

ANALISIS PENGARUH PERBANDINGAN BAHAN BAKAR KETEL UAP BERBAHAN BAKAR CANGKANG DAN SERABUT DENGAN KAPASITAS 20 TON UAP/JAM

ANALYSIS OF COMPARATIVE EFFECT ANALYSIS OF STEAM FUEL WITH A CAPACITY OF 20 TONS OF STEAM/HOUR

**B. Pakpahan*, C. Silalahi, D. Gultom, E. Sihombing, J. Simanjuntak,
L. Munthe, P. Panjaitan, R. Lubis**

Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155
Email: beautypakpahan07@gmail.com

ABSTRAK

Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit. Fungsi dari Boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik. Ketel uap yang digunakan dalam proses produksi pada pabrik kelapa sawit Pagar Merbau adalah jenis ketel pipa air merek TAKUMA N-600 SA kapasitas 20 ton/jam dan tekanan 20 bar. Dari hasil spesifikasi, ketel uap pada pabrik kelapa sawit Pagar Merbau mampu memproduksi uap 18000 kg/jam pada tekanan 20 bar. Untuk mendapatkan hasil yang efisien sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan maka dibutuhkan bahan bakar cangkang dan serabut sebanyak 5351,47 kg/jam, dan jumlah massa udara untuk 1 kg serabut dan cangkang kelapa sawit adalah 7989 kg udara/jambahan bahan bakar, serta nilai kalor dari bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebesar 14857,43 kJ/kg, dengan besar efisiensi termal ketel uap yang diperoleh adalah 64%. Pada perbandingan bahan bakar 1 (cangkang):3 (serabut). Sedangkan pada perbandingan bahan bakar 3 (cangkang):1 (serabut) dibutuhkan bahan bakar cangkang dan serabut sebanyak 4469,52 kg/jam, dan jumlah massa udara untuk 1 kg serabut dan cangkang kelapa sawit adalah 9534 kg udara/ kg bahan bakar, serta nilai kalor dari bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebesar 17747,70 kJ/kg, dengan besar efisiensi termal ketel uap yang diperoleh adalah 64%.

Keywords: *Cangkang, serabut, nilai kalor, ketel uap*

ABSTRACT

Oil palm is the most important product that has helped to source and heat which actually could be provided for boiler in palm oil mill. The purpose of the boiler is to produce steam that is used for the needs of the industry process, and generate electricity for the needs of the industry and housing employees. The merbau palm oil mill used steam boilers used water pipe boiler TAKUMA N-600 SA capacity of 20,000 kg/hour and a pressure of 20 bar. The specifications of steam boiler is capable of producing 18,000 kg/hr steam at a pressure of 20 bar. The specification of shell and fuel fibers are 4567kg/hour, and the amount of air mass for 1 kg of fiber and oil palm shells is 7989 kg air/fuel addition, and the heating value of shell fuel and fibers amounted to 14857.43kJ / kg, with the thermal efficiency obtained by boilers is 75%. The fuel ratio of 1 (shell): 3 (fiber) whereas the ratio of 3 (1): 1 (fiber) fuel the shell and fiber is 3823 kg / hour, and the amount of air mass for 1 kg of fiber and oil palm shell is 9534 kg of air / kg of fuel, and the heating value of shell and fiber fuels is 17747.70 kJ / kg, with the thermal efficiency obtained by the boiler is 75%.

Keywords: *shell, fiber, heating value, boiler*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan produk samping kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan dan berkelanjutan. Demikian pula dengan halnya Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II. Sumber energi biomassa yang digunakan berasal dari limbah padat. Limbah tersebut yang akan digunakan sebagai bahan ketel uap. Pemanfaatan biomassa serabut dan cangkang secara optimal sangat berguna dalam hal peningkatan efisiensi *boiler* dan akan digunakan berguna untuk menganalisis sistem kerja *boiler*, (Khaidir M, 2016).

Boiler mempunyai peranan yang sangat penting dalam kelangsungan kinerja dari sebuah pabrik kelapa sawit dengan kata lain bisa dikatakan sebagai jantung dari pabrik kelapa sawit. Fungsi dari *boiler* adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik. Uap keluaran turbin digunakan untuk proses pengolahan, di *palm oil mill* dimana uap dibutuhkan untuk stasiun perebusan (*sterilizer*), stasiun press (*digester*), stasiun klarifikasi, stasiun pengolahan inti sawit, dan stasiun tangki timbun, (Khaidir Maulana, 2016).

Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II memiliki kapasitas 30 Ton TBS/jam. Analisis bahan bakar yang digunakan pada *boiler* Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II adalah fiber kelapa sawit murni, cangkang kelapa sawit murni serta serabut 75 %: cangkang 25%. Di samping itu sering kali efisiensi kualitas kerja *boiler* tersebut diabaikan padahal peningkatan efisiensi kualitas kerja *boiler* itu sendiri akan memberikan nilai ekonomis sendiri bagi perusahaan. (PKS Merbabu, 2019)

METODE PENELITIAN

Spesifikasi Alat

Bahan bakar adalah segala sesuatu yang dapat dibakar. Banyak terdapat bahan yang dapat dibakar, misalnya kertas, kain, minyak tanah, minyak makan, dan sebagainya. Bahan bakar yang digunakan di dalam *furnance* ketel uap dipakai adalah cangkang dan serabut sebagai bahan bakar memiliki keunggulan cukup tersedia dan mudah diperoleh dipabrik, limbah dari pabrik kelapa sawit apabila tidak digunakan, nilai kalor dari bahan bakar memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan dan harga lebih ekonomis (Syamsir, M.A.,1988).

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia, antara lain: Carbon (C), Hidrogen (H₂), Nitrogen (N₂), Oksigen (O₂), dan Abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase yang berbeda jumlahnya, bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar. Apabila pemakaian cangkang terlalu banyak dari serabut akan menghambat proses pembakaran akibat penumpukan arang dan nyala api kurang sempurna, dan jika cangkang digunakan sedikit, panas yang dihasilkan akan rendah, karena cangkang apabila dibakar akan mengeluarkan panas yang besar (Syamsir, M.A.,1988). Cangkang kelapa sawit dapat kita lihat pada Gambar 1. berikut ini:



Gambar 1. Cangkang Kelapa Sawit (PTPN II, 2019)

Serabut adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, apabila mengalami proses pengolahan berwarna coklat muda. Serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak CPO terkandung. Panas yang dihasilkan serabut jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, oleh karena itu perbandingan lebih besar serabut dari pada cangkang. Disamping serabut ini lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian serabut yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perambatan panas pada pipa *water wall*, akibat abu hasil pembakaran beterbangan dalam ruang dapur dan menutupi pipa *water wall*, disamping mempersulit pembuangan dari pintu *ekspansion door* (pintu keluar untuk abu dan arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan (Pintauli, 2017). Serabut kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Serabut Kelapa Sawit (PTPN II, 2019)

Komposisi bahan bakar pada Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II dapat dijelaskan pada Tabel 1 Berikut:

Tabel 1. Komposisi Bahan Bakar Cangkang dan Serabut (PTPN II, 2019)

Nama Unsur	Cangkang	Serabut
Karbon (C)	61,34 %	40,15 %
Hidrogen (H ₂)	3,25 %	4,25 %
Oksigen (O ₂)	31,16 %	30,12 %
Nitrogen (N ₂)	2,14 %	22,29 %
Abu	1,80 %	3,19 %
Jumlah	100 %	100 %

Data nilai kalor pengujian cangkang kelapa sawit PKS Pagar Merbau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian nilai kalor cangkang kelapa sawit (PTPN II, 2019)

No.	Bahan Bakar	Pengujian	m (gram)	To (°C)	Tn (°C)	Tn – To (°C)	HHV (kkal/kg)
1	Cangkang Kelapa Sawit	Pengujian 1	2	24,9	31,7	6,8	7995,13
		Pengujian 2	2	25,3	32,2	6,9	
		Pengujian 3	1,98	24,5	31,3	6,8	
		Pengujian 4	1,9	25,2	31,8	6,6	
		Pengujian 5	2	24,8	31,7	6,9	
		Rata – rata				6,8	

Data nilai kalor pengujian serabut kelapa sawit PKS Pagar Merbau dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai kalor serabut kelapa sawit (PTPN II, 2019)

No.	Bahan Bakar	Pengujian	m (gram)	To (°C)	Tn (°C)	Tn – To (°C)	HHV (kkal/kg)
1	Serabut Kelapa Sawit	Pengujian 1	1,9	25,2	31,6	6,4	7800,03
		Pengujian 2	2	24,5	31,1	6,6	
		Pengujian 3	1,98	24,8	31,4	6,6	
		Pengujian 4	1,92	24,9	31,4	6,5	
		Pengujian 5	1,88	24,8	31,2	6,4	
Rata – rata						6,5	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar Cangkang dan Serabut

Pada pabrik kelapa sawit tepatnya di Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II menggunakan ketel uap pipa air TAKUMA N-600 SA berbahan bakar cangkang dan serabut. Adapun data yang diperoleh dari riset dilapangan mengenai kandungan unsur-unsur yang terdapat dalam cangkang dan serabut pada perbandingan 1:3 dan komposisi 1kg bahan bakar cangkang dan serabut terdapat pada Tabel 4. sebagai berikut:

Tabel 4. Komposisi dari Unsur-unsur kimia bahan bakar (PTPN II, 2019)

Nama Unsur	Cangkang	Serabut
Karbon (C)	61,34 %	40,15 %
Hidrogen (H ₂)	3,25 %	4,25 %
Oksigen (O ₂)	31,16 %	30,12 %
Nitrogen (N ₂)	2,14 %	22,29 %
Abu	1,80 %	3,19 %
Jumlah	100 %	100 %

Maka, komposisi 1kg bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$C = \left(\frac{1}{4} \times 61,34 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 40,15 \%\right) = 45,4475 \% = 0,454475 \text{ kg}$$

$$H_2 = \left(\frac{1}{4} \times 3,25 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 4,25 \%\right) = 4,00 \% = 0,04 \text{ kg}$$

$$O_2 = \left(\frac{1}{4} \times 31,16 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 30,12 \%\right) = 30,38 \% = 0,3038 \text{ kg}$$

$$N_2 = \left(\frac{1}{4} \times 2,14 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 22,29 \%\right) = 17,2525 \% = 0,172525 \text{ kg}$$

$$A = \left(\frac{1}{4} \times 1,80 \%\right) + \left(\frac{3}{4} \times 3,19 \%\right) = 2,8425 \% = 0,028425 \text{ kg}$$

Maka dari data-data yang diperoleh penulis dapat mencari nilai kalor (*heating value*), yaitu banyaknya kalori yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar atau 1 m³ bahan bakar gas pada pembakaran sempurna.

HHV adalah banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap air.

Dari rumus Dulong dan Petit dari persamaan (1), HHV dapat dihitung (Sinamo, P., 2017):

$$HHV = 33950 C + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right) + 9400 S \text{ [kJ/kg]} \dots \dots \dots (1)$$

$$= 33950 (0,454475) + 144200 \left(0,04 - \frac{0,3038}{8}\right) + 9400 \times 0 \text{ [kJ/kg]}$$

$$= 15.721, 43 \text{ kJ/kg}$$

LHV adalah banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap air. Dari persamaan (2) nilai kalor bawah berdasarkan rumus Dulong dan Petit dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 2400 (M + 9H_2) \text{ kJ/kg} \dots\dots\dots(2) \\ &= 15.721,43 \text{ kJ/kg} - 2400 (9 \times 0,04) \\ &= 14.857,43 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sedangkan, komposisi 1 kg bahan bakar dengan perbandingan 3 (cangkang): 1 (serabut) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C &= \left(\frac{3}{4} \times 61,34 \%\right) + \left(\frac{1}{4} \times 40,15 \%\right) = 56,0425 \% = 0,560425 \text{ kg} \\ H_2 &= \left(\frac{3}{4} \times 3,25 \%\right) + \left(\frac{1}{4} \times 4,25 \%\right) = 3,5 \% = 0,035 \text{ kg} \\ O_2 &= \left(\frac{3}{4} \times 31,16 \%\right) + \left(\frac{1}{4} \times 30,12 \%\right) = 30,9 \% = 0,309 \text{ kg} \\ N_2 &= \left(\frac{3}{4} \times 2,14 \%\right) + \left(\frac{1}{4} \times 22,29 \%\right) = 7,1775 \% = 0,071775 \text{ kg} \\ A &= \left(\frac{3}{4} \times 1,80 \%\right) + \left(\frac{1}{4} \times 3,19 \%\right) = 2,1475 \% = 0,021475 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka dari data-data yang diperoleh penulis dapat mencari nilai kalor (*heating value*), yaitu banyaknya kalori yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar atau 1 m³ bahan bakar gas pada pembakaran sempurna.

Analisis berdasarkan percobaan pada Bomb Calorimeter

Data hasil pengujian nilai kalor pada pengujian pada Tabel 5 adalah

Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai Kalor Cangkang Kelapa Sawit

No.	Bahan Bakar	M (gram)	To (°C)	Tn (°C)	Tn – To (°C)	HHV (kkal/kg)
1	Pengujian 1	2,00	24,90	31,70	6,80	7995,13
2	Cangkang Pengujian 2	2,00	25,30	32,20	6,90	
3	Kelapa Pengujian 3	1,98	24,50	31,30	6,80	
4	Sawit Pengujian 4	1,9	25,20	31,80	6,60	
5	Pengujian 5	2,00	24,80	31,70	6,90	
Rata – rata					6,80	

Maka dari data hasil pengujian dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai kalor dari bahan bakar yang diuji adalah:

- 1) Nilai Kalor Atas

Dari persamaan (3) maka dari data yang diperoleh, maka nilai kalor atas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= \frac{C_v (T_2 - T_1 - T_{kp})}{m} \dots\dots\dots(3) \\ &= \frac{2325 \text{ kal/oC} (6,8 - 0,005) \text{ oC}}{1,976 \text{ g}} \\ &= 7995,13 \text{ kal/g} = 7995,13 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

- 2) Nilai Kalor Bawah (*Low Heating Value*)

Dari persamaan (4) maka dari data yang diperoleh maka nilai kalor bawwah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 3240 \dots\dots\dots(4) \\ &= 7995,13 \text{ kkal/kg} - 3240 \\ &= 4755,13 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Data hasil pengujian nilai kalor pada pengujian adalah:

Tabel 6. Hasil pengujian nilai kalor serabut kelapa sawit

No.	Bahan Bakar	M (gram)	To (°C)	Tn (°C)	Tn - To (°C)	HHV (kkal/kg)
1	Pengujian 1	1,90	25,20	31,60	6,40	
2	Serabut Pengujian 2	2,00	24,50	31,10	6,60	
3	Kelapa Pengujian 3	1,98	24,80	31,40	6,60	7800,03
4	Sawit Pengujian 4	1,92	24,90	31,40	6,50	
5	Pengujian 5	1,88	24,80	31,20	6,40	
		Rata - rata			6,50	

Maka dari data hasil pengujian dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai kalor dari bahan bakar yang diuji adalah:

1) Nilai Klor Atas (*Heat Heating Value*)

Dari persamaan (5) maka dari data yang diperoleh, maka nilai kalor atas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= \frac{C_v (T_2 - T_1 - T_{kp})}{m} \dots\dots\dots(5) \\
 &= \frac{2325 \text{ kal/oC} (6,8 - 0,005) \text{oC}}{1,936 \text{ g}} \\
 &= 7800,03 \text{ kal/g} = 7800,03 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

2) Nilai Kalor Bawah (*Low Heating Value*)

Dari persamaan (6) maka dari data yang diperoleh maka nilai kalor bawah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{LHV} &= \text{HHV} - 3240 \dots\dots\dots(6) \\
 &= 7800,03 \text{ kkal/kg} - 3240 \\
 &= 4560,03 \text{ kkal/kg}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Bahan Bakar

Jumlah laju pemakaian bahan bakar cangkang dan serabut yang dibutuhkan dapat dihitung dari persamaan (7) dengan persamaan berikut:

$$m_{bb} = \frac{\mu (h_u - h_a)}{\eta_B \cdot \text{LHV}} \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

- Effisiensi (η_b) = 64%
- Tekanan (P) = 20 kg/cm²
- T_{sup} = 380°C
- T_{air umpan} = 90°C
- Massa uap / kapasitas ketel uap (m_u) = 18000 kg/jam
- h_{u380} = 3204 kJ/kg
- h_{u90} = 376,9 kJ/kg

Maka, kebutuhan bahan bakar pada ketel uap yang digunakan adalah:

Secara interpolasi, enthalpi spesifik (h_u) pada suhu 380°C dapat diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \frac{T_{380} - T_{350}}{T_{400} - T_{350}} &= \frac{h_{u380} - h_{u350}}{h_{u400} - h_{u350}} \\
 \frac{380 - 350}{400 - 350} &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{3248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3138 \text{ kJ/kg}} \\
 \frac{30}{50} &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{3248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 3138 \text{ kJ/kg}} \\
 0,6 &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{110 \text{ kJ/kg}} \\
 66 &= h_{380} - 3138 \text{ kJ/kg} \\
 h_{380} &= 3204 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Maka konsumsi bahan bakar adalah:

$$\begin{aligned}
 m_{bb} &= \frac{\mu (h_u - h_a)}{\eta_B \cdot LHV} \\
 m_{bb} &= \frac{18000 \frac{kg}{jam} (3204 - 376,9) kJ/kg}{0,64 \times 14.857,43 kJ/kg} \\
 &= \frac{50.887.800}{9.508,75} \\
 &= 5.351,68 \text{ kg/jam} \\
 &= 5.352 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan perbandingan cangkang dan serabut yaitu 1:3 diperoleh konsumsi bahan bakar sebesar 5.720 kg/jam. Namun, berdasarkan data lapangan konsumsi bahan bakarnya sebesar 5.352 kg/jam. Hal ini menunjukkan perbedaan yang disebabkan karena rugi-rugi pembakaran pada kondisi aktual.

Kebutuhan Bahan Bakar dengan Perbandingan Bahan Bakar 3(cangkang): 1(serabut)

Jumlah laju pemakaian bahan bakar cangkang dan serabut yang dibutuhkan dapat dihitung dari persamaan (8) sebagai berikut:

$$m_{bb} = \frac{\mu (h_u - h_a)}{\eta_B \cdot LHV} \dots\dots\dots(8)$$

dimana:

- Effisiensi (η_b) = 64%
- Tekanan (P) = 20 kg/cm²
- T_{sup} = 380°C
- T_{air umpan} = 90°C
- Massa uap / kapasitas ketel uap (m_u) = 18000 kg/jam
- h_{u380} = 3204 kJ/kg
- h_{u90} = 376,9 kJ/kg

Maka, kebutuhan bahan bakar pada ketel uap yang digunakan adalah:

Secara interpolasi, entalpi spesifik (h_u) pada suhu 380°C dapat diperoleh, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \frac{T_{380} - T_{350}}{T_{400} - T_{350}} &= \frac{h_{u380} - h_{u350}}{h_{u400} - h_{u350}} \\
 \frac{380 - 350}{400 - 350} &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{3248 \frac{kJ}{kg} - 3138 \text{ kJ/kg}} \\
 \frac{30}{50} &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{3248 \frac{kJ}{kg} - 3138 \text{ kJ/kg}} \\
 0,6 &= \frac{h_{u380} - 3138 \text{ kJ/kg}}{110 \text{ kJ/kg}} \\
 66 &= h_{380} - 3138 \text{ kJ/kg} \\
 h_{380} &= 3204 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Maka konsumsi bahan bakar adalah:

$$\begin{aligned}
 m_{bb} &= \frac{\mu (h_u - h_a)}{\eta_B \cdot LHV} \\
 m_{bb} &= \frac{18000 \frac{kg}{jam} (3204 - 376,9) kJ/kg}{0,64 \times 17.747,70 kJ/kg} \\
 &= \frac{50.887.800}{11.385,5304} \\
 &= 4.469,52 \text{ kg/jam} \\
 &= 4.469,52 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

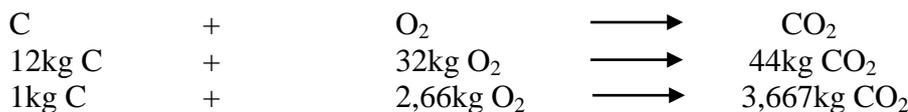
Dengan perbandingan cangkang dan serabut yaitu 3:1 berdasarkan data lapangan diperoleh konsumsi bahan bakarnya sebesar 4.469,52 kg/jam. Hal ini menunjukkan nilai kalor cangkang yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan konsumsi bahan bakar pada perbandingan 3:1 lebih sedikit membutuhkan bahan bakar dari pada konsumsi bahan bakar pada perbandingan 1:3 dengan selisih 882,48 kg/jam.

Kebutuhan Udara Pembakaran

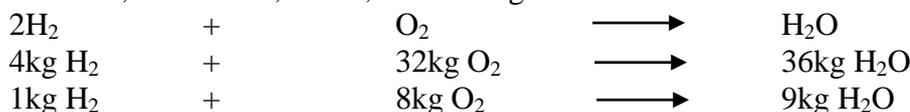
Untuk mendapatkan proses pembakaran bahan bakar yang sempurna, maka diperlukan udara pembakaran. Dalam menentukan konsumsi udara pembakaran kita perlu mengetahui konsumsi bahan bakar yang digunakan. Pada perbandingan cangkang dan serabut 1:3 yaitu 25% (cangkang) dan 75% (serabut), komposisi kimia dari campuran bahan bakar tersebut adalah:

C	= 45,44 %	N ₂	= 17,25 %
H ₂	= 4,00 %	A	= 2,84 %
O ₂	= 30,38 %		

Dalam proses pembakaran tidak semua unsur bereaksi dengan oksigen (O₂) seperti Nitrogen (N₂), unsur ini akan keluar bersama dengan gas asap. Besar jumlahnya Nitrogen (N₂) ini bergantung kepada jumlah udara pembakaran yang dibutuhkan dan jumlah Nitrogen yang terkandung didalam bahan bakar itu sendiri. Pada bahan bakar cangkang dan serabut komposisi kimia yang bereaksi dengan O₂ pada pembakaran sempurna adalah C dan H₂ dengan reaksi kimia adalah:



Sehingga untuk pembakaran 1 kg C membutuhkan 2,66 kg O₂. Sehingga 0,454475 kg C membutuhkan $0,454475 \times 2,66 = 1,2089035$ kg bahan bakar.



Sehingga untuk setiap pembakaran 1 kg H₂ membutuhkan 8 kg O₂ 0,04 kg. O₂ membutuhkan $0,04 \times 8 = 0,32$ kg bahan bakar. Sedangkan jumlah oksigen O₂ yang terkandung dalam bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebanyak 0,30 kg. Oleh karena itu jumlah oksigen yang dibutuhkan (teoritis stoikiometri) pada proses pembakaran adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 m\text{O}_2 &= 1,2089035 + 0,32 - 0,3038 \\
 &= 1,22 \text{ (kg bahan bakar)}
 \end{aligned}$$

Maka untuk 1kg bahan bakar cangkang dan serabut membutuhkan oksigen sebesar 1,22. Jumlah massa udara yang dibutuhkan (stoikiometri) untuk pembakaran 1 kg bahan bakar cangkang dan serabut adalah:

$$\begin{aligned}
 (M_{\text{ud}})_{\text{teo}} &= \frac{100}{23} \times 1,22 \text{ kg} \\
 &= 5,32 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \\
 (M_{\text{ud}})_{\text{act}} &= (M_{\text{ud}})_{\text{teo}} \times (1 + EA) \\
 &= 5,32 \times (1 + 0,5) \\
 &= 7,98 \text{ kg udara/ kg bahan bakar}
 \end{aligned}$$

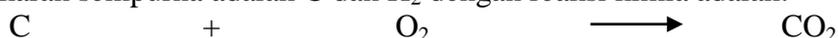
Total kebutuhan udara (massa udara) masuk untuk massa bahan bakar adalah:

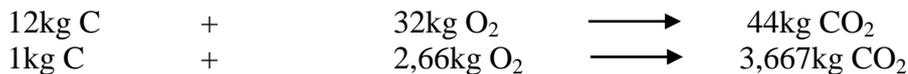
$$\begin{aligned}
 (M_{\text{ud}})_{\text{act tot}} &= (M_{\text{ud}})_{\text{act}} \times m_{\text{bb}} \\
 &= 7,98 \text{ kg udara} \times 5351,47 \text{ kg/jam} \\
 &= 42752,89 \text{ kg udara/jam}
 \end{aligned}$$

Sedangkan perbandingan 3:1 yaitu 75 (cangkang) dan 25% (serabut). Maka komposisi kimia dari campuran bahan bakar tersebut adalah:

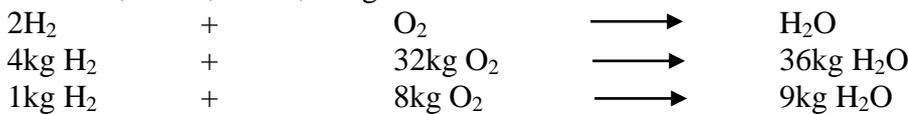
C	= 56,04 %	N ₂	= 7,17 %
H ₂	= 3,5 %	A	= 2,14 %
O ₂	= 30,9 %		

Pada bahan bakar cangkang dan serabut komposisi kimia yang bereaksi dengan O₂ pada pembakaran sempurna adalah C dan H₂ dengan reaksi kimia adalah:





Sehingga untuk pembakaran 1kg C membutuhkan 2,66 kg O₂. Sehingga 0,56 kg C membutuhkan 0,56 x 2,66 = 1,49 kg bahan bakar.



Sehingga untuk setiap pembakaran 1 kg H₂ membutuhkan 8kg O₂ 0,035 kg. O₂ membutuhkan 0,035 x 8 = 0,28 kg bahan bakar. Sedangkan jumlah oksigen O₂ yang terkandung dalam bahan bakar cangkang dan serabut adalah sebanyak 0,309 kg. Oleh karena itu jumlah oksigen yang dibutuhkan (teoritis stoikiometri) pada proses pembakaran adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_{\text{O}_2} &= 1,495 + 0,28 - 0,30 \\ &= 1,46 \text{ (kg bahan bakar)} \end{aligned}$$

Maka untuk 1kg bahan bakar cangkang dan serabut membutuhkan oksigen sebesar 1,46. Jumlah massa udara yang dibutuhkan (stoikiometri) untuk pembakaran 1kg bahan bakar cangkang dan serabut adalah:

$$\begin{aligned} (M_{\text{ud}})_{\text{teo}} &= \frac{100}{23} \times 1,46 \text{ kg} \\ &= 6,35 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \\ (M_{\text{ud}})_{\text{act}} &= (M_{\text{ud}})_{\text{teo}} \times (1 + EA) \\ &= 6,35 \times (1 + 0,5) \\ &= 9,53 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \end{aligned}$$

Total kebutuhan udara (massa udara) masuk untuk massa bahan bakar adalah:

$$\begin{aligned} (M_{\text{ud}})_{\text{act tot}} &= (M_{\text{ud}})_{\text{act}} \times m_{\text{bb}} \\ &= 9,53 \text{ kg udara} \times 4469,52 \text{ kg/jam} \\ &= 42612,40 \text{ kg udara/jam} \end{aligned}$$

Efisiensi Termal Ketel

Berdasarkan data dilapangan dengan bahan bakar 1 (cangkang): 3 (serabut) maka efisiensi termal ketel uap dapat dihitung dengan rumus dari persamaan (11):

$$\begin{aligned} \eta_{\text{termal}} &= \frac{\mu \times (h_u - h_a)}{LHV \times m_{\text{bb}}} \times 100\% \dots \dots \dots (11) \\ &= \frac{18000 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times (3204 - 376,9) \text{ kJ/kg}}{14.857,43125 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 5.351,47 \text{ kg/jam}} \times 100\% \\ &= \frac{50.887.800}{79.509.090,92} \times 100\% \\ &= 0,64 \times 100\% \\ &= 64 \% \end{aligned}$$

Sedangkan berdasarkan data dengan bahan bakar 3 (cangkang): 1 (serabut) maka efisiensi termal ketel uap dapat dihitung dengan rumus (11):

$$\begin{aligned} \eta_{\text{termal}} &= \frac{\mu \times (h_u - h_a)}{LHV \times m_{\text{bb}}} \times 100\% \dots \dots \dots (11) \\ &= \frac{18000 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times (3204 - 376,90) \text{ kJ/kg}}{17.747,70 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 4.469,52 \text{ kg/jam}} \times 100\% \\ &= \frac{50.887.800}{79.323.700,10} \times 100\% \\ &= 0,64 \times 100\% \\ &= 64 \% \end{aligned}$$

SIMPULAN

Dari Analisis pengaruh bahan bakar ketel uap tipe N-600 SA dengan perbandingan 1 (cangkang): 3 (serabut) dan 3 (cangkang): 1 (serabut) berkapasitas 20 ton uap/jam di Pabrik Kelapa Sawit Pagar Merbau PT Perkebunan Nusantara II maka penulis memperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah kebutuhan bahan bakar ketel uap dengan perbandingan bahan bakar 1 (cangkang): 3 (serabut) lebih banyak dibutuhkan yaitu sebesar 5.325 kJ/kg, sedangkan kebutuhan bahan bakar ketel uap dengan perbandingan bahan bakar 3 (cangkang): 1 (serabut) lebih sedikit yaitu 4.46 kJ/kg.
2. Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran 1 kg cangkang dan serabut adalah 1,22 kg O₂. Dan total kebutuhan massa udara untuk 1 kg cangkang dan serabut adalah sebesar 7,98 kg udara/jam.
3. Besar efisiensi ketel uap tidak mencapai 100 %. Pada perbandingan bahan bakar 1 (cangkang): 3 (serabut) dengan perbandingan bahan bakar 3 (cangkang): 1 (serabut) nilai efisiensinya adalah sama yaitu 64 %. Hanya saja pada perbandingan bahan bakar 3 (cangkang): 1 (serabut) jumlah konsumsi bahan bakar lebih sedikit dari pada perbandingan bahan bakar 1 (cangkang): 3 (serabut). Selisih perbandingan bahan bakarnya adalah sekitar 882,48 kg/jam.
4. Efisiensi termal ketel uap sangat dipengaruhi oleh nilai kalor dari bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor pada bahan bakar, maka semakin rendah efisiensi yang dihasilkan. Begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai kalor pada bahan bakar, maka semakin tinggi pula efisiensi yang didapat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis dengan rasa syukur menyampaikan terimakasih kepada seluruh pihak Politeknik Negeri Medan dan terkhusus kepada Ibu Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M.Eng. yang telah mendukung para mahasiswa-mahasiswi sebagai penulis menyelesaikan artikel ini.

REFERENSI

- Khaidir, M., Lukman L., Uddin, Burhan, F. Sanjaya, Susandy A., 2016, Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Berbahan Bakar Fiber dan Cangkang di Palm Oil Mill Kapasitas 60 Ton TBS/Jam dengan Menggunakan *Chemicalogic Steamtab Companion Version 2.0*, Jurnal Teknik Kimia, 3, 2, 46-54.
- Kinsky, R., 1989. *Heat Engineering, Australia: McGraw-Hill Book Company Australia Pty Limited*.
- PKS Merbabu, 2019, Laporan Praktek Lapangan, Politeknik Negeri Medan.
- PT Perkebunan Nusantara II. 2019, Jurnal PTPN II, Medan: Lubuk Pakam.
- Sinamo, P., 2017, Analisis ketel uap berbahan bakar cangkang dan fiber di pabrik kelapa sawit PTPNIV unit usaha pabatu dengan kapasitas 20 ton uap/jam. Medan, Politeknik Negeri Medan.
- Sukanto, Ari., 2008, Analisis pemakaian bahan bakar dengan kapasitas produksi steam pada boiler *tipe water tube*, Universitas Mercu Buana, Jakarta
- Syamsir, M. A., 1988, Pesawat-pesawat konversi energi I (ketel uap), Rajawali Pers.Jakarta
- Djokoseryardjo, M., J. 1987, Ketel Uap, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hendaryati, H., 2012, Analisis Efisiensi Termal Pada Ketel Uap Di Pabrik Gula Kebonagung Malang, Malang, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Yolanda P., Mariana M., Muhlasah N., 2017, Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode Langsung, Pontianak, Universitas Tanjungpura Pontianak Indonesia.