

Evaluasi Indeks *Slagging*, *Fouling* Pada Boiler Batubara Jenis Lignit dan Bituminus

Ika Yuliyani*, Indriyani, Muna Indrayana

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jalan Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

*Email: ika.yuliyani@polban.ac.id

Diterima: 02-02-2021; Direvisi: 02-11-2021; Dipublikasi: 30-12-2021

Abstrak

Batubara saat ini merupakan salah satu jenis bahan bakar yang banyak digunakan pada PLTU. Pada proses pembakaran batubara selain menghasilkan panas juga menghasilkan partikulat abu yang terbawa bersama gas panas. Partikulat abu batubara memiliki kemampuan untuk menempel pada dinding boiler dan kemampuan menempelnya abu ini terutama dipengaruhi oleh suhu melebur abu (*ash fusion temperature*, AFT) dan unsur – unsur dalam abu. Ada 2 jenis fenomena menepelnya abu batubara pada dinding boiler, yaitu *slagging* dan *fouling*. Hal ini akan berdampak pada penggunaan batubara menjadi lebih banyak dan meningkatkan pekerjaan pemeliharaan boiler. Metode evaluasi indeks *slagging* dan *fouling* menggunakan analisa karakteristik batubara melalui perhitungan indeks *slagging* dan *fouling*. Analisa karakteristik batubara dengan menggunakan analisis komposisi abu (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO_2), *ash fusion temperature*, analisis proksimat (Kadar air, abu, zat terbang, dan karbon padat), analisis ultimat (C, H, S, N), dan penentuan nilai kalor batubara. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan dengan menggunakan data analisa dari batubara, yaitu analisa proksimate, ultimate dan *ash fusion temperature*. Berdasarkan evaluasi dan analisa yang diperoleh bahwa abu jenis bituminous dengan kandungan unsur Fe_2O_3 memiliki pengaruh pada indeks pembentukan *slagging* dengan hasil indeks *slagging* lebih rendah, dan abu jenis lignit dengan unsure kandungan CaO dan MgO sangat mempengaruhi besar nilai indeks pembentukan *slagging* dengan hasil indeks *slagging* lebih tinggi jika dibandingkan dengan batubara jenis bituminus. Begitu juga halnya dengan kandungan Na_2O pada abu bituminous dan lignit menjadi unsur yang berpengaruh ini selain indeks pembentukan *fouling*.

Kata kunci: Batubara, pembakaran, Indeks *Slagging*, Indeks *Fouling*

Abstract

Coal is currently one type of fuel that is widely used in power plants. In the process of burning coal, in addition to producing heat, it also produces particulate ash which is carried away with hot gases. Coal ash particulates have the ability to stick to the boiler wall and the ability to stick to the ash is mainly influenced by the ash fusion temperature (AFT) and the elements in the ash. This will have an impact on the use of coal to be more and increase boiler maintenance work. The method of evaluating the slagging and fouling index uses the analysis of coal characteristics through the calculation of the slagging and fouling index. Analysis of coal characteristics using ash composition analysis (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO_2), *ash fusion temperature*, proximate analysis (moisture content, ash, volatile matter, and solid carbon), ultimate analysis (C, H, S, N), and determination of the calorific value of coal. This study uses a calculation method using analytical data from coal, namely the analysis of proximate, ultimate and *ash fusion temperature*. Based on the evaluation and analysis, it was found that bituminous ash with Fe_2O_3 content had an influence on the slagging formation index with a lower slagging index result, and lignite ash with CaO and MgO content greatly influenced the value of the slagging formation index with a higher slagging index result. when compared to bituminous coal. Likewise, the content of Na_2O in bituminous ash and lignite is an influential element in addition to the index of fouling formation.

Keywords: Coal, combustion, Slagging Index, Fouling Index

1. Pendahuluan

Saat ini pemakaian bahan bakar batubara pada boiler PLTU paling banyak digunakan, karena ketersediaannya yang masih mampu untuk 50 tahun kedepan. Selain itu batubara dengan kuantitas yang besar mampu menghasilkan panas pembakaran yang dapat menghasilkan uap bertekanan dan bertemperatur tinggi yang mampu menghasilkan daya listrik yang cukup besar pada sebuah PLTU. Hampir semua PLTU dengan kapasitas daya pembangkitan yang besar menggunakan bahan bakar batubara. Akan tetapi pemakaian batubara selain menghasilkan panas pada proses

pembakarannya, juga menghasilkan partikulat abu. Partikulat-partikulat abu tersebut dapat menyebabkan terjadinya *slagging* dan *fouling* pada dinding atau tube-tube boiler. Fenomena terjadinya *slagging* dan *fouling* ini biasanya tidak sampai pada tingkat yang mengganggu performa dinding penghantar panas, karena adanya soot blower yang berfungsi untuk menghilangkan abu-abu yang menempel pada dinding dan tube boiler. Akan tetapi bila sebagian batubara yang dibakar tersebut memiliki suhu lebur abu (AFT) relative rendah dan berkadar lempung tinggi, maka abu yang menempel akan membentuk lapisan dan lama – kelamaan akan berkembang dan membentuk *slagging* dan *fouling*. Jika hal ini berlangsung terus, maka dapat menyebabkan turunnya kemampuan kerja dari boiler tersebut.

Terbentuknya *slagging* dan *fouling* pada dinding dan tube akan mempengaruhi proses perpindahan panas pada boiler, peningkatan konsumsi bahan bakar, dengan tentunya dapat menyebabkan turunnya efisiensi dari boiler. Pada kasus-kasus tertentu yang ekstrem dapat menyebabkan terjadinya pemadaman plant yang tidak terencana untuk proses penghilangan abu dan perbaikan pada boiler. Potensi pembentukan kecepatan *slagging* dan *fouling* dapat diketahui dari parameter nilai potensi *slagging* dan *fouling*-nya. Dari parameter *slagging* dan *fouling*, terdapat range yang menunjukkan potensi terjadinya *slagging* dan *fouling*. Berikut adalah range potensi *slagging* dan *fouling* yang pernah diteliti oleh beberapa peneliti/ penulis sebelumnya:

Tabel 1. Potensi *Slagging*

No	Penulis/Judul/tahun	Parameter	Indek	Potensi
1	Jianbo li (2016), "effect of coal blending on ash <i>fouling</i> and <i>slagging</i> in pulverized coal fired supercritical (SC) and ultra-supercritical (UC) power planr," thesis university of western australia, australia, 2016.	Ash fusion temperature (°C)	> 1343 1232-1343 1149-1232 < 1149	Rendah Sedang Tinggi Parah
2	Piotr (2013), The development of a <i>slagging</i> and <i>fouling</i> predictive methodology for large scale pulverized boiler fired with coal and biomass blend. Cardiff : thesis cardiff university, 2013.	T250 (oC)	> 1400 1245-1400 1120-1245 < 1120	Rendah Sedang Tinggi Parah
3	Piotr (2013), The development of a <i>slagging</i> and <i>fouling</i> predictive methodology for large scale pulverized boiler fired with coal and biomass blend. Cardiff : thesis cardiff university, 2013	iron-calcium ratio	<0,3 atau >3,0 0,3 – 3,0	Rendah sampai sedang Tinggi sampai parah

Tabel 2. Potensi *Fouling*

No	Penulis/Judul/Tahun	Parameter	Indek	Potensi
1	Jianbo li (2016), "effect of coal blending on ash <i>fouling</i> and <i>slagging</i> in pulverized coal fired supercritical (SC) and ultra-supercritical (UC) power planr," thesis university of western australia, australia, 2016.	Kadar sodium (khusus untuk abu lignit)(%)	< 2,0 2-6 6-8 > 8	Rendah Sedang Tinggi Parah

No	Penulis/Judul/Tahun	Parameter	Indek	Potensi
2	The Babcock and the wilcox	Faktor <i>fouling</i> (khusus untuk abu bituminus)	< 0,2 0,2 < Rf < 0,5 0,5 < Rf < 1,0 1,0 < Rf	Rendah Sedang Tinggi Parah

Dari tabel 1 potensi *slagging* pada tahun 2016 Jianbo li melakukan penelitian potensi *slagging* pada boiler PLTU berbahan bakar batu bara jenis medium rank, menggunakan metode Ash fusion temperatur hasilnya potensi kecepatan pembentukan *slagging* rendah dengan nilai datas 1343. Sedangkan potensi pembentukan *slagging* dengan metode T250 ditulis oleh Piotr (2013) pada disertasinya. Menghasilkan potensi kecepatan pembentukan *slagging* medium dengan nilai sedang menggunakan bahan bakar batubara jenis medium rank.

2. Material dan metodologi

2.1. Klasifikasi batubara

Klasifikasi Batubara berdasarkan proses pembentukan dan bentuk fisiknya batubara dibedakan menjadi:

1. Lignit / batubara muda

Batubara muda ini berwarna agak coklat dengan garis-garis yang nampak seperti kayu, karena maturitas organiknya rendah, batubara ini lebih lembut, unsur volatile nya tinggi dan nilai kalornya lebih rendah daripada jenis lainnya. Memiliki kandungan air yang besar bisa mencapai 45%.

2. Subbituminus

Berwarna hitam kecoklat - coklatan atau hitam saja, bersifat homogen dengan permukaan halus, dan tidak nampak adanya lapisan -lapisan. Batubara ini menguap jika berkenaan dengan udara, jika ini terjadi, batubara akan retak dan bisa terbakar sendiri (spontaneous combustion).

3. Bituminus

Batubara ini yang bila dipanaskan akan menggumpal dan sulit dipecah. Berwarna hitam keabu-abuan. Batubara ini cocok dipakai untuk pembuatan gas. Batubara bituminus diklasifikasikan lagi menjadi bituminus volatile A, B dan C. Bituminus dengan volatile tinggi A, sebagian besar bersifat homogen tanpa nampak butirbutir, tetapi beberapa menunjukkan lapisanlapisan jelas, bersifat keras dan kuat, dengansedikit retak-retak. Kandungan air, belerang dan kandungan abunya rendah dengan nilai kalor yang tinggi. Bituminus dengan volatile tinggi B, mempunyai susunan garis-garis sejajar (laminer) yang jelas. Bersifat keras dan Jurnal Power Plant ISSN No :2356-151347 tahan, retak-retak umumnya membentuk sudut 90 dan sejajar lapisan, karena itubongkahannya berbentuk kubus. Bituminus dengan volatile tinggi C, mempunyai struktur laminer yang jelas, keras, dan sangat kuat. Umumnya memiliki kandungan air, belerang dan abu yang tinggidan batubara ini dikenal dengan batubara yang mudah terbakar.

4. Antrasit

Batubara dengan kualitas yang paling baik. Bersifat keras dengan warna hitam mengkilat, homogen dengan tanpa ada tanda-tanda berlapis. Batubara jenis ini tidak mudah terbakar, untuk mempermudah pembakaran, umumnya digiling terlebih dahulu sebelum dibakar.

2.2. Slagging dan Fouling

Slagging adalah fenomena menempelnya partikel abu batubara baik yang berbentuk padat maupun leburan, pada permukaan dinding penghantar panas yang terletak di zona gas pembakaran suhu tinggi (high temperature combustion gas zone), sebagai hasil dari proses pembakaran batubara. Khususnya pada dinding dekat ruang bakar dimana terjadinya perpindahan panas konveksi pada bagian outlet dari tungku (furnace), bila suhu gasnya melebihi temperatur melunak abu (ash softening temperature). (ash), zat terbang (volatile matter), dan kadar karbon (fixed carbon).

Fouling adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding terpat terjadinya perpindahan panas (super heater maupun re-heater) yang dipasang di lingkungan dimana suhu gas pada bagian belakang furnace lebih rendah dibandingkan suhu melunak abu (ash softening temperature).

Unsur yang paling berpengaruh pada penempelan abu ini adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini adalah kadar Na₂O. Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar Na₂O yang tinggi, maka *fouling* akan mudah terjadi. Untuk *slagging* ini, karakteristiknya dapat dinilai dari suhu lebur abu (AFT) dan kondisi abu itu sendiri. Suhu lebur abu yang rendah akan memudahkan terjadinya *slagging*. Kemudian, diketahui pula bahwa bila rasio unsur alkali (Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O) terhadap unsur asam (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂) meningkat, potensi timbulnya *slagging* juga meningkat.

Evaluasi karakteristik terjadinya indeks *fouling* juga sama dengan *slagging*, yaitu dinilai berdasarkan rasio unsur basa dan asam, serta kadar Na₂O di dalam abu. Jika nilai – nilai tadi tinggi, maka secara umum kecenderungan *fouling* juga meningkat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perhitungan dengan menggunakan evaluasi representatif untuk *slagging* dan *fouling*. Berikut metode evaluasi representatif *slagging* dan *fouling*.

2.3. Metode evaluasi representatif *slagging*.

Pada metode ini, penilaiannya akan berbeda sesuai dengan komposisi unsur pembentuk abu sebagaimana ditampilkan di bawah ini.

- Abu tipe bituminus $CaO + MgO < Fe_2O_3$.
- Abu tipe lignit $CaO + MgO > Fe_2O_3$.

a) Abu tipe bituminus

Pada tipe ini, karakteristik *slagging* ditentukan berdasarkan perhitungan rasio unsur alkali terhadap unsur asam, dengan kadar sulfur, sesuai persamaan (1), dimana S adalah Total Sulfur (%) dalam DB.

$$Rs (\text{Slagging index}) = \{(Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O) / SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2\} \times S \quad (1)$$

Standar nilai Potensi <i>slagging</i>	Nilai Rs
• Low	0.6<
• Medium	0.6 ~ 2.0
• High	2.0 ~ 2.6
• Severe	>2.6

b) Abu tipe lignit

Pada *slagging*, yang banyak berpengaruh adalah CaO yang merupakan unsur yang mudah menempel di dinding penghantar panas, dan Na₂O yang merupakan unsur yang menentukan kekuatan ikatan abu yang menempel. Tipe lignit banyak mengandung kedua unsur tersebut. Dan parameter untuk penilaian *slagging* pada tipe ini adalah suhu melebur abu saja. Hampir semua lignit termasuk sebagian besar batubara sub-bituminus dievaluasi berdasarkan perhitungan di bawah ini.

$$Rs (\text{Slagging index}) = \{HT (\text{Hemisphere Temp.}) + 4 \times IDT (\text{Initial Deformation Temp.})\} / 5 \quad (2)$$

Meskipun suhu lebur abu dapat diukur dalam lingkungan oksidasi maupun reduksi., tetapi suhu pada kondisi reduksi pada umumnya menunjukkan angka yang lebih rendah dibandingkan pada kondisi oksidasi (50 ~ 200°C). Hal ini terkadang dapat mempengaruhi hasil penilaian.

Standar nilai Potensi *slagging* Rs (°C)

- Low >1340
- Medium 1340 ~ 1230
- High 1230 ~ 1150
- Severe 1150<

Rasio alkali dalam abu (base/acid ratio)

Rasio alkali dalam abu ditampilkan dalam persamaan berikut ini:

$$\text{Rasio alkali dalam abu} = \text{unsur alkali} / \text{unsur asam} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) \quad (3)$$

Persamaan di atas menunjukkan rasio tingkat kemungkinan pembentukan low molten-salt oleh unsur – unsur logam dalam abu (kecuali Si yang non logam) pada saat pembakaran batubara.

Bila rasio ini tinggi, maka oksida dengan titik lebur rendah dan senyawa alkali akan mudah terbentuk, menyebabkan kecenderungan *slagging* juga meninggi. Untuk rentang nilainya, meskipun sedikit banyak tergantung pula dari unsur – unsur yang lain (persentase dari Fe₂O₃, CaO, SiO₂, Al₂O₃, dan lain – lain), tapi hampir semua abu menunjukkan kecenderungan suhu lebur abu yang rendah dan potensi *slagging* yang tinggi pada rasio 0.4 ~ 07.

Base-Acid Ratio

Unsur pokok abu batubara dapat diklasifikasikan sebagai basa atau asam. Unsur basa terdiridaribesi, logam alkali tanah kalsium dan magnesium, dan logam alkali natrium dan kalium. Unsur asam terdiri dari silikon, aluminium dan titanium. Basa dan asam cenderung bergabung membentuk senyawa dengan suhu leleh yang lebih rendah. Proporsi relative dari unsure basa dan asam memberikan indikasi perilaku leleh dan karakteristik viskositas abu batubara. Analisis unsure digunakan untuk menghitung persen basa, persen asam dan perbandingan basadengan asam sebagai berikut:

Untuk abu bituminous

$$\% \text{Basa} = \left(\frac{[\text{Fe}]_{-2} \text{O}_{-3} + \text{CaO} + \text{MgO} + [\text{Na}]_{-2} \text{O} + \text{K}_{-2} \text{O}}{([\text{SiO}]_{-2} + [\text{Al}]_{-2} \text{O}_{-3} + [\text{TiO}]_{-2} + [\text{Fe}]_{-2} \text{O}_{-3} + \text{CaO} + \text{MgO} + [\text{Na}]_{-2} \text{O} + \text{K}_{-2} \text{O})} \right) \times 100$$

$$\% \text{Asam} = \left(\frac{([\text{SiO}]_{-2} + [\text{Al}]_{-2} \text{O}_{-3} + [\text{TiO}]_{-2})}{([\text{SiO}]_{-2} + [\text{Al}]_{-2} \text{O}_{-3} + [\text{TiO}]_{-2} + [\text{Fe}]_{-2} \text{O}_{-3} + \text{CaO} + \text{MgO} + [\text{Na}]_{-2} \text{O} + \text{K}_{-2} \text{O})} \right) \times 100$$

$$\text{B/A ratio} = \frac{([\text{Fe}]_{-2} \text{O}_{-3} + \text{CaO} + \text{MgO} + [\text{Na}]_{-2} \text{O} + \text{K}_{-2} \text{O})}{([\text{SiO}]_{-2} + [\text{Al}]_{-2} \text{O}_{-3} + [\text{TiO}]_{-2})}$$

$$\text{Indeks slag} = \text{B/A} \times \text{S}$$

Dimana:

B/A = base-acid ratio.

S = berat (%) sulfur pada dry coal basis

2.4. Metode Evaluasi Representatif *Fouling*.

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa faktor utama yang mempengaruhi kondisi menempelnya abu adalah Na₂O. Oleh karenanya, perusahaan B & W menentukan penilaian *fouling* berdasarkan persamaan di bawahini. Untuk pembagian tipe abu juga sama dengan untuk *slagging*.

Abu tipe bituminous (CaO + MgO < Fe₂O₃)

$$R_f (\text{Fouling index}) = \left\{ \frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)} \right\} \times \text{Na}_2\text{O}$$

Standar nilai Potensi <i>fouling</i>	R _f
• Low	0.2 <
• Medium	0.2 ~ 0.5
• High	0.5 ~ 1.0
• Severe	> 1.0

Abu tipe lignit (CaO + MgO > Fe₂O₃), R_f = kadar Na₂O (%)

Standar nilai Potensi <i>fouling</i>	R _f
• Low	1.2 <
• Medium	1.2 ~ 3.0
• High	3.0 ~ 6.0
• Severe	> 6.0

Unsur lainnya.

Selain cara – cara di atas, terdapat pula unsur–unsur lain yang juga mempengaruhi kecenderungan *fouling*. Diantaranya adalah Na₂O. Unsur yang paling berpengaruh terhadap kecenderungan *fouling* adalah unsur alkali, terutama Na. Seperti dijelaskan di atas bahwa pengaruh Na₂O adalah besar. Batubara yang abunya (baik tipe lignit maupun bituminus) mengandung Na₂O dengan kadar lebih dari 1~2% (sebagian fabrikasi menunjuk angka lebih dari 2 ~ 4%) mengindikasikan memiliki kecenderungan *fouling* yang tinggi.

2.5. Data Batubara

Pada penelitian ini ada 2 jenis batu bara yang digunakan, yaitu batubara lignit dan bituminus. Berikut data hasil analisa kedua jenis batubara tersebut.

Tabel 3. Data analisis batubara 1

Parameter	Units	Results (Basis)			
		ARB	ADB	DB	DAFB
Proximate Analysis					
Total Moisture	% wt	34.20	-	-	-
Moisture in analysis	% wt	-	19.33	-	-
Ash Content	% wt	1.79	2.19	2.71	-
Volatile Matter	% wt	32.00	39.23	48.63	49.99
Fixed Carbon	% wt	32.01	39.25	48.66	50.01
Total sulfur	% wt	0.09	0.11	0.14	0.14
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	4373	5361	6646	6831
Ultimate Analysis					
Total Moisture	% wt	34.20	-	-	-
Moisture in analysis	% wt	-	19.33	-	-
Ash Content	% wt	1.79	2.19	2.71	-
Sulfur	% wt	0.09	0.11	0.14	0.14
Hydrogen	% wt	3.85	4.72	5.85	6.01
Carbon	% wt	46.93	57.54	71.33	73.32
Nitrogen	% wt	0.64	0.79	0.98	1.01
Oxygen	% wt	12.50	15.32	18.99	19.52
Ash Analysis					
SiO ₂	% wt	40,81			
Al ₂ O ₃	% wt	5,97			
Fe ₂ O ₃	% wt	13,40			
CaO	% wt	17,19			
MgO	% wt	10,48			
K ₂ O	% wt	0,15			

Parameter	Units	Results (Basis)			
		ARB	ADB	DB	DAFB
Na ₂ O	% wt	0,06			
MnO ₂	% wt	0,29			
TiO ₂	% wt	1,17			
P ₂ O ₅	% wt	0,54			
SO ₃	% wt	9,10			
Undetermined	% wt	0,48			
Ash classified		Lignite			
Ash Fusion Temperature		Reducing		Oxidizing	
initial deformation temperature (IDT)	°C	1230		1270	
softening temperature (ST)	°C	1240		1280	
hemispherical temperature (HT)	°C	1250		1290	
fluid temperatur (FT)	°C	1260		1300	
ARB: As-Received Basis		DB: Dry Basis			
ADB: As-Determined Basis		DAFB: Dry Ash-free Basis			

Tabel 4. Data analisis batubara 2

Parameter	Units	Results (Basis)			
		ARB	ADB	DB	DAFB
Proximate Analysis					
Total Moisture	% wt	27,51	-	-	-
Moisture in analysis	% wt	-	12,99	-	-
Ash Content	% wt	5,44	6,53	7,50	-
Volatile Matter	% wt	29,3	35,17	40,42	43,7
Fixed Carbon	% wt	37,75	45,31	52,08	56,30
Total sulfur	% wt	0,44	0,53	0,61	0,66
Gross Calorific Value	Kcal/Kg	5000	6002	6898	7458
Ultimate Analysis					
Total Moisture	% wt	27,51	-	-	-
Moisture in analysis	% wt	-	12,99	-	-
Ash Content	% wt	5,44	6,53	7,50	-
Sulfur	% wt	0,44	0,53	0,61	0,66
Hydrogen	% wt	4,17	5,01	5,76	6,23
Carbon	% wt	49,53	59,45	68,33	73,87
Nitrogen	% wt	0,84	1,01	1,16	1,25
Oxygen	% wt	12,07	14,48	16,64	17,99
Ash Analysis					
SiO ₂	% wt	53,38			

Parameter	Units	Results (Basis)			
		ARB	ADB	DB	DAFB
Al ₂ O ₃	% wt	31,46			
Fe ₂ O ₃	% wt	4,62			
CaO	% wt	1,04			
MgO	% wt	1,84			
K ₂ O	% wt	0,67			
Na ₂ O	% wt	0,88			
MnO ₂	% wt	0,05			
TiO ₂	% wt	1,19			
P ₂ O ₅	% wt	0,40			
SO ₃	% wt	4,03			
undetermined	% wt	0,44			
Ash classified		bituminous			
Ash Fusion Temperature		Reducing		Oxidizing	
initial deformation temperature (IDT)	°C	1450		+1450	
softening temperature (ST)	°C	+1450		+1451	
hemispherical temperature (HT)	°C	+1451		+1452	
fluid temperatur (FT)	°C	+1452		+1453	
ARB: As-Received Basis		DB: Dry Basis			
ADB: As-Determined Basis		DAFB: Dry Ash-free Basis			

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Indeks *slagging* pada abu lignit dan bituminous.

Hasil dari indeks *slagging* dan *fouling* atau potensi pembentukan *slagging* dan *fouling* dapat diketahui berdasarkan metode perhitunga-perhitungan yang sesuai dengan jenis batubara yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap tersebut. Apakah batubara tersebut menggunakan jenis bituminous, lignit atau sub bituminous. Indeks *slagging* dapat diketahui melalui beberapa parameter, seperti parameter base-acid ratio (*slagging* factor) untuk abu bituminous dan ash fusion temperature untuk jenis abu lignit. Nilai indeks *slagging* pada batubara lignit dapat dilihat pada Tabel 4.1. dibawah ini.

Tabel 5. Hasil perhitungan *slagging* lignit

Jenis abu Batubara	Indeks <i>slagging</i>	<i>Slagging</i> Propensity
lignit	1234	Sedang
lignit	1244	Sedang
lignit	1450	Rendah
lignit	1450	Rendah
lignit	1450	Rendah
lignit	1450	Rendah
lignit	1450	Rendah

Pada Tabel 5 ada 2 hasil nilai indeks *slagging* yang diperoleh selama pengamatan dari tanggal 1 – 23 Juni 2019, yaitu memiliki nilai indeks *slagging* dengan kategori sedang untuk 2 data pertama dan nilai indeks rendah pada hasil berikutnya dengan jumlah data 5. dua data yang menunjukkan bahwa nilai indeks *slagging* yang tinggi pada abu jenis lignit terjadi pada nilai ash fusion temperature yang cukup rendah 1234°C dan 1244°C sedangkan nilai ash fusion temperatur data lainnya adalah 1450VC. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun batubara yang digunakan jenis lignit akan tetapi nilai indeks *slagging*nya sebagian besar masih dikategorikan rendah.

Tabel 6. Hasil perhitungan *slagging* bituminus

Jenis abu Batubara	Indeks <i>slagging</i>	<i>Slagging Propensity</i>
Bituminus	0,06	rendah
Bituminus	0,13	rendah
Bituminus	0,06	rendah
Bituminus	0,07	rendah
Bituminus	0,09	rendah
Bituminus	0,07	rendah
Bituminus	0,05	rendah
Bituminus	0,08	rendah
Bituminus	0,08	rendah
Bituminus	0,08	rendah

Hasil metode perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 6 nilai indeks *slagging* pada abu bituminous memiliki kecenderungan yang rendah dengan nilai indeks basa-asam rasio berkisar dari 0,05 sampai 0,13. Namun, hasil yang ditampilkan pada Tabel 5. dan Tabel 6 agak sulit untuk membandingkan potensi pembentukan *slagging* pada dua jenis abu bituminus dan lignit, karena keduanya menggunakan metode perhitungan indeks menggunakan dengan parameter yang berbeda. Untuk mengatasinya maka perhitungan harus ada indeks perhitungan *slagging* dengan menggunakan parameter viskositas untuk dapat membandingkan dua jenis abu yang berbeda.

Tabel 7. Hasil perhitungan *slagging* (viskositas)

Jenis abu	T ₂₅₀	T ₁₀₀₀	T ₂₀₀₀	f _s	Indek	<i>Slagging</i>
lignit	1289,7	1004,84	1100,32	1,4	1,3	high
lignit	1233,9	992,61	1076,4	1,3	1,25	high
lignit	1249,0	1088,92	1149,7	1,8	0,69	medium
lignit	1206,6	1055,8	1113,2	1,4	0,85	medium
lignit	1210,2	1064,1	1120,5	1,5	0,77	medium
lignit	1201,2	1056,1	1111,6	1,4	0,82	medium
lignit	1197,3	1053,7	1108,7	1,4	0,81	medium

Tabel 8. Hasil perhitungan indeks *slagging* (viscositas)

Jenis abu	T ₂₅₀	T ₁₀₀₀	T ₂₀₀₀	f _s	Indeks	Slagging
bituminus	1268,8	1101,9	1165,0	1,8	0,68	medium
bituminus	1609,8	1212,9	1342,1	1,8	0,51	medium
bituminus	1237,9	1087,6	1145,1	1,9	0,66	medium
bituminus	1253,6	1092,4	1153,5	1,8	0,77	medium
bituminus	1240,9	1078,3	1139,8	1,6	0,79	medium
bituminus	1237,3	1074,4	1135,9	1,6	0,79	medium
bituminus	1266,9	1100,1	1163,2	1,5	0,77	medium
bituminus	1224,7	1064,7	1125,2	1,5	0,83	medium
bituminus	1211,0	1056,7	1115,3	1,5	0,80	medium

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8 diperoleh hasil bahwa rata-rata index *slagging* berdasarkan perhitungan viscositas abu lignit lebih tinggi jika dibandingkan dengan abu bituminus, hasil ini sama dengan yang ditunjukkan oleh perbandingan hasil dari perhitungan menggunakan parameter basa-asam rasio dengan ash fusion temperature yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan adalah potensi pembentukan *slagging* untuk batubara dengan jenis abu bituminous sangat dipengaruhi oleh adanya kandungan unsur Fe₂O₃, dan pada batubara jenis abu lignit dipengaruhi oleh adanya unsur CaO dan MgO. Potensi pembentukan *fouling* pada batubara dengan jenis bituminus dan lignit adalah adanya unsur Na₂O. Batubara dengan jenis abu lignit cenderung memiliki indeks nilai potensi pembentukan *slagging* dan *fouling* yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara dengan jenis abu bituminus.

DaftarPustaka

- [1] K. rayaprolu, Boilers for power and prosses, U.S.A.: CRC Press, 2009..
- [2] Babcock and Wilcox, Steam its generation and use, 41 ed., J. B. K. a. S. C. Stultz, Ed., Barberton, ohio: Babcock and Wilcox, 2005.
- [3] D. S. rao, Minerals and coal prosses calculation, UK: CRC Press, 2016.
- [4] J. G. Speight, Handbook of coal analysis, 2 ed., vol. 182, new jersey: Wiley, 2015.
- [5] Nadiyahatul Fadhilla, Analisis Pengaruh Terbentuknya *Slagging* dan *Fouling* Terhadap Efisiensi Boiler pada Boiler Supercritical; Jurnal Mekanik Terapan vol 01 no 01 (2020),
- [6] N. Amaliyah dan M. Fachry, “Analisis Komposisi Batubara Mutu Rendah Terhadap Pembentukan *Slagging* dan *Fouling* Pada Boiler,” Jurnal Energy, 2011.
- [7] F. G. Sumarno, W. dan O. I. Aditya, “Fauling dan Pengaruhnya Pada Final Secondary Superheate PLTU Tanjung Jati B Unit 2,” Jurnal Energi Jurusan Teknik Mesin PNS, vol. 10 No 1, 2014
- [8] H. Speliethoff, “Characterization of *Slagging* and *Fouling* in Biomass Combustion Bioslag,” Energi Technology TU Delft, 2000.
- [9] Cahyadi, PLTU batubara supercritikal yang efisien, Tangerang selatan: BPPT , 2015

- [10] Wahyuno, dkk.(2014).*Fouling* dan Pengaruhnya Pada Final Secondary Superheater PLTU TanjungJati B unit 2 . Semarang. Politeknik Negeri Semarang; 2014.
- [11] J. li, "effect of coal blending on ash *fouling* and *slagging* in pulverized coal fired supercritical (SC) and ultra-supercritical (UC) power planr," thesis university of western australia, australia, 2016..
- [12] Winda Ayu Prameswari, Analisa pembentukan *slagging* dan *fouling* pembakaran batubara pada Boiler B0201B Pabrik 3 unit UBB di PT. Petrokimia Gresik; 2017
- [13] D. Zhang. (2013).Ash *fouling*, deposition and *slagging* in ultra -supercritical coal power plants Australia :University of Science and Technology Liaoning, China and The University of Western Australia; 2013
- [14] Awad, M. M. (2011). *Fouling* of heat transfer surfaces. Chemical Engineering & Technology, 10(1),113–125.
- [15] Wu Xiaojiang. (2014). Inhibition of lignite ash *slagging* and *fouling* upon the use of a silica-based additive in an industrial pulverised coal-fired boiler. Department of Chemical Engineering, Monash University, Clayton, Victoria 3800, Australia .