

ISSN 1411-6553

# Jurnal Rekayasa Mesin

Vol. 8 – No. 1 Maret 2008



*UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN*

# DAFTAR ISI

➤ Studi pengaruh penggunaan karburator <i>Throttle Switch System (TSS)</i> pada suatu sepeda motor ditinjau dari prestasinya <b>Riman Sipahutar</b> .....	1
➤ Pengaruh variasi kapasitas uap terhadap efisiensi pada ketel uap di PLTU Keramasan Palembang <b>Ellyanie</b> .....	9
➤ Pengaruh orientasi pipa segi empat dalam aliran fluida terhadap perpindahan panas <b>Kaprawi</b> .....	15
➤ Analisa perbandingan penggunaan turbocharger dan tanpa turbocharger terhadap karakteristik mesin diesel Mercedes seri 404 <b>Fusito</b> .....	21
➤ Aplikasi <i>Abrasive Jet Machining</i> <b>Al Antoni Akhmad</b> .....	27
➤ Pengaruh <i>over protection</i> terhadap sifat mekanik logam yang diproteksi dengan metode arus banding <b>Darmawi</b> .....	35
➤ Studi perubahan <i>Representative Volume Element (RVE)</i> pada pemodelan komposit terhadap faktor konsentrasi regangan dan fluktuasi keacakan serat <b>Gunawan</b> .....	39

*Jurnal*

*Rekayasa Mesin*

Vol. 8 – No. 1 Maret 2008

# PENGARUH VARIASI KAPASITAS UAP TERHADAP EFISIENSI PADA KETEL UAP DI PLTU KERAMASAN PALEMBANG

Ellyanie

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km-32 Inderalaya, Ogan Ilir, 30662

## Ringkasan

Daya listrik memegang peranan yang penting dalam memacu perkembangan industri dan jasa, hampir semua kegiatan industri, jasa, termasuk rumah tangga menggunakan daya listrik dalam menjalankan kegiatannya. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) kertapati dengan daya terpasang 12,5 MW sebagai penyuplai listrik di SUMBAGSEL, harus selalu siap dalam menjalankan fungsinya sebagai penghasil daya listrik. Untuk memantau setiap unit pembangkit sudah beroperasi dengan baik, dan dapat menyesuaikan terhadap fluktuasi kapasitas uap maka suatu pengevaluasian prestasi harus dilakukan. Dalam hal ini pada ketel uap dilakukan perhitungan pada efisiensi yaitu pada kapasitas uap 34 ton/jam, 47 ton/jam, 54 ton/jam, 70 ton/jam, dan 75 ton/jam. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan metode tidak langsung yaitu dengan menghitung kerugian-kerugian pada ketel uap. Pada perhitungan kerugian dilakukan dengan menganalisa gas buang. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dari variasi kapasitas uap tersebut, efisiensi tertinggi pada kapasitas uap 34 ton/jam yaitu 84,4%, sedangkan efisiensi terendah pada kapasitas uap 75 ton/jam sebesar 83,9 %.

**Kata Kunci:** ketel uap, efisiensi, kapasitas uap

## Abstract

Electricity power has an important role in industrial and service move development, almost each industrial and service activities include household activities use electricity power in order to carried out their activities. Steam power plant (PLTU) kertapati with power installation 12.5 MW as electricity supplier in SUMBAGSEL, must be always stand by to operate their function as electricity producer. In controlling role, each electricity power plant must good operation and can adjust with steam capacity fluctuation so monitoring prestige must be done. In this case, steam boiler had calculation in 34 ton/hour, 47 ton/hour, 54 ton/hour, 70 ton/hour and 75 ton/hour steam capacity. Efficiency calculation do with indirect method which is count down the loss in steam boiler. To calculate the this loss do with gas away analysis. Based on the calculation which has done, we can conclude that from steam capacity variation, the maximum capacity is on 34 ton/hour steam capacity, or 84.4 % and the minimum capacity is on 75 ton/hour steam capacity, or 83.9 %.

**Keywords:** boiler, efficiency, steam capacity.

## 1. PENDAHULUAN

Ketel uap adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan air menjadi uap dengan cara pemanasan, dimana sumber panasnya diambil dari hasil pembakaran bahan bakar di ruang bakar dan panasnya dipindahkan keair melalui bidang pemanas sehingga pada tekanan temperatur tertentu air akan menjadi uap.

Pada saat sekarang ini uap memainkan peranan yang sangat penting pada industri dan jasa terutama untuk pembangkit tenaga listrik. Disini, uap dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tingkat rendah yang diekspansikan pada turbin untuk

menggerakkan generator, dan akhirnya menghasilkan daya listrik.

Untuk mencapai daya listrik yang diinginkan maka setiap peralatan berada pada kondisi yang baik, antara lain pada ketel uap sebagai penyuplai uap, sehingga pengevaluasian prestasi harus dilakukan, terutama pada efisiensi ketel uap.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Ketel uap adalah suatu bejana tertutup dimana uap atau gas-gas lainnya diproduksi dengan pengguna-

an secara langsung kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat, cair, atau gas ataupun dengan penggunaan kalor energi listrik atau tenaga nuklir.

Pada ketel uap proses pembentukan uap dijelaskan pada gambar 1. Gas-gas hasil pembakaran akan memanasi superheater, evaporating section, ekonomiser, dan akhirnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap. Sedangkan air pengisi, setelah mengalami pemanasan pada ekonomiser dimasukkan ke evaporating section dan selanjutnya uap jenuh dipanaskan lanjut pada alat yang dinamakan superheater dan akhirnya diperoleh uap panas lanjut atau superheated steam.

Nilai kalor adalah energi kalor yang dilepaskan pada saat pembakaran sempurna suatu bahan bakar, yang satuan umumnya adalah BTU/lbm atau kJ/kg.

Ada dua macam nilai pembakaran, yaitu:

**a. Nilai Pembakaran Atas**

Nilai pembakaran atas diperoleh bila uap yang terbentuk dari hasil pembakaran dicairkan dahulu, sehingga panas pengembunannya turut dihitung, serta dinilai sebagai panas pembakaran yang terbentuk.

Untuk bahan bakar gas dan cair nilai pembakaran atas (HHV) dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$HHV = 33915 C + 144033 (H + O/8) + 10468 S \text{ (kJ/kg)}$$

**b. Nilai Pembakaran Bawah**

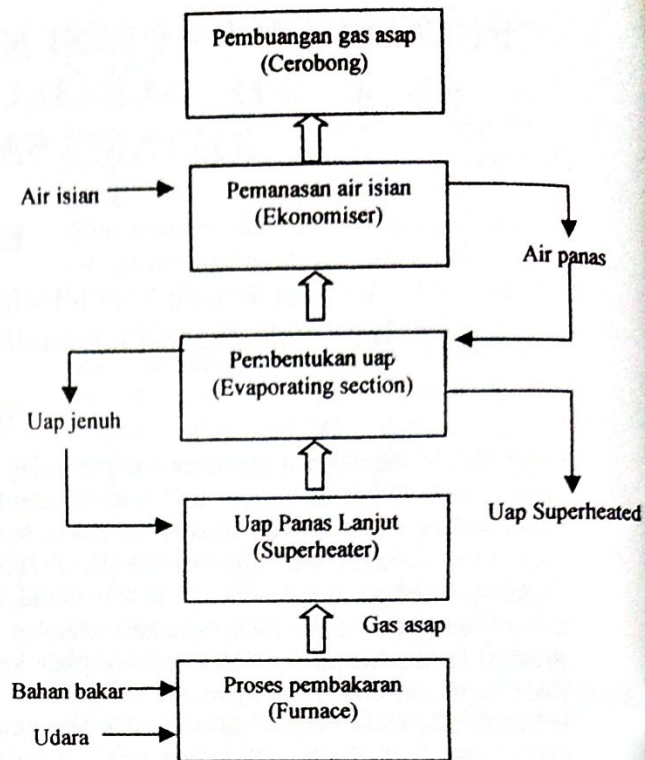
Nilai pembakaran bawah diperoleh bila uap yang terbentuk dari hasil pembakaran tidak perlu dicairkan dahulu, sehingga panas pengembunannya tidak ikut serta untuk diperhitungkan sebagai panas pembakaran bahan bakar tersebut.

Untuk bahan bakar gas dan cair nilai pembakaran bawah (LHV) dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$LHV = 33915 C + 121423 (H - O/8) + 10468 S - 2512 (W + 9 O/8) \text{ (kJ/kg)}$$

dimana :

- W = Kandungan air dalam bahan bakar gas
- C = Fraksi massa karbon dalam bahan bakar gas
- H = Fraksi massa hidrogen dalam bahan bakar gas
- O = Fraksi massa oksigen dalam bahan bakar gas
- S = Fraksi massa sulfur dalam bahan bakar gas



Gambar 1: Diagram Alir Proses Pembentukan Uap

**2.1 Kerugian-Kerugian Kalor Pada Ketel**

Kerugian-kerugian utama pada ketel uap dibagi sebagai berikut :

**2.1.1 Kerugian gas asap kering**

Adalah kerugian ketel yang berhubungan dengan udara yang disuplai ke generator uap sebagai udara pembakaran. Kerugian ini dapat dicari dengan rumus:

$$E_1 = m_g \cdot c_p \cdot (T_g - T_a)$$

dimana:

- $m_g$  = massa gas buang (kg/kg bahan bakar)
- $c_p$  = panas spesifik gas kering (kJ/kg K)
- $T_g$  = temperatur gas asap pada cerobong (°C)
- $T_a$  = temperatur udara sekeliling (°C)

**2.1.2 Kerugian karena mengandung H<sub>2</sub>O dalam bahan bakar**

Kerugian ini disebabkan karena sebagian digunakan untuk menguapkan air pada bahan bakar dan proses pembentukan air dari pembakaran hidrogen.

$$E_2 = (W+9H) (h_s - h_w)$$

dimana:

- W = % kandungan air dalam bahan bakar
- H = % hidrogen dalam bahan bakar
- $h_s$  = Enthalpi uap panas lanjut pada temperatur gas asap keluar  $T_g$
- $h_w$  = Enthalpi air pada temperatur gas masuk  $T_a$

Jika  $T_g > 300^\circ\text{C}$  :

$$h_s - h_w = 2442 + 2,093 T_g - 4,187 T_a \text{ (kJ/kg)}$$

Jika  $T_g < 300^\circ\text{C}$  :

$$h_s - h_w = 2492,6 + 1,926 T_g - 4,187 T_a \text{ (kJ/kg)}$$

### 2.1.3 Kerugian karena kelembaban udara pembakaran

Kerugian ini disebabkan oleh kandungan air yang dibawa oleh udara yang disuplai untuk proses pembakaran.

$$E_3 = \left(\frac{A}{F}\right)_{\text{Act}} \cdot \omega \cdot c_{pg} \cdot (T_g - T_a) \cdot m_f$$

dimana :

$\left(\frac{A}{F}\right)$  = rasio udara bahan bakar

$\omega$  = spesifik humidity udara (kg uap/kg udara kering)

$c_{pg}$  = panas spesifik uap air = 1,8723 kJ/kg. C

$T_g$  = temperatur gas asap cerobong ( $^\circ\text{C}$ )

$T_a$  = temperatur udara sekeliling ( $^\circ\text{C}$ )

$m_f$  = Konsumsi bahan bakar

### 2.1.4 Kerugian akibat radiasi

Kerugian akibat radiasi ( $E_4$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E_4 = \% \text{ kerugian radiasi} \times \text{HHV} \times m_f$$

dimana:  $m_f$  = konsumsi bahan bakar

Kerugian radiasi ini termasuk panas yang hilang ke lingkungan oleh radiasi, konveksi, dan konduksi. Tidak ada metode yang memuaskan untuk menghitung panas yang hilang. Kerugian radiasi dapat diketahui dari data lapangan yang berupa data konstruksi disain boiler.

### 2.2 Efisiensi Ketel

Efisiensi dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta_k = 1 - \frac{\text{Kerugian kalor total}}{m_f \times \text{HHV}} \times 100\%$$

dimana :

$m_f$  = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

HHV = nilai pembakaran atas (kJ/kg)

### 3. DATA PLTU SEKTOR KERAMASAN

Spesifikasi ketel uap

- Merk/Pabrik : DURODAKOVIC/YUGOSLAVIA

- Jenis Ketel : Ketel uap pipa air

- Temp. udara sekeliling :  $30^\circ\text{C}$

- Kelemb. udara relatif : 60%

- Temperatur uap :  $450^\circ\text{C}$

- Tekanan Atmosfer : 101,33 kPa

(pada ketinggian 30 m dari permukaan laut)

Tabel 1 Data pada variasi kapasitas uap

Kapasitas Uap (ton/jam)	$m_f$ (kg/jam)	$T_a$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_g$ ( $^\circ\text{C}$ )
34	1550	30	140
47	2600	30	160
54	3650	30	165
70	4150	30	170
75	4600	30	175

Keterangan:

$m_f$  = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$T_a$  = temperatur sekeliling ( $^\circ\text{C}$ )

$T_g$  = temperatur gas asap pada cerobong ( $^\circ\text{C}$ )

Tabel 2 Data komposisi senyawa hidrokarbon gas alam

Senyawa Kimia	% Volume
Methane ( $\text{CH}_4$ )	83,1983
Ethane ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	5,7004
Propane ( $\text{C}_3\text{H}_8$ )	3,4477
Iso-Buthane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )	0,6667
N-Buthane ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )	0,8618
Iso-Penthane ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )	0,2823
N-Penthane ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )	0,2050
Hexane ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ )	0,0468
Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )	5,6000
<b>Jumlah</b>	<b>100</b>

### 4. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kerugian-kerugian Kalor untuk Kapasitas Uap 34 Ton/jam

#### 4.1 Kerugian gas asap kering

$$E_1 = m_g \cdot c_p \cdot (T_g - T_a)$$

dimana :

$m_g$  = Laju aliran gas asap

$m_g \text{ CO}_2 = 2,4677 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 1550 \text{ kg/jam}$

$= 3824,935 \text{ kg/jam}$

$m_g \text{ N}_2 = 13,5693 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 1550 \text{ kg/jam}$

$= 21032,415 \text{ kg/jam}$

$m_g \text{ O}_2 = 0,6874 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 1550 \text{ kg/jam}$

$= 1065,470 \text{ kg/jam}$

$m_g \text{ H}_2\text{O} = 1,8474 \text{ kg/kg bahan bakar} \times 1550 \text{ kg/jam}$

$= 2863,470 \text{ kg/jam}$

$T_g$  = temperatur gas asap cerobong =  $140^\circ\text{C}$

$T_a$  = Temperatur udara sekeliling =  $30^\circ\text{C}$

$C_p$  = Panas spesifik tiap gas

$C_p$  dicari pada temperatur rata-rata, jadi:

$$C_p = \frac{140 + 30}{2} = 85^\circ\text{C} = 358^\circ\text{K}$$

$$C_p \text{ CO}_2 = 0,902 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$C_p \text{ N}_2 = 1,042 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 0,670 \text{ kJ/(kg.K)}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 1,0088 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} E_1 \text{ CO}_2 &= 3824,935 \text{ kg/jam} \times 0,902 \text{ kJ/(kg.K)} \\ &\quad \times (140-30)^\circ\text{C} \\ &= 3824,935 \times 0,902 \times 110 \\ &= 379.510,05 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 \text{ N}_2 &= 21032,415 \text{ kg/jam} \times 1,042 \text{ kJ/(kg.K)} \\ &\quad \times (140-30)^\circ\text{C} \\ &= 21032,415 \times 1,042 \times 110 \\ &= 2.410.735,41 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 \text{ O}_2 &= 1065,470 \text{ kg/jam} \times 0,670 \text{ kJ/(kg.K)} \times \\ &\quad (140-30)^\circ\text{C} \\ &= 1065,470 \times 0,670 \times 110 \\ &= 78.525.139 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 \text{ H}_2\text{O} &= 2863,47 \text{ kg/jam} \times 1,0088 \text{ kJ/(kg.K)} \times \\ &\quad (140-30)^\circ\text{C} \\ &= 2863,47 \times 1,0088 \times 110 \\ &= 317.753,54 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

#### 4.2 Kerugian karena mengandung $\text{H}_2\text{O}$ dalam bahan bakar

$$E_2 = (W + 9H) (h_s - h_w) \times m_f$$

Jika  $T_g < 300^\circ\text{C}$  :

$$h_s - h_w = 2492,6 + 1,926 T_g - 4,187 T_a \text{ (kJ/kg)}$$

dimana :

W = % kandungan air dalam bahan bakar

H = % hidrogen dalam bahan bakar

$h_s$  = Enthalpi uap panas lanjut pada temperatur gas asap keluar  $T_g$

$h_w$  = Enthalpi air pada temperatur gas masuk  $T_a$

$m_f$  = konsumsi bahan bakar = 1550 kg/jam

$$\begin{aligned} h_s - h_w &= 2492,6 + 1,926 T_g - 4,187 T_a \\ &= 2492,6 + 1,926 (140) - 4,187 (30) \\ &= 2887,85 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_2 &= (0 + 9 \times 0,229087) 2887,85 \text{ kJ/kg} \times \\ &\quad 1550 \text{ kg/jam} \\ &= 9.228.886,1 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

#### 4.3 Kerugian karena kelembaban udara pembakaran

$$E_3 = \left( \frac{A}{F} \right)_{\text{Act}} \cdot \omega \cdot c_{pg} \cdot (T_g - T_a) \cdot m_f$$

$$\begin{aligned} E_3 &= 17,7 \text{ kg udara / kg bahan bakar} \times 0,016 \times 1,8723 \times \\ &\quad (140-30) \times 1550 \text{ kg/jam} \\ &= 90.405,13 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

#### 4.4 Kerugian akibat radiasi pada ketel

$$E_4 = \% \text{ kerugian radiasi} \times \text{HHV} \times m_f$$

dimana :

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= \text{adalah nilai pembakaran tertinggi} \\ &= 57024,36086 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Untuk ketel dengan bidang pemanas  $1000 \text{ m}^2 - 2000 \text{ m}^2$ , persentase kerugian akibat radiasi adalah 3%-1% ditentukan dari literatur 4. Karena luas bidang pemanas ketel ini adalah  $1793,74 \text{ m}^2$  maka dengan interpolasi didapat persentase kerugian sebesar :

$$\frac{2000 - 1793,74}{2000 - 1000} = \frac{1 - x}{1 - 3}$$

$$0,20626 = \frac{1 - x}{-2}$$

$$\% \text{ kerugian radiasi} = x = 1,41\%$$

Sehingga :

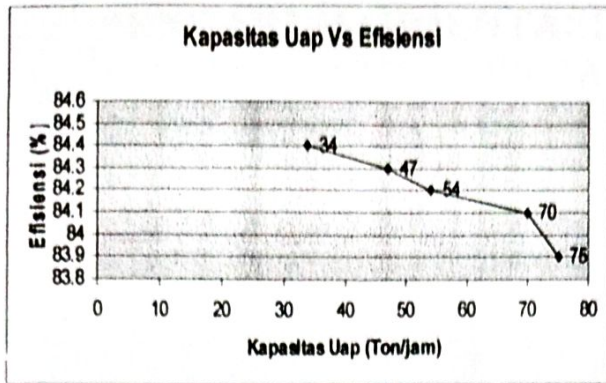
$$\begin{aligned} E_4 &= 1,41\% \times 57024,36086 \text{ kJ/kg} \times 1550 \text{ kg/jam} \\ &= 1.246.267,41 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Tabel 4: Kapasitas Uap Terhadap Kerugian Kalor

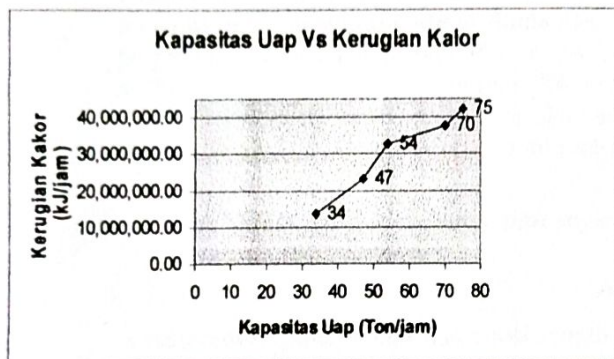
Kapasitas Uap (Ton/jam)	Kerugian Kalor (kJ/jam)
34	13.752.082,78
47	22.936.268,20
54	32.626.336,26
70	37.582.881,88
75	42.202.428,67

Tabel 5. Kapasitas uap terhadap efisiensi

Kapasitas Uap (Ton/jam)	Efisiensi (%)
34	84,4
47	84,3
54	84,2
70	84,1
75	83,9



Gambar 2: Grafik kapasitas uap terhadap efisiensi



Gambar 3: Grafik kapasitas terhadap kerugian kalor

Pada grafik kapasitas uap versus efisiensi maka efisiensi tertinggi pada kapasitas uap 34 Ton/jam yaitu sebesar 84,4% dan menurun menjadi 84,3% pada kapasitas uap 47 Ton/jam, berarti terjadi penurunan 0,01%. Pada kapasitas uap 54 Ton/jam efisiensi sebesar 84,2% bila dibandingkan dengan kapasitas uap 47 Ton/jam berarti terjadi penurunan sebesar 0,01%. Pada kapasitas uap 70 Ton/jam efisiensi sebesar 84,1% dan terjadi penurunan sebesar 0,01%, dan efisiensi terendah didapatkan pada kapasitas uap 75 Ton/jam sebesar 83,9 % bila dibandingkan dengan efisiensi pada kapasitas uap 70 Ton/jam berarti terjadi penurunan efisiensi sebesar 0,02%.

Efisiensi yang menggunakan metode tidak langsung yaitu dengan mencari kerugian-kerugian kalor, maka yang sangat mempengaruhi kerugian kalor adalah temperature gas asap pada cerobong, bila kita lihat pada kapasitas uap sebesar 75 Ton/jam dengan temperatur gas asap pada cerobong sebesar 175 °C didapat kerugian sebesar 42.202.428,67 kJ/jam, sedangkan pada kapasitas uap 34 Ton/jam dengan temperatur 140 °C kerugian kalor sebesar 13.752.082,78 kJ/jam, berarti temperatur gas asap pada cerobong mempengaruhi besarnya kerugian-kerugian kalor tersebut, dimana rendahnya temperatur gas asap menyebabkan menurunnya kerugian kalor. Berarti untuk mendapatkan efisiensi yang baik temperatur gas

asap pada cerobong harus dijaga jangan sampai terlalu tinggi

Pada saat pengambilan data, fluktuasi kapasitas uap pada kisaran 34 Ton/jam sampai dengan 75 Ton/jam, kita tidak dapat mengetahui efisiensi pada ketel, ini dikarenakan dengan alasan, pertama suplai uap yang dibutuhkan turbin untuk memutar generator, kedua karena temperatur gas asap pada cerobong ketel uap mengalami kenaikan, bila suplai air untuk menghasilkan uap mengalami peningkatan. Sehingga dapat dilihat pada data, yaitu pada kapasitas uap 34 Ton/jam: temperatur gas asap pada cerobong 140 °C didapat efisiensi sebesar 84,4 %, temperatur gas asap pada cerobong 175 °C didapat efisiensi sebesar 83,9%. Semakin rendah suhu gas asap, keluar dari cerobong asap, semakin kecil pula kebutuhan bahan bakar untuk membentuk uap pada kondisi tertentu. Berdasarkan lit.4, hal 33, meskipun temperatur gas bekas keluar yang rendah dapat menaikkan efisiensi ketel, namun temperatur tersebut tidak boleh diturunkan hingga 80° C yaitu diatas temperatur titik embun gas bekas. Bila temperatur direndahkan jauh dibawah ini, kemungkinan akan terjadinya kondensasi pada permukaan saluran gas buang yang dingin itu. Semua kondensasi gas asap harus dihindarkan, karena cairan tersebut asam dan korosif karena mengandung sulfur dioksida dan sulfur trioksida. Sedikit saja sulfur dioksida didalam gas asap akan menaikkan temperatur titik embunnya.

## 5. KESIMPULAN

- 5.1 Pengaruh kapasitas uap terhadap konsumsi bahan bakar menunjukkan dengan meningkatnya kapasitas uap maka jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan juga terus bertambah.
- 5.2 Efisiensi tertinggi pada kapasitas uap 34 Ton/jam sebesar 84,4 % dan efisiensi terendah pada kapasitas uap 75 Ton/jam yaitu sebesar 83,9 %.
- 5.3 Temperatur gas asap pada cerobong mempengaruhi besarnya kerugian gas asap kering, kerugian karena kandungan H<sub>2</sub>O dalam bahan bakar, dan kerugian karena kelembaban udara pembakaran, dimana semakin tinggi temperature gas asap pada cerobong maka kerugian kalor tersebut semakin besar.
- 5.4 Efisiensi ketel uap akan terus menurun dengan meningkatnya kapasitas uap yang dihasilkan, temperatur gas asap pada cerobong serta kerugian kalor total.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djokosetyarjo, M. J., *Ketel Uap*, Cetakan ketiga, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta, 1993.
- [2] El Wakil, MM, *Power Plant Technology*, McGraw-Hill Book, 1984.
- [3] Joseph, H. Keenan, *Steam Tables*, A Wiley-Interscience Publication.
- [4] Muin, A. Syamsir, *Pesawat-pesawat Konversi Energi I*, Rajawali Pers, Jakarta, 1988.
- [5] Li W., Kam, Priddy Paul, A., *Power Plant System Design*, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1985.
- [6] Ganaphaty, V, *Steam Plant Calculation*, Marcel Dekker, Inc.
- [7] Kulshrestha S.K, *Termodinamika Terpakai, Teknik dan Panas*, UI - Press, Universitas Indonesia, 1989.
- [8] Sipahutar, Riman, *Pembangkit Uap*, Palembang, Universitas Sriwijaya, 2001.