

STUDI UNJUK KERJA BOILER KAPASITAS 18 TON/JAM DI LINGKUNGAN PABRIK KELAPA SAWIT

Yuliani*, Rinaldi, Sudarmo

Jurusan Teknik mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru
Jalan : Dirgantara No.4 Arengka Pekanbaru-Riau 2829

E-mail : rinaldiyds@gmail.com

ABSTRAK

Boiler used in PT. Inti Indosawit Subur, Palm oil factory Buatan Satu in Pangkalan Kerinci namely Takuma Water Tube Boiler N 600 SA has long been used for it needs to be analyzed in detail in order to know the heat loss, boiler efficiency, actually after so long operated. The analysis is carried out with the purpose of knowing the boiler's performance to generate steam by referring to recorded operating data and determining the system that needs to be carried out for improvement or improvement of boiler performance. By using direct method, the analysis has been done to boiler performance with steam capacity of 18 Ton / hr which is operated using fiber fuel and shell, Heating Value or heat value of combustion of fiber fuel and shell produced is 3,329,301 Kkal / kg, It can be concluded that the heating value of fiberglass and shell fuel 3,329,301 Kkal / kg, The amount of fuel used based on field data for steam capacity of 18,000 kg / hour, it will need fiber and shell fuel of 4700 kg / hour every hour. While the amount of fuel used theoretically for steam capacity of 18,000 kg / hour, it will need fiber and shell fuel 4,126,542 kg / hour. Here we can see there is a deviation that occurs very significant between field data and theoretical that is 573,458 kg / hour. Air required for combustion 27,680.84 kg / hour every hour, heat produced by burning fuel 13,051,575 Kcal / hour and boiler efficiency is the ratio between heat consumption (hot useful) with heat supply, from calculation analysis obtained amount of usefulness Boiler is 86.501%. Therefore it can be said that the boiler is still feasible to operate.

keywords: fuel, boiler, efficiency, performance.

PENDAHULUAN

Pabrik minyak kelapa sawit begitu dominan di Riau, baik itu Pabrik Kelapa Sawit swasta maupun pabrik kelapa sawit badan usaha milik Negara (PTP-N). Bagian kelapa sawit yang bernilai ekonomi tinggi adalah buahnya yang tersusun dalam sebuah tandan TBS (tandan buah segar). Buah sawit dibagian sabut (daging buah atau *mesocarp*) menghasilkan minyak sawit kasar (*Crude Palm Oil*) sebanyak 20-24%, bagian inti sawit menghasilkan minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil* atau PKO) 3-4%. Dengan banyaknya didirikan pabrik kelapa sawit tersebut tentu akan membutuhkan sumber daya manusia yang memahami tentang *boiler* sebagai penggerak utama pabrik sawit.

Hasil Survey penulis pada salah satu pabrik kelapa sawit yang berlokasi di PT Inti Indosawit Subur, pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) Buatan Satu Pangkalan Kerinci tentang boiler, Maka penulis mengangkat judul penelitian ini dalam bidang *boiler* yang berfungsi sebagai penggerak utama pada proses pengolahan kelapa sawit. Jenisnya adalah

boiler type Takuma Water Tube Boiler N 600 SA dengan kapasitas olah 20 ton uap/jam, *Max. Working Pressure 24 kg/cm²*. Pabrik minyak kelapa sawit memerlukan uap untuk proses pengolahan kelapa sawit hingga menjadi minyak kelapa sawit. Uap yang dibutuhkan harus memenuhi syarat syarat ketersediaan pasokan yang kontiniu, tekanan dan temperatur yang sesuai, serta kualitas dan kebersihan uap yang terjamin dari zat zat lain yang dapat mengakibatkan kegagalan pemerosesan buah hingga menjadi minyak. Banyak kendala dalam proses pembentukan uap untuk mendapatkan kinerja boiler yang maksimal, salah satu diantaranya adalah Tidak terpantaunya jumlah air yang masuk pada *upper drum* dan Gelas Penduga.

Apabila kendala yang ada tidak ditangani dengan baik akan berdampak terhadap timbulnya kerusakan pada boiler, sehingga proses pengolahan kelapa sawit berhenti total. Karena itu begitu pentingnya boiler di PMKS sehingga diperlukan pengoperasian yang benar dan boiler harus dirawat agar diperoleh kinerja boiler yang bagus.

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk Mengetahui kinerja boiler dihitung dengan menggunakan metode langsung dan untuk mengetahui sistem perawatan boiler.

Menurut Fahrizal (2014), hasil penelitian terhadap Analisa Availability kinerja boiler, dapat disimpulkan untuk penilaian kinerja umumnya adalah dalam periode dua tahun, hingga monitor perlu diteruskan pada bulan – bulan berikutnya, Penilaian akhir setelah dua tahun anggaran penuh. Saat ini penilaian kinerja dalam satu tahun belum bisa ditetapkan, sebab dalam sisa 3 tahun mendatang apa saja bisa terjadi, mungkin penilaian akan sekitar yang dicapai sekarang, mungkin lebih kecil malah mungkin akan jauh lebih baik dibandingkan dengan perusahaan sejenis dalam Industri, Nasional dan Global. Untuk periode dua tahun dengan *Equivalent Availability Factor* (EAF) sebesar 50.8% kualitas pemeliharaan adalah kurang baik perlu ditingkatkan. Model gagalnya pipa Superheater tersebut adalah akibat beroperasi pada temperatur yang tinggi (*overheating*) dengan waktu operasi yang lama dan diikuti pelunakan (*anealing*) sehingga terjadi erosi oleh aliran uap dalam pipa yang menyebabkan penipisan pada pipa hingga pipa tidak bisa menahan beban kerja dan terjadi kegagalan (*Failure*). (Djokosetyarjo, 1999). Dari aspek ekonomi, sangat penting untuk mengetahui seberapa lama system untuk pipa beroperasi dengan baik sesuai dengan spesifikasi desain teknik, sebab jika waktu produksi dari sebuah peralatan dapat ditentukan secara tepat, maka nilai ekonomi dan investasi jangka panjang dari peralatan tersebut dapat pula ditentukan dengan lebih pasti, khususnya jika hal ini menimpa sistem yang sudah berumur (*aging*). Beberapa analisis yang disarankan untuk mengetahui performance *tube superheater* secara komprehensif antara lain (Hamzah, 2016):

1. Manajemen pemeliharaan dengan sistem quality control dan terdokumentasi dan ada reportnya,
2. Ketersediaan alat yang diorder propertiesnya harus sesuai standar yang telah ditetapkan.
3. Perlunya memperhatikan temperature kerja pada saat proses boiler bekerja.
4. Perlu dilakukan analisa komposisi kimia pada air umpan boiler secara periodik.

METODE PENELITIAN

Boiler yang di jadikan objek penelitian memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. *Boiler type* = *Takuma Water Tube Boiler*
- b. *Model* = *N-600 SA*

- c. *Max. Steam Evaporation* = 20000 kg/h
- d. *Max. Working pressure* = 24 kg/cm²
- e. *Steam Pressure* = 20 kg/cm²
- f. *Steam Temperature* = 280 °C
- g. *Serial No.* = 10 80
- h. *Year Built* = 1995
- i. *Deaerator Temperature* = 100 °C
- j. *Fuel Consumption* = 5200 kg/h
- k. *Fuel* = *Fibre & Shell*

Data bahan bakar :

Komposisi bahan bakar *fibre* dan *shell* perbandingan 80% : 20%, data komposisi bahan bakar dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bahan Bakar

Jenis Komposisi	Komposisi (%)	
	Sabut (<i>fibre</i>)	Cangkang (<i>shell</i>)
Karbon (C)	40,16	61,34
Hidrogen (H ₂)	4,25	3,25
Oksigen (O ₂)	30,12	31,16
Nitrogen (N ₂)	22,29	2,45
Abu (<i>ash</i>)	3,18	1,80
Total	100	100

Sumber :

<http://belajarsawit.blogspot.co.id/2012/12/ketel-uap-boiler-di-pabrik-kelapa-sawit.html>

Komposisi Bahan Bakar Campuran

Nilai kalor atas / *High Heating Value* (HHV) bahan bakar campuran

$$\text{HHV} = 33915 \text{ C} + 144033 [\text{H}_2 - \text{O}_2/8] + 10468 \text{ S} \quad (\text{kJ/kg}) \dots\dots\dots (1)$$

Nilai kalor bawah / *Low Heating Value* (LHV) bahan bakar campuran

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (\text{M} + 9 \text{H}_2) \quad (\text{kJ/kg}) \dots\dots\dots (2)$$

Konsumsi Bahan Bakar

$$W_f = \frac{W_s \cdot (H_{sh} - H_a)}{\mu_k \cdot \text{LHV}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Konsumsi Udara Pembakaran

Volume udara yang dibutuhkan adalah :

$$V_a = W_f \cdot V_{a,act} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Produksi Gas Asap

Produksi gas asap dihitung dengan persamaan 5.

$$W_g = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998S - O_2}{0,232} R - A$$

.....(5)

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komposisi Bahan Bakar Campuran

Untuk mendapatkan perbandingan komposisi bahan bakar campuran dari kedua jenis bahan bakar (*fibre and shell*), maka dilakukan perbandingan konsumsi bahan bakar untuk satuan-satuan berat yang sama. Persentase komposisi bahan bakar campuran berdasarkan sumber PT.Inti Indosawit Subur adalah fibre 80 % dan shell 20 % :

$$\begin{aligned} C &= 0,80 (40,16) + 0,20 (61,34) = 44,396 \% \\ H_2 &= 0,80 (4,25) + 0,20 (3,25) = 4,05 \% \\ O_2 &= 0,80 (30,12) + 0,20 (31,16) = 30,328 \% \\ N_2 &= 0,80 (22,29) + 0,20 (2,45) = 18,322 \% \\ \text{Abu} &= 0,80 (3,18) + 0,20 (1,80) = 2,904 \% \end{aligned}$$

Jumlah persentase bahan bakar adalah 100 %

Nilai kalor atas / *High Heating Value* (HHV) bahan bakar campuran

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 33915 C + 144033 [H_2 - O_2/8] + 10468 S \\ (\text{kJ/kg}) &= 33915 (0,44396) + 144033 [0,0405 - 0,30328/8] + 10468 \cdot 0 \\ &= 15429,95 \text{ kJ/kg} = 3530,372 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

Nilai kalor bawah / *Low Heating Value* (LHV) bahan bakar campuran

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 2411 (M + 9 H_2) \text{ (kJ/kg)} \\ &= 15429,948 - 2411 (0 + 9 \cdot 0,0405) \\ &= 14551,14 \text{ kJ/kg} = 3329,301 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

b. Konsumsi Bahan Bakar

$$W_f = \frac{W_s \cdot (H_{sh} - H_a)}{\mu_k \cdot \text{LHV}}$$

Dimana :

W_f = Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan (kg/jam)

W_s = Kapasitas ketel uap 18.000 kg/jam

H_{sh} = *Entalphi* uap superheater 280 °C tekanan 20 kg/cm² = 2973,15 kJ/kg = 710,6 Kkal/kg

H_a = *Entalphi* air pengisi ketel 100 °C = 100 Kkal/kg

LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar = 14551,14 kJ/kg = 3329,301 Kkal/kg

μ_k = Efisiensi ketel = (70 – 90)% = 80% diambil
Maka :

$$\begin{aligned} W_f &= \frac{18000 \text{ kg/jam} \cdot (710,6 \text{ kkal/kg} - 100 \text{ kkal/kg})}{0,8 \cdot 3329,301 \text{ kkal/kg}} \\ &= 4126,542 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

c. Konsumsi Udara Pembakaran

$$\begin{aligned} W_{a,th} &= \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998S - O_2}{0,232} \text{ kg.udara/kg.bb} \\ &= \frac{2,66(0,44396) + 7,94(0,0405) + 0,998(0) - 0,30328}{0,232} \\ &= 5,16 \text{ kg}_{ud}/\text{kg}_{bb} \end{aligned}$$

Berat pembakaran aktual adalah :

$$\begin{aligned} W_{a,act} &= W_{a,th} + (0,3 \cdot W_{a,th}) \text{ kg ud/kg bb} \\ &= 5,16 + (0,3 \cdot 5,16) = 6,708 \text{ kg ud/kg bb} \end{aligned}$$

Untuk pembakaran seluruh bahan bakar pada ketel ini, udara yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} W_{a,udara} &= W_f \cdot W_{a,act} \\ &= 4126,542 \cdot 6,708 \\ &= 27680,84 \text{ kg/jam} \\ V_{a,th} &= \frac{1,865C + 5,56H_2 + 0,6897S - 0,7O_2}{0,21} \text{ m}^3/\text{kg} \\ &= \frac{1,865(0,44396) + 5,56(0,0405) + 0,6897(0) - 0,7(0,30328)}{0,21} \\ &= 4,004 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb} \end{aligned}$$

Banyaknya volume udara aktual adalah :

$$\begin{aligned} V_{a,act} &= V_{a,th} + (0,3 \cdot V_{a,th}) \\ &= 4,004 + (0,3 \cdot 4,004) \\ &= 5,2052 \text{ m}^3 \text{ ud/kg bb} \end{aligned}$$

Volume udara yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} V_a &= W_f \cdot V_{a,act} \\ &= 4126,542 \cdot 5,2052 \\ &= 21479,48 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

d. Produksi Gas Asap

Banyaknya gas asap yang terjadi dari 1 kg bahan bakar ditentukan dari pers.(5) adalah :

$$W_g = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998S - O_2}{0,232} R - A$$

Dimana :

W_g = berat gas asap (kg/kg bb)

R = angka kelipatan udara

$$= \frac{W_{a,act}}{W_{a,th}} = \frac{6,708}{5,16} = 1,3$$

$$A = \text{persentase abu} = 2,904 \%$$

Maka :

$$W_g = 1 + \frac{2,66(0,44396) + 7,94(0,0405) + 0,998(0) - 0,30328}{0,232} (1,3 - 0,02904)$$

$$= 7,840 \text{ kg/kg bb}$$

Berat gas asap dari hasil pembakaran bahan bakar adalah :

$$W_{g,tot} = W_f \cdot W_g$$

$$= 4126,542 \cdot 7,840 = 32352,09 \text{ kg/jam}$$

Komposisi berat gas asap yang dihasilkan dari pembakaran 1 kg bahan bakar antara sabut dan cangkang adalah :

$$W_{CO_2} = \frac{11}{3} C = \frac{11}{3} \cdot 0,44396 = 1,627 \text{ kg/kg bb}$$

$$W_{H_2O} = 9 \cdot H_2 = 9 \cdot 0,0405 = 0,364 \text{ kg/kg bb}$$

Excess oksigen adalah :

$$W_{O_{2excess}} = 30 \% \cdot 23 \% \cdot (W_{a,th})$$

$$= 0,30 \cdot 0,23 \cdot 5,16 = 0,356 \text{ kg/kg bb}$$

Nitrogen:

$$W_{N_2} = 77 \% \cdot (W_{a,act})$$

$$= 0,77 \cdot 6,708 = 5,165 \text{ kg/kg bb}$$

Berat gas asap basah :

$$W_{g \text{ basah}} = 1 + (W_{a,act}) - A$$

$$= 1 + (6,708) - 0,02904 = 7,678 \text{ kg/kg bb}$$

Berat gas asap kering :

$$W_{g \text{ kering}} = W_{g \text{ basah}} - W_{H_2O}$$

$$= 7,678 - 0,364 = 7,314 \text{ kg/kg bb}$$

e. Volume Gas Asap

Volume gas asap (sisa pembakaran) dapat dihitung dengan mengetahui berat jenis dari gas tersebut. Volume gas asap dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$1. V_{CO_2} = \frac{W_{CO_2}}{\rho_{CO_2}}$$

Dimana :

$$W_{CO_2} = 1,627 \text{ kg/kg bb}$$

$$\rho_{CO_2} = \text{berat jenis } CO_2 = 1,97 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{CO_2} = \frac{1,627}{1,97} = 0,825 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{bb}$$

$$2. V_{HO_2} = \frac{W_{HO_2}}{\rho_{HO_2}}$$

Dimana :

$$W_{HO_2} = 0,364 \text{ kg/kg} \cdot \text{bb}$$

$$\rho_{HO_2} = 0,8 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{HO_2} = \frac{0,364}{0,8} = 0,455 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{bb}$$

$$3. V_{O_2} = \frac{W_{O_2}}{\rho_{O_2}}$$

Dimana :

$$W_{O_2} = 0,356 \text{ kg/kg} \cdot \text{bb}$$

$$\rho_{O_2} = 1,43 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{O_2} = \frac{0,356}{1,43} = 0,248 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{bb}$$

$$4. V_{N_2} = \frac{W_{N_2}}{\rho_{N_2}}$$

Dimana:

$$W_{N_2} = 5,165 \text{ kg/kg} \cdot \text{bb}$$

$$\rho_{N_2} = 1,26 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{N_2} = \frac{5,165}{1,26} = 4,099 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{bb}$$

Maka volume gas asap yang terjadi adalah :

$$V_g = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

$$= 0,825 + 0,455 + 0,248 + 4,099$$

$$= 5,627 \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{bb}$$

f. Kebutuhan Panas Untuk Pembentukan Uap Saturasi

Adapun panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap jenuh (*saturasi*) ditentukan :

$$Q_{sat} = Ws (h_{sat} - h_a)$$

Dimana :

$$Ws = \text{Kapasitas uap (massa uap)}$$

$$= 18.000 \text{ kg/jam}$$

$$h_{sat} = \text{Enthalpi uap saturasi pada temperatur } 222^\circ\text{C dan tekanan } 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 669,3 \text{ Kkal/kg}$$

$$h_a = \text{Enthalpi air pengisi ketel pada temperatur } 100^\circ\text{C}$$

$$= 100 \text{ Kkal/kg}$$

Maka :

$$Q_{sat} = 18000 (669,3 - 100)$$

$$= 10247400 \text{ Kkal/jam}$$

Pada *boiler* digunakan pipa *back pass* yang berfungsi untuk pembentukan uap saturasi. Pipa ini dipasang diantara drum atas dan drum bawah, dan pipa ini dibuat karena pipa *water wall* terbatas kemampuannya dalam penguapan dan untuk mengantisipasi apabila pipa *water wall* telah berkurang kemampuannya untuk menghasilkan uap saturasi.

Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi pada pipa *back pass* adalah 35,0 % dari jumlah total uap saturasi yang dihasilkan *boiler*.

Maka kalor (panas) pada pipa *back pass* adalah :

$$\begin{aligned} Q_{bp} &= 35,0 \% \cdot Q_{sat} \\ &= 0,35 \cdot 10247400 \\ &= 3586590 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

Sehingga kalor yang diserap oleh pipa *water wall* untuk menghasilkan uap saturasi adalah :

$$\begin{aligned} Q_{ww} &= Q_{sat} - Q_{bp} \\ &= 10247400 - 3586590 = 6660810 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

g. Perhitungan Temperatur

1. Temperatur Gas Asap Meninggalkan Dapur (*Water Wall*)

Temperatur gas asap meninggalkan *water wall* ditentukan :

$$T_{g1} = \frac{(Q_f - Q_w)}{W_g \cdot C_p}$$

Dimana :

Q_f = Kalor yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar = $W_f \cdot LHV \cdot \mu f$

$$= 4126,542 \cdot 3329,301 \cdot 0,95$$

$$= 13051575 \text{ Kkal/jam}$$

Q_{ww} = Kalor yang diserap oleh dapur (*water wall*)

$$= 6660810 \text{ Kkal/jam}$$

W_g = Berat gas asap = 32352,09 kg/jam

C_p = Panas jenis gas asap = 0,294 Kkal/kg °C

Maka :

$$\begin{aligned} T_{g1} &= \frac{13051575 - 6660810}{32352,09 \cdot 0,294} \\ &= 671,89^\circ \text{C} = 944,89^\circ \text{K} \end{aligned}$$

2. Temperatur Gas Asap Meninggalkan *Superheater* (T_{g2})

Panas gas asap yang dibutuhkan oleh *superheater* ditentukan :

$$Q_{sh} = W_s (h_{sup} - h_{sat})$$

Dimana :

W_s = Kapasitas uap = 18000 kg/jam

h_{sh} = *Enthalpi* uap keluar *superheater*, pada temperatur 280 °C dan tekanan 20 kg/cm²

$$= 710,6 \text{ Kkal/kg}$$

h_{sat} = *Enthalpi* uap masuk *superheater*, temperatur 222 °C dan tekanan 20 kg/cm²

$$= 669,3 \text{ Kkal/kg (dari tabel uap)}$$

Maka :

$$Q_{sh} = 18000 (710,6 - 669,3)$$

$$= 743400 \text{ Kkal/jam}$$

Panas gas asap meninggalkan *superheater*

$$\begin{aligned} Q_{gms} &= Q_f - Q_{ww} - Q_{sh} \\ &= 13051575 - 6660810 - 743400 \\ &= 5647365 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

Temperatur gas asap meninggalkan *superheater* adalah sebagai berikut:

$$T_{g2} = \frac{Q_{gms}}{W_g \cdot C_p}$$

Dimana :

Q_{gms} = Panas gas asap meninggalkan *superheater*

$$= 5647365 \text{ Kkal/jam}$$

W_g = Berat gas asap = 32352,09 kg/jam

C_p = Panas jenis gas asap

$$= 0,268 \text{ Kkal/kg } ^\circ \text{C (Pada T } 944,89^\circ \text{K)}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{g2} &= \frac{5647365}{32352 \cdot 0,268} \\ &= 651,3^\circ \text{C} = 924,3^\circ \text{K} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Temperatur Gas Asap pada Pipa *Back Pass*

Pipa *back pass* ditempatkan setelah pipa *superheater*, maka temperatur gas asap pada pipa *back pass* akan dapat dicari sebagai berikut:

Temperatur gas asap yang terjadi pada pipa *back pass*:

$$T_{g3} = \frac{Q_{bp}}{W_g \cdot C_p}$$

Dimana :

Q_{bp} = Panas yang dibutuhkan (diserap) pipa *back pass*

$$= 3586590 \text{ Kkal/jam}$$

W_g = Berat gas asap

$$= 32352,09 \text{ kg/jam}$$

C_p = Panas jenis gas asap

$$= 0,267 \text{ Kkal/kg } ^\circ \text{C (Pada T = } 944,89^\circ \text{K)}$$

$$\begin{aligned} T_{g3} &= \frac{3586590}{32352,09 \cdot 0,267} \\ &= 415,21^\circ \text{C} = 688,21^\circ \text{K} \end{aligned}$$

Panas yang dikandung gas asap meninggalkan pipa *back pass* (Q_{g3}) adalah :

$$Q_{g3} = Q_{g2} - Q_{bp}$$

Dimana :

Q_{gms} = Panas yang dikandung gas asap masuk pipa *back pass*

$$= 5647365 \text{ Kkal/jam}$$

Q_{bp} = Panas yang diserap pipa *back pass*

$$= 3586590 \text{ Kkal/jam}$$

maka :

$$Q_{g3} = 5647365 - 3586590 \\ = 2060775 \text{ Kkal/jam}$$

Temperatur gas asap setelah meninggalkan bidang pemanas pipa *back pass* adalah :

$$T_{g4} = \frac{Q_{g3}}{W_g \cdot C_p} \\ = \frac{2060775}{32352,09 \cdot 0,267} \\ = 238,6 ^\circ\text{C} = 511,5 \text{ K}$$

4. Perhitungan Temperatur Gas Asap pada Alat Pemanas Udara (APU)

Panas yang diterima udara dari gas asap dihitung dengan :

$$Q_{ud} = W_{ud} \cdot C_{ud} \cdot \Delta t$$

Dimana :

$$W_{ud} = \text{Massa udara yang masuk ke ruang bakar} \\ = 27680,84 \text{ kg/jam}$$

$$C_{pud} = 0,240 \text{ Kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \text{Selisih temperatur udara masuk dapur dengan temperatur udara} \\ = (75 - 30) ^\circ\text{C} = 45 ^\circ\text{C}$$

Maka :

$$Q_{ud} = 27680,84 \cdot 0,240 \cdot 45 \\ = 298953 \text{ Kkal/jam}$$

Panas gas asap meninggalkan alat pemanas udara (APU) adalah:

$$Q_{ga} = Q_{g3} - Q_{ud}$$

Dimana :

$$Q_{g3} = \text{Panas gas asap meninggalkan pipa } \textit{back pass} \\ = 2060775 \text{ Kkal/jam}$$

$$Q_{ud} = \text{Panas yang diterima udara dari gas asap} \\ = 298953 \text{ Kkal/jam}$$

Maka :

$$Q_{ga} = (2060775 - 298953) \text{ Kkal/jam} \\ = 1761822 \text{ Kkal/jam}$$

Sehingga temperatur gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara adalah :

$$T_{g5} = \frac{Q_{ga}}{W_g \cdot C_p}$$

Dimana :

$$W_g = \text{Barat gas asap} = 32352,09 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap} = 0,246 \text{ Kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

Maka :

$$T_g = \frac{1761822}{32352,09 \cdot 0,246} \\ = 221,3 ^\circ\text{C} = 494,3 \text{ K}$$

Temperatur gas asap memasuki cerobong adalah sama dengan temperatur gas asap yang meninggalkan alat pemanas udara.

h. Keseimbangan Panas

Besarnya kalor ini dihitung :

$$Q_f = W_f \cdot (\text{LHV}) \cdot \mu_f (\text{Kkal/jam}) \\ = 4126,542 \cdot 3329,301 \cdot 0,95 = 13051575 \text{ Kkal/jam}$$

Sedangkan kalor yang dipakai (berguna) terdiri dari :

a. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi (Q_{sat}),

$$Q_{sat} = 10247400 \text{ Kkal/jam}$$

b. Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap *superheater* (Q_{sup})

$$Q_{sup} = 743400 \text{ Kkal/jam}$$

c. Kalor yang diserap alat pemanas udara (APU)

$$Q_{APU} = W_a \cdot C_p (T_{u2} - T_{u1}) \text{ Kkal/jam}$$

Dimana :

$$W_a = \text{Berat udara aktual} = 27680,84 \text{ kg/jam}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap} = 0,240 \text{ Kkal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_{u2} = \text{Temperatur udara keluar APU} = 75 ^\circ\text{C}$$

$$T_{u1} = \text{Temperatur udara masuk APU} = 30 ^\circ\text{C}$$

Maka :

$$Q_{APU} = 27680,84 \cdot 0,240 \cdot (75 - 30) \\ = 298953,0 \text{ Kkal/jam}$$

Adapun kalor yang hilang (kerugian kalor) terdiri atas :

1. Kalor yang hilang terbawa gas asap ke *stack* (cerobong asap)

$$Q_c = W_f \cdot V_g \cdot C_p (t_c - t_u) \text{ Kkal/jam}$$

Dimana :

$$W_f = \text{Konsumsi bahan bakar} = 4126,542 \text{ kg/jam}$$

$$V_g = \text{Volume gas asap} = 5,627 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$C_p = \text{Panas jenis gas asap} = 0,332 \text{ Kkal/m}^3 ^\circ\text{C}$$

$$t_c = \text{Temperatur gas asap memasuki cerobong} \\ = 221,3 ^\circ\text{C}$$

$$t_u = \text{Temperatur udara luar} = 30 ^\circ\text{C (suhu dilapangan)}$$

Maka :

$$Q_c = 4126,542 \text{ kg/jam} \cdot 5,627 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 0,332 \text{ Kkal/m}^3 \\ ^\circ\text{C} \cdot (221,3 - 30) ^\circ\text{C} \\ = 1474743 \text{ Kkal/jam}$$

2. Kalor yang hilang akibat radiasi pada instalasi ketel (Q_r) adalah suplai kalor

yang dikurangi dengan kalor yang berguna dan kerugian kalor yang terbawa gas asap ke *stack*.

$$Q_r = Q_f - (Q_{sat} + Q_{sup} + Q_{APU} + Q_c)$$

Dimana :

$$Q_f = \text{Kalor yang dihasilkan pembakaran bahan bakar} \\ = 13051575 \text{ Kkal/jam}$$

$$Q_{sat} = \text{Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi} \\ = 10247400 \text{ Kkal/jam}$$

$$Q_{sup} = \text{Kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap superheater} \\ = 743400 \text{ Kkal/jam}$$

$$Q_{APU} = \text{Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan udara} \\ = 298953,0 \text{ Kkal/jam}$$

$$Q_c = \text{Kalor yang hilang terbawa gas asap kecerobong} \\ = 1474743 \text{ Kkal/jam}$$

Maka :

$$Q_r = 13051575 - (10247400 + 743400 + 298953,0 + 1474743) \\ = 287079 \text{ Kkal/jam}$$

i. Daya Guna (Efisiensi) boiler

Efisiensi ketel adalah perbandingan antara konsumsi panas (panas berguna) dengan *suplay* panas.

$$\mu_k = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

Dimana :

$$Q_{in} = Q_f = 13051575 \text{ Kkal/jam}$$

Kalor yang dihasilkan pembakaran bahan bakar

$$Q_{out} = (Q_c + Q_r) \\ = (1474743 + 287079) = 1761822 \text{ Kkal/jam}$$

Maka :

$$\mu_k = \frac{13051575 - 1761822}{13051575} \times 100\% = 86,501\%$$

Di PT. Inti Indosawit Subur Buatan Satu Pangkalan Kerinci, Ketel uap yang dioperasikan menggunakan bahan bakar *fibre* dan *shell*, nilai panas pembakaran bahan bakar antara *fibre* dan *shell* yang dihasilkan sebesar 3.329,301 Kkal/kg, dimana banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebesar 4.126,542 kg/jam, dimana jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran bahan bakar 27.680,84 kg/jam, Besarnya kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah 13.051.575 Kkal/jam, dimana kalor yang dibutuhkan untuk

pembentukan uap jenuh (*saturasi*) 10.247.400 Kkal/jam, kalor yang dibutuhkan untuk pembentukan uap *superheater* 743.400 Kkal/jam, sedangkan kalor yang diserap alat pemanas udara 298.953,0 Kkal/jam, kalor yang hilang terbawa gas asap ke cerobong (*stack*) 1.474.743 Kkal/jam dan kalor yang hilang akibat radiasi pada instalasi ketel 287.079 Kkal/jam. Berdasarkan perbandingan besarnya panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar 13.051.575 kkal/jam dengan panas yang berguna / terpakai yaitu panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap saturasi, panas yang dibutuhkan untuk pembentukan uap *superheater*, panas yang diserap alat pemanas udara dan panas yang hilang akibat radiasi pada instalasi ketel ternyata panas yang dihasilkan telah sesuai dengan kebutuhan panas pada ketel uap 13.051.575 kkal/jam.

Efisiensi ketel adalah perbandingan antara panas berguna dengan *suplay* panas, dari analisis perhitungan didapat besarnya daya guna ketel uap adalah 86,501 %. Maka dari itu dapat dikatakan bahwa boiler tersebut masih layak untuk beroperasi.

Jumlah bahan bakar yang digunakan berdasarkan data lapangan untuk kapasitas uap 18.000 kg/jam, maka akan dibutuhkan bahan bakar *fibre* dan *shell* sebesar 4.700 kg/jam setiap jam. Sedangkan dengan jumlah bahan bakar yang digunakan secara teoritis untuk kapasitas uap 18.000 kg/jam, maka akan dibutuhkan bahan bakar *fibre* dan *shell* sebesar 4.126,542 kg/jam Setiap jam. Disini dapat kita lihat terdapat deviasi yang terjadi sangat signifikan antara data lapangan dan teoritis yaitu sebesar 573,458 kg/jam setiap jam. Ini dikaibatkan telah lamanya beroperasi Boiler tersebut.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metode langsung, analisis yang telah dilakukan terhadap kinerja ketel uap (*boiler*) dengan kapasitas uap 18 Ton/jam, dapat disimpulkan :

1. Kinerja ketel untuk memproduksi uap dengan merujuk data-data operasi yang tercatat adalah :
 - a. Besarnya efisiensi *boiler* adalah sebesar 86,501 %
 - b. Nilai kalor bahan bakar campuran sabut dan cangkang 3.329,301 Kkal/kg
 - c. Kalor yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar 13.051.575 Kkal/jam.
2. Jumlah konsumsi bahan bakar boiler berdasarkan data lapangan untuk kapasitas uap 18.000 kg/jam

fibre dan *shell* sebesar 4.700 kg/jam setiap jam. Sedangkan secara teoritis untuk kapasitas uap 18.000 kg/jam, maka akan dibutuhkan bahan bakar *fibre* dan *shell* sebesar 4.126,542 kg/jam Setiap jam. Disini dapat kita lihat terdapat deviasi yang terjadi sangat signifikan antara data lapangan dan teoritis yaitu sebesar 573,458 kg/jam setiap jam.

3. Kerugian panas (*thermal losses*) yang terjadi pada *boiler* adalah kehilangan panas karena radiasi pada instalasi ketel 287.079 kkal/jam, dan panas yang terbawa gas asap ke cerobong asap (*stack*) 1.474.743 kkal/jam.
4. Perawatan dan pemeliharaan boiler yang dilakukan meliputi perawatan harian, mingguan, enam bulanan, dan pemeliharaan tahunan. Perawatan ini dilakukan agar boiler dapat bekerja tanpa banyak gangguan dan memperpanjang umur pakai *boiler*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pimpinan PT. Inti Indosawit Subur, Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) Buatan Satu Pangkalan Kerinci yang telah bersedia membantu dalam

DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyarjo, M.J. 1999. *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramata.
- Fahrizal. 2014. Analisa Availability Kinerja Boiler Pada PT. Rohul Sawit Indah, *Journal APITEK Vol.6 No 2, Teknik Mesin Universitas Pasir Pangaraian*, 2 Juni 2014
- Hamzah, J. 2016. Analisa Kinerja Boiler dengan kapasitas uap 40 ton/jam, *Tugas Akhir Program Sarjana Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru*. Pekanbaru: STTP.
- Reynold, W. C. dkk. 1989. "Thermodinamika Teknik". Jakarta: Erlangga,
- Syamsir dkk. 1988. *Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.