

## **ANALISIS SISTEM DISTRIBUSI UAP DARI WATER TUBE BOILER DENGAN KAPASITAS 45 TON/JAM**

### **ANALYSIS OF STEAM DISTRIBUTION SYSTEM FROM WATER TUBE BOILER WITH A CAPACITY OF 45 TONS/HOUR**

**Desi Rismawati<sup>a\*</sup>, Husin Ibrahim<sup>a</sup>, Joko Sutrisno<sup>b</sup>, Nisfan Bahri<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan

<sup>b</sup>Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Email korespondensi: desirismawati@students.polmed.ac.id

---

#### **Abstrak**

Sistem distribusi uap sangat berpengaruh dalam proses produksi di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sehingga penting untuk mengetahui kapasitas uap pada proses pengolahan kelapa sawit dan kapasitas uap lainnya di PKS. Alat-alat yang berhubungan dengan sistem distribusi uap yaitu boiler, turbin uap, *Back Pressure Vessel* (BPV) dan *Pressure Reducing Valve* (PRV). Boiler yang akan dianalisis kapasitas uap dan efisiensi adalah *water tube boiler* berbahan bakar cangkang dan tandan kosong sawit dengan kapasitas 45 ton/jam di PT Multimas Nabati Asahan. Perhitungan kapasitas uap berdasarkan desain pabrik dan efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung dengan pertimbangan ketersediaan instrumen ukur untuk memperoleh data yang akurat dan keterbatasan waktu dalam mengumpulkan data. Setelah dilakukan analisis data diperoleh rugi-rugi kapasitas uap dengan membandingkan hasil analisis teoritis dengan data aktual di lapangan sebesar 299,6 ton/hari, salah satu yang mempengaruhi rugi-rugi uap yaitu menurunnya efisiensi boiler, dimana diperoleh efisiensi boiler sebesar 48,61% yang berdampak pada berkurangnya jumlah produksi uap yang dibutuhkan dalam proses produksi dan pengolahan kelapa sawit di PT Multimas Nabati Asahan.

**Kata kunci:** uap, boiler, efisiensi

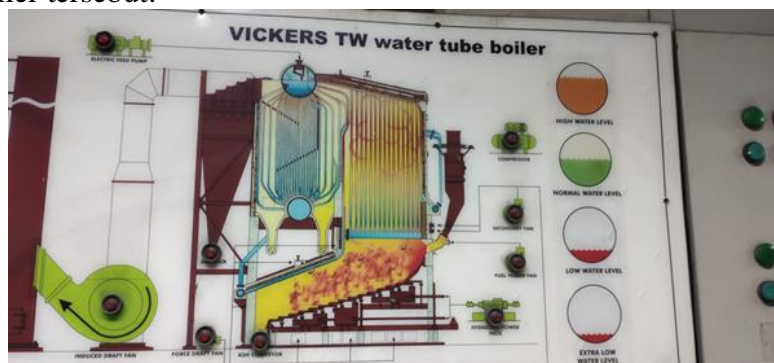
#### **Abstract**

*The steam distribution system is very influential in the manufacturing process at the Palm Oil Mill (PKS) so it is important to know the steam capacity in the oil palm processing and another steam capacity in the PKS. The tools associated with the steam distribution system are boilers, steam turbines, Back Pressure Vessels (BPV) and Pressure Reducing Valve (PRV). The boiler that will be analyzed for steam capacity and efficiency is a water tube boiler fueled by shells and empty palm fruit bunches with a capacity of 45 tons/hour at PT Multimas Nabati Asahan. Calculation of steam capacity based on factory design and boiler efficiency using the direct method with consideration of the availability of measuring instruments to get correct data and limited time in collecting data. After data analysis, steam capacity losses are obtained by comparing the results of theoretical analysis with real data in the field of 299.6 tonnes/day, one of the factors that affect steam losses is a decrease in boiler efficiency, where the boiler efficiency is obtained by 48.61%, which has an impact on reducing the amount of steam production required in the production and processing of palm oil at PT Multimas Nabati Asahan.*

**Keywords:** steam, boiler, efficiency

## PENDAHULUAN

Perkembangan industri minyak kelapa sawit mengalami kemajuan yang sangat pesat pada saat ini, dimana terjadi peningkatan jumlah produksi minyak kelapa sawit bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat. Pengolahan kelapa sawit merupakan suatu proses pengolahan yang menghasilkan minyak kelapa sawit. Hasil utama yang bisa diperoleh yakni minyak sawit, inti sawit, sabut, cangkang serta tandan kosong. Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dalam konteks industri kelapa sawit di Indonesia dipahami sebagai unit ekstraksi *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel Oil* (PKO) dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang diikuti dengan proses pemurnian (Samosir, 2016; Naibaho, P.M., 2016,). PT Multimas Nabati Asahan adalah salah satu anak perusahaan Wilmar Group yang ada di Sumatera Utara yang bergerak dibidang pengolahan minyak kelapa sawit. Sebuah industri khususnya PKS membutuhkan boiler yang digunakan untuk membangkitkan tenaga mekanik dan menyuplai kebutuhan uap panas untuk keperluan industri (*manufacturing process*) pada proses pengolahan kelapa sawit. Boiler adalah salah satu dari sekian banyak peralatan dalam siklus energi thermal yang bertujuan untuk mengubah air menjadi uap bertekanan sehingga dapat digunakan untuk mengoperasikan beberapa mesin atau pesawat yang menggunakan tenaga uap (Pranaseta, D.D. dan Tsamroh D. I., 2015). Sistem distribusi uap sangat berpengaruh dalam proses produksi di PKS sehingga penting untuk mengetahui kapasitas uap pada proses pengolahan kelapa sawit dan kapasitas uap lainnya di PKS. Selain itu, agar produksi uap dapat memenuhi kebutuhan pabrik, maka setiap komponen boiler harus berada dalam kondisi baik, untuk itu evaluasi terhadap prestasi kerja boiler perlu dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari boiler tersebut.



Gambar 1. Boiler 2 co-gen (Pelawi, N., 2019)

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini adalah metode langsung.

### Nilai kalor (*heating value*)

Nilai kalor merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Dikenal dua jenis pembakaran yaitu (Culp, A. W, 2016) :

1. Nilai kalor pembakaran tinggi/*high heating value* (HHV)

Nilai kalor pembakaran tinggi adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran sesuai pada Persamaan 1 sebagai berikut:

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

2. Nilai kalor pembakaran rendah/ istilah *low heating value* (LHV)

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan adalah nilai pembakaran

dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran sesuai pada Persamaan 2 sebagai berikut:

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

**Kebutuhan udara pembakaran**

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna yang meliputi (Djokosetyardjo, 2016):

1. Kebutuhan udara teoritis ( $U_{\text{teo}}$ ):

Kebutuhan udara pembakaran teoritis dirumuskan pada Persamaan 3 sebagai berikut:

$$U_{\text{teo}} = \frac{100}{23,1} \times (2,67C + (8H - O) + S) \text{ [kg/kgBB]} \dots\dots\dots(3)$$

2. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual ( $U_{\text{act}}$ ):

Kebutuhan udara pembakaran aktual dirumuskan pada Persamaan 4 sebagai berikut:

$$U_{\text{act}} = U_{\text{teo}} (1 + EA) \text{ [kg/kgBB]} \dots\dots\dots(4)$$

dimana EA = koefisien/angka kelebihan udara (*excess air*).

**Gas asap**

Reaksi pembakaran akan menghasilkan gas baru, udara lebih dari sejumlah energi. Senyawa-senyawa yang merupakan hasil dari reaksi pembakaran disebut gas asap (Djokosetyardjo, 2016):

1. Berat gas asap teoritis ( $G_{\text{teo}}$ )

Berat gas asap teoritis dapat dirumuskan pada Persamaan 5 sebagai berikut:

$$G_{\text{teo}} = U_{\text{teo}} + (1 + A) \text{ [kg/kgBB]} \dots\dots\dots(5)$$

dimana A = kandungan abu dalam bahan bakar (*ash*)

2. Berat gas asap sebenarnya/aktual ( $G_{\text{act}}$ )

Dalam menghitung berat gas asap pembakaran perlu dihitung dulu masing-masing komponen gas asap tersebut (Muin, 1988).

- Berat CO<sub>2</sub> = 3,67C [kg/kgBB]
- Berat SO<sub>2</sub> = 2S [kg/kgBB]
- Berat H<sub>2</sub>O = 9H<sub>2</sub> [kg/kgBB]
- Berat N<sub>2</sub> = (77% ×  $U_{\text{act}}$ ) + N<sub>2</sub> [kg/kgBB]
- Berat O<sub>2</sub> = (23% × EA)  $U_{\text{teo}}$  [kg/kgBB]

Dari perhitungan di atas maka akan didapatkan jumlah gas asap pembakaran sebenarnya pada Persamaan 6 sebagai berikut:

$$G_{\text{act}} = W_{\text{CO}_2} + W_{\text{SO}_2} + W_{\text{H}_2\text{O}} + W_{\text{N}_2} + W_{\text{O}_2} \text{ [kg/kgBB]} \dots\dots\dots(6)$$

Atau

Berat gas asap sebenarnya/aktual ( $G_{\text{act}}$ ):

Berat gas asap pembakaran aktual dapat dirumuskan pada Persamaan 7 sebagai berikut:

$$G_{\text{act}} = U_{\text{act}} + (1 - A) \text{ [kg/kgBB]} \dots\dots\dots(7)$$

**Neraca kalor atau neraca energi**

Neraca kalor atau neraca energi adalah perimbangan antara “energi masuk” (*input*) dengan “energi berguna” (*output*) dan “kehilangan energi” (*losses*) (Muin, S. A., 2016).

Sebagai energi masuk atau suplai energi ( $Q_{\text{in}}$ ) adalah jumlah energi hasil pembakaran bahan bakar pada Persamaan 8 sebgai berikut (Cengel, A. Y dan Boles, A. M., 2008):

$$Q_{\text{in}} = W_f \times (\text{LHV}) \text{ [kJ/jam]} \dots\dots\dots(8)$$

Energi berguna ( $Q_{\text{out}}$ ) adalah energi yang diserap oleh air umpan sampai terbentuk uap didalam ketel pada persamaan 9 sebagai berikut (Cengel, A. Y dan Boles, A. M., 2008);

$$Q_{\text{out}} = W_s (h_u - h_a) \text{ [kJ/jam]} \dots\dots\dots(9)$$

**Perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung**

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Metodologi ini dikenal juga sebagai metode ‘*input-output*’ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (*steam*) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi pada Persamaan 10 sebagai berikut (Muin, S. A., 2016):

$$\eta_{boiler} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{W_s \times (h_u - h_a)}{W_f \times LHV} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- W<sub>s</sub> = kapasitas produksi uap (kg uap/jam)
- W<sub>f</sub> = konsumsi bahan bakar (kgBB/jam)
- h<sub>u</sub> = entalpi uap (kJ/kg)
- h<sub>a</sub> = entalpi air umpan/pengisi ketel (kJ/kg)
- LHV = nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Kapasitas Uap Secara Teoritis**

Boiler yang berada di PT Multimas Nabati Asahan ada tujuh unit, di antaranya, yaitu tiga unit di *Co-Gen*, dua unit di *Biomass 1 and 2* serta dua unit di *power plant*. Namun yang beroperasi hanya boiler yang ada di *Co-Gen*. Pada boiler *Co-Gen* di PT Multimas Nabati Asahan memiliki tiga boiler yaitu Boiler 1 dan 2 *superheat* dan Boiler 3 saturasi. Boiler tersebut digunakan sebagai penyuplai kebutuhan uap untuk proses pengolahan dan pembangkit tenaga listrik. Boiler yg dipergunakan adalah jenis ketel pipa air (*water tube boiler*). Boiler tersebut menggunakan bahan bakar cangkang sawit dan *Empty Fruit Bunch* (EFB). Dalam penelitian ini penulis menganalisis kapasitas uap dari Boiler 2 dan 3 *co-gen* dengan kapasitas masing-masing 45 ton/jam sedangkan untuk menganalisis efisiensi boiler dari Boiler 2 *co-gen*.

Uap yang dihasilkan oleh boiler di PKS PT Multimas Nabati Asahan memiliki tekanan kerja 45 ton/jam. Untuk kondisi normal, boiler minimal efektif mampu menghasilkan uap 60 % dari kapasitas TBS olah per jam di PKS. Jika kapasitas uap boiler per jam adalah 45 ton/jam, maka jumlah kapasitas olah TBS per jam = 45 ton/jam : 60% sehingga kapasitas olah TBS minimal yang harus dihasilkan oleh boiler adalah sekitar 75 ton TBS/jam. Dengan demikian kondisi uap normal turbin sama dengan kebutuhan maksimal uap yang dibutuhkan dalam pengolahan kelapa sawit di PKS.

Berdasarkan desain pabrik PT Multimas Nabati Asahan:

- a. Tekanan kerja boiler 45 ton/jam
- b. Kapasitas PKS 75 TBS/jam
- c. Kapasitas olah TBS 1500 TBS/hari

Kemudian dilakukan perhitungan secara teoritis berdasarkan desain pabrik (Naibaho, P.M., 2016):

$$\text{Kapasitas Uap/TBS} = \frac{\text{Kapasitas uap}}{\text{Kapasitas TBS}}$$

$$\text{Kapasitas Uap/TBS} = \frac{1498 \text{ ton/hari}}{1500 \text{ TBS/hari}}$$

$$\text{Kapasitas Uap/TBS} = 0,99867 \text{ ton/TBS}$$

$$\text{Kapasitas uap} = \text{Kapasitas PKS} \times \text{Kapasitas Uap/TBS}$$

$$\text{Kapasitas uap} = 75 \text{ TBS/jam} \times 0,99867 \text{ ton/TBS}$$

Kapasitas uap = 74,9 ton/jam

Kapasitas uap = 1797,6 ton/hari

Berdasarkan data kapasitas distribusi uap PT Multimas Nabati Asahan, pada tanggal 09 maret 2020, diperoleh hasil aktual yang didapatkan di lapangan sebesar 1498 ton/hari. Dari Analisis perhitungan kapasitas uap, maka diperoleh bahwa kapasitas uap dari hasil perhitungan secara teori berdasarkan desain pabrik sebesar 1797,6 ton/hari sedangkan hasil aktual yang didapatkan di lapangan sebesar 1498 ton/hari. Dimana rugi-rugi uap sebesar 299,6 ton/hari.

## Analisis Bahan Bakar Boiler

### 1. Pemakaian bahan bakar

Jumlah bahan bakar boiler yang digunakan selama 24 jam (1 hari) diperoleh dari *log sheet operational boiler co-gent* pada tanggal 09 Maret 2020 di PT Multimas Nabati Asahan sebagai berikut:

1. Total Pemakaian Bahan Bakar (24 Jam) pada Boiler 2:  
Cangkang + EFB = 123890,6897 kg + 26229,53793 kg = 150120,2276 kg perhari
2. Kebutuhan bahan bakar  
 $W_f = 6255,0094$  kg/jam
3. Kapasitas produksi uap  
 $W_s = 20500$  kg/jam
4. Persentase bahan bakar  
Cangkang = 82,53%  
EFB = 17,47%

### 2. Komposisi bahan bakar

Komposisi bahan bakar cangkang dan EFB, sebagai berikut:

C=57,64%  
H<sub>2</sub>=3,42%  
O<sub>2</sub>=30,98%  
N<sub>2</sub>=5,92%  
Ash=2,04%

### 3. Nilai kalor bahan bakar

1. Nilai kalor Pembakaran Tinggi/*High Heating Value* (HHV), pada Persamaan 1 (Sinaga G dan Yemima M., 2015):

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

$$HHV = 33950(57,64\%) + 144200 \left( 3,42\% - \frac{30,98\%}{8} \right) + 9400(0) \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 18656,715 \text{ kJ/kg}$$

2. Nilai Kalor Pembakaran Rendah (LHV), pada Persamaan 2 (Sinaga G dan Yemima M., 2015):

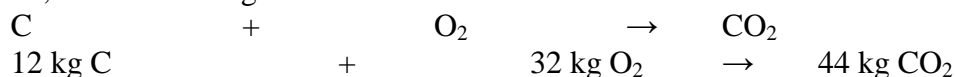
$$LHV = HHV - 2400(9H_2) \text{ kJ/kg}$$

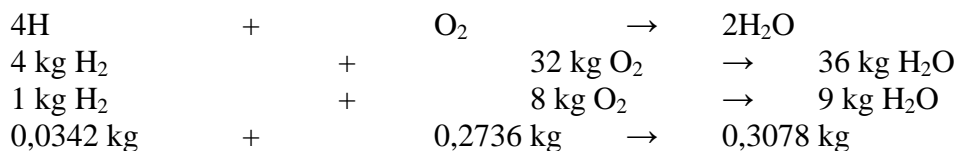
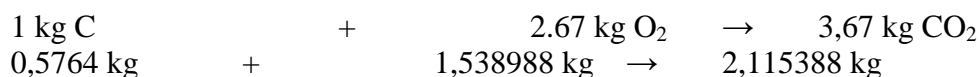
$$LHV = 18656,715 \text{ kJ/kg} - 2400(9 \times 3,42\%)$$

$$LHV = 17917,995 \text{ kJ/kg}$$

### 4. Kebutuhan udara pembakaran

Jumlah udara teoritis dinyatakan dalam kg, yang digunakan untuk membakar dengan sempurna 1 kg bahan bakar dengan perbandingan 0% fiber, 82,53% cangkang dan 17,47% EFB sebagai berikut:





Jumlah oksigen yang dibutuhkan:

$$\text{O}_2 = 1,538988 \text{ kg} + 0,2736 \text{ kg} = 1,812588 \text{ kg}$$

Kandungan oksigen sebesar 0,3098 O<sub>2</sub> di dalam 1 kg bahan bakar cangkang dan EFB, maka oksigen yang dibutuhkan hanya:

$$1,812588 \text{ kg O}_2 - 0,3098 \text{ O}_2 = 1,502788 \text{ kg O}_2$$

Udara 1 kg mengandung 0,231 kg O<sub>2</sub>, sehingga udara teoritis yang dibutuhkan:

$$U_{\text{teo}} = (1,502788 \text{ kg O}_2 : 0,231 \text{ kg O}_2) \text{ kg udara/kg BB}$$

$$U_{\text{teo}} = 6,50557 \text{ kg udara/kg BB}$$

Atau

1. Kebutuhan udara pembakaran teoritis ( $U_{\text{teo}}$ ) pada Persamaan 3 (Tambunan, I, 2016):

$$U_{\text{teo}} = \frac{100}{23,1} \times (2,67C + (8H - O) + S) \quad \text{kg/kgBB}$$

$$U_{\text{teo}} = \frac{100}{23,1} \times (2,67(0,5764) + (8(0,0342) - 0,3098) + 0) \quad \text{kg/kgBB}$$

$$U_{\text{teo}} = 6,50557 \text{ kg/kgBB}$$

2. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual ( $U_{\text{act}}$ ) pada Persamaan 4 (Tambunan, I, 2016):

$$U_{\text{act}} = U_{\text{teo}} (1 + EA) \quad \text{kg/kgBB}$$

$$U_{\text{act}} = 7,590424 (1 + 0,50) \quad \text{kg/kg BB}$$

$$U_{\text{act}} = 9,75836 \text{ kg/kg BB}$$

## 5. Perhitungan gas asap

1. Berat gas asap teoritis ( $G_{\text{teo}}$ ) pada persamaan 5 (Naibaho, P.M., 2016):

$$G_{\text{teo}} = U_{\text{teo}} + (1 - Ash) \quad \text{kg/kgBB}$$

$$G_{\text{teo}} = 6,50557 + (1 - 0,0204) \quad \text{kg/kg BB}$$

$$G_{\text{teo}} = 7,48517 \text{ kg/kg BB}$$

2. Berat gas asap hasil pembakaran sebenarnya/aktual ( $G_{\text{act}}$ ) pada Persamaan 6 (Naibaho, P.M., 2016):

$$W_{\text{CO}_2} = 2,115388 \text{ kg/kgBB}$$

$$W_{\text{H}_2\text{O}} = 0,3078 \text{ kg/kgBB}$$

$$W_{\text{N}_2} = (77\% \times U_{\text{act}}) + N_2 = (0,77 \times 9,75836) + 0,0592 = 7,573091 \text{ kg/kgBB}$$

$$W_{\text{O}_2} = (23\% \times EA) \times U_{\text{teo}} = (0,23 \times 0,50) \times 6,50557 = 0,74814055 \text{ kg/kgBB}$$

Maka, dari perhitungan diatas didapatkan gas asap total:

$$G_{\text{act}} = W_{\text{CO}_2} + W_{\text{H}_2\text{O}} + W_{\text{N}_2} + W_{\text{O}_2}$$

$$G_{\text{act}} = 2,115388 + 0,30785 + 7,573091 + 0,74814055 = 10,74446955 \text{ kg/kgBB}$$

atau

Berat gas asap hasil pembakaran sebenarnya pada Persamaan 7 (Naibaho, P.M., 2016):

$$G_{\text{act}} = U_{\text{act}} + (1 - Ash)$$

$$G_{\text{act}} = 9,75836 + (1 - 0,0204) \text{ kg/kg BB}$$

$$G_{\text{act}} = 10,73796 \text{ kg/kgBB}$$

### Analisis Efisiensi Boiler

Berdasarkan *Log Sheet Boiler 2 Co-Gen* PT Multimas Nabati Asahan, pada tanggal 09 maret 2020:

1. *Feed water temperature* ( $T_a$ ) = 97°C
2. *Steam pressure* (P) = 22 bar
3. *Steam temperature* ( $T_u$ ) = 320°C

Mencari nilai entalpi air umpan ( $h_a$ ) pada  $T_a = 97^\circ\text{C}$ , menggunakan interpolasi untuk mencari  $h_a$  dan diperoleh  $h_a$  sebesar 406,522 kJ/kg.

Mencari nilai entalpi uap ( $h_u$ ) pada  $T_u=320^\circ\text{C}$ ,  $P_u = 22$  bar, menggunakan interpolasi untuk mencari  $h_u$  dan diperoleh  $h_u$  sebesar 3064,384 kJ/kg

#### 1. Energi masuk “input”

Energi masuk “input” ( $Q_{in}$ ) sesuai pada Persamaan 8 (Sinaga G dan Yemima M., 2015):

$$Q_{in} = W_f \times (\text{LHV})$$

$$Q_{in} = 6255,009487 \text{ kg/jam} \times 17917,995 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{in} = 112077228,7130 \text{ kJ/jam}$$

#### 2. Energi keluar “output”

Energi keluar “output” ( $Q_{out}$ ) sesuai pada Persamaan 9 (Sinaga G dan Yemima M., 2015):

$$Q_{out} = W_s \times (h_u - h_a)$$

$$Q_{out} = 20500 \text{ kg/jam} \times (3064,384 \text{ kJ/kg} - 406,522 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{out} = 54486171 \text{ kJ/jam}$$

#### 3. Efisiensi boiler

Efisiensi boiler ( $\eta_{boiler}$ ) sesuai pada Persamaan 10 (Sinaga G dan Yemima M., 2015):

$$\eta_{boiler} = \frac{W_s \times (h_u - h_a)}{W_f \times \text{LHV}} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{54486171}{112077228,71} \times 100\%$$

$$\eta_{boiler} = 48,61\%$$

### SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah sistem distribusi uap di PT Multimas Nabati Asahan berawal dari proses *water treatment* sebagai bahan baku air untuk boiler yang merupakan alat penghasil uap, lalu uap masuk ke sudu-sudu turbin, selanjutnya uap sisa dari tubin uap di simpan di BPV, sebelum didistribusikan uap akan diturunkan tekanannya menggunakan PRV kemudian uapnya akan didistribusikan ke *plant-plant* yang membutuhkan suplai uap. Dari data kebutuhan uap yang diperoleh bahwa kapasitas uap dari hasil perhitungan secara teori berdasarkan desain pabrik sebesar 1797,6 ton/hari sedangkan hasil aktual yang didapatkan di lapangan sebesar 1498 ton/hari. Dimana rugi-rugi uap sebesar 299,6 ton/hari. Berikut yang mempengaruhi rugi-rugi uap. Faktanya di lapangan kapasitas olah TBS setiap harinya tidak sesuai dengan desain pabrik yaitu sebesar 1500 ton/hari, tergantung kebutuhan dan tidak dilakukan setiap hari. Sehingga pada perhitungan kebutuhan uap secara teori asumsi dilakukan tanpa perhitungan pada beberapa keadaan, misalnya kehilangan kalor akibat perpindahan panas pada pipa distribusi uap dan efisiensi boiler menurun sehingga mempengaruhi kapasitas uap. Efisiensi boiler yang diperoleh yaitu sebesar 48,61 ton/jam.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Politeknik Negeri Medan (POLMED). Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M. Eng. atas pelatihannya tentang penulisan jurnal ini.

## REFERENSI

- Cengel, A. Y dan Boles, A. M., 2008, *Thermodynamics An Engineering Approach, Sixth Edition*, Mc Graw-Hill, New York.
- Culp, A. W, 2016, *Prinsip-Prinsip Konversi Energi (Penerjemah Darwin Sitompul)*, Erlangga, Jakarta.
- Djokosetyardjo, M J., 2016, *Ketel Uap*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Muin, S. A., 2016, *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*, CV. Rajawali, Jakarta.
- Naibaho, P.M., 2016, *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.
- Pelawi, N., 2019, *Laporan PKL PT. Multimas Nabati Asahan (Wilmar Grup)*, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Pranaseto, D.D. dan Tsamroh D. I., 2015, *Prinsip Kerja dan Jenis Ketel Uap*, Universitas Negeri Malang, Malang.
- Samosir, Christine Noviani, 2015, *Analisis Distribusi Uap pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit dan Optimasi Boiler dengan Tekanan Kerja 21 kg/cm<sup>2</sup> di Pabrik Kelapa Sawit*, Politeknik Negeri Medan, Medan.
- Sinaga G dan Yemima M., 2015, *Analisis Sistem Distribusi Uap dengan Kapasitas 20 Ton/Jam pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit dan di PKS Pagar Merbau*, Politeknik Negeri Medan, Medan.
- Tambunan, I, 2016, *Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Kapasitas 200 Ton/Jam dan Tekanan 84 Bar di PT Toba Pulp Lestari Tbk*, Politeknik Negeri Medan, Medan.