tinggal & pH Optimum), Jurnal INDUSTRI, FTI ITS, Surabaya.
- Al-Fariss, T.F., El-Aleem, F.A.A., and Al-Qahtani, M.S., 2002. The Application Of Column Flotation Technology in The Beneficiation Of Saudi Phosphate Ores, The Proceedings of RSCE and 16th SOMChE, 28-30 Oct 2002, Malaysia.
- Bayrak, N. and O'Donnell, J., A., 2004. Recovery of Fine Coals by Column Flotation, paper #918.
- Davis, M.L. and Cornwell D.A., 1998. Introduction to Environmental Engineering, 3ed. McGraw-Hill, pp. 459-549.
- Demirbas, 2002. Demineralization and Desulphurization of Coals via Column Froth Flotation and Different Methods, Journal of Energy Conversion & Management 43, 885-895.
- Greenkorn, R.A. and Kessler, D.P., 1972. Transfer Operations, International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, pp. 91 – 138.
- Hessley, R. K., Reasoner, J.W and Riley, J.T., 1986. Coal Science 10, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 182-257.
- Kawatra, S.,K. and Eisele,T.,C., 1997, Pyrit Recovery Mechanisms in Coal Flotation, Journal of Mineral Processing 50, 187-201.
- Krevelen, D. W. V., 1993. Coal; Typology – Physics – Chemistry – Constitution, Third edition, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Mandasini dan Aladin, A. , 2003. Desulfurisasi Batubara Secara Flotasi, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V, UI Jakarta, (ISBN: 1410-9891).
- McKetta, J., J., 1993. Unit Operation Handbook, 10th edition, vol. 2, Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 177 – 230.
- Mukherjee, S. and Borthakur, P. C., 2001. Chemical Demineralization / Desulfurization Of High Sulphur Coal Using Sodium Hydroxyde And Acid Solutions, Journal of FUEL 80, 2037-2040.
- Peele, R., and Church, J.A., 1941, Mining Engineers' Handbook, Third edition, Vol II, John Willy & Sons Inc, pp. 39.30-39.31.
- Raznjevic, K., 1976. Handbook Of Thermodynamic Tabela and Charts, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Robert, P., et al, 1980. Annual Book Of ASTM Standards, Part 26, American Society For Testing and Materials.
- Roesyadi, A., Mahfud dan Aladin, A. 2005, Karakterisasi, Desulfurisasi dan Deashing Batubara Asal Sulawesi Secara Flotasi, Jurnal Media Teknik edisi Februari 2005, Fak. Teknik UGM Yogyakarta
- Suyartono and Indria, B., 2000. The Future of Coal and its Industry in Indonesia, Indonesian Mining Journal 6, 78-85.
- Thomas, T., 1995. Developments For the Precombustion Removal of Inorganic Sulfur From Coal, Journal of Fuel Processing Technology 43, 123-128.
- Weihong, L., 1998. Market Analysis and Environmental Effect of Clean Coal Technology (www.google.com, 5 april 2003).