

CO-COMBUSTION SLUDGE IPAL PLTU TANJUNG JATI B UNIT 1&2 DENGAN BATUBARA : TINJAUAN ENERGI TERMAL PEMBAKARAN DAN PENGARUH TERHADAP EMISI SOX DAN SLAGGING PADA BOILER

Ragil Darmawan SAC¹⁾, Nita Aryanti²⁾, Danny Soetrisnanto²⁾

¹PT. TJB Power Services PLTU Jepara

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof.Sudharto Tembalang Semarang, 50239

Abstract

Electricity production process at TanjungJati B unit 1&2 Power Plant is also producing B3 waste (sludge) obtained from waste water treatment plant. E-Green principles can encourage company to reduce amount of waste generated. A co-combustion process (re-combusting the sludge with coal in boiler) can be applied to reduce the sludge waste. Previous study literature shows there is no experiment related co-combustion between sludge and coal. Moreover, characteristic of sludge (proximate, ultimate, chemical composition and temperature of ash fusion) effective for combustion and the process are unknown. The aims of this research are to find sludge characteristic, to evaluate caloric value from sludge combustion, to study the effect of co-combustion coal-sludge to emission and potential of slagging formation. The research carried out by proximate analysis (moisture, ash, volatile matter, sulfur and caloric content), ultimate analysis (C, H, S, N, and O), chemical composition of ash (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , and P_2O_5), and ash fusion temperature. Results showed that the caloric value, sulfur and CaO content are different sludge with coal. The caloric value of sludge is 428.22 kcal/kg, sulfur content is 12.46% and CaO content is 34.11%. Caloric value of coal is 6125 kcal/kg, sulfur content is 1.14% and CaO content is 1.73%. The sulfur content represent the amount of produced SOx emissions due to there is no sulfur content at formed ash. The combustion with coal produced 427.318 mg/Nm³ SOx emission. The mixing ratio that still meets the standard is (15:1) with 711.547 mg/Nm³ of SOx emission. Mixing ratio variation show that higher ratio gives higher caloric value, lower sulfur content and decrease slagging index. Based on existing boiler requirement conditions, the mixing ratio of (20:1) and (15:1) is applicable due to have enough caloric value, low slagging index, and not exceed the limit for emission. The optimum condition for co-combustion in this research is ratio (15:1). Higher ratio is recommended for application of co-combustion due to result higher caloric value, lower emission and lower slagging index.

Keywords : Co-combustion, Batubara, Sludge IPAL, Slagging

1. PENDAHULUAN

Limbah bahan beracun dan berbahaya yang dihasilkan oleh suatu perusahaan harus ditreatment secara khusus oleh pihak yang berijin. PLTU Tanjung Jati B Unit 1&2 dalam proses produksi listrik juga menghasilkan limbah B3 dari unit IPAL berupa sludge. Prinsip produksi bersih mendorong perusahaan untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Dalam mengurangi jumlah limbah B3 yang dikirim ke pihak ketiga, PLTU mengupayakan proses co-combustion, yaitu pembakaran ulang sludge bersama batubara di boiler. Selain untuk mengurangi jumlah limbah secara signifikan, nilai kalor yang masih terkandung di dalam sludge masih bisa dimanfaatkan untuk menambah panas di boiler. Sludge IPAL berasal dari aliran-aliran sumber limbah B3 yang ada di PLTU, diantaranya : coal run off, blowdown FGD, boiler pit, air limbah laboratorium, drainase fly ash dan ash run off. Sumber-sumber ini yang berpengaruh terhadap karakteristik sludge.

Penelitian – penelitian sebelumnya tentang co-combustion batubara telah dilakukan, tetapi material yang digunakan adalah limbah rumah tangga dan limbah biomass (Peterson et, 1994; Stelmach dan Wasielewski, 2008). Pada kedua material tersebut masih memiliki nilai kalori yang lebih besar dibandingkan dengan sludge IPAL, sehingga memerlukan kajian lebih dalam pada penggunaan sludge IPAL pada co-combustion batubara. Pengaruh terhadap emisi gas buang juga sudah pernah diteliti tetapi terbatas pada emisi NOx belum sampai membahas emisi SOx (Amand and Leckner, 2001).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik sludge, meninjau energi termal pembakaran sludge, mengetahui pengaruh *co-combustion* sludge IPAL dengan batubara terhadap emisi yang ditimbulkan dan potensi terjadinya *slagging* pada pembakaran di boiler. Pengukuran nilai kalori sludge dilakukan dengan alat bom kalorimeter, emisi dengan parameter SOx menggunakan *sulphur analyzer*, sedangkan untuk mengetahui potensi terjadinya *slagging*, digunakan *ash fusion analyzer*. *Slagging* adalah pembentukan dari leburan atau endapan yang sebagian melebur pada dinding

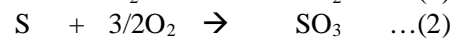
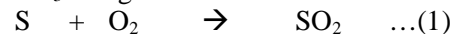
furnace atau permukaan konveksi yang bersentuhan langsung dengan panas (Steven S dkk, 1992).

2. METODE

Menganalisa karakteristik batubara, sludge dan campuran batubara-sludge pada beberapa variasi rasio melalui:

1. Analisa Proximate

Parameter yang dianalisa pada tahap ini antara lain : kandungan moisture dianalisa melalui proses pengeringan dengan oven. Sedangkan kandungan ash, volatile matter, dan fixed carbon dianalisa melalui proses pemanasan dengan furnace. Sementara nilai sulfur dianalisa menggunakan sulphur analyzer. Dan penentuannilai kalori menggunakan bom kalorimeter. Suhu ash fusion dianalisa menggunakan ash fusion analyzer. Nilai kandungan sulfur dari hasil analisa proximate digunakan sebagai dasar perhitungan emisi SOx yang terdiri dari SO₂ dan SO₃ mengikuti reaksi :



Dari penelitian yang pernah dilakukan, diketahui bahwa konversi S menjadi SO₂ sebesar 97% dan yang menjadi SO₃ sebesar 3% (California EPA, 2010). Selanjutnya nilai emisi yang dihasilkan dari perhitungan dibawa ke kondisi STP suhu 25⁰C dan tekanan 760 mmHg.

2. Analisa Ultimate

Tahap ini kandungan C, H, N, S dan O akan dianalisa menggunakan coal ultimate analyzer dengan basis bebas abu (ash free).

3. Analisis Komposisi Kimia

Parameter yang akan dianalisa diantaranya: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, dan P₂O₅. Parameter-parameter tersebut akan digunakan untuk menghitung indeks slagging. Perhitungan indeks slagging mengikuti jenis ash yang dihasilkan. Ada dua jenis ash, yaitu bituminous dan lignit, dimana Ash dapat diklasifikasikan sebagai bituminous jika :



Sedangkan ash diklafikasikan se.bagai lignit jika :



Perhitungan indeks *slagging* adalah sebagai berikut:

a. Ash Bituminous

Perhitungan Indeks *Slagging* (R_s) untuk Ash Bituminous dibawa ke perhitungan rasio basa terhadap asam dalam persen berat pada dry basis sulfur dalam batubara. Kandungan sulfur mengindikasikan jumlah besi yang muncul dalam bentuk *pyrite*. Perhitungannya sebagai berikut :

$$R_s = \frac{B}{A} \times S \quad \dots(5)$$

dimana :

B = CaO + MgO + Fe₂O₃ + Na₂O + K₂O = senyawa asam, %

A = SiO₂ + Al₂O₃ + TiO₂ = senyawa basa, %

S = % berat sulfur pada dry basis batu bara
Klasifikasi potensi *slagging* dengan menggunakan R_s adalah :

$$\begin{aligned} R_s < 0.6 &= \text{Rendah} \\ 0.6 < R_s < 2.0 &= \text{Sedang} \\ 2.0 < R_s < 2.6 &= \text{Tinggi} \\ 2.6 < R_s &= \text{Tinggi sekali} \end{aligned}$$

b. Ash Lignit

Indeks *slagging* untuk ash lignit berdasarkan temperatur pembentukan suhu ash fusion, dimana suhu fusibilitas mengindikasikan *range* dimana suhu saat slag plastis mulai muncul. Indeks ini adalah rata-rata dari temperatur *Hemispherical Maximum* (HT) dan temperatur minimum awal pembentukan (IT) :

$$R_s^* = \frac{(\text{Max HT}) + 4(\text{Min IT})}{5} \quad \dots(6)$$

dimana :

Max HT = Temperatur maksimum dari reduksi atau oksidasi *Hemispherical Softening*

Min IT = Temperatur pembentukan (Initial Deformation) awal dari reduksi atau oksidasi yang terendah.

Klasifikasi potensi *slagging* dengan R_s^* adalah:

$$\begin{aligned} 2,450 < R_s^* &= \text{Rendah} \\ 2,250 < R_s^* < 2,450 &= \text{Sedang} \\ 2,100 < R_s^* < 2,250 &= \text{Tinggi} \\ R_s^* < 2,100 &= \text{Tinggi Sekali} \end{aligned}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Hasil Analisa Sludge IPAL PLTU Tanjung Jati B Unit 1&2

Analisa proximate, ultimate dan komposisi kimia serta suhu ash fusion dari batubara dan sludge IPAL dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Analisa Batubara PLTU Tanjung Jati

| Parameter | Unit | Batubara | Sludge IPAL PLTU |
|---|---------|----------|------------------|
| Proximate Analysis | | | |
| Total Moisture | % berat | 23.45 | 28.72 |
| Inherent Moisture | % berat | 9.82 | 1.11 |
| Ash | % berat | 4.44 | 29.99 |
| Volatile Matter | % berat | 40.05 | 53.27 |
| Fixed Carbon | % berat | 45.2 | 15.64 |
| Sulphur | % berat | 1.14 | 12.46 |
| Gross Caloric Value | kcal/kg | 6125 | 428.22 |
| Ultimate Analysis (ash free) | | | |
| C | % berat | 76.84 | 48.60 |
| H | % berat | 5.65 | 2.31 |
| N | % berat | 1.54 | 0.61 |
| S | % berat | 1.14 | 15.14 |
| O | % berat | 13.99 | 33.34 |
| Cl | % berat | < 0.01 | |
| Chemical Composition (sebagai ash) | | | |
| SiO ₂ | % berat | 56.1 | 9.52 |
| Al ₂ O ₃ | % berat | 21.35 | 10.55 |
| Fe ₂ O ₃ | % berat | 9.35 | 6.6 |
| CaO | % berat | 1.73 | 34.11 |
| MgO | % berat | 1.86 | 0.28 |
| Na ₂ O | % berat | 0.84 | 0.91 |
| K ₂ O | % berat | 1.65 | 1.78 |
| TiO ₂ | % berat | 1.51 | 0.96 |
| P ₂ O ₅ | % berat | 0.41 | 0.07 |
| SO ₃ | % berat | 4.6 | 36.13 |

Tabel 3.1 Analisa Batubara PLTU Tanjung Jati (Lanjutan)

| Parameter | Unit | Batubara | Sludge IPAL PLTU |
|-------------------------------|-------|----------|------------------|
| Ash Fusion Temperature | | | |
| Initial deformation T | deg C | 1140 | 1310 |
| Fluid T | deg C | 1420 | 1340 |

Dari data di atas dapat dilihat bahwa sludge IPAL PLTU masih memiliki nilai kalori yang bisa dimanfaatkan sebagai pemanas di boiler. Meskipun dalam jumlah yang relatif kecil, dengan kombinasi pembakaran dengan batubara, sludge IPAL masih bisa dioptimalkan penggunaannya daripada dibuang sebagai limbah. Dari hasil analisa bisa diketahui bahwa nilai karbon (C) juga masih ada zat yang bisa dibakar dan menghasilkan panas.

Keberadaan nilai kalori ini juga dikarenakan input sistem IPAL PLTU berasal dari coal run off dimana batubara dengan ukuran halus (fines)

terikut dalam aliran air limbah (Mele dkk, 1982). Hal ini dibuktikan dengan menganalisa sludge yang berasal dari coal run off masih mengandung nilai kalori sebesar 3451 kcal/kg.

2.2. Hasil Analisa Nilai Kalori Sludge

Tabel 3.2 menunjukkan hasil analisa nilai kalori batubara, sludge dan kombinasi batubara-sludge pada beberapa rasio pencampuran. Berdasarkan table 3.2 dapat dilihat bahwa semakin besar rasio batubara-sludge, maka semakin besar pula nilai kalori yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena semakin besar bagian batubara semakin besar pula kandungan karbon yang bisa di dibakar dan menghasilkan panas. Pembakaran karbon akan menghasilkan energi panas, sehingga semakin besar kandungan karbon nilai kalori yang dihasilkan semakin besar (Kaymakci, 2000).

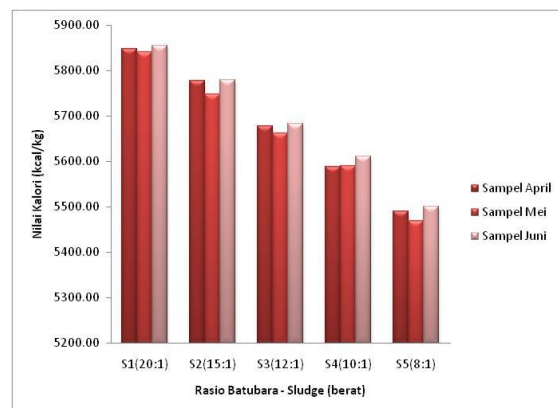
Tabel 3.2 Nilai Kalori pada Beberapa Variabel Rasio

| Parameter | Nilai Kalori | | | |
|-----------|--------------|---------|---------|---------|
| Unit | kcal/kg | | | |
| Sample | A | B | C | Average |
| Batubara | 6125 | 6125 | 6125 | 6125 |
| S1(20:1) | 5846.87 | 5839.56 | 5854.65 | 5847.03 |
| S2(15:1) | 5776.55 | 5747.18 | 5778.54 | 5767.42 |
| S3(12:1) | 5676.83 | 5661.62 | 5682.42 | 5673.62 |
| S4(10:1) | 5588.05 | 5590.69 | 5611.21 | 5596.65 |
| S5(8:1) | 5490.88 | 5469.81 | 5500.01 | 5486.90 |
| Sludge | 468.54 | 312.89 | 503.22 | 428.22 |

Selain itu, komponen utama lain yang menentukan adalah komposisi hidrogen. Hidrogen adalah senyawa kimia yang apabila dibakar atau dioksidasi menghasilkan panas (Prasath, 2012). Dari hasil analisa didapat nilai senyawa hidrogen batubara lebih besar dari daripada kandungan hidrogen dalam sludge. Hal ini menyebabkan semakin besar rasio batubara-sludge semakin besar pula nilai kalori yang dikandungnya.

Salah satu sumber sludge IPAL adalah berasal dari blowdown FGD. Blowdown FGD mengandung beberapa senyawa diantaranya : CaSO_3 , CaSO_4 dan CaCO_3 . CaSO_3 merupakan hasil reaksi tidak sempurna dari batu kapur dan SO_x , sementara hasil sempurna membentuk CaSO_4 . Sedangkan CaCO_3 merupakan batu kapur yang belum bereaksi membentuk gipsium. Senyawa ini yang menyebabkan nilai kandungan CaO pada sludge lebih besar daripada batubara. Salah satu reaksi pembentukan CaO dalam

sampel ini merupakan reaksi sintesis dari CaCO_3 , dimana reaksi ini merupakan reaksi endotermis yang memerlukan energi atau panas (Mikulcic, 2011). Nilai CaO pada sludge relatif jauh lebih besar daripada batubara. Semakin besar nilai CaO maka energi pembakaran yang dihasilkan akan lebih banyak diserap untuk reaksi pembentukan senyawa ini, maka semakin besar rasio batubara-sludge semakin sedikit nilai CaO yang menyebabkan nilai kalorinya lebih besar (Rashidi, 2011). Berdasarkan desain boiler yang ada mensyaratkan kebutuhan minimum panas adalah 5400 kcal/kg ($\pm 10\%$ dari batubara Medium Caloric Value (MCV) 6000 kcal/kg), dengan demikian semua rasio pencampuran batubara-sludge dapat dibakar di boiler. Gambar 3.1 menunjukkan perbandingan nilai kalor pada beberapa variasi pencampuran dan pada tiga bulan pengambilan sampel.



Gambar 3.1 Grafik Perbandingan Nilai Kalor pada Variabel Rasio Pencampuran

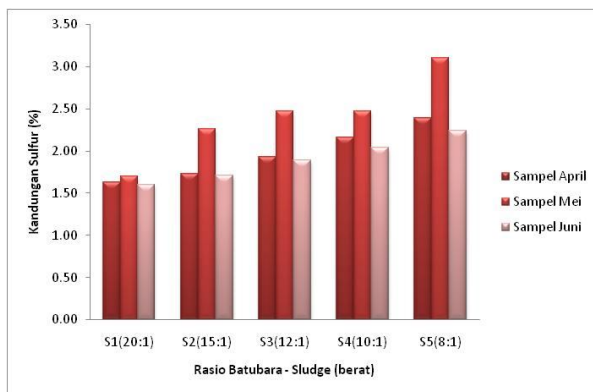
2.3. Hasil Analisa Kandungan Nilai Sulfur

Tabel 3.3 menunjukkan kandungan sulfur pada beberapa variable rasio batubara-sludge. Dari tabel tersebut terlihat dengan semakin kecil bagian batubara, nilai sulfur semakin tinggi. Hal ini dikarenakan nilai sulfur pada sludge relatif jauh lebih tinggi. Sulfur yang tinggi pada sludge disebabkan karena input IPAL yang berasal dari blowdown FGD yang banyak mengandung sulfur dalam bentuk CaSO_3 dan CaSO_4 yang terbentuk dari hasil reaksi absorpsi SO_x oleh limestone atau CaO (Miszczyk, 2001).

Tabel 3.3 Nilai Kandungan Sulfur pada Variabel Rasio

| Parameter | Kandungan Sulfur | | | |
|-----------|------------------|-------|-------|---------|
| Unit | % | | | |
| Sample | A | B | C | Average |
| Batubara | 1,14 | 1,14 | 1,14 | 1,14 |
| S1(20:1) | 1,62 | 1,69 | 1,60 | 1,64 |
| S2(15:1) | 1,73 | 2,26 | 1,70 | 1,90 |
| S3(12:1) | 1,93 | 2,47 | 1,89 | 2,10 |
| S4(10:1) | 2,16 | 2,47 | 2,04 | 2,22 |
| S5(8:1) | 2,39 | 3,10 | 2,24 | 2,57 |
| Sludge | 11,53 | 14,86 | 11,00 | 12,46 |

Gambar 3.2 menunjukkan perbandingan kandungan sulfur pada beberapa variasi pencampuran dan pada tiga bulan pengambilan sampel.



Gambar 3.2 Grafik Perbandingan Kandungan Sulfur pada Variabel Rasio Pencampuran

Nilai kandungan sulfur harus dibatasi agar emisi yang dibuang masih dibawah baku mutu yang diijinkan yaitu 850 mg/Nm³(PP No 21 Tahun 2008). Nilai sulfur yang terkandung di dalam bahan bakar merupakan nilai sulfur yang dihasilkan sebagai emisi SO_x (Ibrahim, 2012). Hal ini dikarenakan residu atau ash yang terbentuk tidak mengandung sulfur. Melalui perhitungan stoikiometri dapat dihitung SO_x yang terbentuk. Dari kapasitas desain PLTU Tanjung Jati B didapat data: jumlah bahan bakar 12.000 ton/hari, efisiensi FGD 90% menghilangkan SO_x, kecepatan flue gas 15 m/s, diameter cerobong 8 m, suhu cerobong 60⁰C, tekanan cerobong 300 pa dan tekanan ambien 755 mmHg. Data penelitian yang ada menunjukkan bahwa sulfur dalam bahan bakar akan terkonversi 97% menjadi SO₂ dan 3% menjadi SO₃ (California EPA, 2010). Dari data tersebut, secara stoikiometri dapat dihitung emisi

SO_x (SO₂ + SO₃) yang terbentuk. Hasil perhitungan emisi dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Emisi SO_x pada Variabel Rasio

| Variabel | Kandungan Sulfur (%) | Emisi SO _x (mg/Nm ³) |
|----------|----------------------|---|
| Batubara | 1.14 | 474.80 |
| S1(20:1) | 1.64 | 682.81 |
| S2(15:1) | 1.90 | 790.61 |
| S3(12:1) | 2.10 | 872.70 |
| S4(10:1) | 2.22 | 925.38 |
| S5(8:1) | 2.57 | 1072.17 |
| Sludge | 12.46 | 5191.23 |

Tabel 3.4 menunjukkan bahwa pada pada variabel rasio (20:1) dan (15:1) masih memenuhi baku mutu emisi, sedangkan pada rasio (12:1), (10:1) dan (8:1) emisi yang dihasilkan di atas nilai baku mutu yang telah ditetapkan.

2.4 Hasil Analisa Komposisi Kimia Ash dalam Penentuan Potensi Slagging

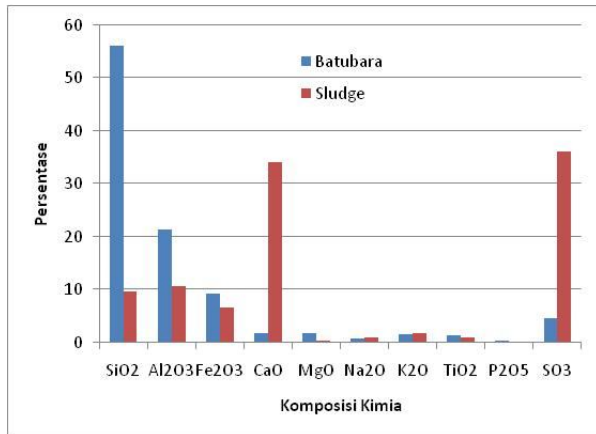
Dari rasio pencampuran batubara dan sludge dapat dihitung komposisi kimia ash berdasarkan komposisi kimia ash pada batubara murni dan sludge murni 100%. Hasil analisa kimia ash pada batubara dan sludge serta campuran batubara-sludge digunakan untuk menghitung indeks slagging. Indeks slagging dihitung berdasarkan jenis ashnya. Hasil analisa komposisi kimia ash dapat dilihat dari tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perbandingan Komposisi Kimia Pada Variable Rasio

| Chemical Composition (% berat) | Coal | Sludge | S1(20:1) | S2(15:1) | S3(12:1) | S4(10:1) | S5(8:1) |
|--------------------------------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|---------|
| SiO ₂ | 56,100 | 9,520 | 53,882 | 53,189 | 52,517 | 51,865 | 50,924 |
| Al ₂ O ₃ | 21,350 | 10,550 | 20,836 | 20,675 | 20,519 | 20,368 | 20,150 |
| Fe ₂ O ₃ | 9,350 | 6,600 | 9,219 | 9,178 | 9,138 | 9,100 | 9,044 |
| CaO | 1,730 | 34,110 | 3,272 | 3,754 | 4,221 | 4,674 | 5,328 |
| MgO | 1,860 | 0,280 | 1,785 | 1,761 | 1,738 | 1,716 | 1,684 |
| Na ₂ O | 0,840 | 0,910 | 0,843 | 0,844 | 0,845 | 0,846 | 0,848 |
| K ₂ O | 1,650 | 1,780 | 1,656 | 1,658 | 1,660 | 1,662 | 1,664 |
| TiO ₂ | 1,510 | 0,960 | 1,484 | 1,476 | 1,468 | 1,460 | 1,449 |
| P ₂ O ₅ | 0,410 | 0,070 | 0,394 | 0,389 | 0,384 | 0,379 | 0,372 |
| SO ₃ | 4,600 | 36,130 | 6,101 | 6,571 | 7,025 | 7,466 | 8,103 |

Dari data di atas dapat dilihat bahwa coal merupakan ash bituminous, sedangkan sludge merupakan ash lignit. Perhitungan indeks slagging dan standarnyapun berbeda. Untuk campuran batubara dan sludge pada semua variable merupakan ash bituminous karena nilai Fe₂O₃ lebih besar dari jumlah nilai CaO dan MgO (Akar, 2007). Indeks slagging pada

batubara masuk kedalam range rendah. Pada sludge yang merupakan ash lignit, nilai indeks slaggingnya termasuk kategori tinggi sekali. Hal ini menyebabkan sludge tidak bisa dibakar langsung di boiler karena akan menyebabkan slagging dalam jumlah besar pada boiler.



Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Komposisi Kimia pada Variabel Rasio Pencampuran

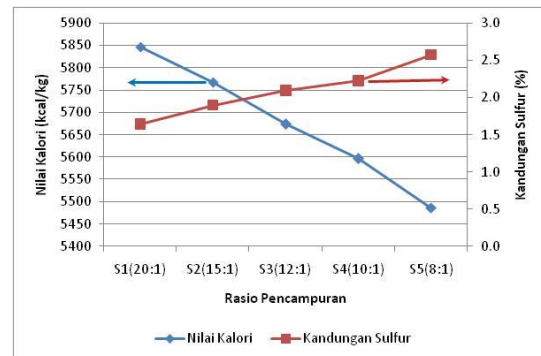
Gambar 3.3 menunjukkan perbedaan komposisi kimia pada batubara dan sludge. Dari grafik terlihat perbedaan yang signifikan adalah parameter SiO₂, CaO dan SO₃. Senyawa silika merupakan salah satu komponen yang menyebabkan slagging. Silika memiliki konduktivitas panas yang rendah sehingga akan menurunkan heat transfer pada boiler (Sohail, 2009). Komponen calcium juga menyebabkan naiknya kemungkinan terjadinya slagging di boiler. CaO menurunkan pH fly ash yang menyebabkan fly ash menjadi lengket dan menempel pada permukaan tube boiler (Tamminen, 2001). Senyawa ini berasal dari blowdown FGD yang mengandung CaSO₃ dan CaSO₄ yang terbentuk dari hasil reaksi absorpsi SO_x oleh limestone atau CaO.

Tabel 3.6 Perbandingan Indeks Slagging Pada Variable Rasio

| Chemical Composition (% berat) | Coal | Sludge | S1(20:1) | S2(15:1) | S3(12:1) | S4(10:1) | S5(8:1) |
|--------------------------------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|---------|
| Sulfur | 1,140 | 12,830 | 1,697 | 1,871 | 2,039 | 2,203 | 2,439 |
| CaO + MgO | 3,590 | 34,390 | 5,057 | 5,515 | 5,959 | 6,390 | 7,012 |
| Rs | 0,223 | - | 0,374 | 0,427 | 0,482 | 0,538 | 0,624 |
| Rs* | - | 1316 | - | - | - | - | - |

Tabel 3.6 menunjukkan bahwa nilai indeks slagging untuk rasio pencampuran (20:1), (15:1), (12:1) dan (10:1) masih rendah, sedangkan pada rasio (8:1) indeks slaggingnya termasuk dalam

kategori sedang. Dengan melihat data di atas, rasio yang masih dapat ditoleransi masuk kedalam boiler adalah rasio (20:1), (15:1), (12:1) dan (10:1). Indeks slagging yang lebih tinggi dari batubara dapat diatasi dengan meningkatkan frekuensi soot blow untuk membersihkan slag yang menempel pada tube boiler (Tamminen, 2001).



Gambar 3.4 Grafik Perbandingan Nilai Kalori dan Kandungan Sulfur pada Variabel Rasio Pencampuran

Gambar 3.4 memperlihatkan kondisi paling optimum dari beberapa variabel pencampuran. Dari grafik dapat dilihat bahwa kondisi paling optimum adalah pada rasio pencampuran (15:1) karena nilai kalori relatif mencukupi standar yang diminta boiler dan kandungan sulfur juga relatif lebih rendah di antara rasio yang lain. Untuk mencapai hasil yang lebih baik dapat dilakukan pada rasio (20:1) atau lebih besar karena nilai kalor yang dihasilkan semakin besar dan nilai kandungan sulfur semakin kecil.

KESIMPULAN

1. Analisa karakteristik sludge menunjukkan bahwa sludge masih memiliki nilai kalor yang bisa dimanfaatkan ulang untuk pembakaran di boiler.
2. Proses co-combustion batubara-sludge dapat dilakukan pada boiler yang sudah ada dengan rasio pencampuran tertentu.
3. Peningkatan rasio batubara-sludge menyebabkan nilai kalor semakin tinggi, nilai kandungan sulfur semakin rendah dan indeks slagging juga semakin menurun.
4. Berdasarkan syarat kebutuhan panas minimum, baku mutu emisi dan indeks slagging yang diijinkan, maka rasio

pencampuran optimum pada (15:1). Pada aplikasi co-combustion batubara – sludge direkomendasikan menggunakan rasio pencampuran yang lebih besar sehingga nilai kalori yang dihasilkan tinggi sementara emisi dan indeks slagging rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Akar G. Uner Ipekoglu. 2007. *Relationship between Ash Fusion Temperatures (AFT) and Coal Mineral Matter in some Turkish Coal Ashes*. The Journal of ORE DRESSING. Vol 9-17.
- Amand L, E, and Leckner B. (2001). *Co-combustion of Sewage Sludge with Wood/Coal in a Circulating Fluidized Bed Boiler-A Study of Gaseous Emissions*. Sweden. Department of Energy Conversion Chalmers University of Technology
- California Environmental Protection Agency. 2010. *Recommended Area Designations for 2010 Federal Sulfur Dioxide (SO₂) Standard*. Air Resources Board.
- Ibrahim, HG . 2012. *Emissions of SO₂, NO_x and PMs from Cement Plant in Vicinity of Khoms City in Northwestern Libya*. Libya. Journal of Environmental Science and Engineering. A1 620-628.
- Kaymakci, E. 2002. *Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters*. Turkey : Journal Engineering Environmental Science 26, 59 – 64.
- Mele, LM, PF Prodan. 1982. *Characteristic of Runoff Water from Coal-Waste Disposal Sites in Southwestern Illinois*. Spain. International Journal of Mine Water, 2, 1 -14.
- Mikulcic, H. 2012. *Numerical modeling of calcinations reaction mechanism for cement production*. Austria. Chemical Engineering Science 69, 607 – 615.
- Miszczyk, A, K. Darowicki. 2002. *Reliability of Flue Gas Desulphurization Installations – the Essential Condition of Efficient Air Pollution Control*. Poland. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 11, No. 3, 205 – 209.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). *Peraturan Pemerintah No. 21 tahun 2008 Tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagu Usaha dan Kegiatan Pembangkit Tenaga Listrik Termal*.
- Peterson J, Poulin G, and Hudson S. (1994). *Sludge Burning In a Circulating Fluidized Bed Boiler*. Rumford. TAPPI Proceeding : Boise Cascade Corporation
- Prasath, BR. 2012. *Hydrogen Operated Internal Combustion Engines – A New Generation Fuel*. International journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Vol 2. Issue 4.
- Rashidi, NA. 2011. *A Study of Calcination and Carbonation of Cockle Shell*. World Academy of Science, Engineering and Technology 60.
- Sohail, MA. 2009. *Boiler tube failures (BTFs) in natural circulation high pressure drum boiler of a power station*. Bangladesh. Journal of Scientific and Industrial Research, Vol 68, 61 -65.
- Stelmach, S and Wasielewski, R. (2008). *Co-combustion of Dried Sewage Sludge and Coal in a Pulverized Coal Boiler*. Poland. Springer
- Steven S.C, Kitto John B., *Steam It's Generation and Use*. Ed. 40th Babcock & Wilcox Company. Ohio, United State of America, 1992.
- Wahid, S. (2013). *An Optimal Design of Hazardous (Biomedical) Waste Incineration Plant*. Egypt :Intenational Journal of Industrial Engineering & Technology