



OPTIMALISASI PERBANDINGAN CAMPURAN CANGKANG DAN SERABUT KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR KETEL UAP PIPA AIR

Samuel silalahi^{a*}, Tamara Silfia^a

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

E-mail: samuelsilalahi@students.polmed.ac.id (S. Silalahi) Tel.: +62 822-7784-1533

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 1 Desember 2022

Direvisi pada 5 Januari 2023

Disetujui pada 24 Januari 2023

Tersedia daring pada 25 Februari 2023

Kata kunci:

Bahan Bakar, cangkang, serabut, efisiensi, ketel uap pipa air

Keywords:

Fuel, shell, serabut, efficiency, steam boiler

ABSTRAK

Ketel uap adalah suatu bejana tertutup yang berfungsi untuk mengubah energi kimia yang terdapat di bahan bakar menjadi energi panas yang dapat mengubah air menjadi uap air yang memiliki tekanan dan suhu yang tinggi. Mesin ketel uap ini sering digunakan sebagai mesin produksi dalam perusahaan industri. Ketel uap merupakan wadah yang sangat tertutup secara rapat dalam panas pembakaran mengalir hingga terbentuknya uap panas. Uap yang di hasilkan oleh ketel uap di gunakan untuk memutar turbin yang akan menghasilkan energi listrik. Ketel uap yang di gunakan di PT. Socfindo Kebun Mata Pao adalah ketel uap jenis pipa air bermerek SFW Atmindo, berkapasitas 8 ton/jam, dengan tekanan kerja sebesar 20 Bar, yang menggunakan bahan bakar serabut dan cangkang. Potensi limbah biomassa kelapa sawit pada PT. Socfindo Kebun Mata Pao adalah ketel uap jenis pipa air bermerek SFW Atmindo, berkapasitas 8 ton/jam, dengan tekanan kerja jika digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memperoleh energi yang dapat dibangkitkan oleh biomassa kelapa sawit berupa serabut dan cangkang cukup besar. Jumlah bahan bakar yang di butuhkan untuk memproduksi uap sebesar 1,767 Ton/jam, dengan kebutuhan udara pembakaran sebanyak 15,371 Ton/jam, dengan nilai kalor pembakaran rendah sebesar 15114,61 kJ/kg, yang menghasilkan gas asap sebanyak 19,496 ton gas asap/jam dan memiliki efisiensi ketel uap sebesar 75%. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan cangkang dan serabut sebagai bahan bakar ketel uap selalu terpenuhi.

ABSTRACT

A steam boiler is a closed place that functions to convert the chemical energy contained in the fuel into heat energy which can convert air into water vapor which has high pressure and temperature. This steam boiler is often used as a production machine in industrial companies. A steam boiler is a tightly closed container in which heat flows until hot steam is formed. The steam produced by the steam boiler is used to turn a turbine which will produce electrical energy. The steam boiler used at PT. Socfindo Kebun Mata Pao is a water pipe type boiler with the brand name SFW Atmindo, with a capacity of 8 tons/hour, with a working pressure of 20 Bar, which uses serabut and shell fuel. Potential waste of oil palm biomass at PT. Socfindo Kebun Mata Pao is a water pipe boiler with the brand name SFW Atmindo, with a capacity of 8 tons/hour, with a working pressure when used as fuel for a steam power plant (PLTU) to obtain energy that can be generated by palm oil biomass in the form of sufficient serabut and shells. big. The amount of fuel ordered to produce steam is 1,767 tons/hour, with a combustion air requirement of 15,371 tons/hour, with a low heating value of 15114.61 kJ/kg, which produces 19,496 tons of smoked gas/hour and has an efficiency boiler by 75%. This shows that the need for shells and serabut as boiler fuel is always fulfilled.

1. PENGANTAR

Energi merupakan suatu kebutuhan yang tak mungkin lagi dipisahkan dari kehidupan manusia. Terutama dibidang industri, energi digunakan sebagai modal awal dalam proses produksi pada industri. Dimulai dari energi bahan bakar untuk menjalankan mesin produksi, dan energi listrik untuk menjalankan mesin dan membantu penerangan pada saat proses produksi (Sanjaya, 2018). Berkembangnya dunia industri tidak luput dari kebutuhan bahan bakar dan energi yang akan semakin meningkat. Seperti penggunaan bahan bakar pada ketel uap yang akan diubah menjadi uap, yang di gunakan untuk menghasilkan energi. Kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap berbanding lurus dengan bahan bakar yang dikonsumsi ketel uap, semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan maka konsumsi bahan bakarnya semakin meningkat (Aneka Firdaus & Erwin Sirait, 2015). Ketel uap adalah sebuah bejana tertutup yang memiliki tekanan yang dirancang untuk menguab air jenuh menjadi uap jenuh, uap jenuh yang dihasilkan ketel uap berada pada tingkat super panas pada saat sifat dan kondisi tertentu atau telah menjadi uap kering, digunakan sebagai pemutar turbin yang dapat menghasilkan energi listrik. Uap yang di produksi ketel uap dihasilkan dari proses pemanasan air menjadi uap sehingga memiliki tekanan dan suhu yang tinggi. Selain memiliki tekanan dan suhu yang sangat tinggi, uap juga memiliki kecepatan yang sangat tinggi, dengan menggunakan prinsip beda tekanan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah (Muin A. Syamsir, 1993). Air yang dipanaskan hingga berubah fase menjadi steam, memiliki volume yang lebih besar berkisar 1.600 kali dari volume asal, dan menghasilkan tenaga seperti bubuk mesiu yang bersifat sangat mudah meledak. Jika ditinjau dari konversi energi, ketel uap berperan sebagai pengkonversi energi kimia yang terkandung didalam bahan bakar yang kemudian mengubahnya menjadi energi panas, dan selanjutnya digunakan sebagai bahan bakar atau pemanas (Kiagus Ahmad Roni dkk., 2021). Kemajuan teknologi dan industri proses produksi disusul dengan perkembangan zaman saat ini, produktifitas perusahaan dari berbagai faktor yang ada harus mengikuti perkembangan saat ini. Katel uap hampir sekitar 80 % perusahaan-perusahaan yang bergerak dibidang sektor pertambangan dan perminyakan tetap dominan menggunakannya dikarenakan tidak jarang dipergunakan dalam mesin untuk memproduksi bahan industri langsung maupun tidak langsung. Ketel uap sendiri merupakan wadah terkunci sangat rapat dimana kalor dari hasil pembakaran dialirkan ke air hingga terbentuknya suatu uap panas (*steam*) (Mirza Fazillah Ma, dkk., 2021). Cangkang dan serabut kelapa sawit merupakan limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai biomassa untuk memenuhi kebutuhan energi dalam pengolahan minyak kelapa sawit melalui pembakaran langsung cangkang dan serabut. *Serabut* adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak *crude palm oil* (CPO) terkandung. Sedangkan cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Cangkang dan serabut tersebut memiliki kandungan nilai kalor yang cukup tinggi yaitu 2.770,544 kkal dan 3.881,15 kkal. Perbandingan yang dilakukan saat pembakaran pada ketel uap yaitu serabut 30% dan cangkang 70% dilaku kan setiap hari (Oksya Hikmawan, dkk., 2021).

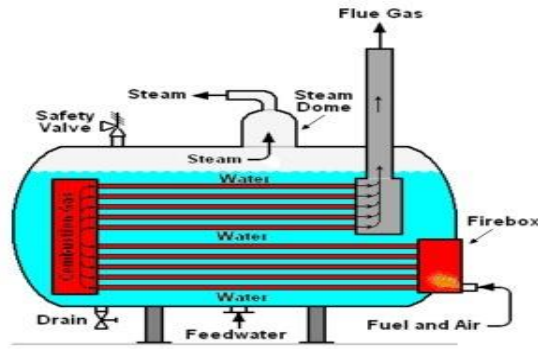
1.1 Ketel Uap

Ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk membentuk uap (*steam*). Uap diperoleh dengan memanaskan air yang berada di dalam bejana dengan bahan bakar. Ketel uap mengubah energi-energi kimia membentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Ketel uap dirancang untuk memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar (Djokosetyardjo M. J. 1990). Ketel uap adalah sebuah kontainer di mana diberi air dan dipanaskan, sehingga air mendidih dan menguap terus menerus menjadi uap. Uap yang di hasilkan dari ketel uap digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas, dan lain-lain. pengoperasian ketel uap harus sesuai dengan stand operasi yang telah ditentukan oleh pengguna ketel uap maupun standar pabrik pembuat ketel uap itu sendiri. Standar yang dibuat akan menjamin keamanan dalam pengoperasian, sehingga akan meningkatkan efisiensi ketel uap sekaligus menekan biaya operasional. Ketel uap juga dapat di katakan sebagai pesawat uap yang akan mentransfer energi-energi kimia menjadi kerja (Muin A. Syamsir, 1993). Ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap dilakukan dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa-pipa yang memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Proses perpindahan air diiringi dengan proses perpindahan panas yang melibatkan bahan bakar, udara, material wadah air dan air itu sendiri. Proses perpindahan ini ada tiga jenis yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi (Djokosetyadjo, 2015). Ketel uap pipa air memiliki sumber panas didapatkan dari pembakaran bahan bakar di dalam *furnace*. Energi panas ini akan terpancar secara radiasi ke pipa-pipa evaporator sehingga dapat memanaskan pipa-pipa tersebut. Panas yang di serap oleh permukaan pipa akan secara konduksi akan berpindah kesisi permukaan dalam pipa. Di dalam pipa, mengalir air yang terus menerus meyerap panas tersebut. Proses penyebaran panas antar molekul air di dalam aliran ini terjadi secara konveksi. Perpindahan konveksi antara molekul air, seakan-akan menciptakan aliran fluida tersendiri terlepas dengan aliran air di dalam pipa-pipa ketel uap. Gas yang mengandung energi panas akan terus mengalir mengikuti bentuk ketel uap hingga ke sisi keluaran, sepanjang perjalanan, panas yang terkandung gas buang akan diserap oleh permukaan pipa ketel uap dan diteruskan secara konduksi ke air di dalam pipa. Air akan mengubah fase menjadi uap basah (*saturated steam*) secara bertahap dan dapat berlanjut hingga menjadi uap kering (*superheated steam*) (El-Wakil, M.M. 1992; Istianto Budhi Rahardja, dkk.m 2022).

1.2 Klasifikasi Ketel Uap

1.2.1 Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

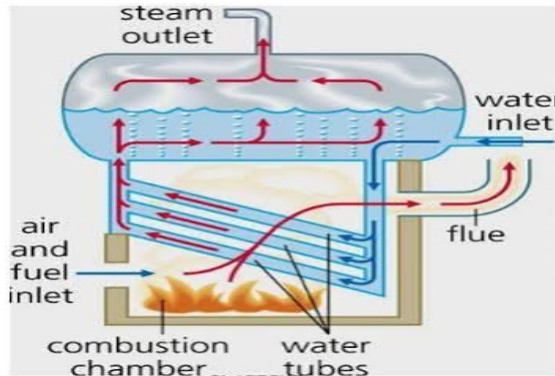
Pada ketel uap pipa api yang mengalir di dalamnya adalah api (gas panas hasil pembakaran), yang membawa energi panas yang kemudian di alirkan melalui pipa pipa yang ada di dalam ketel uap, yang memanaskan air yang ada di sekelilingnya hingga menjadi uap. Ketel uap pipa api dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut (Djokosetyardjo M. J. 1990):



Gambar 1: Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

1.2.2 Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

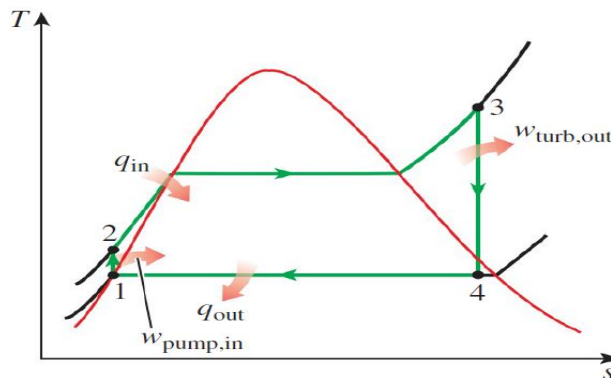
Pada ketel uap pipa air yang mengalir di dalamnya adalah air. Air bersirkulasi melalui pipa yang dipanaskan oleh api yang berada di luar pipa. Konstruksi pipa yang di pasa di dalam boiler dapat berbentuk lurus atau pengkolan (tabung bengkok) dan susunan pipa di antara kedua *header* mempunyai kecondongan tertentu, sekitar 15° dari garis datar yang bertujuan untuk memperlancar peredaran air di dalam ketel. Ketel uap pipa air dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut (Djokosetyardjo M. J. 1990; Istianto Budhi Rahardja, dkk., 2022):



Gambar 2: Ketel pipa air (*water tube boiler*)

1.3 Proses Pembentukan Uap

Proses terbentuknya uap terjadi melalui perubahan energi panas pada proses pembakaran bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap. Panas hasil pembakaran tersebut digunakan untuk menaikkan entalpi air sampai terbentuk uap air yang mengandung energi dalam yang disimpan dalam bentuk panas dan tekanan. Pembentukan uap pada ketel uap, bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam ruang dapur dan terjadi proses pembakaran. Gas-gas dari hasil pembakaran akan melewati *evaporator* dimana *superheater* akhirnya akan dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap. Sedangkan pada air pengisi, setelah mengalami pemanasan pada *deaerator*, lalu dimasukkan ke dalam *evaporator* selanjutnya uap jenuh dipanaskan lanjut pada alat yang disebut *superheater*, akhirnya diperoleh uap panas lanjut atau *superheated steam*. Proses perubahan fasa dari air menjadi uap dapat digambarkan pada diagram T-S seperti pada gambar 3 dibawah ini (El-Wakil, M.M. 1992):



Gambar 3: Diagram T-S

2. METODE

2.1 Perhitungan efisiensi ketel uap

Untuk menghitung efektivitas efisiensi pada ketel uap didapat dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan memasukan energi kimia dari bahan bakar (Djokosetyardjo, M.J. 2015).

2.1.1 Nilai Kalor (Heating Value)

Nilai Kalor adalah energi kimia yang dilepaskan oleh bahan bakar selama terjadinya proses pembakaran sejumlah bahan bakar. Nilai kalor juga di definisikan sebagai energi panas (kalor) yang di lepaskan pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang didapat pada bahan bakar (Muin A. Syamsir 1993).

1. Nilai kKalor pembakaran tinggi (HHV)

Nilai pembakaran tertinggi atau *highest heating value* yang dalam hal ini uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran dicairkan dahulu, sehingga panas pengembunannya turut dihitung serta dinilai sebagai panas pembakaran yang terbentuk. Besarnya nilai kalor pada bahan bakar tertinggi dapat dilihat sesuai pada persamaan 1 sebagai berikut:

$$\text{HHV} = 33950C + 14420(H - O_2/8) + 9400S \text{ [kJ/kg]} \quad (1)$$

2. Nilai kalor pembakaran rendah (LHV)

Nilai pembakaran terendah atau *lowest heating value* uap air yang terbentuk dari hasil pembakaran tidak perlu dicairkan dahulu, sehingga panas pengembunannya tidak ikut serta untuk diperhitungkan sebagai panas pembakaran bahan bakar tersebut (Djokosetyardjo,2015). Besarnya nilai kalor pada bahan bakar terendah berdasarkan persamaan dulong dan petit dapat dilihat dari persamaan 2 berikut:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400(H_2O + 9H_2) + 9400S \text{ [kJ/kg]} \quad (2)$$

2.1.2 Kebutuhan Bahan Bakar

Jumlah laju pemakaian bahan bakar yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan 3 berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\eta_{bb} \times \text{LHV}} \quad (3)$$

2.1.3 Udara Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara suatu zat yang disebut bahan bakar dengan oksigen yang menghasilkan zat baru (hasil pembakaran). Maka kebutuhan bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan 4 berikut :

$$(m_{ud})_{act\ total} = (m_{ud})_{act} \times m_{bb} \quad (4)$$

2.1.4 Gas Asap

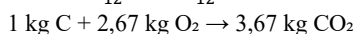
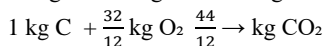
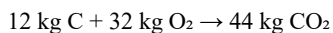
Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru. Gas asap adalah senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran (Djokosetyardjo, 2013). Berat gas asp teoritis ($\dot{m}_{g,teo}$) dapat dinyatakan pada persamaan 5 sebagai berikut:

$$\dot{m}_{g,teo} = \dot{m}_{u,teo} + (1 - A) \dot{m}_{bb} \quad (5)$$

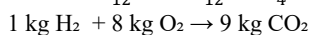
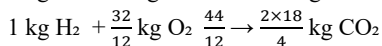
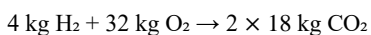
A = Kandungan abu dalam bahan bakar (*ash*)

Reaksi pembakaran sebagai berikut:

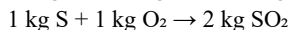
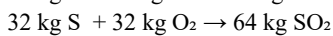
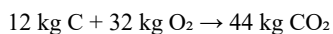
Karbon (C) terbakar menjadi CO₂ menurut persamaan 6 sebagai berikut:



Hidrogen (H) terbakar menjadi H₂O menurut persamaan 7 sebagai berikut:



Belerang (S) terbakar menjadi SO₂ menurut persamaan 8 sebagai berikut:



Maka untuk menghitung berat gas asap pembakaran dilakukan perhitungan masing – masing komponen gas asap tersebut:

Berat CO₂ = 3,67 CO₂ kg/kg bb

Berat H₂O = 9 H kg/kg bb

Berat SO₂ = 2SO₂ kg/kg bb

Berat N₂ = (77 % × (m_{ud})_{act}) + N₂ kg/kg bb

Berat O₂ = (23 % × EA) (m_{ud})_{act} kg/kg bb

2.2 Perhitungan Efisiensi Ketel Uap dengan Metode Langsung

Perhitungan efisiensi ketel uap metode langsung menggunakan persamaan 9 dan 10 Sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi ketel uap } (\eta) = \frac{(\text{jumlah panas uap yang di bangkitkan})}{(\text{jumlah panas pembakaran bahan bakar})} \times 100\% \quad (9)$$

$$\text{Efisiensi ketel uap } (\eta) = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{(\dot{m}_{bb} \cdot \text{LHV})} \times 100\% \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Bahan Bakar Ketel Uap

Bahan bakar yang digunakan pada ketel uap PT. Socfindo Kebun Mata Pao adalah bahan bakar serabut dan cangkang.

3.2 Komposisi bahan Bakar

Bahan baku kelapa sawit berupa serabut dan cangkang PT. Socfindo Kebun Mata menggunakan bahan bakar pada cangkang 80% cangkang dan serabut 20% dimana komposisi unsur kimia terdapat pada tabel 1.

Tabel 1: Komposisi Bahan Bakar Serabut

Unsur	Cangkang (%)	Serabut (%)
Carbon (C)	51,10	46,22
Hidrogen (H)	3,35	6,14
Oksigen (O)	43,30	41,46
Nitrogen(N)	1.15	1,57
Sulfur (S)	0,10	0,13
Ash	0,50	4,30

Persentase komposisi bahan bakar adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{6}{1} (0,511) + \frac{5}{6} (0,4822) = 0,4869 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

$$H = \frac{6}{1} (0,0335) + \frac{5}{6} (0,0614) = 0,0566 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

$$N = \frac{6}{1} (0,0165) + \frac{5}{6} (0,0157) = 0,0157 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

$$S = \frac{6}{1} (0,001) + \frac{5}{6} (0,0013) = 0,0011 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

$$O_2 = \frac{6}{1} (0,433) + \frac{5}{6} (0,4164) = 0,4191 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

$$\text{Ash} = \frac{6}{1} (0,005) + \frac{5}{6} (0,043) = 0,0366 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

3.3 Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor pembakaran tinggi (HHV) bahan bakar serabut dan cangkang dapat ditentukan berdasarkan persamaan (1)

$$\text{HHV} = 33950 C + 14420 \left(H - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S \text{ [kJ/kg]}$$

$$\text{HHV} = 33950 (0,4869) + 14200 \left(0,0566 - \frac{0,4191}{8} \right) + 9400(0,0011)$$

$$\text{HHV} = 16530,255 + 61,06 + 10,34$$

$$\text{HHV} = 16601,655 \text{ [kJ/kg]}$$

Nilai Kadar air (*moisture*) dalam bahan bakar di PT. Socfindo Kebun Mata Pao dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2: Nilai Moisture Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Nilai Mostuire Bahan Bakar (%)
Cangkang	11,40
Serabut	10,64

Nilai kalor pembakaran rendah (LHV) cangkang

$$\text{LHV} = \text{HHV} - (M+9) (H_2)$$

$$\text{LHV} = 16601,655 - 2400 (0,114 + 9 (0,0566))$$

$$\text{LHV} = 15105,49$$

Nilai Kalor Pembakaran Rendah (LHV) serabut

$$\text{LHV} = \text{HHV} - (M+9) (H_2)$$

$$\text{LHV} = 16601,655 - 2400 (0,106 + 9 (0,0566))$$

$$\text{LHV} = 15123,73$$

$$\text{LHV Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah nilai}}{\text{banyaknya bahan bakar}}$$

$$\text{LHV Rata-rata} = \frac{15105,49+15123,73}{2}$$

$$\text{LHV Rata-rata} = 15114,61 \text{ kJ/kg}$$

3.4 Konsumsi Bahan Bakar

Laju jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan 3 dengan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{\eta_b \times \text{LHV}}$$

$$T_u : 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_u : 20 \text{ Bar}$$

Nilai entalpi air umpan (h_a) pada $T_a = 95 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T = 95 \text{ }^\circ\text{C}; h_a = 398,09 \text{ kJ/kg}$$

Nilai entalpi uap (h_u) pada $T_u = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $P_u = 20 \text{ bar}$

$$T = 250 \text{ }^\circ\text{C}; h_u = 2903,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 8 \text{ Ton/jam}$$

Maka kebutuhan bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan 3 sebagai berikut

$$\dot{m}_{bb} = \frac{8000 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} (2903,3 - 398,09)}{0,75 \times 15114,61}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{20041,680}{11335,957}$$

$$\dot{m}_{bb} = 1767,97 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_{bb} = 1,767 \text{ Ton/jam}$$

$$\text{Cangkang} = \frac{1}{6} \times 1767,97 = 294,66 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Serabut} = \frac{5}{6} \times 1767,97 = 1473,30 \text{ kg/jam}$$

3.5 Efisiensi energi panas ketel uap ($\eta_{\text{ketel uap}}$)

Efisiensi ketel uap sebagai berikut:

$$\eta_b = \frac{(\text{jumlah panas uap yang di bangkitkan})}{(\text{jumlah panas pembakaran bahan bakar})} \times 100\%$$

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{(\dot{m}_{bb} \cdot \text{LHV})} \times 100\%$$

$$\eta_b = \frac{8000 \text{ kg/jam} (2903,3 - 398,09) \text{ kJ/kg}}{1767,97 \text{ kg/jam} \cdot 15114,61 \text{ kJ/kg}}$$

$$\eta_b = \frac{20041680}{26722177,042}$$

$$\eta_b = 0,7500$$

$$\eta_b = 75 \%$$

Efisiensi ketel uap adalah sebesar 75%

3.6 Pembahasan

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar yang menghasilkan kalor. Pembakaran yang sempurna akan dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar. Pembakaran tidak dapat mencapai efisiensi 100% dikarenakan adanya kerugian (loss) pada instrumen pendukung (Yolanda Pravitasari dkk., 2017). Menurut Yudi Setiawan, 2012 mengatakan bahwa nilai kalor pembakaran pada bahan bakar serabut, cangkang dan campuran serabut, cangkang buah kelapa sawit, nilai kalor yang paling tinggi pada komposisi bahan bakar campuran 80% serabut dan 20% cangkang kelapa sawit dengan nilai kalor 16.584,233 KJ/Kg. Analisis yang dilakukan nilai kalor akan meningkat dengan semakin rendahnya nilai kadar abu dan kadar air bahan bakar cangkang dan serabut buah kelapa sawit. Jumlah bahan bakar yang digunakan untuk operasi ketel uap tergantung dengan nilai kalor terendah/*low heating value* (LHV) dari bahan bakar ketel uap itu sendiri. Semakin tinggi nilai LHV suatu bahan bakar semakin sedikit pula jumlah bahan bakar yang digunakan, begitupun sebaliknya semakin rendah nilai LHV suatu bahan bakar semakin banyak pula jumlah bahan bakar yang digunakan ketel uap tersebut untuk beroperasi (Amirsyam Nasution dkk., 2020).

4. KESIMPULAN

Cangkang dan serabut yang digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap pipa air PT. Socfindo Kebun Mata Pao berguna untuk mengurangi limbah cangkang dan serabut sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar di ketel uap pipa air. Jumlah kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan oleh ketel uap pipa air PT. Socfindo Kebun Mata Pao adalah 1767,97 atau cangkang sebanyak 294,66 kg dan serabut sebanyak 1473,30 kg. HHV yang di hasilkan oleh bahan bakar yaitu sebesar 16601,655 kJ/kg dan menghasilkan LHV rata-rata sebesar 15114,61 kJ/kg dengan perbandingan penggunaan bahan bakar sebanyak 1:5 atau 1 kg cangkang berbanding dengan 5 kg serabut. Efisiensi dari ketel uap pipa air sebesar 75%, nilai efisiensi itu sangat di pengaruhi oleh nilai kalor yang terkandung pada bahan bakar, kadar air bahan bakar, dan jumlah udara masuk pada proses pembakaran. Sehingga untuk memperoleh pembakaran yang sempurna di butuhkan bahan bakar dan udara yang seimbang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih yang sedalamnya karena dukungan Jurusan Teknik Mesin POLMED dalam menyelesaikan penelitian dibidang energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo M. J. (1990). Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap. Jakarta, CV Pradnya Paramita.
- Djokosetyardjo, M. J. (2015). *Teknik Pesawat Tenaga*. Jakarta, Bumi Aksara Jakarta.
- El-Wakil, M.M. (1992). *Instalasi Pembangkit Daya* Jilid 1. Jakarta. Erlangga.
- Hikmawan, O., Naufa, M., & Simarmata, L.H. (2020). Pemanfaatan Cangkang Dan Serat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler. *Jurnal Teknik dan Teknologi 15* (29), 18-26.
- Ma, M. F., Munawir, Al. Supardi, J., & Muzakir. (2021). Analisa Bahan Bakar Serabut Dan Cangkang Pada Kater Uap Kapasitas 20 Ton/Jam di PT. Beurata Subur Persada. *Jurnal Mekanova 7* (2), 165-174.
- Muin A. Syamsir. (1993). Pesawat Konversi Energi 2 (turbin Uap), Edisi II, Jakarta, CV Rajawali.
- Nasution, A., Nasution, M., & Rizal, P. (2020). Analisa Pembakaran pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan 30 Ton/Jam Tekanan 20 Bar dengan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut. *Piston 4* (2), 86-88.
- Pravitasari, Y., Malino, M.B., & Mara, M.N. 2017. Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung. *Prisma Fisika 5* (1), 9-12.
- Roni, K.A., Elfidiah, Yudha Widaputra, Y., & Dewi, D.K. (2021). Analisis Pengaruh Rasio Serabut Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pada Boiler. *Jurnal Redoks 6* (1), 1-6.
- Setiawan, Y. (2012). Karakteristik Campuran Cangkang Dan Serabut Buah Kelapa Sawit Terhadap Nilai Kalor Di Propinsi Bangka Belitung. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin 1* (1), 38-43.
- Rahardja, I.B., Abinanda, E., & Siregar, A.L. (2022). Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Citra Widya Edukasi 14* (1), 39-54.