

Kajian Potensi Pembentukan Slagging dan Fouling Berdasarkan Nilai Ash Fusion Temperature dan Indeks Slagging Fouling pada Proses Gasifikasi Batubara Menggunakan Unit Fixed Bed Downdraft Gasifier di Puslitbang tekMira Bandung

Study of Slagging and Fouling Forming Probability Based on Ash Fusion Temperature and Slagging Fouling Index in The Coal Gasification Using Fixed Bed Downdraft Gasifier at Puslitbang tekMira Bandung

¹Luqman Malik Al-Latif, ²Solihin, ³Fahmi Sulistyohadi

^{1,2}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung

Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40166

email: ¹kakangluqman@gmail.com ²solihin@gmail.com, ³fahmisulistyohadi@gmail.com

Abstract. Coal gasification is a coal conversion technology that allow a solid coal to be a producer gas through an imperfect combustion. Coal is going to be burnt in a gasifier and then producer gas is flew to the next parts to be cleaned and cooled in order to produce a suitable standard producer gas for internal combustion engine and direct combustion. Coal burning will produce slagging and fouling as byproduct, which are a melting and sticking coal ash to the inner surface of pipe that will have a bad effect for gasification. Coal quality for fuel based on basic analysis (proximate and ultimate) and specific analysis (CGV, ash content, and AFT), meanwhile the forming of slagging and fouling is influenced by ash fusion temperature, ash content, and base acid ratio. Based on Babcock and Wilcox, it's knew that sample 1 has 0,14 on slagging index 0.11 on fouling index. Sample 2 has 0.22 on slagging index; 0.20 on fouling index. Sample 3 has 0.17 on slagging index; 0.15 on fouling index. And sample 4 has 0.19 on slagging index; 0.16 on fouling index. All of the samples' slagging and fouling index has low indicators of forming slagging and fouling. The forming of slagging and fouling can also predicted by ash fusion temperature that correlated with the burning temperature in the gasifier. In the oxidation zone (O) it has 1,100°C and in the reduction zone (R), it has 900°C. The ash fusion temperature based on laboratory analysis are for sample 1; 1,282°C (R) and 1,312°C (O). Sample 2; 1,269°C (R) and 1,306°C (O). Sampel 3; 1,275°C (R) dan 1,310°C (O). Sampel 4; 1,276°C (R) and 1,310°C (O). Based on ash fusion temperatures, the probability of slagging and fouling forming is absolutely low. Every AFT and index value shows that the potential of slagging and fouling means in low condition based on Babcock and Wilcox method. Meanwhile there are still some slags found in the gasifier due to unideal combustion.

Keywords: Slagging, Fouling, Ash Fusion Temperature.

Abstrak. Gasifikasi batubara merupakan teknologi konversi batubara dari benda padat menjadi gas melalui pembakaran tidak sempurna (kekurangan oksigen). Hasil pembakaran batubara dapat menyebabkan *slagging* dan *fouling* yaitu lelehan dan penempelan abu batubara yang dapat menyebabkan terganggunya proses gasifikasi. Mutu batubara sebagai bahan bakar ditentukan oleh analisis dasar dan analisis khusus, sedangkan penentuan terjadinya *slagging* dan *fouling* dipengaruhi oleh suhu leleh abu, komposisi abu batubara, dan perbandingan oksida basa dan oksida asam dalam abu batubara. Berdasarkan metode *Babcock and Wilcox* dari hasil analisis batubara yang dilakukan di laboratorium Puslitbang tekMira Bandung terhadap 4 sampel uji didapatkan data sampel 1 memiliki indeks *slagging* 0,14; indeks *fouling* 0,11. Sampel 2 memiliki indeks *slagging* 0,22; indeks *fouling* 0,20. Sampel 3 memiliki indeks *slagging* 0,17; indeks *fouling* 0,15. Dan sampel 4 memiliki indeks *slagging* 0,19; indeks *fouling* 0,16. Keterbentukan *slagging* dan *fouling* juga dapat dilihat dari nilai suhu leleh abu yang dikorelasikan dengan suhu pembakaran pada *gasifier* gasifikasi. Untuk zona oksidasi (O) suhu pembakarannya adalah 1.100°C dan suhu pembakaran pada zona reduksi (R) sebesar 900°C. Nilai suhu leleh abu (*flow temperature*) yang didapatkan berdasarkan hasil analisis adalah, untuk sampel 1; 1.282°C (R) dan 1.312°C (O). Sampel 2; 1.269°C (R) dan 1.306°C (O). Sampel 3; 1.275°C (R) dan 1.310°C (O). Sampel 4; 1.276°C (R) dan 1.310°C (O). Semua nilai AFT dan nilai indeks yang didapatkan dari hasil pengolahan data menunjukkan tingkat pembentukan *slagging* dan *fouling* yang rendah berdasarkan metode *Babcock and Wilcox*. Tetapi dinilai masih ditemukan material *slagging* yang terbentuk dari hasil pembakaran di dalam *gasifier*, yang disebabkan oleh kegiatan pembakaran yang belum ideal sehingga dapat meningkatkan suhu pembakaran di atas suhu ideal *gasifier*.

Kata Kunci: Slagging, Fouling, Suhu Leleh Abu

A. Pendahuluan

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik di bawah permukaan bumi, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan sehingga batubara memiliki sumber energi yang potensial untuk digunakan sebagai bahan bakar dengan unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen

Perubahan batubara dari fase padat menjadi gas mampu bakar dikenal dengan nama gasifikasi. Gasifikasi batubara merupakan proses mengubah batubara dari bentuk padat menjadi bentuk gas melalui pembakaran tidak sempurna (pembakaran yang terjadi dalam kondisi kekurangan oksigen yang menyebabkan terjadinya reaksi pembentukan gas CO) sehingga terbentuk gas mampu bakar (*producer gas*) yang dibutuhkan dalam kegiatan pembakaran langsung dan *internal combustion engine*. Abu hasil pembakaran batubara di dalam *gasifier* memiliki kemungkinan untuk mengganggu sistem kerja *gasifier* dengan terbentuknya *slagging* dan *fouling* yang disebabkan oleh suhu pembakaran dengan komposisi abu batubara.

Slagging merupakan fenomena menempelnya partikel abu batubara baik yang berbentuk padat maupun leburan di dalam *gasifier* yang merupakan zona pembakaran suhu tinggi sebagai akibat dari proses pembakaran batubara. Sedangkan *fouling* merupakan fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding pipa penghantar gas (*piping*). Peristiwa menempelnya abu batubara pada bagian-bagian *gasifier* juga disebabkan oleh komposisi abu batubara itu sendiri. Baik *slagging* maupun *fouling* berpotensi untuk mengurangi efektifitas kerja unit

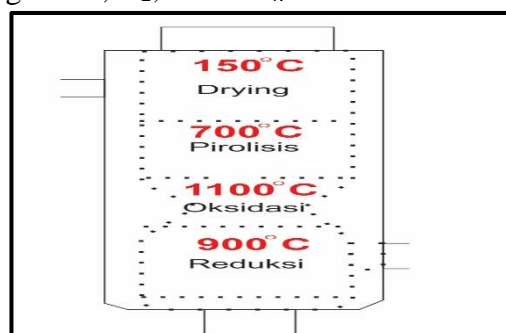
gasifier.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “bagaimana potensi keterbentukan *slagging* dan *fouling* pada *gasifier* yang digunakan berdasarkan AFT dan indeks *slagging* dan *fouling*?” Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi *slagging* dan *fouling* berdasarkan nilai AFT terhadap kondisi pembakaran dalam *gasifier*.
2. Mengetahui potensi *slagging* dan *fouling* berdasarkan nilai indeks pada metode representatif *Babcock and Wilcox*.

B. Landasan Teori

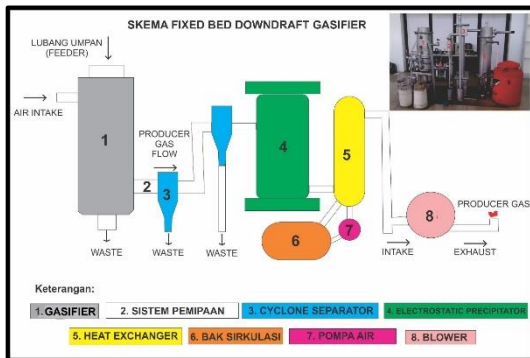
Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat (biomassa atau batubara) menjadi bahan bakar gas melalui pembakaran tidak sempurna. Melalui proses gasifikasi, hampir semua bahan organik padat dapat diubah menjadi gas bakar yang bersih. Gas yang dihasilkan pada gasifikasi dapat berupa *syngas* dan *producer gas* yang kandungannya didominasi oleh gas CO, H₂, dan CH₄.



Gambar 1. Fixed Bed Downdraft Gasifier

Dalam proses gasifikasi batubara, dibutuhkan alat *gasifier*, dalam penelitian ini menggunakan *fixed bed downdraft gasifier* sebagai tungku pembakaran batubara untuk diubah

menjadi *producer gas*. Gambar di atas merupakan gambar *gasifier* yang digunakan beserta zona pembakaran dan suhu ideal yang terjadi di dalam *gasifier* itu sendiri. Sedangkan secara keseluruhan, skema unit penelitian adalah sebagai berikut:

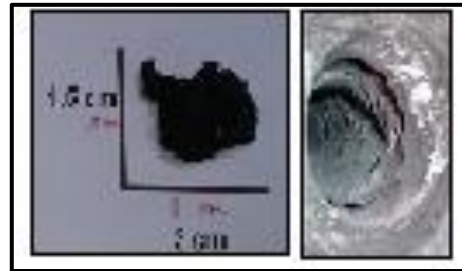


Gambar 2. Skema Unit Fixed Bed Downdraft Gasifier

Slagging merupakan peristiwa melelehnya abu batubara karena suhu pembakaran melebihi AFT yang kemudian material leleh tersebut menempel ke material yang memiliki suhu yang lebih rendah dari AFT sehingga abu yang meleleh tadi membeku dan membentuk material padat dan keras. *Slagging* ini dapat mengeras pada ruangan *gasifier* sehingga mengganggu jalannya sirkulasi pembuangan sisa pembakaran, penyaluran gas, dan penambahan umpan batubara. Untuk karakteristik *slagging* dapat dinilai dari suhu leleh abu dan kondisi abu. Nilai AFT yang rendah akan memudahkan terjadinya *slagging*. Kemudian apabila rasio unsur alkali (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) terhadap unsur asam (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2) tinggi, potensi timbulnya *slagging* juga meningkat.

Fouling adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding pipa-pipa penghantar gas yang diakibatkan oleh adanya abu batubara yang melunak dan kemudian mengendap atau menempel pada struktur pipa penghantar gas yang akan

menempel, menumpuk, dan menghalangi jalur gas di dalam pipa-pipa tersebut. Unsur yang paling berpengaruh pada penempelan abu ini adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini adalah kadar Na_2O . Evaluasi karakteristik *fouling* sama dengan untuk *slagging*, yaitu dinilai berdasarkan rasio unsur basa dan asam, serta kadar Na_2O di dalam abu.



Gambar 3. (1) *slagging* (2) *fouling*

Tabel 1. Standar Penilaian *Slagging* dan *Fouling*

Faktor	Low	Medium	High	Soaring
Base acid ratio (R)	< 0,5	> 0,5		
Abu Tipe Bituminus				
<i>Slagging factor</i> (R_s)	< 0,6	0,6 – 2,0	2,0 – 2,6	> 2,6
<i>Fouling factor</i> (R_f)	< 0,2	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0
Abu Tipe Lignit				
<i>Slagging factor</i> (R_s)	> 1340	1230 - 1340	1150 - 1230	< 1150
<i>Fouling factor</i> (R_f)	< 1,2	1,2 – 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0

C. Hasil penelitian dan pembahasan

Ada beberapa pengujian yang dilakukan untuk menentukan potensi *slagging* dan *fouling*, yaitu pengujian komposisi abu batubara dan pengujian suhu leleh abu (*ash fusion temperature*). Pengujian komposisi abu dilakukan bertujuan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang menyusun abu batubara seperti SiO_2 (silikon), Al_2O_3 (alumina), Fe_2O_3 (besi), CaO (kalsium), MgO (magnesium), TiO_2 (titan), Na_2O (sodium), K_2O (potasium), Mn_3O_4 (mangan), P_2O_5 (pospor), and SO_3 (sulfit) dan H_2O (air). Kandungan abu batubara memiliki peranan penting

dalam menentukan suhu leleh abu, perbandingan senyawa basa dan asam, dan tinggi rendahnya potensi *slagging* dan *fouling*.

Tabel 2. Kandungan Abu Batubara Sampel Uji

No	Komposisi Abu	unit	Prosedur	sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4
1	SiO ₂	%	GVM	55,09	41,20	41,06	43,70
2	Al ₂ O ₃		AAS	19,95	20,70	28,46	29,20
3	Fe ₂ O ₃		AAS	6,44	16,48	8,98	9,42
4	K ₂ O		AAS	0,95	1,92	0,81	0,71
5	Na ₂ O		AAS	0,58	0,44	0,62	0,45
6	CaO		AAS	4,14	5,65	3,98	2,70
7	MgO		AAS	1,86	4,13	3,17	3,12
8	TiO ₂		SPF	1,53	1,68	1,18	1,88
9	MnO ₂		AAS	0,10	0,12	0,11	0,11
10	P ₂ O ₅		SPF	0,43	0,48	0,52	0,63
11	LOI		GVM	5,20	4,20	5,74	5,40
12	H ₂ O		GVM	0,00	0,02	1,03	0,10
13	SO ₃	GVM	4,24	3,22	4,91	3,15	

Pengujian AFT dimaksudkan untuk mengetahui sifat abu batubara apabila dikenakan suhu dengan tingkat derajat tertentu. Pengujian AFT ini menggunakan standar ASTM D 1857 'standard test method for fusibility of coal and coke ash' yang dilakukan pada 2 kondisi, yaitu kondisi oksidasi dan kondisi reduksi. Kedua kondisi tersebut berdasarkan standar ASTM D 1857 memiliki 4 fase pelelehan, yaitu fase *initial deformation temperature* (ID), *spherical temperature* (ST), *hemisphere temperature* (HT) dan *flow temperature* (FT).

Tabel 3. Ash Fusion Temperature (AFT) Abu Batubara

No	Parameter AFT	Unit	Standar	sampel 1	sampel 2	sampel 3	sampel 4
Kondisi Reduksi							
1	Initial Deformation	°C	ASTM D 1857	1224	1218	1220	1221
2	Spherical Temperature			1242	1225	1235	1232
3	Hemisphere Temperature			1261	1244	1256	1258
4	Flow Temperature			1282	1269	1275	1276
Kondisi Oksidasi							
1	Initial Deformation	°C	ASTM D 1857	1228	1221	1225	1225
2	Spherical Temperature			1262	1244	1248	1251
3	Hemisphere Temperature			1286	1277	1281	1283
4	Flow Temperature			1312	1306	1310	1310

Hasil sampel uji menunjukkan nilai AFT yang berbeda namun relatif sama untuk setiap sampel uji, namun sampel 2 memiliki nilai AFT yang paling rendah antara semua sampel uji yang dianalisis. Secara ideal zona reduksi pada *gasifier* (**gambar 1**) memiliki suhu pembakaran sebesar 900°C sehingga kecil kemungkinan terjadi *slagging* pada suhu tersebut. Keadaan pada saat percobaan, terdapat kemungkinan terjadinya peningkatan suhu *gasifier* karena tutup *feeder* sering dibuka sehingga melampaui nilai AFT nya, misalnya nilai ID dimana abu batubara mulai meleleh dan berpotensi terbentuk *slagging* baik itu melekat pada dinding *gasifier* atau pada material lain dan kemudian mengeras membentuk padatan yang bertekstur tajam. Begitupun terjadi pada zona pembakaran oksidasi.

Dalam metodenya, *Babcock and Wilcox* mengelompokkan abu batubara berdasarkan kandungannya yang memiliki perbedaan yang signifikan, yaitu tipe abu bituminus dan tipe abu lignit. Tipe-tipe abu tersebut dinilai memiliki perbedaan persentase kandungan abu yang signifikan. Penentuan tipe abu dapat dilihat pada persamaan berikut:

1. Abu tipe bituminus →
 $CaO + MgO < Fe_2O_3$
2. Abu tipe lignit →
 $CaO + MgO > Fe_2O_3$

Dari persamaan di atas, tipe abu sampel batubara dapat ditentukan sebagai berikut.

Tabel 4. Tipe Abu Sampel Uji

No	Kode Sampel	Kandungan Abu			Tipe Abu
		CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	
1	SP 1	4,14	1,86	6,44	Abu Bituminus
2	SP 2	5,65	4,13	16,48	Abu Bituminus
3	SP 3	3,98	3,17	8,98	Abu Bituminus
4	SP 4	2,7	3,12	9,42	Abu Bituminus

Tipe abu batubara akan mempengaruhi rumus yang digunakan untuk penentuan indeks *slagging* dan *fouling*. Karena semua tipe abu

termasuk ke dalam abu tipe bituminus, maka selanjutnya dihitung nilai *base acid ratio* setiap sampel. Misalkan untuk sampel 1, perhitungannya adalah

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

$$R = \frac{6,44 + 4,14 + 1,86 + 0,58 + 0,95}{55,09 + 19,95 + 1,53}$$

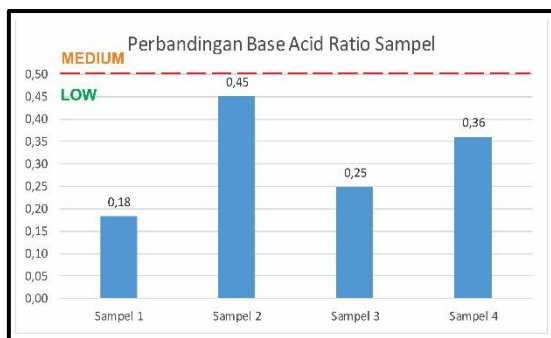
R = 0,18

Dari perhitungan semua sampel diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 5. Base Acid Ratio Sampel Uji

No	Sampel	Base Acid Ratio
1	SP 1	0,18
2	SP 2	0,45
3	SP 3	0,25
4	SP 4	0,36

Base acid ratio 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 sedikit banyak tergantung pula dari unsur – unsur yang lain (persentase dari Fe₂O₃, CaO, SiO₂, Al₂O₃, dan lain – lain)



Gambar 1. Perbandingan *Base Acid Ratio*

Setelah diketahui nilai *base acid ratio*, selanjutnya adalah dihitung nilai indeks *slagging* dan *fouling*. Misalkan untuk sampel 1 nilai indeksnya dapat

dihitung sebagai berikut:

a. *Slagging Index (Rs)*

Rs = R x %S

Rs = 0,18 x 0,79

Rs = 0,14

b. *Fouling Index (Rf)*

Rf = R x %Na₂O

Rf = 0,18 x 0,58

Rf = 0,11

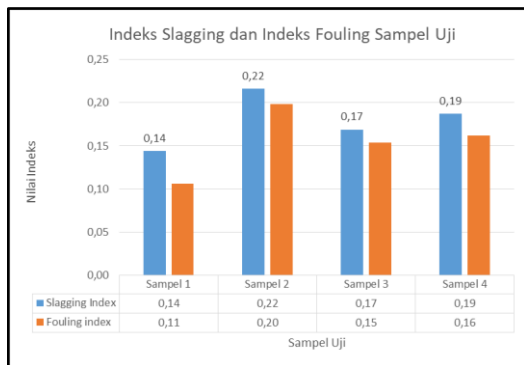
Tabel 6. Indeks *Slagging* dan *Fouling*

No	Sampel	Slagging Index	Fouling Index
1	SP 1	0,14	0,11
2	SP 2	0,22	0,20
3	SP 3	0,17	0,15
4	SP 4	0,19	0,16

Nilai *slagging* dan *fouling index* yang telah dihitung menyatakan besar kecilnya potensi keterbentukan *slagging* dan *fouling* berdasarkan pengelompokan yang telah dilakukan dalam metode *Babcock and Wilcox*. Nilai-nilai tersebut menjadi data acuan untuk mengkaji potensi keterbentukan *slagging* dan *fouling* pada unit *fixed bed downdraft gasifier*.

Indeks *slagging* yang diperoleh secara keseluruhan berada pada cakupan potensi rendah karena berada dibawah nilai 0,6. Namun indeks *slagging* tertinggi terjadi pada sampel 2 karena memiliki nilai *base acid ratio* yang paling tinggi pula dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Meskipun begitu indeks semua sampel termasuk dalam kategori rendah.

Indeks *fouling* dari semua sampel menunjukkan indeks yang rendah dan relatif sama karena setiap sampel memiliki nilai *base acid ratio* yang rendah dan relatif seragam serta kandungan Na₂O yang relatif seragam pula sehingga semua sampel memiliki nilai indeks *fouling* yang relatif sama. Nilai indeks ini menjadi salah satu acuan dalam penentuan batubara yang aman.



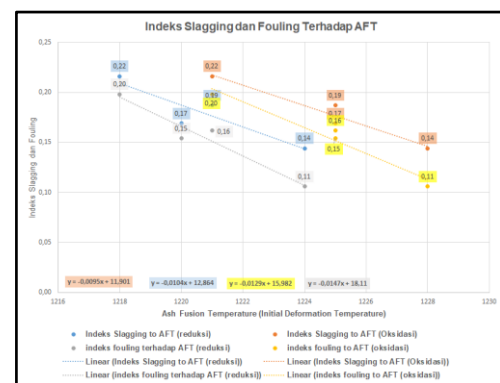
Gambar 2. Perbandingan Indeks *Slagging* dan Indeks *Fouling*

Pada metode *Babcock and Wilcox* didapatkan nilai indeks yang didasarkan oleh kandungan-kandungan abu batubara yang digunakan (untuk tipe abu bituminus). Meskipun nilai indeks *slagging* dan *fouling* yang dihasilkan pada metode *Babcock and Wilcox* termasuk kategori rendah, bukan berarti terbebas dari *slagging* sepenuhnya tetapi memang kemungkinan terbentuknya *slagging* dan *fouling* paling kecil di antara nilai indeks lainnya. Sementara pada pembahasan potensi *slagging* dan *fouling* berdasarkan nilai AFT pun berada pada potensi yang rendah. Namun tergantung oleh perlakuan panas yang diberikan pada pembakaran di dalam *gasifier*. Suhu di dalam *gasifier* harus selalu dijaga berada di suhu ideal supaya tidak terjadi *slagging* dan *fouling*.

Selain dari faktor karakteristik abu batubara, alat gasifikasi yang digunakan untuk penelitian masih dalam status *prototype*, sehingga suplai udara untuk pembakaran masih tidak tetap seperti sering dibuka tutupnya lubang *feeder* untuk memasukan batubara yang akan menyebabkan suplai udara berlebih sehingga akan menciptakan panas dalam *gasifier* yang berlebih. Hal-hal tersebut dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya *slagging* dan *fouling* karena dapat menciptakan suhu pembakaran di atas

suhu ideal. Endapan *Slagging* ini dapat terbentuk dalam berbagai macam ukuran, ukuran yang lebih besar dari *grate shaker* (saringan bawah *gasifier*) akan menghambat pengeluaran abu dalam *gasifier*.

Grafik hubungan indeks *fouling* dan indeks *slagging* terhadap AFT dapat diketahui bahwa nilai indeks berbanding terbalik terhadap nilai AFT, artinya semakin rendah nilai indeks maka semakin tinggi nilai AFT. Dari pernyataan tersebut didapatkan bahwa semakin rendah nilai indeks *slagging* dan indeks *fouling* maka akan semakin kecil kemungkinan *slagging* dan *fouling* terbentuk sama halnya dengan nilai AFT yang semakin tinggi akan menyebabkan kemungkinan pembentukan *slagging* dan *fouling* semakin kecil, tidak terlepas dari faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukannya yaitu kandungan senyawa/unsur yang ada di dalam abu batubara terutama Na_2O , CaO , K_2O , dan Fe_2O_3 .



Gambar 3. Grafik Perbandingan Indeks *Slagging* dan Indeks *Fouling* Terhadap AFT

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian laboratorium, didapatkan nilai AFT untuk sampel berkisar

antara 1.218°C - 1.282°C (kondisi reduksi) dan 1.221°C - 1.310°C (kondisi oksidasi). Nilai-nilai tersebut berada di atas suhu ideal di dalam *gasifier* pada saat pembakaran batubara, yang artinya bernilai aman dan kecil kemungkinan untuk terjadi *slagging* dan *fouling*. Secara ideal zona reduksi dan zona oksidasi pada *gasifier* masing-masing memiliki suhu pembakaran sebesar 900°C dan 1.100°C sehingga tidak mungkin terjadi *slagging* pada suhu tersebut. Keadaan di lapangan bisa ada kemungkinan terjadinya peningkatan suhu *gasifier* karena beberapa sebab sehingga melampaui nilai AFT nya.

2. Nilai indeks *slagging* (Rs) untuk sampel uji berkisar antara 0,14 – 0,22 dan indeks *fouling* (Rf) untuk sampel uji berkisar antara 0,11 – 0,20. Nilai indeks yang rendah disebabkan karena nilai *base acid ratio* yang rendah serta unsur S yang rendah untuk indeks *slagging* dan senyawa Na₂O yang rendah untuk indeks *fouling*, karena berada dibawah nilai 0,6 untuk indeks *slagging* dan dibawah 0,20 untuk indeks *fouling*. Nilai-nilai tersebut menyatakan bahwa batubara yang digunakan untuk kegiatan gasifikasi dengan karakteristik yang telah dibahas dinilai aman dan memiliki kemungkinan yang rendah dalam terbentuknya *slagging* dan *fouling* dinilai berdasarkan masing-masing nilai indeksnya. Indeks yang rendah bukan berarti tidak akan terjadi *slagging* dan *fouling* sama sekali, namun kesempatan untuk terbentuknya dinilai rendah.

E. Saran

Ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan bagi instansi dari hasil penelitian yang dilakukan, peneliti memiliki saran sebagai berikut:

1. Untuk menghindari porsi udara berlebih yang masuk ke dalam *gasifier* selama proses pembakaran dalam memasukkan umpan sebaiknya dilengkapi dengan hopper yang memiliki *rotary valve* sehingga sebelum batubara dimasukkan ke *gasifier*, batubara ditahan terlebih dahulu di dalam *hopper*, ketika *valve* antara *hopper* dan *gasifier* dibuka lubang *hopper* dapat ditutup sehingga mengisolasi udara yang masuk ke dalam *gasifier*.
2. Ukuran *mesh grate shaker* perlu diperbesar sehingga abu batubara atau arang hasil pembakaran dalam *gasifier* dapat turun dengan mudah tanpa harus mengeluarkannya secara manual dengan menggunakan tongkat.
3. Mekanisme pergerakan bandul eksentrik yang harus diperkuat lagi sehingga dapat menggerakkan *grate shaker* untuk mengeluarkan abu sisa pembakaran.
4. Untuk *maintenance* dari *slagging* yang terbentuk, sebaiknya disediakan *hand hole* supaya mempermudah cara untuk mengeluarkan *slagging*. Begitu juga dari *fouling*, pada periode tertentu pasti akan terjadi akumulasi *fouling* pada pipa penghantar gas yang berarti harus dibersihkan namun dengan cara yang efisien dan ekonomis untuk *gasifier* yang digunakan secara massal terutama pada industri-industri menengah.
5. Peralatan dan instrumentasi

untuk kegiatan gasifikasi diharapkan lebih dilengkapi seperti pengukur suhu, *flow meter*, dan yang lainnya sehingga data-data proses gasifikasi dapat diketahui secara *real time* sehingga dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai parameter yang sesuai untuk proses gasifikasi. Selain dari data mekanis alat, dapat diteliti pula kemungkinan terjadinya *slagging* dan *fouling* dari parameter HGI batubara dan ukuran umpan batubara yang dimasukkan ke dalam *gasifier*.

6. Sebaiknya diadakan penelitian lain mengenai hasil dan komposisi gas yang dihasilkan *gasifier* pada saat kondisi pembakaran mencapai ideal dan pada saat kondisi pembakaran tidak ideal, apakah akan mempengaruhi kondisi gas yang dihasilkan atau masih menghasilkan gas yang masih sesuai dengan kebutuhan pembakaran.

Daftar Pustaka

- Amaliyah, Novriany. 2011. Analisis Komposisi Batubara Mutu Rendah Terhadap Pembentukan Slagging dan Fouling Pada Boiler. Universitas Hasanuddin.
- Ayu, Winda, 2015. Analisa Pembentukan Slagging dan Fouling Pembakaran Batubara pada Boiler B 0201b Pabrik 3 Unit Unn di PT Pertrokimia Gresik. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Childress, J. *Repowering Conventional Coal Plants with Texaco Gasification: The Environmental & Economic Solution*. Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2000.
- Ega Putra, Satria. 2018. Analisis Komposisi Abu Batubara Terhadap Kemungkinan Pembentukan Slagging dan Fouling Index pada PLTU. Universitas Islam Bandung.
- JJ, Kim. 2001. Gasification Kinetics of an Indonesian Sub-Bituminous Coal-Char with CO₂ at Elevated Pressure. Atc Course Material.
- Kasim, Hasni. 2000. Studi Titik Leleh Abu Batubara untuk Tiga Komponen Oksida. Master Thesis Teknik Pertambangan ITB.
- Marwadi, Aji. Pengaruh Kandungan Abu Batubara Terhadap Pembakaran dan Potensi Pembentukan Slagging dan Fouling Berdasarkan Abu Dasar pada PT Kemasan Cipta Nusantara di Kimia Makasar. UPN. Yogyakarta.
- Patryk, Piotr. 2013. The Development of A Slagging and Fouling Predictive Methodology for Large Scale Pulverised Boilers Fired with Coal/Biomass Blends. Cardiff University, UK.
- Saputra, Rudy. 2018. Boiler Technology for Indonesia Low Rank Coal Slagging and Fouling Phenomena of Indonesia Low Rank Coal. Puslitbang tekMira Bandung.
- Tewacky, Perry. 1981. Coal Gasification Processes. Noyes Data Corporation, New Jersey, USA.
- Ward, Colin, 1984, **Coal Geology and Coal Technology**, Backwell Scientific Publication.