

# Analisa Pengaruh Variasi Kapasitas Uap Terhadap Efisiensi Ketel Uap Di Pt. Sinar Sosro Banyuasin-Sumatera Selatan

Aneka Firdaus<sup>1)\*</sup>, Erwin Sirait<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya  
Kampus Inderalaya, Sumatera Selatan 30662  
Email: nefirda@yahoo.co.id

## Abstrak

PT. Sinar Sosro Banyuasin-Sumatera Selatan adalah salah satu industri pembuatan minuman siap saji yang banyak menggunakan energy panas dalam proses produksinya. Salah satu peralatan pada pabrik tersebut yang menggunakan energi panas adalah ketel uap. Alat ini harus selalu siap dalam menjalankan fungsinya sebagai penghasil uap yang seterusnya digunakan untuk keperluan produksi. Efisiensi ketel uap ini selalu berubah-ubah sesuai dengan beban operasinya, efisiensi yang berubah-ubah terjadi karena banyaknya panas yang hilang dari hasil pembakaran, maka dari itu untuk dapat mengurangi terjadinya energi panas yang tidak efisien perlu dilakukan peningkatan performa dari suatu ketel uap dengan cara memantau setiap unit ketel uap agar dapat beroperasi dengan baik dan menurunkan kerugian kalor nya. Maka perlu dilakukan pengevaluasian prestasi kerja terhadap efisiensi pada ketel uap. Perhitungan efisiensi dilakukan dengan bervariasi kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap dimulai dari 2,20 ton/jam, 2,40 ton/jam, 2,60 ton/jam, dan 3,10 ton/jam dengan menghitung kerugian-kerugian kalor nya. Dimana kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap tersebut berbanding lurus dengan bahan bakar yang dikonsumsi ketel uap, semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap maka konsumsi bahan bakar semakin meningkat. Kesimpulan yang didapat bahwa efisiensi tertinggi adalah sebesar 87,03% pada kapasitas uap 2,20 ton/jam

**Kata kunci:** Kapasitas Uap, Kerugian Kalor, Efisiensi

## Abstract

PT. Sinar Sosro Banyuasin-South Sumatra is one of industry manufacture of beverages that use a lot of heat energy in the production process. One of the equipment at the plant which uses thermal energy is the boiler. This tool must always be ready to perform its function as a producer of steam so used for production purposes. The efficiency of the boiler is constantly changing in accordance with its operating expenses, the efficiency of the change occurred because of the heat lost from the combustion, and therefore to be able to reduce the occurrence of inefficient heat energy necessary to improve the performance of a boiler in a way monitor each unit of the boiler in order to operate properly and lowering its heat loss. It is necessary to work towards the achievement of evaluating the efficiency of the boiler. Efficiency calculations performed with the capacity to vary the generated steam boiler starts from 2.20 tons / hour, 2.40 tons / hour, 2.60 tons / hour, and 3.10 tons / hour to calculate its heat losses. Where the capacity of the boiler steam generated is directly proportional to fuel consumed boiler, the higher the capacity of the steam produced steam boiler fuel consumption is increasing. The conclusion that the highest efficiency of 87.03%. The steam capacity of 2.20 tons / hour.

**Keywords:** Steam capacity, Heat Losses, Efficiency

## 1. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang ini penggunaan uap air sangat luas dalam kehidupan sehari-hari baik dalam rumah tangga maupun dalam industri. Salah satu alat yang mampu menghasilkan uap air adalah ketel uap atau boiler. Ketel uap adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan air menjadi uap dengan cara pemanasan, dimana sumber panas tersebut berasal dari hasil pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Uap diproduksi dengan penggunaan secara langsung kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat, cair, gas, kalor energi listrik ataupun energi nuklir. Pada proses kenaikan suhu atau pembakaran ini berdasarkan pada prinsip termodinamika dan perpindahan panas yang disebabkan perbedaan temperatur, dari temperatur rendah menuju temperatur tinggi.

Ketel uap untuk keperluan industri dirancang sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan dari uap yang dihasilkan. Adapun salah satu tujuan/kegunaan uap air dalam industri adalah pembuatan minuman siap saji (seperti teh botol sosro, *fruit tea*, tebs dan lain-lain), dimana penggunaan uap air tersebut

---

\*Penulis korespondensi, Tel: -  
Email: nefirda@yahoo.co.id

akan memudahkan terjadinya proses penyeduhan daun teh. Peran ketel uap pada proses pembuatan minuman siap saji (teh botol, *fruit tea*, tebs) di PT. Sinar Sosro Banyuwasin-Sumatera Selatan sangat dominan untuk tetap berlangsungnya produksi industri. Uap yang dihasilkan pada pabrik minuman PT. Sinar Sosro berasal dari ketel uap jenis *fire tube boiler Eisen Werk Theodore Loos*. Bahan bakar yang digunakan sebagai umpan ketel uap adalah bahan bakar residu, tetapi pada awal pembakaran menggunakan bahan bakar diesel, panas hasil pembakaran dari diesel akan dimanfaatkan untuk menaikkan suhu residu, agar dapat terbakar.

Produksi uap harus dapat memenuhi kebutuhan pabrik, maka setiap komponen ketel uap harus berada dalam kondisi baik, untuk itu evaluasi terhadap prestasi kerja ketel uap perlu dilakukan, terutama untuk mengetahui efisiensi dari ketel uap tersebut.

## 2. METODE

### 2.1. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Pengujian dilakukan dengan cara bervariasi kapasitas uap yang dihasilkan oleh ketel uap tersebut. Dimana, kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap tersebut berbanding lurus dengan bahan bakar yang dikonsumsi oleh ketel, semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan oleh ketel maka konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat.

Setelah kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap diketahui maka dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter kerja ketel uap. Parameter-parameter yang diukur pada masing-masing kapasitas uap tersebut adalah temperatur udara sekeliling, temperatur udara panas lanjut, temperatur gas asap masuk cerobong, dan tekanan uap panas lanjut.

Adapun prosedur pengujian pada ketel uap pipa api *Eisen Werk Theodore Loss* ini adalah :

1. Biarkan ketel uap beroperasi beberapa jam hingga ketel uap beroperasi secara normal.
2. Setelah ketel beroperasi secara normal, lakukanlah pencatatan data kapasitas uap yang dihasilkan oleh ketel.
3. Setelah itu catat data temperatur udara sekeliling, temperatur udara panas lanjut, temperatur gas asap masuk cerobong yang tertera pada alat ukur temperatur (*thermometer digital*).
4. Selanjutnya catat data tekanan uap panas lanjut yang tertera pada alat ukur tekanan.
5. Setelah itu biarkan ketel uap selama satu jam.
6. Setelah satu jam, lakukanlah pencatatan data kembali.
7. Ikuti langkah 1 sampai 6 sampai di dapat hasil yang diinginkan.

### 2.2 Spesifikasi Ketel Uap

Adapun data spesifikasi ketel uap pipa api PT. Sinar Sosro, (Februari 2013) adalah :

- |                             |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| a. Merk                     | : <i>Eisen Werk Theodore Loos</i> |
| b. Jenis ketel              | : Ketel uap pipa api              |
| c. Kapasitas Uap desain     | : 3200 kg/jam                     |
| d. Tekanan desain           | : 6 bar                           |
| e. Temperatur uap           | : 350 <sup>o</sup> C              |
| f. Heating surface          | : 80 m <sup>2</sup>               |
| g. Temperatur udara         | : 30 <sup>o</sup> C               |
| h. Kelembapan udara relatif | : 60%                             |

### 2.3 Data Spesifikasi Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan untuk ketel uap pipa api ini adalah residu (*liquid fuel*), dengan komposisi kimianya adalah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Bahan Bakar Residu

| No | Unsur                  | Residu (%) |
|----|------------------------|------------|
| 1  | Karbon (C)             | 85,1%      |
| 2  | Hidrogen               | 10,8%      |
| 3  | Sulfur (S)             | 3,3%       |
| 4  | Oksigen                | 0,4%       |
| 5  | Nitrogen               | 0,20%      |
| 6  | Air (H <sub>2</sub> O) | 0,16%      |
| 5  | Abu (A)                | 0,04%      |
|    | Jumlah                 | 100%       |

\*Sumber : Laboratorium PLTU Sicanang Belawan

## 2.4 Data Operasional Ketel Uap

Tabel 2.1 Komsumsi bahan bakar (PT. Sinar Sosro, Februari 2013) :

| Kondisi | Kapasitas Uap ( ton/jam) | Konsumsi Bahan Bakar(kg/jam) |
|---------|--------------------------|------------------------------|
| I       | 2,20                     | 193                          |
| II      | 2,40                     | 211                          |
| III     | 2,60                     | 227                          |
| IV      | 3,10                     | 270                          |

Tabel 2.2 Data pada variasi Kapasitas Uap (PT. Sinar Sosro, Februari 2013)

| Kondisi | Kapasitas Uap( ton/jam) | T udara( <sup>o</sup> C) | Tg( <sup>o</sup> C) | P uap(bar) |
|---------|-------------------------|--------------------------|---------------------|------------|
| I       | 2,20                    | 30                       | 195                 | 4,2        |
| II      | 2,40                    | 30                       | 198                 | 4,2        |
| III     | 2,60                    | 30                       | 200                 | 4,2        |
| IV      | 3,10                    | 30                       | 203                 | 4,2        |

Dimana :

- T uap = Temperatur uap panas lanjut (<sup>o</sup>C)  
 T udara = Temperatur udara sekeliling (<sup>o</sup>C)  
 Tg = Temperatur gas asap masuk cerobong (<sup>o</sup>C)  
 P uap = Tekanan uap panas lanjut (bar)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3.1 Kerugian kalor pada kapasitas uap 2,20 ton/jam

| No                          | Jenis kerugian kalor                            | Jumlah kerugian(kJ/jam) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1.                          | Kerugian kalor karena bahan bakar               |                         |
|                             | a. Untuk CO <sub>2</sub>                        | 95246,463               |
|                             | b. Untuk N <sub>2</sub>                         | 345833,582              |
|                             | c. Untuk O <sub>2</sub>                         | 94444,624               |
|                             | d. Untuk H <sub>2</sub> O                       | 31351,576               |
| 2.                          | Kerugian akibat penguapan air dalam bahan bakar | 515340,190              |
| 3.                          | Kerugian uap air dalam udara pembakar           | 12950,3                 |
| 4.                          | Kerugian akibat radiasi                         | 23288,30                |
| <b>Kerugian kalor total</b> |                                                 | <b>1118455,035</b>      |

Tabel 3.2 Kerugian kalor pada kapasitas uap 2,40 ton/jam

| No                          | Jenis kerugian kalor                            | Jumlah kerugian(kJ/jam) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1.                          | Kerugian kalor karena bahan bakar               |                         |
|                             | a. Untuk CO <sub>2</sub>                        | 106173,890              |
|                             | b. Untuk N <sub>2</sub>                         | 384992,245              |
|                             | c. Untuk O <sub>2</sub>                         | 105174,005              |
|                             | d. Untuk H <sub>2</sub> O                       | 34905,495               |
| 2.                          | Kerugian akibat penguapan air dalam bahan bakar | 564589,980              |
| 3.                          | Kerugian uap air dalam udara pembakar.          | 14415,625               |
| 4.                          | Kerugian akibat radiasi                         | 25460,264               |
| <b>Kerugian kalor total</b> |                                                 | <b>1235711,504</b>      |

Tabel 3.3 Kerugian kalor pada kapasitas uap 2,60 ton/jam

| No                          | Jenis kerugian kalor                            | Jumlah kerugian(kJ/jam) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1.                          | Kerugian kalor karena bahan bakar               |                         |
|                             | a. Untuk CO <sub>2</sub>                        | 115694,486              |
|                             | b. Untuk N <sub>2</sub>                         | 419149,802              |
|                             | c. Untuk O <sub>2</sub>                         | 114457,189              |
|                             | d. Untuk H <sub>2</sub> O                       | 38003,177               |
| 2.                          | Kerugian akibat penguapan air dalam bahan bakar | 608253,805              |
| 3.                          | Kerugian uap air dalam udara pembakar.          | 15693,191               |
| 4.                          | Kerugian akibat radiasi                         | 27390,90                |
| <b>Kerugian kalor total</b> |                                                 | <b>1338641,65</b>       |

Tabel 3.4 Kerugian kalor pada kapasitas uap 3,10 ton/jam

| No                          | Jenis kerugian kalor                            | Jumlah kerugian (kJ/jam) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|
| 1.                          | Kerugian kalor karena bahan bakar               |                          |
|                             | a. Untuk CO <sub>2</sub>                        | 140237,741               |
|                             | b. Untuk N <sub>2</sub>                         | 507380,242               |
|                             | c. Untuk O <sub>2</sub>                         | 138684,428               |
|                             | d. Untuk H <sub>2</sub> O                       | 46006,474                |
| 2.                          | Kerugian akibat penguapan air dalam bahan bakar | 724992,56                |
| 3.                          | Kerugian uap air dalam udara pembakar           | 18995,58                 |
| 4.                          | Kerugian akibat radiasi                         | 32579,485                |
| <b>Kerugian kalor total</b> |                                                 | <b>1608876,51</b>        |

### Perhitungan Efisiensi Ketel Uap

Berdasarkan kerugian-kerugian kalor yang telah dicari maka efisiensi ketel uap dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

1. Untuk kapasitas uap 2,20 ton/jam

$$\begin{aligned}
\eta_k &= 1 - \frac{\text{Kerugian kalor total}}{mf \times \text{HHV}} \times 100 \% \\
&= 1 - \left( \frac{1118455,035}{193 \times 44690,652} \right) \times 100 \% \\
&= 1 - 0,12967 \\
&= 0,8703 \\
&= \mathbf{87,03\%}
\end{aligned}$$

2. Untuk kapasitas uap 2,40 ton/jam

$$\begin{aligned}
\eta_k &= 1 - \frac{\text{Kerugian kalor total}}{mf \times \text{HHV}} \times 100 \% \\
&= 1 - \left( \frac{1235711,504}{211 \times 44690,652} \right) \times 100 \% \\
&= 1 - 0,13104 \\
&= 0,8689 \\
&= \mathbf{86,89 \%}
\end{aligned}$$

3. Untuk kapasitas uap 2,60 ton/jam

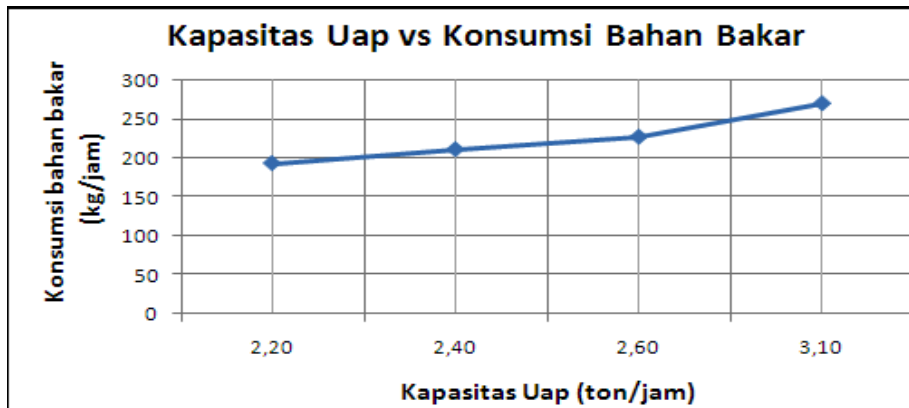
$$\begin{aligned}
\eta_k &= 1 - \frac{\text{Kerugian kalor total}}{mf \times \text{HHV}} \times 100 \% \\
&= 1 - \left( \frac{1338641,65}{227 \times 44690,652} \right) \times 100 \% \\
&= 1 - 0,13195 \\
&= 0,8680 \\
&= \mathbf{86,80 \%}
\end{aligned}$$

4. Untuk kapasitas uap 3,10 ton/jam

$$\begin{aligned}
\eta_k &= 1 - \frac{\text{Kerugian kalor total}}{mf \times \text{HHV}} \times 100 \% \\
&= 1 - \left( \frac{1608876,51}{270 \times 44690,652} \right) \times 100 \% \\
&= 1 - 0,1333 \\
&= 0,8667 \\
&= \mathbf{86,67 \%}
\end{aligned}$$

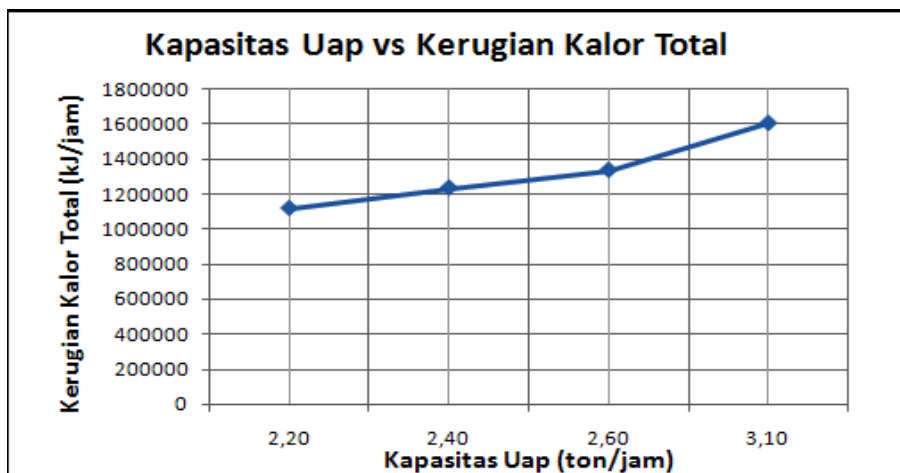
Tabel 3.5. Pengaruh Kapasitas Uap terhadap Komsumsi bahan bakar, kerugian kalor total dan Efisiensi

| Kapasitas uap (ton/jam) | Konsumsi bahan bakar (kg/jam) | Kerugian kalor total (kJ/jam) | Efisiensi(%) |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 2,20                    | 193                           | 1118455,035                   | 87,03        |
| 2,40                    | 211                           | 1235711,504                   | 86,89        |
| 2,60                    | 227                           | 1338641,65                    | 86,80        |
| 3,10                    | 270                           | 1608876,51                    | 86,67        |



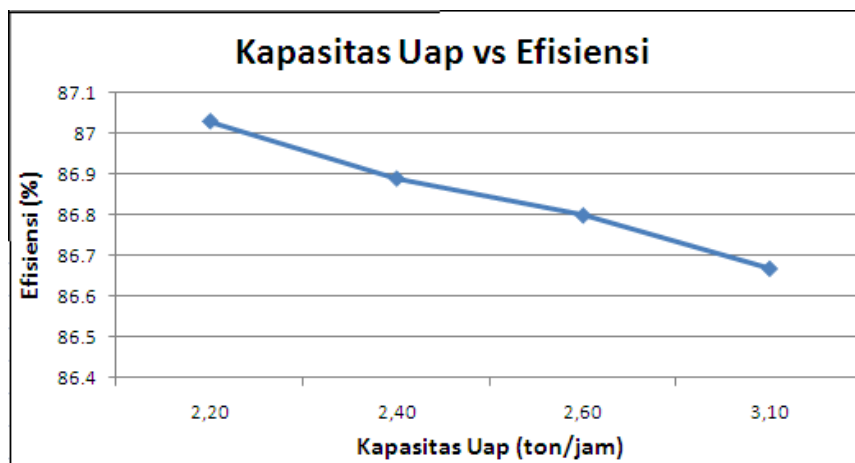
Gambar 3.1. Grafik Pengaruh Kapasitas Uap terhadap Komsumsi Bahan Bakar

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap maka komsumsi bahan bakar akan semakin meningkat atau dengan kata lain kapasitas uap berbanding lurus dengan komsumsi bahan bakar. Komsumsi bahan bakar terendah adalah pada kapsitas uap 2,20 ton/jam yaitu 193 kg/jam, dan komsumsi bahan bakar tertinggi adalah pada kapasitas uap 3,10 ton/jam yaitu 270 kg/jam.



Gambar 3.2. Grafik Pengaruh Kapasitas Uap terhadap Kerugian Kalor Total

Pada gambar 3.2, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kapasitas uap maka kerugian kalor total yang terjadi pada ketel akan semakin besar pula. Kerugian kalor total terendah terjadi pada kapasitas uap 2,20 ton/jam yaitu sebesar 1118455,035 kJ/jam, sedangkan kerugian kalor tertinggi terjadi pada kapasitas uap 3,10 ton/jam yaitu sebesar 1608876,51 kJ/jam.



Gambar 3.3. Grafik pengaruh Kapasitas Uap terhadap Efisiensi

Pada gambar 3.3 dapat dilihat bahwa pengaruh kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap tersebut cukup mempengaruhi efisiensi ketel uap, dimulai pada kapasitas uap 2,20 ton/jam didapatkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 87,03%. Pada kapasitas uap 3,10 ton/jam didapatkan nilai efisiensi paling rendah yaitu 86,67%, pada kapasitas uap 2,20 ton/jam efisiensinya adalah 87,03%, pada kapasitas 2,40 ton/jam nilai efisiensinya adalah 86,89% mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,14%, pada kapasitas uap 2,60 ton/jam nilai efisiensinya adalah 86,80% mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,09%, selanjutnya pada kapasitas uap 3,10 ton/jam nilai efisiensinya adalah 86,67% mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,13%.

Perhitungan efisiensi ketel uap pipa api yang digunakan dengan metode tidak langsung, dengan cara menghitung kerugian-kerugian kalor pada ketel uap, kerugian-kerugian tersebut antara lain kerugian panas gas asap pada cerobong, kerugian karena mengandung H<sub>2</sub>O dalam bahan bakar, kerugian karena kelembaban udara pembakaran dan kerugian radiasi.

Bila dilihat pada beban 2,20 ton/jam temperatur gas asap cerobong 195 °C didapat kerugian kalor totalnya sebesar 1118455,035 kJ/jam, sedangkan pada kapasitas uap 3,10 ton/jam dengan suhu gas asap sebesar 203°C didapat kerugian kalor total nya 1608876,51 kJ/jam, sehingga dapat diperhatikan dengan meningkatnya temperatur gas asap keluar cerobong maka kerugian kalor semakin besar pula yang menyebabkan efisiensi ketel uap semakin menurun. Untuk mendapatkan efisiensi ketel uap yang baik maka perlu dijaga agar temperatur cerobong jangan terlalu tinggi, tetapi temperaturnya jangan sampai dibawah 80°C, karena dapat menyebabkan terjadinya kondensasi gas asap pada permukaan saluran cerobong dan apalagi kalau gas asap tersebut mengandung sulfur, dimana cairan tersebut bersifat korosif karena mengakibatkan reaksi oksidasi terhadap logam permukaan cerobong.

#### 4. SIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Nilai pembakaran atas ketel uap adalah 44690,652 kJ/kg dan nilai pembakaran bawah ketel uap adalah 42244,754 kJ/kg.
- Kerugian kalor total tertinggi adalah pada kapasitas uap 3,10 ton/jam yaitu sebesar 1608876,51 kJ/jam dan terendah pada kapasitas uap 2,20 ton/jam yaitu sebesar 1118455,035 kJ/jam. Dimana semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan maka kerugian kalor semakin besar pula. Dan temperatur gas buang akan semakin meningkat seiring meningkatnya kapasitas uap yang dihasilkan.
- Semakin tinggi kapasitas uap yang dihasilkan oleh ketel maka semakin tinggi pula bahan bakar yang dikonsumsi oleh ketel. Konsumsi bahan bakar tertinggi adalah pada kapasitas uap 3,10 ton/jam yaitu 270 kg/jam dan konsumsi bahan bakar terendah adalah pada kapasitas uap 2,20 ton/jam 193 kg/jam.
- Efisiensi ketel uap akan terus menurun atau berbanding terbalik dengan meningkatnya produksi kapasitas uap. Efisiensi tertinggi pada kapasitas uap 2,20 ton/jam yaitu sebesar 87,03% dan efisiensi terendah pada kapasitas uap 3,10 ton/jam yaitu sebesar 86,67%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada: Direktur Utama PT. Sinar Sosro Banyuasin Sumatera Selatan yang telah bersedia membantu dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ir.E.S.M.Tambunan,Fajar.H.Karo Karo.B.E."Ketel Uap", Jakarta,1984
- [2]. Ir.M.J.Djokosetyardjo."Ketel Uap", Cetakan Keenam, Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2006.
- [3]. Muin A. Syamsir, Ir., "Pesawat Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)", Penerbit Rajawali Pers, Jakarta, 1988
- [4]. Sipahutar,Riman Dr.Ir.. M.Sc,"Sistem Pembangkit Uap", Palembang: Unsri, 2010.
- [5]. James.J.Jackson, "*Steam Boiler Operation: principles and practice*",second edition,New Jersey,1926.
- [6]. Moran, M. J., Tsatsaronis, G., 2000. "*Engineering thermodynamics*". U.S.A: CRC Press LLC.
- [7]. Frank P. Incropera and David P. Dewitt, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*",Third Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc., Singapura, 1990
- [8]. Kenneth Wark, "*Property Tables, Figures, and Charts*", (SI Units), Fourth Edition, McGraw Hill,inc.,NY,1983.
- [9]. Joseph, H. Keenan, "*Steam Tables*", A Willey-Interscience Publication.

- [10]. Archie W. Chulp, Jr., "*Principles of Energy Conversion*", McGraw-Hill Ltd., University of Missouri- Rolla.
- [11]. Hicks, T.G, PE, "*Standard Hand Book of Engineering Calculation*", McGraw-Hill,inc, 1972
- [12]. Napitupulu,Farel ,H, 2006,"Pengaruh Nilai Kalor (*Heating Value*) Suatu Bahan Bakar Terhadap perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penelitian Nilai Kalor Bahan Bakar Yang Dipergunakan" Sistem Teknik Industri, Volume 7, No.1, Hal.60.