

**STUDI PEMANFAATAN CANGKANG DAN SERABUT
KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR TERHADAP PROSES
PEMBAKARAN PADA KETEL UAP PT. KORINDO GROUP MERAUKE**

Peter Sahupala, Daniel Parenden

louissahupala@gmail.com, dparenden@yahoo.com

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Musamus

ABSTRAK

PT. Medco merupakan suatu badan usaha yang bergerak mengelola hutan tanaman industri dan salah satu cabang perusahaan tersebut berada di Papua Selatan – Merauke. Perusahaan ini mengelola kayu untuk diolah menjadi bahan baku kertas dan keperluan lainnya. Aktivitas produksi kayu yang menghasilkan limbah dalam volume yang sangat besar, limbah-limbah tersebut ternyata masih memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yang pemanfaatannya akan menghasilkan bahan bakar yang bisa di pakai, salah satunya sebagai bahan bakar ketel uap untuk pembangkit tenaga. Pada dasarnya semua limbah pada pabrik pengolahan kayu dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kawasan pabrik tersebut yaitu sebagai bahan bakar ketel uap untuk memasok kebutuhan uap panas guna pembangkit listrik disamping itu juga untuk proses pengolahan kayu pada industri. Potongan-potongan kayu kecil atau dikenal dengan nama *Waste wood chips and barks* (Sisa Kepingan dan kulit kayu) dipergunakan sebagai energi alternatif pengganti kepingan dan kulit kayu dan minyak bumi yang biasanya digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Proses pembakaran Sisa Kepingan dan kulit kayu menghasilkan uap yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik, membutuhkan analisis pada nilai bahan bakar dan spesifikasi ketel uap, selanjutnya untuk menentukan proses pembakaran yang sempurna, dilakukan perhitungan kebutuhan jumlah udara pembakaran yang terdiri dari jumlah udara primer dan jumlah udara sekunder. Dari data bahan bakar dan setelah itu menganalisa proses pembakaran didalam ketel uap dengan menggunakan metode BTU.

Dari hasil perhitungan proses pembakaran pada ketel uap (PLTU) 1 x 7 MW PT. Medco menunjukkan Carbon (C) 34,47 %, Hydrogen (H₂) 4,22 %, Sulfur (S) 0,06 %, Oksigen (O₂) 30,75 %, Nitrogen (N₂) 0,22 %, Water (H₂O) 27,80 %, Ash 2,48 % dan nilai kalor sebesar *Hight Heating Value* (HHV) 9160,8 Btu/lb, *Excess* air 30% serta konsumsi bahan bakar 16784 kg/jam. Laju aliran massa uap 35 ton atau 66150 lb/h dengan temperatur gas pembakaran yang diperoleh sebesar 1490°C dan temperatur adiabatik yang terbentuk didalam furnace yaitu sebesar 1075°C. kebutuhan udara primer adalah sebesar 43594,91 kg udara dan kebutuhan udara sekunder 18727,24 kg udara. energi kalor yang dimasukkan ke ketel uap dari hasil proses pembakaran $98,24 \times 10^6$ BTU/h atau sebesar 28,77204 MW, kalor tersebut yang dimanfaatkan untuk proses perubahan *fase fluida* cairan didalam pipa air disepanjang dinding ketel hanya sebesar $83,038 \times 10^6$ BTU/h atau sebesar 24,31975425 MW. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kehilangan energi sebesar $15,2020 \times 10^6$ BTU/h atau 4,452286 MW.

Kata kunci : Medco Papua, Kepingan dan kulit kayu, ketel uap dan metode BTU

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi terbesar di beberapa daerah Indonesia, dan merupakan penghasil devisa terbesar bagi negara. Sampai tahun 2010, Indonesia adalah produsen terbesar minyak sawit mentah di dunia dengan total eksport mencapai 14 juta ton pertahun dan menghasilkan devisa kurang lebih US\$ 10 milyar. Pengembangan kelapa sawit di kabupaten Merauke diawali dari PT. Korindo Group.

Dengan adanya perkebunan ini mengharuskan dibangunnya pabrik-pabrik kelapa sawit di daerah yang berdekatan dengan perkebunan. Dari aktivitas produksi pabrik-pabrik tersebut akan menyebabkan limbah yang dihasilkan dari proses produksi yang dijalankan, baik itu limbah cair maupun limbah padat.

Khusus untuk limbah padat berupa cangkang dan serabut kelapa sawit, dimana limbah-limbah tersebut masih memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yang pemanfaatannya akan menghasilkan bahan bakar yang bisa dipakai salah satunya sebagai bahan bakar alternatif bagi pembangkit tenaga.

Dengan penggunaan cangkang harus diperhatikan agar tidak berlebihan karena nilai kalor cangkang yang relatif tinggi dapat mengakibatkan kelebihan tekanan pada ketel. Untuk proses pemasukan bahan

bakar ke dapur ketel dilakukan dengan menggunakan mesin scrapper. Dimulai dari pengiriman bahan bakar melalui air lock fiber dan air lock shell menuju scrapper kemudian masuk ke fiber conveyor. Dalam fiber conveyor bahan bakar akan dibagi-bagi menuju beberapa ketel yang bekerja. Penggunaan kadar bahan bakar disesuaikan dengan tekanan uap yang dibutuhkan.

Parameter kinerja ketel uap, seperti efisiensi dan rasio penguapan akan mengalami penurunan terhadap waktu, penurunan kinerja ini disebabkan oleh buruknya pembakaran, kotornya permukaan pertukaran panas, buruknya kualitas bahan bakar maupun buruknya kualitas air. Prestasi kerja ketel uap dapat dilihat dari bagaimana neraca panas dan effisiensinya. Neraca panas menggambarkan keseimbangan energi total yang masuk ketel uap dan yang meninggalkan ketel uap dalam bentuk energi yang berbeda, neraca dapat dilihat dari tingkat kehilangan energi yang terjadi dalam satu kali proses ketel uap. Penyebab kehilangan energi ini antara lain kehilangan pada gas cerobong, kehilangan pada condensad maupun karena bahan bakar yang tidak habis terbakar.

BAHAN DAN METODOLOGI

Tempat Dan Waktu

Rancangana penelitian ialah metode yang digunakan untuk mendekati permasalahan yang diteliti sehingga dapat menjelaskan dan membahas permasalahan secara tepat. Penelitian ini menggunakan metode penelitian jenis eksperimen. Adapun lokasi penelitian atau pengujian untuk memperoleh data yang berkaitan dengan permasalahan dalam penulisan ini bertempat di PT. Medco Papua - Merauke pada bulan February 2014.

Metode Pengumpulan Data

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Studi Kepustakaan

Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan literatur yang berhubungan dengan pemakaian Kepingan dan Kulit Kayu sebagai bahan bakar pada sistem ketel uap.

b. Observasi

Metode observasi dilakukan dengan pengamatan langsung pada penempatan alat pengukuran besaran –terukur (temperatur udara, gas dan uap, laju aliran massa uap).

c. Survei Data

Metode in dilakukan dengan cara pengambilan data pada pembangkit

listrik tenaga uap PT. Medco Papua - Merauke. Adapun data yang diambil secara garis besar adalah :

- Data Teknis/desain sistem ketel uap

Kandungan Bahan Bakar

Waste wood chips + barks dengan kandungan :

C ^P %.....	34.47
H ^P %.....	4.22
O ^P %.....	30.75
N ^P %.....	0.22
S ^P %.....	0.06
W ^P %.....	27.8
A ^P %.....	2.48
Q ^P KJ/Kg.....	11300
(2700kcal/kg)	

Data teknis/desain sistem ketel ini diperoleh berdasarkan manualbook dan dokumen-dokumen yang mengenai sistem ketel yang digunakan pada PT. Medco Papua - Merauke.

- Data operasional sistem ketel uap

Pengambilan data operasional ini dilakukan berdasarkan pada penunjukan skala atau performa terbaca pada alat ukur yang ditepatkan pada bagian-bagian tertentu pada sistem ketel uap yang digunakan

Prosedur pengambilan data

Pengambilan data-data yang diperlukan dilakukan dengan cara mencatat langsung pada manual book dan literatur tentang ketel uap pada PT. Medco Papua - Merauke. Dengan membandingkan pengoperasiannya.

Adapun data-data yang diambil antara lain :

1. Data Bahan Bakar.

Bahan bakar yang dipergunakan pada PT. Medco Papua - Merauke adalah Kepingan dan Kulit Kayu(Waste wood chips and barks). Bahan bakar solar dipergunakan pada pembakaran awal. Setelah pembakaran mencapai keadaan yang seimbang dan stabil, solar diganti dengan Kepingan dan Kulit Kayu. Adapun karakteristik Kepingan dan Kulit Kayu yang dipergunakan pada ketel uap PT. Medco Papua - Merauke adalah sebagai berikut :

Analisis ultimasi Kepingan dan Kulit Kayu standar pabrik yang dipergunakan dalam basis massa adalah :

Data Operasional

Data operasional diambil dengan pengukuran dan pencatatan langsung kondisi pengoperasian ketel

1. Data konstruksi ketel uap
2. Ruang Bakar
3. Dimensi ruang bakar :

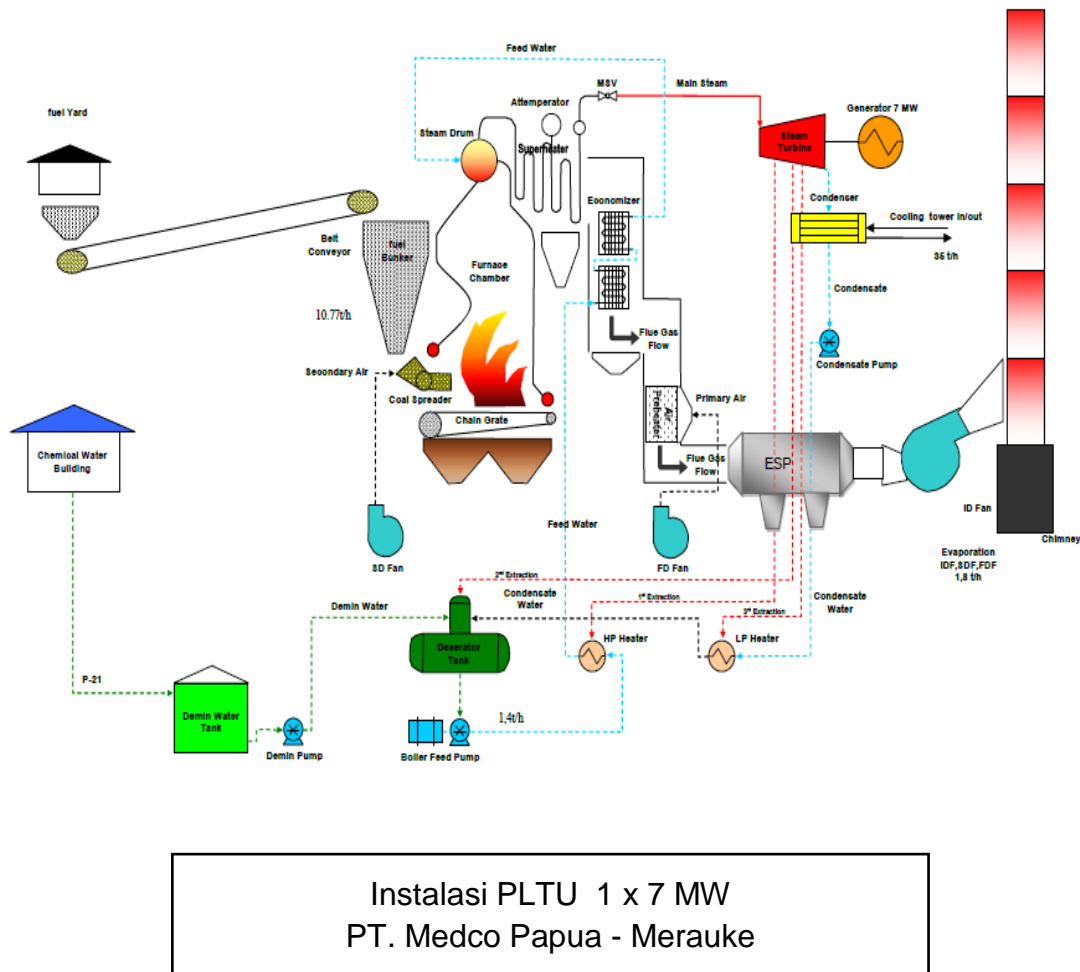
Bahan Ukuran Jumlah

- Pipa-pipa dinding 20/GB3087 60 x 3 mm
120
- Front wall 20/GB3087 60 x 3 mm 30
- Rear Wall 20/GB3087 60 x 3 mm 30
- Side wall 20/GB3087 60 x 3 mm 60
- Down Comer 20/GB3087 108 x 3
mm 4
- Ukuran ruang bakar,3660 x
4340

Komponen-komponen dasar dari ruang pembakaran adalah :

- Rangka bakar fluidisasi
- Bagian bawah yang berpendingin air dengan lapisan tahan api.
- Bagian atas yang berpendingin air.
- Udara yang dialirkan ke rangka bakar di buat dari pelat-pelat baja yang kukuh.

Gambar Instalasi



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Data Statistik

Adapun sifat-sifat bahan bakar kepingan dan kulit kayu pada ketel uap PT.

Medco Papua adalah sebagai berikut :

- a. Carbon (C) : 34,47 %
- b. Hydrogen (H₂) : 4,22 %
- c. Sulfur (S) : 0,06 %
- d. Oksigen (O₂) : 30,75 %
- e. Nitrogen (N₂) : 0,22 %
- f. Water (H₂O) : 27,8 %

- g. Ash : 2,48 %
- h. Beban Generator : 7 MW
- i. Excess air : 30 %

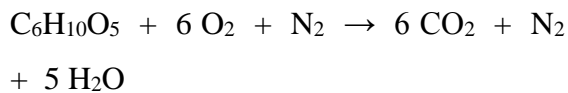
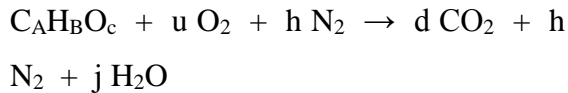
2. Spesifikasi Ketel Uap

a. Steaming Conditions.

- Superheater Outlet Pressure (SOP): 38,95 kg/cm².
- Superheater Outlet Temperatur (SOT): 450°C.
- Feed Water Temperatur (FWT): 150°C.

3. Kebutuhan Udara Pembakaran

Adapun bahan bakar yang di gunakan adalah Kepingan dan Kulit Kayu ($C_6H_{10}O_5$), maka reaksi pembakarannya adalah :



Maka massa bahan bakar $C_6H_{10}O_5$ (F), adalah :

$$(12,01 \times 6) + (1,008 \times 10) + (16 \times 5) = 72,06 + 10,08 + 80 = 162,14 \text{ kg}$$

Dan massa udara (A), adalah :

$$6x(2 \times 16) + (2 \times 14,01) = 192 + 28,02 = 220,02 \text{ kg}$$

Sehingga dapat di peroleh perbandingan udara dan bahan bakar yang di butuhkan pada kondisi stokiometris, yaitu :

$$\begin{aligned} AFR_{stokiometris} &= \frac{\text{mol udara} \times BM_{udara}}{\text{mol bahan bakar} \times BM_{bahan bakar}} \\ &= \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} \\ &= \frac{220,02}{162,14} \\ &= 1,357 \text{ kg}_{\text{udara}} / \text{kg}_{\text{bahan bakar}} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai AFR pada kondisi actual, di peroleh melalui persamaan berikut :

Excess air

$$= \frac{AFR_{akt} - AFR_{theoritis}}{AFR_{theoritis}} \times 100\%$$

Sehingga :

$$AFR_{akt} = (\text{Excess air} \times AFR_{theoritis}) + AFR_{theoritis}$$

$$AFR_{akt} = (0,3294 \times 1,357) + 1,357$$

$$AFR_{akt} = 1,804 \text{ kg}$$

Sedangkan untuk faktor kelebihan udara diperoleh :

$$\lambda = \frac{AFR_{aktual}}{AFR_{teoritis}}$$

$$\lambda = \frac{1,804}{1,357} \times 100\%$$

$$\lambda = 132,94 \%$$

Dan hasil pembakaran adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Gas Hasil Pembakaran

Nomor	Chemical	Gaseous Products Of Combustion (kg/kg bahan bakar)
1	CO ₂	0,53769
2	H ₂ O	0,18901
3	N ₂	1,87655
4	CO	0,158756

Maka di peroleh berat gas hasil pembakaran :

$$W_g = 2,762 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

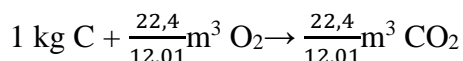
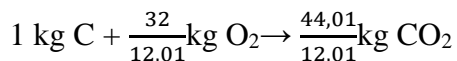
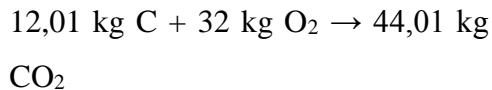
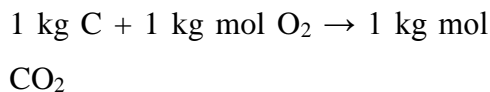
Untuk pembakaran bahan bakar 8475,4 kg/jam maka jumlah udara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran susulan atau sekunder sebesar :

$$(W_a)_{\text{(sekunder)}} = W_g \times W_{\text{bahan bakar}}$$

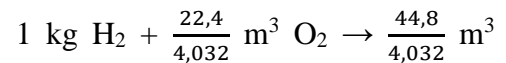
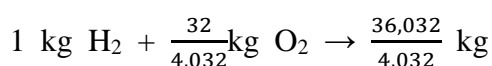
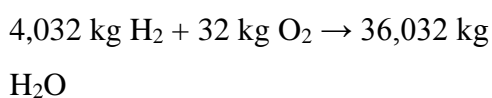
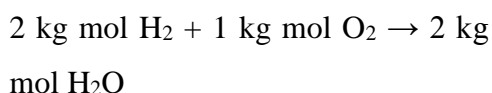
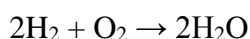
$$(W_a)_{\text{(sekunder)}} = 2,762 \times 8475,4$$

$$= 23409,05 \text{ kg udara/jam}$$

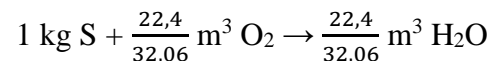
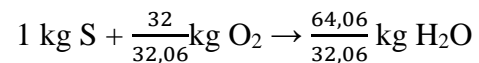
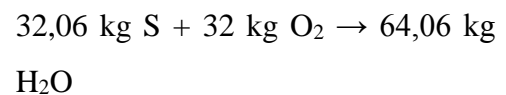
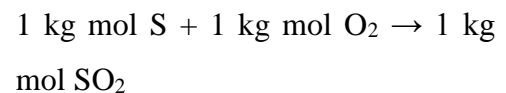
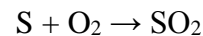
Dari hasil pembakaran sempurna ketiga unsur C, H₂ dan S diperoleh reaksi kimia sebagai berikut :



Jadi pada setiap pembakaran 1 kg C secara sempurna dibutuhkan oksigen minimum adalah 2,66 kg atau 1,865 m³ dan menghasilkan gas carbon dioksida 3,66 kg atau 1,865 m³.



Jadi pada setiap pembakaran 1 kg H₂ dibutuhkan 7,94 kg oksigen 5,56 m³ dan menghasilkan air 8,9365 kg atau 11,11m³.



Jadi setiap pembakaran 1 kg belerang dibutuhkan oksigen minimum seberat 0,998 kg atau 0,6987 m³ dan menghasilkan 1,998 kg atau 0,6987 m³ gas SO₂. Jadi dibutuhkan oksigen minimum untuk pembakaran 1 kg bahan bakar :

$$W_{\text{O}_2}$$

$$= 2,66 \text{ C} + 7,94 \text{ H}_2$$

$$+ 0,998 \text{ S} \quad \text{kg/kg bahan bakar}$$

Atau dengan volume :

$$V_{\text{O}_2}$$

$$= 1,865 \text{ C} + 5,56 \text{ H}_2$$

$$+ 0,6987 \text{ S} \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

Dalam udara terdapat oksigen seberat 23,2% atau sebanyak 21%.
Jadi

kebutuhan udara untuk pembakaran

1 kg udara adalah :

$$W_{a\ th} = \frac{W_{o\ 2}}{23,2\%} \quad kg/kg$$

Atau dengan volume

$$V_{a\ th} = \frac{V_{o\ 2}}{21\%} m^3/kg$$

Dari data diketahui bahwa reaksi pembakaran kepingan dan kulit kayu kelapa sawit adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Reaksi pembakaran Kepingan dan Kulit Kayu

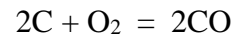
Nomor	Chemical	Reaction Of Combustion
1	Carbon	$C + O_2 + 4N_2 = CO_2 + 4N_2$
2	Sulphur	$S_2 + 2O_2 + 8N_2 = 2SO_2 + 8N_2$
3	Hydrogen	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 + 2N_2 = 2N_2 + H_2O$
4	Carbon Monoxide	$CO + \frac{1}{2}O_2 + N_2 = CO_2 + N_2$

Dan hasil persentase proses pembakaran adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Persentase hasil pembakaran

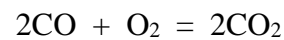
Nomor	Chemical	Percent (%)
1	CO ₂	17,338
2	H ₂ O	6,095
3	N ₂	60,510
4	O ₂	15,516
5	SO ₂	0,029
6	CO	0,512

Semua carbon akan teroksidasi menjadi Carbon monoxide sebelum setiap carbon berubah menjadi carbon dokxide. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut :



Dalam reaksi ini 2 mol carbon (24 kg) bereaksi dengan 1 mol oksigen (O₂ = 32 kg) menghasilkan 2 mol carbon monoxide (CO = 56 kg).

Bila oksigen cukup tersedia maka carbon monoxida kemudian akan teroksidasi menjadi carbon diokxide dan melepaskan energi tambahan.



Jadi 2 mol carbon monoxide (56 kg) bereaksi dengan 1 mol oksigen (32 kg) menghasilkan 2 mol carbon diokside (88 kg), jadi kebutuhan oksigen sebanyak :

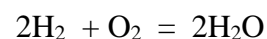
$$\frac{2 \times 32}{24} = 2,67 \text{ kg } O_2$$

Untuk pembakaran sempurna 1 kg carbon. Dari data bahan bakar yang tersedia, persentase carbon 44,6% dari jumlah bahan bakar 8475,4 kg/jam, sehingga diperoleh :

$$3780,03 \text{ kg/jam} \times 2,67 \text{ kg } O_2$$

$$10092,68 \text{ kg } O_2/\text{jam}$$

Hydrogen mempunyai temperatur pembakaran yang tinggi tetapi selama berbentuk gas biasanya beroksidasi menjadi air sebanyak :



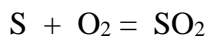
2 mol H₂ (4 kg) bereaksi dengan 1 mol O₂ (32 kg) menjadi 2 mol air (H₂O = 36 kg). Jadi kebutuhan oksigen untuk pembakaran

1 unit massa hidrogen

$$\frac{32}{4,0} = 7,94 \text{ kgO}_2/\text{kgH}_2$$

Dari data bahan bakar diperoleh persentase Hidrogen dalam bahan bakar adalah 5,32% dari jumlah bahan bakar 8475,4 kg/jam yaitu 450,893 kg.,

Sulfur/Belerang adalah unsur terendah yang di kandung dalam bahan bakar, dengan reaksi kimia adalah :



1 mol S (32 kg) bersenyawa dengan 1 mol oksigen (32 kg) menghasilkan 1 mol sulfurdioksida (64 kg). Jadi dalam pembakaran 1 mol sulfurdioksida dibutuhkan oksigen seberat :

$$\frac{32}{32} = 1,0 \text{ kg O}_2/\text{kg S}$$

Dari data bahan bakar, persentase sulfur 0,28% dari total 8475,4 kg/jam yaitu 23,731 kg S :

$$23,731 \times 1,0 = 23,731 \text{ kg S/ jam}$$

Jadi kebutuhan oksigen minimum adalah :

$$W_o = 10092,68 + 450,893 + 23,731$$

$$W_o = 10567,30 \text{ kg udara/bahan bakar}$$

Berat gas asap spesifik :

$$(w_g)_{sp} = 1,25(N_2)_v + 1,43(O_2)_v + 1,96(CO_2)_v + 1,25(CO)_v + 0,80(H_2O)_v$$

$$(w_g)_{sp} = 1,25(0,6051)_v + 1,43(0,15516)_v + 1,96(0,17338)_v + 1,25(0,00512)_v + 0,80(0,06095)_v = 1,37324 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

Berat gas asap :

- $Nitrogen = \frac{1,25(N_2)_v}{(w_g)_{sp}} \rightarrow$

$$\frac{1,25 (0,6051)}{1,3741} = 0,5508$$

- $Oksigen = \frac{1,43(O_2)_v}{(w_g)_{sp}} \rightarrow$

$$\frac{143 (0,15516)}{1,3741} = 0,16157$$

- $Carbon Diokxide = \frac{1,96(CO_2)_v}{(w_g)_{sp}}$

$$\rightarrow \frac{1,96 (0,17338)}{1,3741} = 0,24746$$

- $Carbon Monoxide = \frac{1,25(CO)_v}{(w_g)_{sp}}$

$$\rightarrow \frac{1,25 (0,00512)}{1,3741} = 0,00466$$

- $Water = \frac{0,80(H_2O)_v}{(w_g)_{sp}} \rightarrow$

$$\frac{0,80 (0,06095)}{1,3741} = 0,03551$$

Maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

N₂ dengan % volume = 60,510% ; % berat = 55,08%

O₂ dengan % volume = 15,516% ; % berat = 16,147%

CO dengan % volume = 0,512% ; % berat = 0,465%

CO₂ dengan % volume = 17,338% ;

% berat = 24,731%

H₂O dengan % volume = 6,095% ;

% berat = 3,558%

Berat gas asap ditentukan sebagai berikut :

$$W_g = \frac{C}{\frac{3}{7}(CO)_w + \frac{3}{11}(CO_2)_w}$$

$$W_g = \frac{0,446}{\frac{3}{7}(0,00466)_w + \frac{3}{11}(0,24747)_w}$$

$$W_g = \frac{0,446}{0,001997 + 0,067492}$$

$$W_g = 6,4186 \text{ kg/bahan bakar}$$

$$(W_{N_2})_g = (N_2)_w \times W_g$$

$$(W_{N_2})_g = 0,5508 \times 6,4186$$

$$(W_{N_2})_g$$

$$= 3,5353 \text{ kg/bahan bakar}$$

Jadi kebutuhan udara yang disuplai untuk pembakaran adalah

$$(W_a)_{akt} = \frac{100}{77} \times (W_{N_2})_g$$

$$(W_a)_{akt} = \frac{100}{77} \times (3,5353)_g$$

$$(W_a)_{akt} \text{ (primer)}$$

$$= 4,5913 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

(W_a)_{akt} = 4,5913 kg udara/kg bahan bakar adalah untuk pembakaran 1 kg bahan bakar, sedangkan untuk pembakaran 8475,4 kg bahan

bakar/jam diperoleh berat udara adalah :

$$(W_a)_{akt} \text{ (Primer)} = 4,5913 \times 8475,4$$

$$(W_a)_{akt} \text{ (primer)} = \mathbf{38913,10 \text{ kg udara/jam}}$$

(W_a)_{akt}(Primer) = 38913,10 kg udara/jam merupakan kebutuhan udara primer yang disuplai masuk ke dalam evaporator pada pembakaran awal dengan udara sekunder sebesar (W_a)_{akt} (sekunder) = 23409,05 kg udara/jam.

Jadi di peroleh persentase udara pembakaran sebagai berikut :

Udara Pembakaran	Kebutuhan Udara(kg udara/jam)	Persentase Udara(%)
Primer	38913,10	62,44
Sekunder	23409,05	37,562

Apabila diasumsikan bahwa udara jumlah udara sekunder akan dialirkan sebanyak 20% ke bagian bawah kisi-kisi stoker guna membantu proses pembakaran dengan udara primer maka diperoleh :

$$(W_a)_{akt} \text{ (primer)} = 38913,10 \text{ kg udara/jam} + (0,2 \times 23409,05 \text{ kg udara/jam})$$

$$(W_a)_{akt} \text{ (primer)} = 43594,91 \text{ kg udara/jam}$$

Sehingga sisa udara sekunder yang masuk untuk proses pembakaran lanjutan sebesar :

$$(W_a)_{akt} \text{ (sekunder)} = 23409,05 \text{ kg udara/jam} - (0,2 \times 23409,05 \text{ kg udara/jam})$$

$$(W_a)_{akt} \text{ (sekunder)} = 18727,24 \text{ kg udara/jam}$$

5. Data Perencanaan

- Luaspermukaan furnace
- Excess air
- Kehilangan karbon yang tidak terbakar (UBCL): 0,40%
- Kehilangan yang tidak terdeteksi (kurva ABMA): 1,5%
- Kehilangan akibat radiasi
- Temperatur gas yang meninggalkan furnace
- Uap yang meninggalkan superheater

-Laju aliran uap: 30.000 kg/jam(66150 lb/jam)

-Temperatur uap : 840,2 F

-Tekanan uap : 38,95 kg/cm²

-Enthapi uap (H₂): 1496,474 Btu/lbm

h) Air meninggalkan economizer

-Laju aliran air : 66150 lb/jam

-Temperatur air : 302 F

-Tekanan air : 45,40 kg/cm²

-Enthalpi air (H₁) : 235,177 Btu/lbm

i) Airheater

- Temperatur udara masuk : 30°C
(86 F)

-Tekanan Barometer: 30 in.Hg

- Temperatur gas meninggalkan cerobong : 150°C (365 F)

j) Output :

$$Output = \dot{m}(H_2 - H_1)$$

Dengan

\dot{m} : 66150 lb/h

H₂ : 1496,474 Btu/lb

H₁ : 235,177 Btu/lb

Sehingga diperoleh :

$$Output = 66150 (1496,474 - 235,177)$$

Output =

$$83,038 \times 10^6 \text{ Btu/h (Tabel BTU, no. 10)} \times 0,4\%$$

k) Input kalor bahan bakar : 1490°C (2714 F)

$$Input = \frac{Output}{Effisiensi}$$

Dengan

Effisiensi ketel dari data adalah 84,527 % (Tabel BTU, no. 53)

$$Input = \frac{83,038 \times 10^6}{84,527 \%}$$

Input =

$$98,24 \times 10^6 \text{ Btu/h (Tabel BTU, no. 54)}$$

l) Laju aliran massa gas

m_g

$$= Input \times \text{Berat gas basah } \text{lb/h}$$

Dengan

Berat gas basah : $7,012 \times 10^{-4}$
(Tabel BTU, no.33)

$$m_g = (982,384 \times 10^6) \times (7,012 \times 10^{-4})$$

$$m_g = 688,86 \times 10^3 \text{ lb/h (Tabel BTU, no. 56)}$$

m) Heat Release Rate

Temperatur gas keluar dari evaporator (Furnace) harus ditentukan untuk mendesain komponen perpindahan panas. Dalam buku Steam, its generation and use, The Babcock & Wilcox Company, edisi 41, bab 4, kurva temperatur tungku keluar gas untuk berbagai bahan bakar yang diperkirakan. Kurva ini mewakili akumulasi pengalaman luas lapangan dan evaluasi analitis. Panas yang dapat diserap oleh tungku ditentukan dari perhitungan pembakaran menjadi 933,98 Btu/lb

gas buang. Tata letak tungku (tabel 8) bab 4, Gambar. 33 menunjukkan efektivitas faktor 1.0. Tingkat rilis panas untuk tungku adalah:

HRR

$$= \frac{\text{Heat Available} \times \text{Laju aliran gas}}{\text{flat projected area} \times \text{effectivines factor}}$$

Dengan

Heat available = 136,35 Btu/lb
(Tabel Metode BTU, no. 60)

Flat projected area = 960.0805 ft²

Effectivines factor = 1,0
Lampiran 1A.

(STEAM, Babcock and Wilcox, chap. 4, gambar. 33)

Sehingga diperoleh :

$$HRR = \frac{(1363,48) \times (840)}{960.0805 \times 1,0}$$

$$HRR = 1,193 \times 10^3 \frac{\text{Btu}}{\text{h.ft}^2}$$

Table Perhitungan Combustion Calculations - Btu Method Kepingan Dan Kulit Kayu									
INPUT CONDITIONS - BY TEST OR SPECIFICATION					FUEL- Waste Wood Chips & Barks				
1	Excess air at burner/leaving boiler/econ/entering AH, % by wt	32,94	15	Ultimate Analysis	16	Theo Air, lb/100 lb fuel	17	H ₂ O, lb/100 lb fuel	
2	Entering air temperature, F (IRA = 77 for PTC 4)	82,4		Constituent	% by weight	K1	[15] × K1	K2	[15] × K2
3	Reference temperature, F	82,4	A	C	34,47	11,51	396,75		
4	Fuel temperature, F	80	B	S	0,06	4,32	0,26		
5	Air temperature leaving air heater, F	302	C	H ₂	4,22	34,29	144,70	8,94	37,73
6	Flue gas temperature leaving (excluding leakage), F	390	D	H ₂ O	27,8			1,00	27,8
7	Moisture in air, lb/lb dry air	0,01	E	N ₂	0,22				
8	Additional moisture, lb/100 lb fuel	0	F	O ₂	30,75	-4,32	-132,84		
9	Residue leaving boiler/econ/entering AH, % Total	1,01837	G	Ash	2,48				
10	Output, 1,000,000 Btu/h	83,038	H	Total	100,00	Air	408,87	H ₂ O	65,53
Corrections for sorbent (if used)									
11	Sulfur capture, lbm/lbm sulfur	Table 16, Item [24]	0	18	Higher heating value (HHV), Btu/lb fuel				9.160,8
12	CO ₂ from sorbent, lb/10,000 Btu	Table 14, Item [19]	0	19	Unburned carbon loss, % fuel input				0,40
13	H ₂ O from sorbent, lb/10,000 Btu	Table 14, Item [20]	0	20	Theoretical air, lb/10,000 Btu		[16H] × 100 / [18]		4,463
14	Spent sorbent, lb/10,000 Btu	Table 14, Item [24]	0	21	Unburned carbon, % of fuel		[19] × [18] / 14,500		0,25
COMBUSTION GAS CALCULATION, Quantity/10,000 Btu Fuel Input									
22	Theoretical air (corrected), lb/10,000 Btu	[20] - [21] × 1151 / [18] + [11]							4,432
23	Residue from fuel, lb/10,000 Btu	[(15G) + [21]] × 100 / [18]							0,030
24	Total residue, lb/10,000 Btu	[23] + [14]							0,030
A At Burners B Infiltration C Leaving Furnace D Leaving Blr/Econ									
25	Excess air, % by weight		32,9	0,0			32,9		32,9
26	Dry air, lb/10,000 Btu	(1 + [25] / 100) × [22]					5,891		5,891
27	H ₂ O from air, lb/10,000 Btu	[26] × [7]				0,059	0,059	0,059	0,059
28	Additional moisture, lb/10,000 Btu	[8] × 100 / [18]				0,000	0,000	0,000	0,000
29	H ₂ O from fuel, lb/10,000 Btu	[17H] × 100 / [18]				0,715	0,715	0,715	0,715
30	Wet gas from fuel, lb/10,000 Btu	(100 - [15G] - [21]) × 100 / [18]					1,062		1,062
31	CO ₂ from sorbent, lb/10,000 Btu	[12]					0,000		0,000
32	H ₂ O from sorbent, lb/10,000 Btu	[13]				0,000	0,000	0,000	0,000
33	Total wet gas, lb/10,000 Btu	Summation [26] through [32]					7,012		7,012
34	Water in wet gas, lb/10,000 Btu	Summation [27] + [28] + [29] + [32]				0,774	0,774	0,774	0,774
35	Dry gas, lb/10,000 Btu	[33] - [34]					6,238		6,238
36	H ₂ O in gas, % by weight	100 × [34] / [33]					11,041		11,041
37	Residue, % by weight (zero if < 0.15 lbm/10KB)	[9] × [24] / [33]					0,004		0,004
EFFICIENCY CALCULATIONS, % Input from fuel									
Losses									
38	Dry gas, %	0.0024 × [35D] × ([6] - [3])							4,605
39	Water from fuel, as fired %	Enthalpy of steam at 1 psi, T = [6] H ₁ = (3.958 × 10 ⁻⁵ × T + 0.4329) × T + 1062,2						1237,051	
40		Enthalpy of water at T = [3] H ₂ = [3] - 32						50,4	
41		[29] × ([39] - [40]) / 100							8,488
42	Moisture in air, %	0.0045 × [27D] × ([6] - [3])							0,082
43	Unburned carbon, %	[19] or [21] × 14,500 / [18]							0,398
44	Radiation and convection, %	ABMA curve, Chapter 23							0,400
45	Unaccounted for and manufacturers margin, %								1,500
46	Sorbent net losses, % if sorbent is used	From Table 14 Item [41]							0,000
47	Summation of losses, %	Summation [38] through [46]							15,473
Credits									
48	Heat in dry air, %	0.0024 × [26D] × ([2] - [3])							0,000
49	Heat in moisture in air, %	0.0045 × [27D] × ([2] - [3])							0,000
50	Sensible heat in fuel, %	(H at T[4] - H at T[3]) × 100 / [18]				0,0			0,000
51	Other, %								0,000
52	Summation of credits, %	Summation [48] through [51]							0,000
53	Efficiency, %	100 - [47] + [52]							84,527
KEY PERFORMANCE PARAMETERS						Leaving Furnace		Leaving Blr/Econ	
54	Input from fuel, 1,000,000 Btu/h	100 × [10] / [53]							98,24
55	Fuel rate, 1000 lb/hr	1000 × [54] / [18]							10,72
56	Wet gas weight, 1000 lb/hr	[54] × [33]					688,86		688,86
57	Air to burners (wet), lb/10,000 Btu	(1 + [7]) × (1 + [25A] / 100) × [22]					5,95		
58	Air to burners (wet), 1000 lb/h	[54] × [57]					584,56		
59	Heat available, 1,000,000 Btu/h	[54] × (([18] - 10.30 × [17H]) / [18] - 0.005							
	H _a = 66 Btu/lb	× ([44] + [45]) + H _a at T[5] × [57] / 10,000)					93,93		
60	Heat available/lb wet gas, Btu/lb	1000 × [59] / [56]					136,35		
61	Adiabatic flame temperature, F	From ch. 10, Fig. 3 at H = [60], % H ₂ O = [36]					2049		

KESIMPULAN

Dari poses pembakaran bahan bakar diketel uap dapat dilihat bahwa input kalor didalam ketel uap sebesar 98,24 x 10⁶ BTU/h dan Output kalor sebesar

83,038 x 10⁶ BTU/h. Efisiensi ketel yang diperoleh sebesar 84,527 % dengan panas yang tersedia sebesar 136,35 BTU/lb.

Dengan energi kalor yang dimasukkan ke ketel uap dari hasil proses

pembakaran $98,24 \times 10^6$ BTU/h atau sebesar 28,77204 MW, kalor tersebut yang dimanfaatkan untuk proses perubahan fase fluida cairan didalam pipa air disepanjang dinding ketel hanya sebesar $83,038 \times 10^6$ BTU/h atau sebesar 24,31975425 MW. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kehilangan energi sebesar $15,2020 \times 10^6$ BTU/h atau 4,452286 MW. Kehilangan energi yang terbesar melalui gas sisa hasil pembakaran yang terbuang lewat cerobong. Hal ini memang sesuai dengan hukum II termodinamika yaitu bahwa untuk proses konversi energi selalu terjadi kehilangan atau harus menyerahkan sebagian energi kelingungan. Jadi dari hasil tersebut diatas maka keseimbangan energi terjadi dalam siklus ketel uap yaitu sebagai berikut energi total sama dengan energi input dikurangi dengan energi output dan kehilangan energi atau dengan kata lain dapat ditulis sebagai berikut :

Energi Total = Energi Input – (Energi Output + Kehilangan Energi)

Energi Total = 28,77204 – (24,31975425 + 4,45228665)

Energi Total = 0 MW.

DAFTAR PUSTAKA

1. A Muin, Syamsir, 1986. *Pesawat – Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Rajawali Press, Jakarta.
2. Surbakty, B.M, 1985. *Pesawat Tenaga Uap I (Ketel Uap)*. Mutiarasolo, Surakarta
3. Culp, J., Archie W. Jasjfi, 1989. *Prinsip – Prinsip Konversi Energi* (terjemahan). Erlangga, Jakarta.
4. Djokosetyardjo, *Ketel Uap*. 1999. Penerbit Pradnya Paramita Jakarta.
5. Donald R. Pitts and Leigton E. Sissom (terjemahan oleh E. Jasjfi), 1987.
6. El – Wakil, M. M, E. Jasjfi, 1992. *Instalasi Pembangkit Daya* (terjemahan). Erlangga, Jakarta.
7. John B. Kitto and Steven C. Stultz, 2005. *Steam*. The Babcock and Wilcox Company Barbeton, Ohio USA. Edisi 41.
8. Michael A. Saad (terjemahan oleh Purmono Wahyu Indarto), 1997. *Termodinamika*
9. Peter Sahupala, *Studi Pemanfaatan Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Ketel Uap Di Kencana Group*. Universitas Hasanuddin Makassar. 2012.
10. Sorrensen, Harry A, 1983. *Energy Conversion*. John Wiley & Sons, New York.