

## **ANALISIS PERFORMANSI KETEL UAP DENGAN TEKANAN KERJA 27 KG/CM<sup>2</sup> DI PT PERKEBUNAN LEMBAH BHAKTI, ASTRA AGRO LESTARI, TBK**

**Elsa Hestina Br Sebayang<sup>1</sup>, Chitra Aginta Br Surbakti<sup>2</sup>, Rufinus Nainggolan<sup>3</sup>**

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

elsahestina@students.polmed.ac.id, chitraaginta@students.polmed.ac.id,

rufinusnainggolan@polmed.ac.id

### **ABSTRAK**

Ketel uap merupakan alat yang berfungsi untuk mengkonversi energi kimia yang terdapat pada bahan bakar menjadi energi panas yang dapat mengubah air menjadi uap air karena energi panas yang dihasilkan. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap tersebut digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan proses produksi. Ketel uap yang digunakan di PT. Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari Tbk, adalah ketel uap pipa air model Indomarine WR 1100 FM, kapasitas 35 [Ton/Jam] dengan bahan bakar cangkang dan *fiber*, tekanan kerja 27 KG/CM<sup>2</sup> dan temperatur 276,24 °C. Jumlah konsumsi bahan bakar untuk memproduksi uap adalah 9.083 kg/jam dengan nilai kalor pembakaran rendah 12.099,1195 kJ/kg dan menghasilkan gas asap sebesar 84.104,64816 [kg asap/kg bahan bakar] serta udara yang dibutuhkan didalam ruang bakar adalah sebesar 61.730,33859kg udara/jam dan efisiensi ketel uap adalah 63,64 %.

**Kata Kunci:** Ketel Uap, Bahan bakar, Performansi

### **PENDAHULUAN**

Industri pertanian belakangan ini berkembang pesat khususnya dalam proses produksi kelapa sawit. Dimana dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak mentah atau CPO (*crude palm oil*) dan PKO (*Palm Kernel Oil*) diperlukan energi listrik. Oleh karena itu, pada Pabrik Kelapa Sawit harus memiliki pembangkit sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dalam proses pengolahan.

Adapun yang digunakan disini adalah ketel uap (*Boiler*) yang merupakan suatu alat konversi energi yang banyak digunakan pabrik untuk menghasilkan uap melalui proses pemanasan. Ketel Uap merupakan jantung dari pabrik kelapa sawit. Uap yang dihasilkan oleh ketel uap akan digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik dan memenuhi kebutuhan proses di pabrik kelapa sawit. Uap ini diperoleh dari air yang dipanaskan sebagai hasil pembakaran sejumlah bahan bakar.

Pada pabrik kelapa sawit di PT Perkebunan Lembah Bhakti, tekanan *boiler* yang harus didapatkan adalah 27 kg/cm<sup>2</sup>. Tekanan tersebut harus dijaga kestabilannya supaya proses pengolahan pabrik kelapa sawit berjalan dengan lancar. Jika ketel uap mengalami kerusakan atau bahan bakarnya tidak mencukupi maka kerja ketel uap tidak efisien sehingga uap yang dihasilkan tidak stabil dan tekanannya berada di bawah batas yang ditentukan.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis akan membahas mengenai "Analisis Performansi Ketel Uap dengan tekanan kerja 27 kg/cm<sup>2</sup> di PT. Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari, Tbk.

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **Pengertian Ketel Uap**

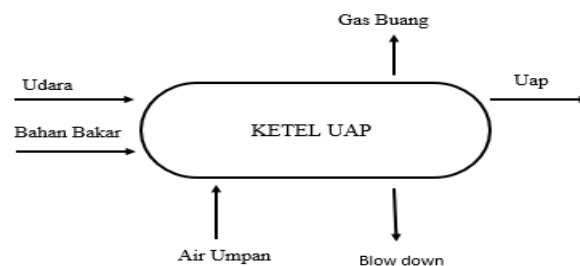
Ketel Uap atau yang sering disebut *boiler*, yaitu suatu komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk menghasilkan uap, yang energi kinetiknya dimanfaatkan untuk memutar turbin. Air merupakan media utama yang diolah didalam *boiler* yang selanjutnya akan diproses untuk menghasilkan *steam*.

## Prinsip Kerja Ketel Uap

Ketel uap merupakan suatu alat untuk membangkitkan atau menghasilkan uap dengan cara memanaskan air yang ada di dalam ketel uap dengan menggunakan panas hasil dari pembakaran bahan bakar. Pembakaran bahan bakar dilakukan secara kontinyu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Air tersebut kemudian menyerap kalor dari pembakaran sehingga suhunya meningkat secara terus menerus sehingga menghasilkan uap basah. Uap basah tadi kemudian menuju ke pemanas lanjutan (*superheater*). *Superheater* ini berfungsi untuk memanaskan uap basah hingga menjadi uap kering.

Uap yang dihasilkan dari ketel uap ialah uap panas lanjut (*superheated steam*) dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Uap dengan temperatur dan tekanan tinggi yang dapat digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang terhubung dengan generator untuk dapat menghasilkan listrik.

Pada saat proses pemanasan air menjadi uap, padatan-padatan yang terkandung dalam air umpan *boiler* akan tertinggal di air *boiler*. Padatan-padatan tersebut dapat menimbulkan terbentuknya kerak atau deposit dalam *boiler*. Untuk mencegah terbentuknya kerak di dalam air *boiler* maka air harus diganti. Proses ini dikenal sebagai *blowdown* yang berkelanjutan. Selain air yang mengalir menjadi uap, bahan bakar yang telah dilakukan proses pembakaran memiliki gas buang yang disalurkan melalui *chimney*. Kotoran yang menempel bagian pipa luar akan dilakukan pembersihan dengan proses *shoot blower*.

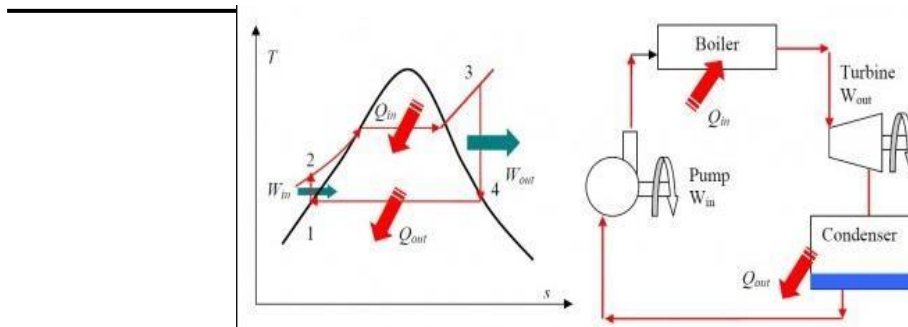


Gambar 1. Pompa Sentrifugal

## Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di ketel uap, umumnya digunakan air ( $H_2O$ ) karena bersifat ekonomis, mudah diperoleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya pada temperatur 100 C dan tekanan 1 atm, maka air akan berangsur-angsur menjadi uap (Kunarto, 2019).



Gambar 1. Siklus Rankine

Sumber: (<https://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-siklus-rankine/2/>)

Proses 1-2 : Pompa air umpan *boiler* meningkatkan tekanan air, sementara suhunya juga meningkat secara adiabatik. Pemanasan awal air umpan terjadi di *de-aerator*, air dipanaskan hingga mencapai temperatur 95.

Proses 2-3 : Air dipanaskan dalam ketel uap sehingga temperatur meningkat pada tekanan konstan. Temperatur naik sampai mencapai temperatur saturasi. Saat air mulai mendidih tekanan dan suhu akan konstan, sementara fraksi kekeringannya naik mencapai kurva batas atas sehingga uap jenuh (*saturated steam*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*).

Proses 3-4 : Uap masuk ke dalam turbin, dimana uap mengalami ekspansi secara isentropik dan menghasilkan kerja untuk memutar poros yang terhubung pada generator.

## Bahan Bakar Pada Ketel Uap

### 1. Bahan Bakar Cangkang



Gambar 3. cangkang

Sumber: (PT. PLB, 2021)

Cangkang merupakan limbah dari hasil pengolahan kelapa sawit, dimana cangkang merupakan bagian dari buah kelapa sawit yang dihasilkan setelah melalui proses pengolahan pada stasiun kerja pengolahan biji dimana pada stasiun ini, biji dari pemisah biji dan serabut (*depiricarper*) akan dikutip, dipecah oleh *ripple mill* dan dipisahkan antara inti dan cangkang oleh LTDS.

### 2. Bahan Bakar Serabut



Gambar 4. Serabut

Sumber: (PT. PLB, 2021)

## Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan

Serabut merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit, dimana serabut merupakan bagian dari buah kelapa sawit yaitu kulit luar dari buah kelapa sawit atau disebut dengan daging buah kelapa sawit.

Berondolan buah kelapa sawit dari mesin *tresher* akan masuk ke dalam *digester* untuk dilumatkan sehingga daging buah terpisah dari biji. Kemudian serabut dihasilkan melalui proses pemerasan pada mesin *screw press*.

### Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor (panas) adalah energi panas yang dilepaskan bahan bakar pada saat terjadi oksidasi unsur-unsur kimia yang terdapat dalam bahan bakar. Nilai kalor dibagi menjadi dua yaitu :

a. Nilai kalor tinggi (*High Heating Value*)

Nilai kalor tinggi adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar, tanpa adanya kandungan air pada bahan bakar.

Besarnya nilai kalor tinggi (HHV) adalah :

$$\text{HHV} = 33950.C + 14420 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400.S \quad \text{kJ/kg}$$

b. Nilai kalor rendah (*Low Heating Value*)

Nilai kalor rendah adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar dan sebagian dimanfaatkan untuk penguapan sehingga kandungan air pada bahan bakar akan habis.

Besarnya nilai kalor rendah (LHV) adalah :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (M + 9H_2) \text{ kJ/kg}$$

### Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk mendapatkan proses pembakaran bahan bakar yang sempurna, maka diperlukan udara pembakaran.

$$(M_{ud})_{act\ total} = (M_{ud})_{act} \times W_{f\ total}$$

### Gas Asap Yang Dihasilkan

Hasil dari proses pembakaran di ruang bakar akan menghasilkan gas asap, yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_g = m_g \times m_{bb}$$

### Efisiensi Boiler

Efisiensi *boiler* adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja *boiler* atau ketel uap yang di dapatkan dari perbandingan antara energi yang diserap (keluaran) dengan energi yang dihasilkan (masuk) oleh ketel uap.

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{Panas masuk}}{\text{Panas keluar}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{m_{bb} \cdot \text{LHV}} \times 100\%$$

Dimana:

$\dot{m}_u$  = Laju aliran uap (kg/jam)

$h_u$  = Entalpi spesifik uap (*superheated*) (Kj/kg)

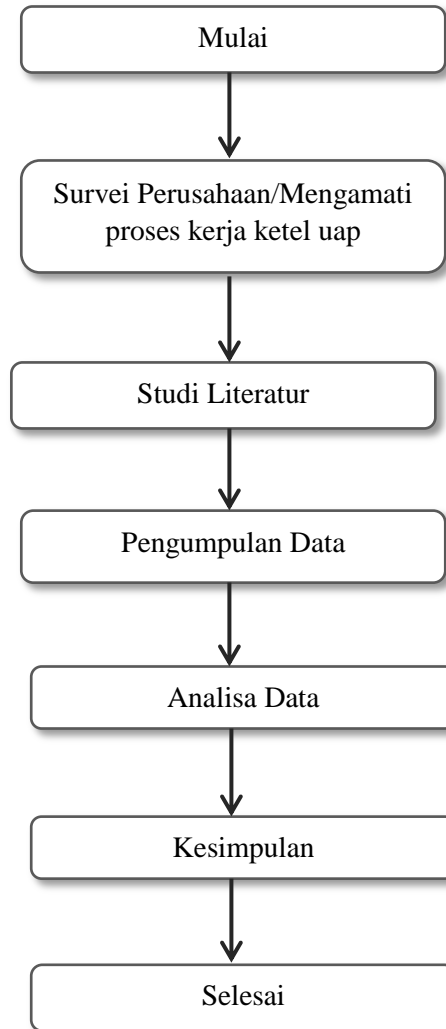
$h_a$  = Entalphi spesifik air umpan (Kj/kg)

$m_{bb}$  = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

LHV = *Low Heating Value* (Kj/kg)

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

### Lokasi Penelitian

Lokasi dan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 15-24 Maret di PT Perkebunan Lembah Bhakti, Astra Agro Lestari, Tbk yang berlokasi di Aceh singkil.

### Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan pada data-data yang dibutuhkan dalam analisa performansi Ketel Uap. Kegiatan tersebut meliputi pengambilan data spesifikasi Ketel Uap dan data operasional PT Perkebunan Lembah Bhakti, Astra Agro Lestari, Tbk. Studi literatur yang berupa mempelajari jurnal, artikel dan buku-buku yang menjadi referensi dalam pemahaman mengenai Ketel Uap. Literatur yang didapat berasal dari jurnal dan buku pada perpustakaan Politeknik Negeri Medan.

**Teknik Analisa Data**

Teknik analisa data yaitu dengan menghitung analisis bahan bakar, nilai kalor bahan bakar, kebutuhan udara pembakaran (Mud), dan gas asap yang dihasilkan (Mg), dari rumus-rumus yang bersumber dari Pustaka. Setelah semua data dihitung kemudian maka didapatkan efisiensi Ketel Uap. Setelah itu didapatkan kesimpulan mengenai performansi Ketel Uap.

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Spesifikasi Ketel Uap****Tabel 1.** Data Spesifikasi Ketel Uap

1	Merek Ketel Uap	Indomarine
2	Jenis Ketel Uap	Pipa Air
3	Tipe Ketel Uap	WR 1100 FM
4	Kapasitas	35 Ton/Jam
5	Tekanan Kerja	27 KG/CM <sup>2</sup>
6	Bahan Bakar	Cangkang dan Serabut

**Analisa Data**

## 1. Analisa Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu zat dimana energi diperoleh dengan reaksi kimia. Reaksi kimia pembakaran terjadi karena unsur-unsur dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen.

Adapun bahan bakar yang digunakan di PT. Perkebunan Lembah Bhakti Astra Agro Lestari, Tbk adalah bahan bakar jenis padat yaitu *fiber* dan cangkang.

Komposisi dari unsur-unsur bahan bakar cangkang dan *fiber* adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.** Komposisi Bahan Bakar

Unsur	Cangkang (%)	Fiber (%)
Carbon (C)	46,70	31,40
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	5,60	3,80
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0,67	1,06
Oksigen (O <sub>2</sub> )	31,20	21,50
Sulfur (S)	0,07	0,12
Abu	3,36	4,02
Air (H <sub>2</sub> O)	12,40	38,10
Jumlah	100	100

Perbandingan bahan bakar cangkang dan fiber adalah 1:3, maka komposisi bahan bakar sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{1}{4}(0,467) + \frac{3}{4}(0,314) &= 0,35225 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 H_2 &= \frac{1}{4}(0,056) + \frac{3}{4}(0,038) &= 0,0425 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 N_2 &= \frac{1}{4}(0,0067) + \frac{3}{4}(0,0106) &= 0,009625 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 O_2 &= \frac{1}{4}(0,312) + \frac{3}{4}(0,215) &= 0,23925 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 S &= \frac{1}{4}(0,0007) + \frac{3}{4}(0,0012) &= 0,001075 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 H_2O &= \frac{1}{4}(0,124) + \frac{3}{4}(0,381) &= 0,31675 \text{ (kg/kg bahan bakar)} \\
 Abu &= \frac{1}{4}(0,0336) + \frac{3}{4}(0,0402) &= 0,03855 \text{ (kg/kg bahan bakar)}
 \end{aligned}$$

---


$$\text{Jumlah} = 1 \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

## Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan

2. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai Kalor Atas (HHV)

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 33950.C + 144200 \left( H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400.S \\ &= 33950 (0,35225) + 144200 \left( 0,0425 - \frac{0,23925}{8} \right) + 9400 (0,001075) \\ &= 13.785,01125 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Nilai Kalor Bawah (LHV)

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - 2411(M+9H_2) \\ &= 13.785,01125(\text{kJ/kg}) - 2411 (0,31675 + 9(0,0425)) \\ &= 12.099,1195 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

## 3. Kebutuhan Udara Pembakaran

$$\begin{aligned} M_{\text{ud teo}} &= \frac{100}{23} \times 1,041365 \text{ kg} \\ &= 4,527673913 \text{ [kg udara / kg bahan bakar]} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang dibutuhkan ( $W_f$  total) adalah sebesar 9083 Kg/Jam

Sehingga kebutuhan udara pembakaran sebesar

$$\begin{aligned} (M_{\text{ud}})_{\text{act total}} &= (M_{\text{ud}})_{\text{act}} \times W_{f \text{ total}} \\ &= 6,79151087 \times 9083 \text{ kg/jam} \\ &= 61.687,2932 \text{ kg udara/jam} \end{aligned}$$

## 4. Gas Asap yang Dihasilkan

Dari reaksi proses pembakaran C, H<sub>2</sub> dan S menghasilkan gas asap sebagai berikut :

Untuk 0,35225 kg C menghasilkan 3,67 kg CO<sub>2</sub> × 0,35225 kg = 1,2927575 kg CO<sub>2</sub>.

Untuk 0,0425 kg H<sub>2</sub> menghasilkan 9 kg CO<sub>2</sub> × 0,0425 kg = 0,3825 kg H<sub>2</sub>O.

Untuk 0,001075 kg S menghasilkan 2 kg CO<sub>2</sub> × 0,001075 kg = 0,00215 kg SO<sub>2</sub>.

Maka kelebihan udara (*Excess Air*) untuk pembakaran 1 kg bahan bakar adalah :

$$= 6,79151087$$

$$= 6,79151087 \text{ kg udara}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa O}_2 \text{ excess} &= \frac{23}{100} \times 6,79151087 \\ &= 1,5620475 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N}_2 \text{ excess} &= \frac{77}{100} \times \text{udara actual} + \text{N}_2 \text{ dalam bahan bakar} \\ &= \frac{77}{100} \times 6,79151087 + 0,009625 \\ &= 5,23908837 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

Jadi total massa gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar dengan basis 1 kg adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Mg} &= 1,2927575 + 0,3825 + 0,00215 + 2,343071251 + 5,23908837 \\ &= 9,259567121 \text{ [kg asap/kg bahan bakar]} \end{aligned}$$

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan

Maka jumlah bahan bakar cangkang dan *fiber*  $\dot{m}_{bb} = 9083$  kg/jam dihasilkan gas asap sebesar :

$$\begin{aligned} Mg &= 9,259567121 \times 9083 \\ &= 84.104,64816 \text{ [kg gas asap/jam]} \end{aligned}$$

**Tabel 3.** Komposisi Bahan Bakar

Pemakaian Bahan Bakar	
Cangkang	Serabut
2050 kg/jam	7033 kg/jam
Total Pemakaian Bahan Bakar = 9083 kg/jam	

### Analisis Data Operasional Ketel Uap

**Tabel 4.** Data Operasional Ketel Uap

Data Operasional	
Kapasitas ketel uap	35.000 kg/jam
Steam outlet (steam flow)	27740 kg/jam
Tekanan uap	27 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatur uap	276,24 °C
Temperatur air umpan	100°C

Secara interpolasi, entalpi spesifik uap ( $h_u$ ) pada suhu 276,24°C dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} 1. \text{ Interpolasi } T = 276,24^\circ\text{C} \quad P = 30 \text{ bar} \\ T = 250^\circ\text{C} \quad T = 300^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$P = 30 \text{ bar} \quad P = 30 \text{ bar}$$

$$h = 2856,5 \text{ kJ/kg} \quad h = 2994,3 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{T_{276,24} - 250}{2300 - 250} = \frac{h_{276,24} - 2856,5}{2994,3 - 2856,5}$$

$$\frac{26,24}{50} = \frac{h_{276,24} - 2856,5}{137,8}$$

$$72,31 = h_{276,24} - 2856,5$$

$$h_{276,24} = 2928,81 \text{ kJ/kg}$$

$$2. \text{ Interpolasi}$$

$$T = 250^\circ\text{C} \quad T = 300^\circ\text{C}$$

$$P = 25 \text{ bar} \quad P = 25 \text{ bar}$$

$$h = 2880,9 \text{ kJ/kg} \quad h = 3009,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{T_{276,24} - 250}{2300 - 250} = \frac{h_{276,24} - 2880,9}{3009,6 - 2880,9}$$

$$\frac{26,24}{50} = \frac{h_{276,24} - 2880,9}{128,7}$$

$$67,54 = h_{276,24} - 2880,9$$

$$h_{276,24} = 2948,44 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi untuk mencari nilai  $h_u$  :

$$\frac{P_{27} - P_{25}}{P_{30} - P_{25}} = \frac{h_{27} - h_{25}}{h_{30} - h_{25}}$$



Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan

$$\frac{27-25}{30-25} = \frac{h_{27}-2948,44}{2928,81-2948,44}$$

$$\frac{2}{5} = \frac{h_{27}-2948,44}{-19,63}$$

$$-7,852 = h_{27}-2948,44$$

$$h_{27}(h_u) = 2940,58$$

### Efisiensi Ketel Uap

Efisiensi ketel uap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{Q_{uap}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{m_u (h_u - h_a)}{m_{bb} \cdot LHV} \times 100\%$$

$$= \frac{27740 \text{ kg/jam} (2940,58 \text{ kJ/kg} - 419,17 \text{ kJ/kg})}{9083 \text{ kg/jam} \cdot 12.099,1195 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$= 0,6364$$

$$= 63,64 \%$$

### SIMPULAN

Ketel uap merupakan alat yang berfungsi untuk mengkonversi energi kimia yang terdapat pada bahan bakar menjadi energi panas yang dapat mengubah air menjadi uap air karena energi panas yang dihasilkan, Komponen-komponen *boiler* terdiri dari Ruang bakar (*furnance*), *boiler drum*, *superheater*, pemanas udara, *deaerator*, *induced draft fan*, *force draft fan*, *secondary air fa*, *fuel feed fan*, *shoot blower*, *blowdown* dan cerobong asap.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh nilai kalor bawah (*Low Heating Value*) untuk bahan bakar berdasarkan perhitungan rumus Dulong dan Petit diperoleh sebesar: 12.099,1195 kJ/kg, Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 35 [Ton/Jam] dengan tekanan 27 kg<sup>2</sup> dan temperatur 276,24 °C adalah sebesar 9083 kg/jam serta gas asap yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar cangkang dan *fiber* adalah sebesar 84.104,64816 [kg gas asap/jam] dan jumlah udara yang dibutuhkan dalam ruang bakar adalah sebesar 61.687,2932 kg udara/jam.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Nova, Putri Sipahutar., 2017, *Analisa Performansi Ketel Uap Kapasitas 20 Ton/Jam Tekanan Kerja 20 Bar di PKS Gunung Bayu*, Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan Hariyanto. (2014). *Permasalahan Bahasa Pemograman Java*. Bandung: Informatika Bambang.
- Djokosetyardjo, M.J., 2017, *Ketel Uap*, Cetakan Kedelapan, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- PT Astra Agro Lestari, Tbk., 2007, *Modul 1 Boiler Palm Oil Mill*.
- Muin, Syamsir.A., 2018, *Pesawat- pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*, Edisi pertama, Cetakan 4, Rajawali, Jakarta.