

Pengaruh Penambahan Cangkang Biji Jambu Mete Pada Bahan Bakar Ketel Uap Terhadap Pembentukan Slagging Dan Fouling (Effect Of Addition Of Cashew Nut Shell In Boiler Fuel On The Formation Of Slagging And Fouling)

Johannes Leonard

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Perintis Kemerdekaan Km.10, Makassar 90225, Indonesia
e-mail : johannesleonard55@yahoo.com

Abstrak

Untuk mempelajari fenomena pengaruh penambahan cangkang biji jambu mete pada bahan bakar ketel uap terhadap pembentukan slagging dan fouling, maka suatu penelitian tentang masalah ini telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan cangkang biji jambu mete tersebut penggunaan batubara lignit dengan kadar sulfur diatas 1,8% terhadap efek slagging dan fouling pada ketel uap pipa api di PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar.

Pengujian dilakukan dengan variasi penggunaan bahan bakar dan kondisi ketel uap pipa api yaitu pencampuran 60% batubara lignit dengan 40% cangkang biji jambu mete pada kondisi ketel uap pipa api sebelum dibersihkan, batubara lignit pada kondisi ketel uap pipa api sebelum dibersihkan dan batubara lignit pada kondisi ketel uap pipa api setelah dibersihkan. Pada ketiga kondisi ini diambil data analisis proximate dari temperatur pembakaran dan temperatur gas keluar ruang bakar. Selain itu, hasil analisis kadar abu. Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks slagging dan fouling.

Dari kondisi percobaan yang dilakukan, terlihat bahwa dengan memakai bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete telah mendekati dengan kondisi standar temperatur pembakaran yaitu 1543°C. Sementara untuk temperatur keluar ruang bakar yang mendekati persyaratan, yaitu sebesar 838°C. Demikian pula, temperatur gas keluar pipa api sebelum ketel uap dibersihkan lebih rendah dibanding dengan temperatur gas keluar pipa api bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan memakai batubara lignit dengan kadar sulfur diatas 1,8% dihasilkan indeks slagging 1,42 namun bila memakai campuran 60% batubara lignit kadar sulfur diatas 1,8% dan 40% cangkang biji jambu mete dihasilkan indeks slagging 0,86. Sedangkan untuk indeks fouling Na_2O 0,34% menjadi indeks fouling Na_2O 0,05%. Disimpulkan bahwa campuran bahan bakar 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete ini dapat menurunkan potensi terbentuknya slagging dan fouling.

Kata kunci : batubara lignit, cangkang biji jambu mete, ketel uap pipa api, slagging, fouling.

Pendahuluan

Pada zona pembakaran dengan temperatur tinggi terjadi oksidasi dan reduksi yang kuat sehingga mineral-mineral yang terkandung di dalam ash bereaksi satu sama lain serta bereaksi dengan kandungan organik dan anorganik batubara serta dengan gas-gas hasil pembakaran seperti SO_2 . Senyawa-senyawa yang terbentuk oleh interaksi material-material inilah yang menyebabkan permasalahan deposit.

Slagging adalah fenomena menempelnya lelehan partikel abu pada dinding ruang bakar akibat terdekomposisinya senyawa alkali (ash content) yang terkandung di dalam batubara pada temperatur ruang

bakar yang lebih tinggi dari temperatur leleh abu. Sedangkan, fouling adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu terbang (fly ash) yang terbawa pada gas hasil pembakaran pada bagian dalam pipa api akibat adanya penurunan temperatur.

Salah satu permasalahan dalam pemakaian batubara lignit ini adalah tingginya kadar Sulfur yang melebihi standar yang dipersyaratkan dari tipe ketel uap yang digunakan di PT. Indofood CBP Sukses Makmur Tbk, Cabang Makassar yaitu maksimum 1,8%¹⁾. Tingginya kadar Sulfur ini dapat menimbulkan slagging pada ruang bakar dan fouling pada pipa api ketel uap yang dapat menghambat proses perpindahan panas²⁾. Pada penelitian ini ingin dianalisa proses penggunaan batubara lignit serta bila

60% batubara lignit dicampur dengan 40% cangkang biji jambu mete terhadap efek slagging dan fouling pada ketel uap pipa api PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar. Melalui penelitian ini, pihak industri dapat mengetahui seberapa besar prestasi kerja ketel pipa api agar dapat diaplikasikan guna dapat memaksimalkan penggunaannya

Metoda Eksperimen dan Fasilitas Yang Digunakan

Studi eksperimental ini dilakukan dengan variasi penggunaan bahan bakar dan kondisi ketel uap pipa api yaitu pencampuran 60% batubara lignit dengan 40% cangkang biji jambu mete pada kondisi ketel uap pipa api sebelum dibersihkan, batubara lignit pada kondisi ketel uap pipa api sebelum dibersihkan dan batubara lignit pada kondisi ketel uap pipa api setelah dibersihkan. Pada ketiga kondisi ini diambil data analisa aproksimat, temperatur keluar pipa api.

Bahan bakar yang digunakan oleh ketel uap adalah batubara lignit dari Kecamatan Mallawa Kabupaten Bone Sulawesi Selatan sedangkan cangkang biji jambu mete dari Kabupaten Bone Sulawesi selatan³⁾. Sebelum dipakai pada proses pembakaran di ketel uap, batubara ini diuji terlebih dahulu di Sucofindo Makassar. Batubara ini termasuk dalam klasifikasi batubara lignit karena kandungan Fixed Karbon yang rendah sekitar 37.1 % wt, dan Nilai Kalor Atas (Gross Calorific Value) adalah 6.239 kcal/kg.

Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di bagian utilitas Departemen Teknik PT. Indofood CBP, Tbk Cabang Makassar. Jenis penelitian yang digunakan adalah studi eksperimental dengan variasi bahan bakar.

Metode Pengambilan Data

Pengolahan data menganalisis potensi terjadinya slagging dan fouling pada ketel uap pipa api bila menggunakan bahan bakar batubara lignit dan bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete. Partikel abu pada batubara merupakan sumber deposit atau endapan pada permukaan dinding bagian-bagian ketel uap yang menghalangi proses perpindahan panas pada ketel uap. Endapan yang terbentuk dari abu ini bisa terbagi dua, yaitu slagging dan fouling. Potensi slagging dan potensi fouling, selanjutnya ditentukan berdasarkan indeks masing-masing. Indeks-indeks ini dibandingkan pada bahan bakar sebelum dan sesudah pencampuran cangkang jambu mete.

Hasil dan Pembahasan

Klasifikasi ash batubara yang digunakan adalah ash bituminous karena :

$$Fe_2O_3 > CaO + MgO$$

$$24,50\% > 3,48\% + 1,32\%$$

$$24,50\% > 4,80\%$$

Data analisis ash/abu cangkang biji jambu mete adalah ash lignit karena :

$$Fe_2O_3 < CaO + MgO$$

$$3,99\% < 25,64\% + 1,88\%$$

$$3,99\% < 27,54\%$$

Perhitungan indeks slagging dan fouling

Menggunakan analisa kandungan abu dan proximate bahan bakar, maka didapatkan nilai indeks slagging dan fouling pada masing-masing kondisi ketel uap pipa api. Salah satu cara untuk memprediksi potensi terjadinya slagging yaitu berdasarkan perhitungan dasar rasio asam dan persen berat pada dry basis dari Sulfur dalam batubara seperti cara berikut :

$$\begin{aligned} B &= CaO + MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O \\ &= 3,48 + 1,32 + 24,50 + 0,34 + 1,10 \\ &= 30,74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2 \\ &= 41,07 + 25,27 + 0,97 \\ &= 67,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{Persentase berat Sulfur pada dry basis batubara} \\ &= 3,10 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai indeks slagging untuk ash lignite :

$$R_s = \left(\frac{B}{A} \right) \times S$$

$$R_s = \left(\frac{30,74}{67,31} \right) \times 3,10\% = 1,42\%$$

Karena nilai R_s yang didapat berada di dalam range $0,6 < R_s < 2,0$ maka potensi terjadinya slagging bila memakai bahan bakar batubara dikategorikan sedang.

Untuk mengetahui potensi terbentuknya slagging bila memakai bahan bakar campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete, maka perhitungan komposisi abu diporsikan sesuai dengan persentasi pemakaian bahan bakar.

Berikut perhitungan indeks slagging di ketel uap pipa api bila menggunakan campuran bahan

bakar 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete :

$$\begin{aligned}
 B &= (60\% \text{ CaO batubara} + 40\% \text{ CaO cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ MgO batubara} + 40\% \text{ MgO cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ batubara} + 40\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ Na}_2\text{O batubara} + 40\% \text{ Na}_2\text{O cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ K}_2\text{O batubara} + 40\% \text{ K}_2\text{O cangkang biji jambu mete}) \\
 &= (60\% \times 3,48 + 40\% \times 25,64) + (60\% \times 1,32 + 40\% \times 1,88) + \\
 &\quad (60\% \times 24,50 + 40\% \times 3,9) + (60\% \times 0,34 + 40\% \times 0,65) + \\
 &\quad (60\% \times 1,10 + 40\% \times 0) \\
 &= 31,27
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= (60\% \text{ SiO}_2 \text{ batubara} + 40\% \text{ SiO}_2 \text{ cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ batubara} + 40\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ cangkang biji jambu mete}) + \\
 &\quad (60\% \text{ TiO}_2 \text{ batubara} + 40\% \text{ TiO}_2 \text{ cangkang biji jambu mete}) \\
 &= (60\% \times 41,07 + 40\% \times 61,83) + (60\% \times 25,27 + 40\% \times 1,99) + \\
 &\quad (60\% \times 0,97 + 40\% \times 4,02) \\
 &= 67,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= (60\% \text{ Persentase berat Sulfur pada dry basis batubara} + \\
 &\quad 40\% \text{ Persentase berat Sulfur pada dry basis cangkang biji jambu mete}) \\
 &= (60\% \times 3,10 + 40\% \times 0) \\
 &= 1,86
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai indeks slagging untuk ash lignit :

$$R_s = \left(\frac{B}{A} \right) \times S$$

$$R_s = \left(\frac{31,27}{67,52} \right) \times 1,86\% = 0,86\%$$

Karena nilai R_s yang didapat berada di dalam range $0,6 < R_s < 2,0$ maka potensi terjadinya slagging untuk pemakaian bahan bakar 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete dikategorikan sedang.

Salah satu cara untuk memprediksi potensi terjadinya fouling yaitu berdasarkan kandungan Sodium/Natrium dalam ash bahan bakar seperti cara berikut :

$$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 < 20\%$$

$$3,48\% + 1,32\% + 24,50\% < 20\%$$

$$29,30\% > 20\%$$

Jika $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$, maka untuk $\text{Na}_2\text{O} = 0,34\%$ berarti :

$\text{Na}_2\text{O} < 3$, maka potensi fouling bila menggunakan bahan bakar batubara dikategorikan rendah-sedang.

Untuk mengetahui potensi terbentuknya fouling bila memakai bahan bakar campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete, maka perhitungan komposisi abu diporsikan sesuai dengan persentasi pemakaian bahan bakar. Berikut perhitungan indeks fouling di ketel uap pipa api bila menggunakan campuran bahan bakar 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete :

Indeks fouling bila pemakaian bahan bakar 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete

$$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$$

$$(60\% \text{ CaO batubara} + 40\% \text{ CaO cangkang biji jambu mete}) +$$

$$(60\% \text{ MgO batubara} + 40\% \text{ MgO cangkang biji jambu mete}) +$$

$$(60\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ batubara} + 40\% \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ cangkang biji jambu mete}) > 20\%$$

$$(60\% \times 3,48 + 40\% \times 25,64) + (60\% \times 1,32 + 40\% \times 1,88) +$$

$$(60\% \times 24,50 + 40\% \times 3,9) > 20\%$$

$$30,15 > 20\%$$

$$\text{Na}_2\text{O} = (60\% \text{ Na}_2\text{O batubara} + 40\% \text{ Na}_2\text{O cangkang biji jambu mete})$$

$$= (60\% \times 0,34 + 40\% \times 0,65)$$

$$= 0,05$$

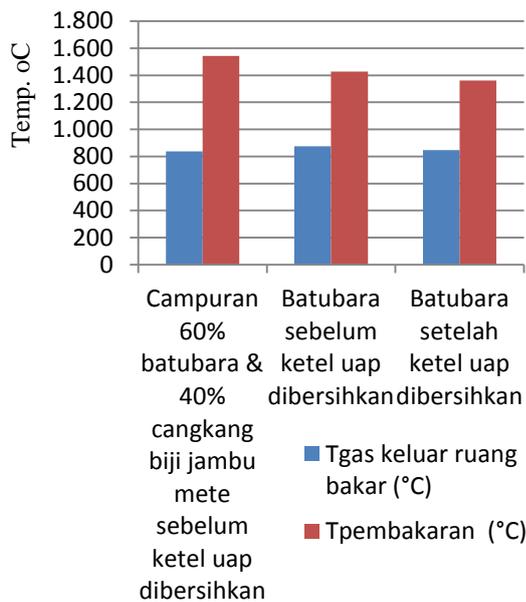
Jika $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 20\%$, maka untuk $\text{Na}_2\text{O} = 0,05\%$ berarti :

$\text{Na}_2\text{O} < 3$, maka potensi fouling untuk pemakaian bahan bakar campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete dikategorikan rendah-sedang.

Menganalisa pengaruh slagging dan fouling

Dari gambar 1 terlihat bahwa pada kondisi slagging sebelum dibersihkan, temperatur pembakaran di ruang bakar bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% lebih tinggi dibanding

dengan temperatur pembakaran bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit (temperatur pembakaran bila menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete 1.543°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 1.427°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 1.360°C). Hal ini terjadi karena cangkang biji jambu mete memiliki komposisi nilai volatiles matter/zat terbang lebih tinggi dan kandungan abu lebih rendah dibanding batubara lignit ⁴⁾.



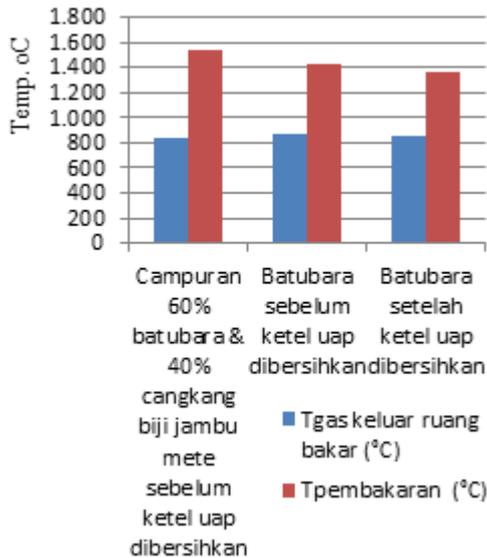
Gambar 1. Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap temperatur pembakaran dan temperatur gas keluar ruang bakar

Dari gambar 1 terlihat bahwa pada kondisi slagging sebelum dibersihkan, temperatur pembakaran di ruang bakar bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% lebih tinggi dibanding dengan temperatur pembakaran bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit (temperatur pembakaran bila menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete 1.543°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 1.427°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 1.360°C). Hal ini terjadi karena cangkang biji jambu mete memiliki komposisi nilai volatiles matter/zat terbang lebih tinggi dibanding batubara

lignit (volatiles matter cangkang biji jambu mete $68,03\%$ sedangkan batubara lignite $42,80\%$ dan $42,10\%$) serta cangkang biji jambu mete memiliki ash content/kandungan abu lebih rendah dibanding batubara lignite (ash content cangkang biji jambu mete 2% dan ash content batubara lignit $10,90\%$) walaupun nilai kalor /HHV batubara lignit lebih tinggi dari cangkang biji jambu mete (HHV batubara lignit berkisar 26.121 kJ/kg dan 26.026 kJ/kg sedangkan HHV cangkang biji jambu mete 9.101 Btu/lb). Volatile matter membantu perambatan api menuju batubara, dimana campuran volatile matter dan udara pembakaran menambah keturbulenan gas dan akan turun menuju batubara yang akan dibakar serta menambah efek pembakaran di atas chain grate sehingga menaikkan atau menambah temperatur pembakaran. Tingginya nilai ash content menghambat udara pembakaran untuk mencapai/membakar carbon sehingga tidak semua carbon bisa diubah menjadi CO_2 , hal ini menurunkan nilai kalor pembakaran sehingga menurunkan nilai temperatur pembakaran ⁶⁾.

Temperatur gas keluar ruang bakar bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum dibersihkan lebih rendah dibanding dengan temperatur pembakaran bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit sebelum dibersihkan (temperatur gas keluar ruang bakar bila menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum dibersihkan 838°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 875°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 846°C), hal ini terjadi karena indeks slagging pada ketel uap bila menggunakan bahan bakar batubara lignit bernilai lebih tinggi dibandingkan indeks slagging bila ketel menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete (indeks slagging bila bahan bakar menggunakan batubara $1,42\%$ dan indeks slagging bila menggunakan campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum dibersihkan $0,86\%$). Karena indeks slagging pada ketel uap bila menggunakan bahan bakar batubara lebih tinggi maka transfer panas radiasi dari ruang bakar tidak begitu banyak yang tertransfer ke sisi air sehingga temperatur keluar dapur masih cukup tinggi, namun pada kondisi ketel uap setelah dibersihkan indeks slagging ini tidak terlalu berpengaruh, namun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan bila menggunakan bahan bakar menggunakan campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete.

Temperatur gas keluar pipa api merupakan indikasi dari adanya fouling pada pipa, hubungan kondisi ketel uap terhadap temperatur gas keluar pipa api ditunjukkan pada gambar 2 berikut :



Gambar 2. Grafik hubungan kondisi ketel uap terhadap temperatur gas keluar pipa api

Dari gambar 2 terlihat bahwa temperatur gas keluar pipa api bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum ketel uap dibersihkan lebih rendah dibanding dengan temperatur gas keluar pipa api bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit (temperatur gas keluar pipa api bila menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum dibersihkan 208°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 270°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 171°C), hal ini terjadi karena indeks fouling pada ketel uap bila menggunakan bahan bakar batubara lignit bernilai lebih tinggi dibandingkan indeks slagging bila ketel menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete (indeks fouling bila bahan bakar menggunakan batubara adalah Na_2O 0,34% dan indeks fouling bila menggunakan campuran 60% batubara dan 40% cangkang biji jambu mete adalah Na_2O 0,05%). Karena indeks fouling pada ketel uap bila menggunakan bahan bakar batubara lebih tinggi maka transfer panas dari gas didalam pipa api ke sisi air terhambat karena adanya fouling, namun pada kondisi ketel uap setelah dibersihkan indeks fouling ini tidak terlalu berpengaruh.

Temperatur gas keluar ruang bakar bila menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum dibersihkan 838°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 875°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 846°C). Hal ini terjadi karena indeks slagging pada ketel uap bila menggunakan bahan bakar batubara lebih tinggi sehingga transfer panas radiasi dari ruang bakar tidak begitu banyak yang tertransfer ke sisi air.

Dari kondisi yang telah dijelaskan, terlihat bahwa dengan memakai bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete telah mendekati dengan kondisi standar yang diberikan dari pihak pembuat ketel uap (ALSTOM), dimana temperatur pembakaran yang dipersyaratkan oleh ALSTOM adalah 1600°C sedangkan temperatur pembakaran campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete adalah 1543°C sementara untuk temperatur keluar ruang bakar yang dipersyaratkan oleh ALSTOM adalah 800°C⁵⁾, sedangkan temperatur pembakaran campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete adalah 838°C.

Dari gambar 2 terlihat bahwa temperatur gas keluar pipa api bila menggunakan campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete sebelum ketel uap dibersihkan lebih rendah dibanding dengan temperatur gas keluar pipa api bila hanya menggunakan bahan bakar batubara lignit adalah 208°C dan temperatur pembakaran bila menggunakan batubara lignit sebelum dibersihkan adalah 270°C dan bila menggunakan batubara lignit setelah dibersihkan adalah 171°C).





Gambar 3. kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar campuran 60% batubara lignit dan 40% cangkang biji jambu mete

Pada kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit Pengaruh indeks slagging mempengaruhi $T_{\text{pembakaran}}$, $T_{\text{gas keluar}}$ ruang bakar, efisiensi ketel dan laju alir uap/steam sedangkan indeks fouling mempengaruhi T_{keluar} pipa api, efisiensi ketel dan laju alir uap/steam. Untuk kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara terlihat pada gambar 3 dan gambar 4 berikut:



Gambar 4. kondisi ketel uap sebelum dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit

Selanjutnya, gambar 5 menunjukkan kondisi ketel uap setelah dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit.



Gambar 5. kondisi ketel uap setelah dibersihkan menggunakan bahan bakar batubara lignit

Kesimpulan

Dengan memakai batubara lignit dengan kadar sulfur diatas 1,8% dihasilkan indeks slagging 1,42 namun bila memakai campuran 60% batubara lignit kadar sulfur diatas 1,8% dan 40% cangkang biji jambu mete dihasilkan indeks slagging 0,86. Dengan memakai batubara lignit dengan kadar sulfur diatas 1,8% dihasilkan indeks fouling Na_2O 0,34% namun bila memakai campuran 60% batubara lignit kadar sulfur diatas 1,8% dan 40% cangkang biji jambu mete dihasilkan indeks fouling Na_2O 0,05%.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Saudari Novarini, selaku mahasiswi bimbingan tesis kami dalam pengambilan data hasil penelitian.

Referensi

- 1.Nierop V.G. (2002). *Thompson Afripac Coal Fired Boiler Operating & Maintenance Manual*. South Africa. Alstom John Thompson (Pty) Limited.
- 2.Belkin H.E; Tewalt S.J.(2010). *Geochemistry of Selected Coal Samples from Sumatera, Kalimantan, Sulawesi and Papua, Indonesia*. Balcanica. Science for a charging word.

3. Gondosari, Irwan. and Rumawan, Yoseph. (2009). *Training Coal Boiler*. Jakarta. HO Manufacturing PT. Indoofood Sukses Makmur.
4. Risfahri. (2004). *Pemisahan Kardanol Dari Minyak Kulit Biji Mete Dengan Metode Destilasi Vakum*. Bogor. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian Institut Pertanian Bogor.
5. Kitto J.B; C, Stevan; Stultz. (2005). *Steam*. Ohio USA. The Babcock and Wilcox Company Barbeton.
6. JU R.S; Ahamed; Masjuki H.H. (2010). *Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers*. Kuala Lumpur Malaysia. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya.