

EVALUASI HEAT EXCHANGER DAN BOILER DI PT SALIM IVOMAS PRATAMA REFINERY UNIT SURABAYA

Dwi Satriyo Widodo^{1*}, Raden Darmawan², Migel Aldila³

¹Program Profesi Insinyur, Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Kampus ITS Sukolilo, 60111

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Kampus ITS Sukolilo, 60111

³PT Pertamina Hulu Rokan, Regional 1 Sumatera, Jakarta, 12930

*Corresponding Author: widododwisatriyo@gmail.com

Abstrak

Pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) pada PT Salim Ivomas Pratama Refinery Unit Surabaya merupakan proses pemurnian CPO menjadi *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) yang dibagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu proses *Degumming*, *Bleaching* dan proses *Deodorizing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja *heat exchanger* E001, E701, E702, E703, dan *Boiler* 3, menggunakan data *logsheet* harian dalam rentang periode Juli hingga September 2023. Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas rata-rata *heat exchanger* E001, E701, E702 dan E703 sebesar 63,41%, 76,05%, 90,09%, dan 70,13%. Nilai *fouling factor* rata-rata E001, E701, E702 dan E703 sebesar 0,00062 m²K/W, 0,00065 m²K/W, -0,0237 ft².°F/Btu, dan 0,00292 ft².°F/Btu dengan nilai toleransi untuk *heat exchanger* E001 dan E701 sebesar 0,0005 m²K/W, sedangkan untuk E702 dan E703 sebesar 0,003 ft².°F/Btu sehingga diperlukan proses pembersihan pada *heat exchanger* E001 dan E701. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi boiler 3 menggunakan metode langsung dalam rentang periode Juli hingga September sebesar 74,16%, 79,97%, dan 79,17% sedangkan menggunakan metode tidak langsung sebesar 84,74%, 84,84%, dan 84,74%. *Heat loss* terbesar pada metode tidak langsung berasal dari *heat loss* dalam *flue gas* dengan rata-rata sebesar 10,80%.

Kata kunci: Heat exchanger, boiler, efektivitas, fouling factor, efisiensi.

Abstract

Crude Palm Oil (CPO) processing at PT Salim Ivomas Pratama Refinery Unit Surabaya is a process of refining CPO into Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) which is divided into 3 main stages, namely Degumming, Bleaching and Deodorizing processes. The purpose of this report is to evaluate the performance of heat exchangers E001, E701, E702, E703, and Boiler 3, using daily logsheet data in the period from July to September 2023. Based on the calculation results, the average effectiveness of heat exchangers E001, E701, E702 and E703 is 63.41%, 76.05%, 90.09%, and 70.13%. The average fouling factor value of E001, E701, E702 and E703 is 0.00062 m²K/W, 0.00065 m²K/W, -0.0237 ft².°F/Btu, and 0.00292 ft².°F/Btu with a tolerance value for heat exchangers E001 and E701 of 0.0005 m²K/W, while for E702 and E703 it is 0.003 ft².°F/Btu so that the cleaning process is needed at heat exchangers E001 and E701. Based on the results of the calculation of boiler 3 efficiency using the direct method in the July to September period of 74.16%, 79.97%, and 79.17% while using the indirect method of 84.74%, 84.84%, and 84.74%. The largest heat loss in the indirect method comes from heat loss in the flue gas with an average of 10.80%.

Keywords: Heat exchanger, boiler, effectiveness, fouling factor, efficiency.

PENDAHULUAN

PT Salim Ivomas Pratama Tbk merupakan grup perusahaan agribisnis yang terintegrasi secara vertikal di Indonesia dengan produk minyak goreng, margarin, dan *shortening*. Pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan proses pemurnian yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor dan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan. Proses pengolahan CPO menjadi *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) dibagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu proses *degumming* untuk menghilangkan getah (*gum*) dengan penambahan asam fosfat, proses *bleaching* (pemucatan) yang bertujuan untuk mengurangi zat warna dengan penambahan *bleaching earth* yang berperan sebagai adsorben, dan proses *deodorizing* bertujuan untuk menghilangkan rasa, bau, dan asam lemak bebas dalam minyak (Ayustaningwarno, 2012).

Proses pengolahan CPO berkaitan erat dengan *boiler* sebagai penyedia *steam* untuk kebutuhan proses sebagai media pemanas dan *Heat Exchanger* (HE) sebagai salah satu alat utama perpindahan panas. HE yang digunakan pada Refinery 2 terdiri *plate heat exchanger* (PHE) pada proses *degumming* dan *bleaching* serta dua buah *shell and tube heat exchanger* (STHE) proses *deodorizing*. PHE pada proses *degumming* E001 digunakan untuk menaikkan suhu CPO sebelum penambahan asam fosfat dan E701 untuk menaikkan suhu *Degummed Bleached Palm Oil* (DBPO) proses *bleaching*. *Shell and tube* E702 merupakan *economizer* yang memanfaatkan panas dari RBDPO untuk menaikkan suhu DBPO dan E703 digunakan untuk menaikkan DBPO sebelum masuk proses *deodorizing*. Kinerja HE sangat dipengaruhi oleh terbentuknya kerak pada permukaan kontak yang dapat menyebabkan menurunnya efektivitas alat. Efektivitas HE merupakan perbandingan laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimal pada alat HE (Cengel, 2006).

Boiler merupakan alat yang digunakan untuk mengubah air menjadi *steam* dengan panas yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batu bara, natural gas, dan minyak solar. *Steam* yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan proses seperti penggerak turbin, *cleaning*, automasi minyak, dan pemanasan atau pengeringan

bahan baku (Djokosetyardjo, 1999). Proses pengolahan diharapkan selalu berjalan dengan efisien, oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi berkala pada proses pengolahan CPO yang bertujuan untuk menjaga proses pengolahan dapat berjalan dengan efisien.

Evaluasi kinerja dilakukan pada HE E001, E701, E702, dan E703 dengan menentukan nilai efektivitas (ϵ) dan *fouling factor* menggunakan data *logsheet* harian dengan pengamatan tiap jam dalam periode bulan Juli hingga September yang terdiri dari data laju alir massa fluida dan suhu masuk serta keluar. Evaluasi *boiler* dilakukan pada *boiler* 3 menggunakan metode langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*) untuk menentukan nilai efisiensi. Dengan dilakukan evaluasi ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi perusahaan dan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan pengumpulan data spesifikasi *heat exchanger* dan *boiler* yang akan dievaluasi. Selanjutnya melakukan pengumpulan data pengamatan dengan observasi langsung dan wawancara secara langsung pekerja di Refinery 2 PT Salim Ivomas Pratama. Setelah data didapatkan diolah untuk evaluasi pada *heat exchanger* dan *boiler* lalu dibuat kesimpulan beserta saran. Berikut data pengamatan yang dibutuhkan.

Tabel 1. Data pengamatan *heat exchanger* dan *boiler*

Data Pengamatan	
<i>Heat exchanger</i>	<i>Boiler</i>
Laju alir massa fluida panas	Laju alir massa <i>steam</i>
Laju alir massa fluida dingin	Tekanan <i>Steam</i>
Suhu fluida panas masuk	Suhu <i>feed water</i>
Suhu fluida panas keluar	Laju alir <i>feed water</i>
Suhu fluida dingin masuk	Laju alir bahan bakar
Suhu fluida dingin keluar	Suhu gas buang
Data spesifikasi alat	Persentase gas O ₂ pada gas buang

Berikut metode perhitungan untuk perhitungan evaluasi HE dan boiler diantaranya:

1. Metode perhitungan PHE

Laju perpindahan panas (Kern, 1982)

$$Q = m \times C_p \times (T_{in} - T_{out}) \quad (1)$$

Log mean Temperature Difference (ΔT_{LMTD})

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hot\ in} - T_{cold\ out}) - (T_{hot\ out} - T_{cold\ in})}{\ln \left(\frac{T_{hot\ in} - T_{cold\ out}}{T_{hot\ out} - T_{cold\ in}} \right)} \quad (2)$$

Efektivitas

$$\varepsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{Max}} \times 100\% \quad (3)$$

$$Q_{Max} = C_{min} (T_{h\ in} - T_{cold\ in}) \quad (4)$$

$$C_{min} = m \times C_p \quad (5)$$

Fouling factor

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud} \quad (6)$$

2. Metode perhitungan STHE

Koefisien perpindahan panas pada shell dan tube

$$\frac{h_o}{\phi_s} = Jhs \frac{k_s}{D_s} \left(\frac{C_p \mu}{k_s} \right)^{1/3} \quad (7)$$

$$\frac{h_i}{\phi_r} = Jht \frac{k_r}{D_r} \left(\frac{C_p \mu}{k_r} \right)^{1/3} \quad (8)$$

Koefisien perpindahan panas bersih

$$Uc = \frac{h_{io} h_o}{h_{io} + h_o} \quad (9)$$

Koefisien perpindahan panas kotor

$$Ud = \frac{Q}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (10)$$

3. Metode perhitungan boiler

Metode langsung (*direct*)

$$\eta = \frac{Q \times (H - h)}{(q \times GCV)} \times 100\% \quad (11)$$

Metode tidak langsung (*indirect*)

$$\eta = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8) \quad (12)$$

$$L1 = \frac{m \times C_p \times (Tf - Ta)}{GCV} \times 100\% \quad (13)$$

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \times (584 + Cp(Tf - Ta))}{GCV} \times 100\% \quad (14)$$

$$L3 = \frac{M \times (584 + Cp(Tf - Ta))}{GCV} \times 100\% \quad (15)$$

$$L4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV} \times 100\% \quad (16)$$

$$L5 = \frac{\%CO \times C \times 5654}{(\%CO + \%CO_2) GCV} \times 100\% \quad (17)$$

$$L6 = 0,548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] + 1,957 \times \quad (18)$$

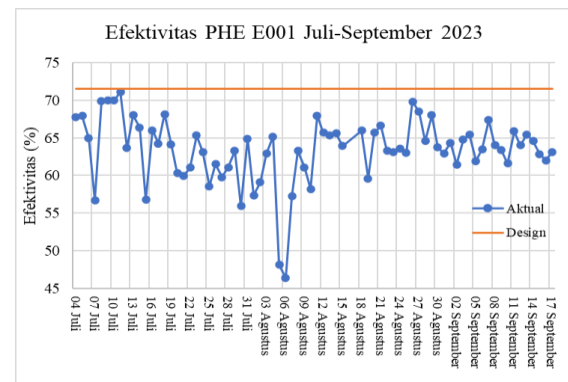
$$L7 = \frac{(T_s - T_a)^{1,25} \times \sqrt{\left[\frac{(196,85 \times V_m \times 68,9)}{68,9} \right]}}{\text{Total bottom ash} \times GCV \text{ bottom ash}} \times 100\% \quad (19)$$

$$L8 = \frac{\text{Total fly ash} \times GCV \text{ fly ash}}{\text{Total fuel burnt} \times GCV} \times 100\% \quad (20)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

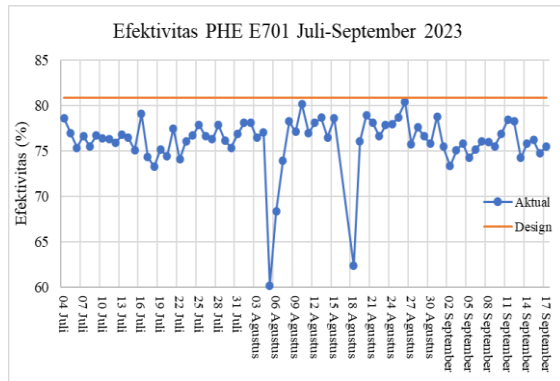
Evaluasi efektivitas PHE

PHE E001 digunakan untuk menaikkan suhu CPO sebelum proses *degumming* dengan memanfaatkan RBDPO sebagai fluida panas.



Gambar 1. Efektivitas PHE E001 Periode Juli-September 2023

Pada Gambar 1. menampilkan efektivitas PHE E001 selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai efektivitas aktual rata-rata pada bulan Juli, Agustus, dan September berturut-turut sebesar 63,95%, 61,90%, dan 64,30% dengan efektivitas desain 71,54%. Efektivitas E001 memiliki nilai fluktuatif yang disebabkan oleh perubahan kondisi operasi seperti suhu dan laju alir, sehingga menyebabkan perubahan laju perpindahan panas aktual. Efektivitas terendah terjadi pada tanggal 6 Agustus 2023 karena transisi bahan baku dari proses CPO menjadi stearin dengan perbedaan suhu antara fluida panas dan dingin memiliki nilai yang kecil, sehingga menurunkan laju perpindahan panas aktual.



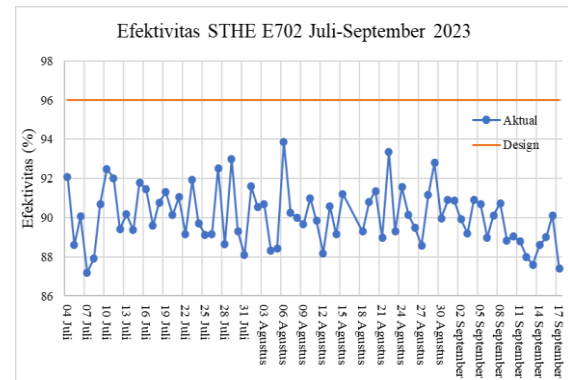
Gambar 2. Efektivitas PHE E701 Periode Juli-September 2023

PHE E701 digunakan untuk menaikkan suhu DBPO dari *bleacher tank* dengan menggunakan media pemanas *steam* sebelum proses *deodorizing*. Pada Gambar 2. menampilkan efektivitas PHE E701 selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai efektivitas aktual rata-rata selama periode bulan Juli, Agustus, dan September berturut-turut sebesar 76,20%, 75,80%, dan 75,97% dengan efektivitas desain 80,95%. Penurunan efektivitas HE pada tanggal 5 dan 18 Agustus 2023 terjadi karena peralihan bahan baku dari CPO menjadi stearin dan pada tanggal 18 Agustus merupakan awal proses produksi setelah Plant Refinery 2 berhenti produksi pada 17 Agustus. peralihan bahan baku CPO menjadi stearin pada tanggal 5 Agustus 2023 perbedaan suhu stearin sangat kecil sehingga memengaruhi laju perpindahan panas aktual dan pada tanggal 18 Agustus 2023 merupakan awal proses dengan laju alir yang masih rendah dan secara bertahap meningkat sehingga memberikan nilai efektivitas yang rendah.

Evaluasi efektivitas STHE

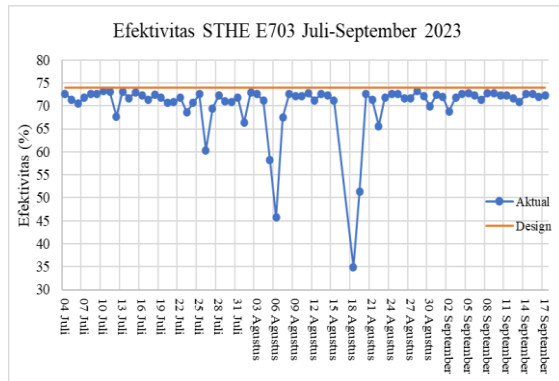
STHE *Economizer* E702 digunakan untuk menaikkan suhu DBPO sebelum tahap *deodorizing* dengan memanfaatkan RBDPO dari *deodorizer* sebagai media pemanas. Gambar 3. menampilkan efektivitas STHE E702 selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai efektivitas aktual rata-rata rata-rata selama periode bulan Juli, Agustus, dan September sebesar 90,17%, 90,28%, dan 89,31% dengan efektivitas desain 96%. Efektivitas E702 memiliki nilai fluktuatif yang disebabkan oleh perubahan kondisi operasi seperti suhu dan laju alir fluida karena

menyesuaikan target produksi. Nilai efektivitas dipengaruhi oleh perubahan suhu dan laju alir fluida yang menyebabkan perubahan laju perpindahan panas aktual. Nilai efektivitas terendah terjadi pada tanggal 7 Juli 2023 yang disebabkan oleh adanya *holding* proses karena adanya perbaikan.



Gambar 3. Efektivitas STHE E702 Periode Juli-September 2023

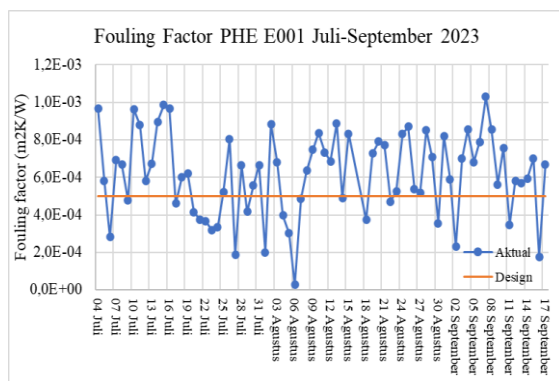
STHE E703 digunakan untuk menaikkan suhu DBPO sebelum masuk ke tahap *deodorizing* dengan media pemanas *steam* bertekanan tinggi dari *High Pressure Boiler* (HPB). Pada Gambar 4. menampilkan efektivitas STHE E703 selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai efektivitas aktual rata-rata selama periode bulan Juli, Agustus, dan September berturut-turut sebesar 71,12%, 66,89%, dan 71,91% dengan efektivitas desain 73,90%. STHE E703 memiliki beberapa penurunan efektivitas yang terjadi pada tanggal 26 Juli, 6 Agustus, dan 18 Agustus 2023. Pada tanggal 26 Juli penurunan efektivitas terjadi karena adanya *holding* proses untuk perbaikan pada HPB, pada tanggal 6 Agustus penurunan terjadi karena perubahan kondisi operasi suhu fluida yang lebih rendah saat peralihan dari proses CPO menjadi stearin, dan pada tanggal 18 Agustus penurunan terjadi karena kondisi operasi belum optimal saat awal proses produksi setelah *refinery* berhenti pada 17 Agustus 2023.



Gambar 4. Efektivitas STHE E703 Periode Juli-September 2023

Evaluasi *fouling factor* PHE

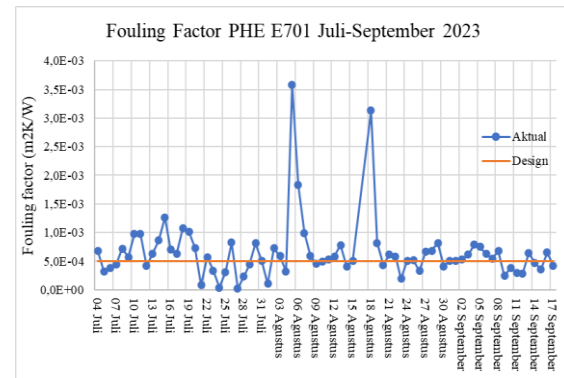
Nilai *fouling factor* dipengaruhi oleh perubahan kondisi operasi seperti laju alir dan suhu fluida. Penurunan laju alir dapat mengakibatkan penumpukan pengotor yang dapat membentuk lapisan kerak pada permukaan pelat. Penurunan suhu fluida dapat meningkatkan nilai viskositas sehingga pergerakan fluida lebih lambat di permukaan pelat dan meningkatkan risiko terbentuknya lapisan kerak. Berdasarkan hasil perhitungan PHE E001 memiliki nilai *fouling factor* fluktuatif ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Fouling factor* PHE E001 periode Juli-September 2023

Fouling factor rata-rata selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai sebesar 0,0006, 0,00061, dan 0,00063 m²K/W dengan nilai tertinggi pada tanggal 7 September 2023 yaitu sebesar 0,00103 m²K/W yang disebabkan oleh laju alir yang rendah dan nilai terendah terjadi pada tanggal 6 Agustus 2023 yaitu sebesar 0,00003 m²K/W yang disebabkan perubahan bahan baku proses dari CPO menjadi stearin. Menggunakan

pendekatan nilai toleransi *fouling factor* untuk fluida *vegetable oil* yang dimuat dalam (Cao, 2010) sebesar 0,0005 m²K/W maka PHE E001 perlu dilakukan *cleaning* pada PHE E001.

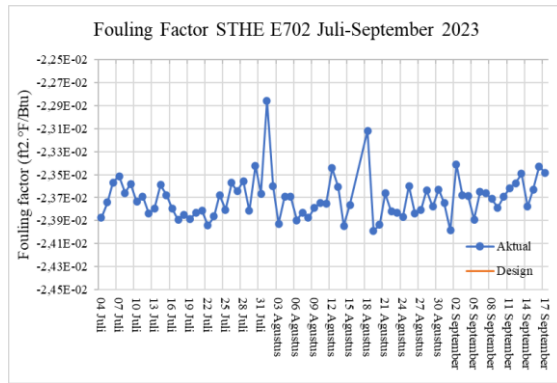


Gambar 6. *Fouling factor* PHE E701 periode Juli-September 2023

Berdasarkan hasil perhitungan PHE E701 memiliki nilai *fouling factor* fluktuatif ditunjukkan pada Gambar 6. *Fouling factor* rata-rata selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai sebesar 0,00059, 0,00086, dan 0,00054 m²K/W dengan Lonjakan nilai *fouling factor* yang terjadi pada tanggal 5 Agustus 2023 memiliki nilai sebesar 0,0036 m²K/W yang disebabkan oleh peralihan bahan baku proses CPO menjadi stearin dengan perbedaan suhu fluida stearin yang kecil, dan pada tanggal 18 Agustus 2023 memiliki nilai *fouling factor* sebesar 0,0031 m²K/W disebabkan laju alir dan suhu fluida optimal masih belum tercapai saat awal proses produksi setelah berhenti produksi pada 17 Agustus. Menggunakan pendekatan nilai toleransi *fouling factor* untuk fluida *vegetable oil* yang dimuat dalam Eduardo Cao,2010 sebesar 0,0005 m²K/W maka PHE E701 perlu dilakukan *cleaning* pada PHE E701.

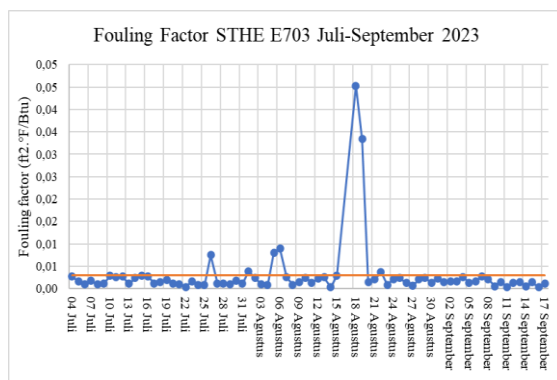
Evaluasi *fouling factor* STHE

Berdasarkan Gambar 7. *fouling factor* STHE E702 menggunakan metode perhitungan yang dimuat dalam Kern, 1982 memberikan nilai negatif. Hal ini disebabkan karena desain STHE E702 memiliki desain yang berbeda dengan STHE pada umumnya, sehingga nilai *fouling factor* hasil perhitungan pada STHE E702 tidak dapat dijadikan acuan untuk menentukan perlunya proses *cleaning*.



Gambar 7. Fouling factor STHE E702 periode Juli-September 2023

Berdasarkan hasil perhitungan STHE E703 memiliki nilai *fouling factor* fluktuatif ditunjukkan pada Gambar 8. *Fouling factor* rata-rata selama periode bulan Juli sampai September 2023 diperoleh nilai sebesar 0,00179, 0,00623, dan 0,00147 $\text{ft}^2 \cdot \text{°F}/\text{Btu}$ dengan nilai tertinggi pada tanggal 18 Agustus 2023 sebesar 0,0453 $\text{ft}^2 \cdot \text{°F}/\text{Btu}$, lonjakan nilai *fouling factor* disebabkan oleh kondisi operasi belum tercapai saat awal proses produksi setelah berhenti produksi pada 17 Agustus 2023. Menggunakan pendekatan nilai toleransi *fouling factor* untuk fluida *vegetable oil* yang dimuat dalam (Kern, 1982) sebesar 0,003 $\text{ft}^2 \cdot \text{°F}/\text{Btu}$ maka STHE E703 belum diperlukan proses *cleaning*.

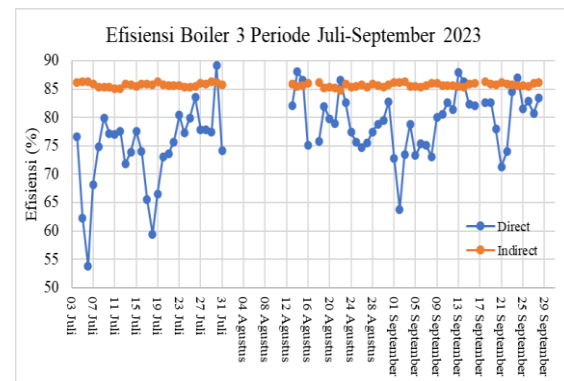


Gambar 8. Fouling factor STHE E702 periode Juli-September 2023

Evaluasi efisiensi Boiler

PT Salim Ivomas Pratama memiliki tiga unit boiler untuk memenuhi kebutuhan *steam* pada proses produksi dengan jenis *Fire tube boiler*. *Steam* dibutuhkan pada proses produksi oleh Plant Refinery, Fraksinasi, dan Margarin, sementara departemen tank farm

menggunakan *steam* untuk memanaskan tangki penyimpanan minyak. Pada Gambar 9. menampilkan efisiensi rata-rata selama periode bulan Juli sampai September 2023 menggunakan metode *direct* berturut-turut sebesar 74,16%, 79,97%, dan 79,17%, sedangkan menggunakan metode *indirect* sebesar 84,74%, 84,84%, 84,74%.



Gambar 9. Efisiensi Boiler 3 Periode Juli-September 2023

Pada kondisi operasi efisiensi metode *direct boiler 3* selama periode Juli-September memiliki nilai fluktuatif yang disebabkan beberapa faktor seperti kebutuhan *steam* yang tidak menentu dari berbagai plant maupun Tank Farm, kondisi *feed water* dalam boiler, frekuensi *blowdown*, dan terbentuknya lapisan kerak pada permukaan pipa. Fluktuasi kebutuhan *steam* dapat memengaruhi efisiensi boiler, saat kebutuhan *steam* meningkat, kebutuhan batu bara dan *feed water* akan meningkat sesuai dengan tingkat kebutuhan yang diperlukan. Namun, ketika kebutuhan *steam* menurun menyebabkan batu bara dalam boiler menjadi berlebih, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi boiler. Kondisi *feed water* di dalam boiler dapat memengaruhi efisiensi boiler yang disebabkan oleh kandungan *total dissolve solid* (TDS) karena dapat menurunkan laju perpindahan panas dalam *feed water*, meningkatkan terbentuknya kerak di permukaan pipa, dan meningkatkan frekuensi *blowdown*. Meningkatnya frekuensi *blowdown* tersebut bertujuan untuk menjaga kandungan TDS dalam boiler tidak melebihi batas yang telah ditentukan sehingga dapat menyebabkan penurunan efisiensi boiler karena membuang energi panas.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi pada HE dan boiler di PT Salim Ivomas Pratama Surabaya dalam periode bulan Juli-September 2023 dapat disimpulkan bahwa kondisi PHE E001 dan E701 memiliki endapan pengotor yang telah melebihi batas toleransi sehingga membutuhkan pembersihan. STHE E703 memiliki kondisi endapan pengotor di bawah batas toleransi sehingga belum memerlukan pembersihan sedangkan E702 tidak dapat ditentukan karena memiliki desain yang berbeda dengan STHE pada umumnya. Boiler 3 memiliki efisiensi masih tergolong tinggi dengan nilai rata-rata tertinggi 79,97% menggunakan metode *direct* dan 85,75% menggunakan metode *indirect* sehingga dapat disimpulkan Boiler 3 masih layak untuk digunakan dengan performa yang baik.

Beberapa saran yang dapat menjadi masukan bagi perusahaan atau pengembangan penelitian berikutnya yaitu perlunya dilakukan pengamatan nilai *fouling factor* pada HE secara berkala, memastikan kebutuhan *steam* dengan ketat sehingga tidak terjadi perubahan kebutuhan *steam* dalam waktu singkat, dan perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan TDS dalam *feed water* terhadap efisiensi boiler.

DAFTAR NOTASI

AAS = Massa aktual suplai udara (kg/kg fuel)
C = Kandungan karbon pada bahan bakar (kg/kg fuel)
 C_{min} = Laju kapasitas panas terkecil (W/K)
CO = Persentase CO dalam gas buang (%)
CO₂ = Persentase CO₂ dalam gas buang (%)
 C_p = Kapasitas panas spesifik fluida (W/K)
De = Diameter ekuivalen bagian *shell* (in)
 ϵ = efektivitas (%)
GCV = Nilai panas kalor kotor bahan bakar (kkal/jam)
hf = Entalpi air umpan (kkal/jam)
hg = Entalpi *steam* jenuh (kkal/kg *steam*)
hi = Koefisien transfer panas fluida dalam *tube* (btu/lb^of)
hio = Koefisien transfer panas *tube* (btu/lb^of)
ho = Koefisien transfer panas fluida dalam *shell* (btu/lb^of)
JH = Faktor transfer panas *shell* atau *tube*
k = Konduktivitas panas fluida (btu/lb^of)
L₁ = Heat loss due to dry flue gas
L₂ = Heat loss due to Hidrogen in fuel

L₃ = Heat loss due to moisture in fuel
L₄ = Heat loss due to moisture in fuel
L₅ = Heat loss due to Carbon monoxide
L₆ = Heat loss due to surface radiation convection
L₇ = Heat loss due to unburnt in bottom ash
L₈ = Heat loss due to unburnt in fly ash
M = Persentase kadar air dalam basis 1 kg bahan bakar (kg/kg fuel)
m = Laju alir massa (kg/jam)
Q = Jumlah *steam* dihasilkan (kg/jam)
q = Jumlah bahan bakar yang digunakan (kg/jam)
Q = Laju Perpindahan panas (W)
Q_{actual} = Laju perpindahan panas aktual (W)
Q_{max} = Laju perpindahan panas maksimal (W)
T_a = Suhu ambient (°C)
T_f = Suhu gas buang (°C)
T_s = Suhu permukaan (°C)
T_{in} = Suhu fluida masuk (K)
T_{out} = Suhu fluida keluar (K)
 ΔT_{LMTD} = Log mean Temperature difference (K)
Uc = Koefisien perpindahan panas bersih (btu/lb^of)
Ud = Koefisien perpindahan panas kotor (btu/lb^of)
Vm = Kecepatan angin (m/s)
 μ = viskositas inlet fluida (lb/fth)
 μ_w = viskositas outlet fluida (lb/fth)

DAFTAR PUSTAKA

- Ayustaningwarno, F. (2012). Proses pengolahan dan aplikasi minyak sawit merah pada industri pangan. *Journal vitasphere*, 2(1), 1-11.
- Cao, E. (2010). Heat Transfer in Process Engineering. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Cengel, Y. A. (2006). *Heat Transfer: A Practical Approach (2nd Ed)*. Ohio: McGraw-Hill Higher Education.
- Djosetyardjo, M. (1999). *Ketel Uap*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Holman, J. (1988). *Perpindahan Kalor alih bahasa Jasjfi E., edisi ke-6*. Jakarta: Erlangga.
- Kern, D. (1982). *Process Heat Transfer*. Tokyo: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- UNEP. (2008). *Boiler & Pemanas Thermis*. United Nations Environment Program.