

## **Analisis Komposisi Abu Batubara terhadap Kemungkinan Pembentukan *Slagging* dan *Fouling Index* pada PLTU**

### **Analysis of Coal Ash Composition to Possibility of Slagging and Fouling Index for Steam Electricity Power Plant**

<sup>1</sup>Satria Ega Putra, <sup>2</sup>Sriyanti, <sup>3</sup>Solihin

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,  
Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116  
Email: <sup>1</sup>satriaegaputra@gmail.com

**Abstrak.** Tiap perusahaan pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar memiliki standar yang sangat di perhatikan untuk kualitas batubara yang digunakan. Dalam hal ini kualitas batubara yang baik yaitu batubara yang menghasilkan kalor yang tinggi serta *ash* yang rendah. *Ash* yang mengendap pada tungku pembakaran berpotensi membentuk *slagging* dan *fouling*. *Slagging* dan *fouling* ini akan berpengaruh terhadap perpindahan panas yang terjadi serta performansi alat yang digunakan. Hal ini akan berujung pada penggunaan batubara yang lebih banyak serta adanya biaya pemeliharaan alat. Metode yang dilakukan adalah menganalisa karakteristik batubara melalui perhitungan indeks *slagging* dan *fouling* yang didapat dari analisis komposisi abu ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ), *ash fusion temperature*, analisis proksimat (Kadar air, abu, zar terbang, dan karbon padat), analisis ultimat (C, H, S, N), dan penentuan nilai kalor batubara. Berdasarkan hasil analisis kualitas batubara yang terdiri dari lima sampel batubara dari kabupaten Tapin dan Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan dapat di simpulkan sampel 1 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,07 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,01. Sampel 2 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,3. Sampel 3 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 1274°C dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,35. Sampel 4 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,32. Sampel 5 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,31. Dari data tersebut dapat menunjukkan sampel 1, sampel 2, sampel 4, sampel 5 merupakan sampel dengan tingkat kecenderungan *slagging* rendah sedangkan sampel 3 sangat berpotensi *slagging*. Untuk kecenderungan *fouling* dimiliki oleh semua sampel dimana sampel 1 yang memiliki indeks *fouling* terendah. Berdasarkan analisis proksimat didapat bahwa sampel memiliki kadar air (13 – 17%) adb, kandungan abu (3 – 8%) adb, kandungan zat terbang (40- 42%) adb, karbon padat (36- 40%) adb, serta analisis ultimat : karbon (60 – 66%) db, nitrogen (0,8 – 1 %) db, hidrogen (4 – 5%) db, sulfur (0,1 -0,4 %) db. Selain itu dari hasil penentuan kalor batubara yaitu (6600 – 6800 cal/g) dalam basis *dry ash free* sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel 1,2,4,5 memiliki potensi yang cukup baik digunakan di PLTU dimana dengan kecenderungan terjadinya *slagging* dan *fouling* rendah sedangkan sampel 3 perlu adanya pertimbangan kembali menimbang cukup tingginya potensi *slagging* dan *fouling*.

**Kata Kunci:** *Slagging*, *Fouling*, Batubara, Abu

## **A. Pendahuluan**

### **Latar Belakang**

Dari pembakaran batubara baik di PLTU atau pembakaran lainnya akan dihasilkan sejumlah abu sisa pembakaran yang cukup menjadi perhatian dalam penganganan abu. Banyaknya kandungan abu dalam batubara akan menentukan nilai kalor yang apabila kadar abu tinggi maka nilai kalor akan turun dan sebaliknya kadar abu rendah nilai kalor akan tinggi. Abu dari pembakaran di PLTU akan dihasilkan dua produk yaitu *bottom ash* (abu bawah) yang akan turun ke bagian bawah boiler PLTU dan *fly ash* (abu terbang) yang ke bagian atas boiler melalui cerobong asap. Komposisi abu sisa hasil pembakaran di PLTU atau pembakaran lainnya sangat beragam dan sangat tergantung pada peringkat serta kualitas batubaranya. Abu batubara dengan komposisi kadar sulfur (S) dan natrium (Na) yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling* pada pembakaran di PLTU. *Slagging* adalah melelehnya abu batubara tertentu akibat kadar sulfur yang tinggi sedangkan *fouling* dikarenakan oleh kadar natrium yang tinggi. Lelehan abu akibat *slagging* dan *fouling* yang menempel pada dinding dan pipa boiler akan menyebabkan boiler dan pipanya korosi dan PLTU

berhenti beroperasi. Berdasarkan penjelasan di atas maka perlu dilakukannya penelitian mengenai analisis komposisi abu batubara terhadap pembentukan *slagging* dan *fouling* pada PLTU dengan tempat analisis di Laboratorium Tomo and Son Banjarmasin, Kalimantan Selatan.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui kualitas batubara melalui analisis proksimat (*Proximate Analysis*), analisis ultimat (*Ultimat Analysis*), penentuan nilai kalor (*Calorific Value*), pengujian titik leleh (*Ash Fusion Temperature*), dan analisis komposisi abu (*Ash Analysis*).
2. Mengetahui indeks *slagging* dan *fouling* abu batubara.
3. Mengetahui pengaruh komposisi abu batubara terhadap titik leleh abu batubara pada PLTU.
4. Mengetahui karakteristik batubara yang digunakan sebagai bahan bakar PLTU.

### B. Landasan Teori

#### Analisis Kualitas Batubara

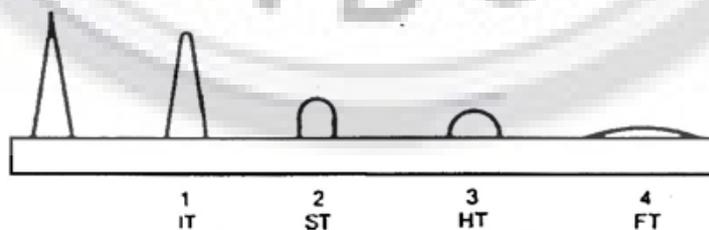
Analisis batubara digunakan untuk mengetahui data- data mengenai karakteristik dari batubara sehingga dapat memenuhi sesuai dengan kebutuhan. Analisis batubara untuk bahan bakar dapat digolongkan menjadi :

1. Analisis dasar untuk batubara (analisis proksimat dan analisis ultimat)
2. Analisis khusus untuk batubara (*ash fusion temperature*, *ash analysis*, indeks *hardgrove*, indeks abrasi, klor, dan sebagainya).

Analisis Proksimat merupakan analisis dasar batubara dalam penentuan kadar air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), abu (*ash*), dan karbon padat (*fixed Carbon*). Analisis ultimat merupakan analisis dasar batubara dapan penentuan unsur karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, dan sulfur. *Ash fusion temperature* merupakan anlisis batubara dalam penentuan titik leleh abu batubara.

#### Ash Fusion Temperature

Pengujian suhu titik leleh abu batubara ini dilakukan dengan melelehkan abu pada rentang suhu 900°C -1600°C. Abu di cetak dalam bentuk *cone* sehingga dapat diamati deformasi abu batubara tiap kenaikan 20°C. Deformasi abu batubara terdiri dari empat perubahan yaitu *initial deformation (ID)*, *sphere (ST)*, *hemisphere (HS)*, dan *flow (FT)*.



**Gambar 1.** Deformasi abu batubara dari kondisi awal hingga flow FT pada pengujian AFT

#### Klasifikasi Ash dan Indeks *Slagging* dan *Fouling*

Penentuan jenis abu (lignit / bituminus) dapat dilakukan sebelum penentuan indeks *slagging* dan *fouling*. Abu di klasifikasikan beradarkan kandungan abu batubara

yang didapat dari analisis komposisi abu. Adapun pengklasifikasian sebagai berikut :

$Fe_2O_3 > CaO + MgO$  = Abu bituminus

$Fe_2O_3 < CaO + MgO$  = Abu Lignit

Indeks *slagging* dan *fouling* didapat dari menggunakan formula berikut ini :

Indeks *Slagging* :

$R_s = R \times S$  = Abu Bituminus

$R_s = \frac{(HT + (4 \times ID))}{5}$  = Abu Lignit

Indeks *Fouling* :

$R_f = R \times \% Na_2O$  = Abu Bituminus

$R_f = \% Na_2O$  = Abu Lignit

Perhitungan *Base Acid Ratio* (R) :

$$R = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

**Tabel 1.** Standar indeks *slagging* dan *fouling*.

Faktor	Low	Medium	High	Very High
Base acid ratio (R)	< 0,5	> 0,5		
<b>Bituminus</b>				
<i>Slagging factor</i> (Rs)	< 0,6	0,6 – 2,0	2,0 – 2,6	> 2,6
<i>Fouling factor</i> (Rf)	< 0,2	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	>1,0
<b>Lignit</b>				
<i>Slagging factor</i> (Rs)	> 1340	1230 - 1340	1150 - 1230	<1150
<i>Fouling factor</i> (Rf)	<1,2	1,2 – 3,0	3,0 – 6,0	>6,0

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### Analisis Proksimat, Analisis Ultimat, dan Penentuan nilai kalor

Dari analisis kualitas batubara dengan melakukan pengujian analisis proksimat, analisis ultimat, penentuan nilai kalor, ash fusion temperature, dan ash analysis didapatkan hasil kualitas batubara sebagai berikut :

**Tabel 2.** Data Hasil Pengujian Analisis Proksimat.

Nomor Sampel	Analisis Proksimat			
	IM (adb)	Ash (adb)	VM (adb)	FC (adb)
1	16,33	3,27	40,31	40,08
2	17,52	4,06	40,39	38,03
3	13,79	8,65	40,72	36,84
4	16,79	3,92	41,16	38,13
5	13,90	4,39	42,38	39,33

Berdasarkan analisis proksimat didapat bahwa sampel memiliki kadar air (13 – 17%) adb , kandungan abu (3 – 8%) adb, kandungan zat terbang (40- 42%) adb , karbon padat (36- 40%) adb.

*Moisture* menjadi hal penting yang perlu diperhatikan pada pemanfaatan

batubara sebagai bahan bakar. Hal ini dikarenakan *moisture* yang tinggi dapat merendahkan suhu nyala dari batubara sehingga batubara dengan *moisture* yang tinggi ini sulit dinyalakan. Biasanya kadar maksimum dari *total moisture* penggunaan batubara pada pabrik semen dan pembangkit tenaga listrik yaitu 15%. Standard ini tidak mutlak dimana kadar *moisture* yang cukup tinggi masih dapat dimanfaatkan dengan cara memasang temperatur yang lebih tinggi sehingga lebih banyak panas untuk menguapkan *moisture* dari batubara.

Di samping itu, abu menjadi parameter yang sama halnya dengan *moisture* di mana semakin tingginya kadar abu dalam batubara maka nilai kalori akan semakin berkurang. Banyaknya kadar abu dalam batubara tidak baik dalam pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar di mana abu akan menjadi residu sisa pembakaran yang akan menimbulkan dampak negatif. Kadar abu dalam sampel pengujian batubara yaitu 3 - 8 % sehingga memenuhi kriteria pemanfaatan sebagai bahan bakar di mana nilai standar maksimum yaitu 15 – 20 %.

**Tabel 3.** Data Hasil Pengujian Analisis Ultimat.

Nomor Sampel	Analisis Ultimat			Total Sulfur % db
	Carbon (%db)	Hydrogen (%db)	Nitrogen (%db)	
1	61,70	4,65	0,94	0,41
2	66,30	5,12	1,00	0,10
3	64,02	4,81	0,95	0,44
4	65,02	5,17	0,85	0,10
5	65,64	4,89	1,00	0,10

Dalam analisis ultimat, hal yang sering menjadi masalah yaitu nitrogen dan sulfur dimana nitrogen yang diinginkan dalam pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar yaitu 0,8 – 1,1 % dan sulfur 0,5 – 1,0 % (Arbie Yakub, 2012). Kadar nitrogen dalam batubara yang diinginkan yaitu dengan kadar rendah sehingga mengurangi pembentukan NO<sub>x</sub> sebagai pencemar udara sedangkan sulfur biasanya sudah memiliki standar polusi pada peraturan daerah dimana di Inggris 2 %, Jerman 1%, dan Jepang 0,5 %. Pada pengujian kadar nitrogen dalam batubara 0,8 - 1 % db dan kandungan sulfur 0,1 - 0,4 % pada kondisi db . Kriteria ini memenuhi untuk pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar.

**Tabel 4.** Data Hasil Pengujian nilai kalor.

Nomor Sampel	Gross CV Mj/ kg	Caloric Value Cal/ g (%adb)	Caloric Value Cal/ g (%daf)	Caloric Value Cal/ g (%ar)
1	22,82	5450,95	6780,531	4179,39
2	21,97	5247,85	6692,434	4167,16
3	22,38	5345,84	6892,831	4395,6
4	22,13	5286,78	6667,489	4283,6
5	23,01	5496,4	6726,595	4065,04

Pada pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar, kalori sangat dibutuhkan dalam jumlah yang cukup tinggi dimana kalori sebagai jumlah energi per kg yang dihasilkan bila dibakar. Batubara sebagai bahan bakar biasanya memberikan standar kalori batubara minimal 24 – 25 MJ/kg pada kondisi adb (Arbie Yakub, 2012) untuk *gross calorific value*. Namun beberapa perusahaan memiliki standar yang berbeda seperti

halnya PLTU di bukit asam yang memanfaatkan batubara dengan nilai kalor 23 – 25 MJ/kg pada kondisi adb untuk *gross calorific value*. Basis yang diinginkan konsumenpun bermacam- macam. Untuk hasil pengujian batubara, nilai gross kalori yang didapat 21 - 23 MJ/ Kg pada kondisi adb.

#### *Ash Fusion Temperature dan Ash Analysis*

**Tabel 5.** Data Hasil Pengujian *Ash Analysis*.

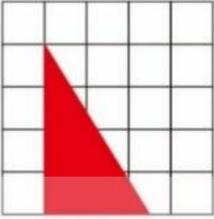
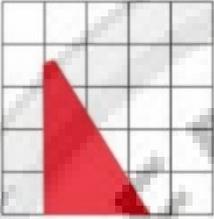
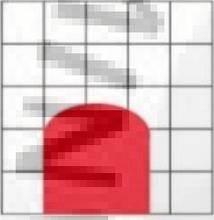
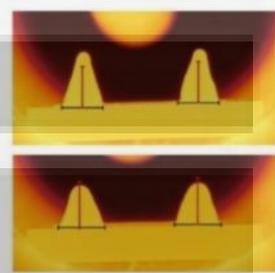
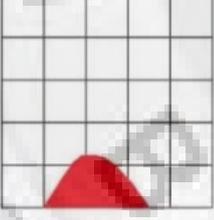
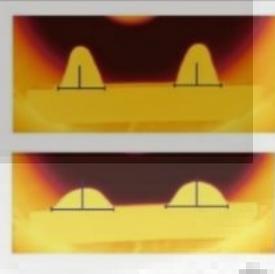
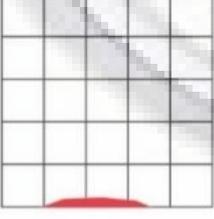
Sampel	SiO <sub>2</sub> (%db)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%db)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%db)	CaO (%db)	MgO (%db)	TiO <sub>2</sub> (%db)	Na <sub>2</sub> O (%db)	K <sub>2</sub> O (%db)	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%db)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%db)	SO <sub>3</sub> (%db)
1	58,2	27,5	9,2	1,21	1,03	0,82	0,07	1,22	0,07	0,147	0,3
2	38,2	17,7	32,2	3,65	3,13	0,68	0,44	0,7	0,12	0,19	3,22
3	28,5	21,3	9,1	27,25	6,1	1,01	0,35	0,17	0,22	1,02	5,2
4	38,7	18,2	33,2	3,7	3,12	0,88	0,45	0,71	0,11	0,188	3,15
5	37,2	18,2	31,5	3,33	3,01	0,72	0,45	0,77	0,13	0,175	3,29

**Tabel 6.** Data Hasil Pengujian *Ash Fusion Temperature*.

Sampel	Kondisi Oksidasi				Kondisi Reduksi			
	ID (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)	ID (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)
1	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560
2	1320	1370	1390	1420	1150	1170	1170	1180
3	1260	1310	1330	1360	1150	1170	1200	1260
4	1370	1390	1390	1430	1170	1170	1170	1200
5	1350	1380	1400	1420	1160	1170	1180	1200

Pengujian AFT ini akan digunakan dalam perhitungan indeks *slagging* dan *fouling* serta untuk mengetahui pengaruh komposisi abu batubara terhadap titik leleh abu batubara. Sampel 03 merupakan sampel yang memiliki nilai titik leleh terendah dimana sangat memungkinkan untuk terjadinya *slagging*. Adapun standard titik leleh batubara pada pembakaran yaitu > 1200 °C - flow (Arbie Yakub,2012).

Deformasi pengujian dilakukan dengan empat pengamatan berdasarkan tinggi titik leleh yaitu *Initial deformation (ID)*, *Spherical (ST)*, *Hemispherical (HT)*, *Flow (FT)*. Pengujian sampel 03 (Gambar 2) dapat diamati deformasi ID terjadi pada suhu pengujian 1260 °C, ST terjadi pada suhu pengujian 1310 °C, HT terjadi pada suhu pengujian 1310 °C, FT terjadi pada suhu pengujian 1360 °C.

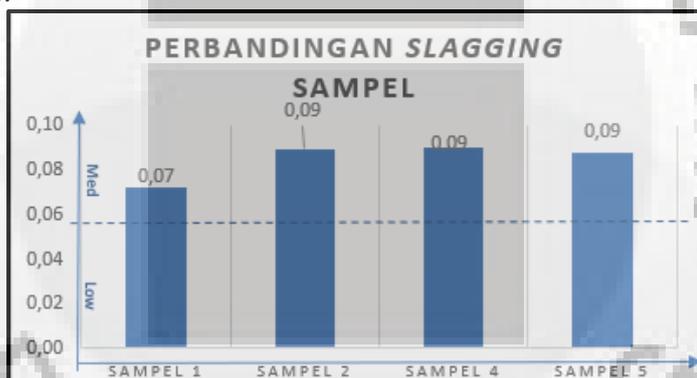
Atmosphere	Hasil Atmosphere (Temperature)	Suhu atmosphere (C)
<p>Kondisi awal (belum mengalami pelelehan)</p> 	 <p>Simplo Duplo</p>	<p>900 C</p> <p>Simplo Duplo 900 C 900 C</p> <p>Mean 900 C</p>
<p>Initial Deformation (ID)</p>  <p>Suhu saat terjadi pelelehan di ujung puncak kerucut</p>		<p>1260 C</p> <p>Simplo Duplo 1260 C 1260 C</p> <p>Mean 1260 C</p>
<p>Spherical (ST)</p>  <p>Suhu saat terjadi lelehan bentuk spherical. (tinggi = dasar)</p>		<p>1300 C</p> <p>Simplo Duplo 1300 C 1320 C</p> <p>Mean 1310 C</p> <p>1320 C</p>
<p>Hemispherical (HT)</p>  <p>Suhu saat terjadi lelehan bentuk hemispherical. (tinggi = 1/2 dasar)</p>		<p>1320 C</p> <p>Simplo Duplo 1320 C 1340 C</p> <p>Mean 1330 C</p> <p>1340 C</p>
<p>Flow (FT)</p>  <p>Suhu saat terjadi lelehan bentuk flow. (tinggi = 1/3 tinggi hemisphere)</p>		<p>1360 C</p> <p>Simplo Duplo 1360 C 1360 C</p> <p>Mean 1360 C</p>

Gambar 2. Data hasil perubahan titik leleh pengujian AFT

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Indeks *Slagging* dan *Fouling*.

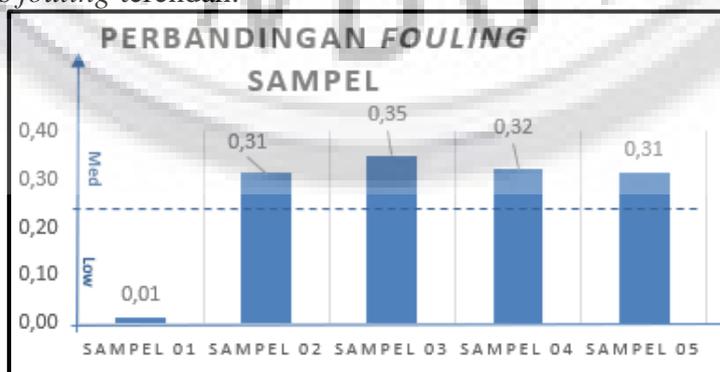
Nomor Sampel	Base acid ratio R	Slagging factor ( $R_s$ )	Fouling factor ( $R_f$ )	Tipe Abu
1	0,1	0,07	0,01	Tipe abu Bituminus
2	0,70	0,08	0,3	Tipe abu Bituminus
3	0,84	1274 (Oks), 1160 (Red)	0,35	Tipe abu Lignit
4	0,71	0,08	0,32	Tipe abu Bituminus
5	0,69	0,08	0,31	Tipe abu Bituminus

Dari hasil analisis dan pengolahan data dapat di simpulkan sampel 1 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,07 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,01. Sampel 2 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,3. Sampel 3 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 1274°C dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,35. Sampel 4 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,32. Sampel 5 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,31. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel 1, sampel 2, sampel 4, sampel 5 merupakan sampel dengan tingkat kecendrungan *slagging* rendah sedangkan sampel 3 sangat berpotensi *slagging* sehingga nilai hanya di patok terhadap data *ash fusion temperature*.



**Gambar 3.** Perbandingan *Index Fouling*.

Untuk kecendrungan *fouling* dimiliki oleh semua sampel dimana sampel 1 yang memiliki indeks *fouling* terendah.



**Gambar 4.** Perbandingan *Index Fouling*

#### D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Karakteristik batubara dalam pemanfaatan sebagai bahan bakar yaitu memiliki nilai kalor yang tinggi dengan kadar abu yang rendah. Analisis proksimat merupakan parameter awal dalam penentuan kadar abu batubara sedangkan analisis komposisi abu dan pengujian titik leleh dilakukan untuk menentukan indeks *slagging* dan *fouling* batubara.
2. Dari hasil analisis dan pengolahan data dapat disimpulkan sampel 1 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,07 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,01. Sampel 2 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,3. Sampel 3 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 1274°C dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,35. Sampel 4 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,32. Sampel 5 memiliki indeks *slagging* ( $R_s$ ) 0,08 dan indeks *fouling* ( $R_f$ ) 0,31. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel 1, sampel 2, sampel 4, sampel 5 merupakan sampel dengan tingkat kecenderungan *slagging* rendah sedangkan sampel 3 sangat berpotensi *slagging*. Untuk kecenderungan *fouling* dimiliki oleh semua sampel dimana sampel 1 yang memiliki indeks *fouling* terendah.
3. Berdasarkan analisis proksimat didapat bahwa sampel memiliki kadar air (13 – 17%), kandungan abu (3 – 8%), kandungan zat terbang (40- 42%), karbon padat (36- 40%), serta analisis ultimat : karbon (60 – 66%), nitrogen (0,8 – 1 %), hidrogen (4 – 5%), sulfur (0,1 -0,4 %). Selain itu dari hasil penentuan kalor batubara yaitu (6600 – 6800 cal/g) dalam basis *dry ash free* sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel 1,2,4,5 memiliki potensi yang cukup baik digunakan di PLTU dimana dengan kecenderungan terjadinya *slagging* dan *fouling* rendah sedangkan sampel 3 perlu adanya pertimbangan kembali menimbang cukup tingginya potensi *slagging* dan *fouling*.

#### E. Saran

1. Indeks *slagging* dan *fouling* merupakan penentuan awal dalam mengindikasikan terjadinya *slagging* dan *fouling* sedangkan untuk pemilihan batubara PLTU perlu pertimbangan kembali mengenai parameter lain seperti kalori, jumlah batubara yang akan digunakan, dan lainnya.
2. Untuk menunjang penelitian ini dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap efisiensi alat pembakaran di PLTU.

#### Daftar Pustaka

- Amaliyah, Novriany. 2011. Analisis Komposisi Batubara Mutu Rendah Terhadap Pembentukan Slagging dan Fouling pada Boiler, Universitas Hasanuddin.
- Ayu,Winda. 2015. Anlisa Pembentukan Slagging dan Fouling Pembakaran Batubara pada Boiler B 0201B Pabrik 3 Unit UNN di PT. Petrokimmia Gresik, Institut Teknologi Sepuluh November.: Surabaya.
- Macmillan.1986, Earth Science, Macmillan Publishing Company.
- Muchjidin.2006, Pengendalian Mutu Dalam Industri Batubara, ITB, Bandung
- Lauw Tjun Nji.2004.Abu Batubara. PT Multibrata Anugerah Utama.
- Permadi, Rendy. 2015. Analisis Batubara dalam Penentuan Kualitas Batubara untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk.

Palimanan- Cirebon, Universitas Islam Bandung.

Speight, G James.2005. Handbook of Coal Analysis. Wiley interscience

Tirtosoekotjo, Soedjoko, 2002, Batubara Indonesia, PUSLITBANG tekMIRA.

Ward, Colin. 1984. Coal Geology and Coal Technology. Backwell Scientific Pulicaton.

Yakub, Arbie, Pengambilan, Preparasi, dan Pengujian Conto Batubara, ATC course material. ATQ.

2006. Annual Book of ASTM Standards. ASTM Publisher, Baltimore

