

Analisa Pengaruh Perubahan Beban Output Turbin Terhadap Efisiensi Boiler

Jatmiko Edi Siswanto

Program Studi, Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi (STITEKNAS) – Jambi

Jl.Pattimura No. 100 Kota Jambi, Indonesia

Correspondence email: jatmikoedis@gmail.com

Abstrak. Pada perusahaan pengolahan kelapa sawit hingga menjadi minyak proses perebusan dilakukan untuk memudahkan berondolan dari tandannya, menghentikan perkembangan asam lemak bebas (*free fatty acid*) dan akan menyebabkan tbs melunak sehingga proses ekstraksi minyak menjadi lebih gampang. Proses perebusan membutuhkan uap dari steam, Steam di peroleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Umumnya boiler memakai bahan bakar cair, gas, dan padat. Steam berfungsi sebagai pembangkit listrik dan perebusan, pada perusahaan digunakan boiler sebagai *producer* uap mendukung proses produksi. Boiler atau ketel uap merupakan bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap, melalui proses konversi energi. Untuk mengetahui efisiensi boiler dilakukan perhitungan dengan mengambil parameter yang dibutuhkan pada operasional boiler, dari analisa didapat hasil efisiensi tertinggi ketel adalah 83,56% dan terendahnya adalah 75,25% , dimana nilai kalor dengan bahan bakar 13% pada beban 1000 Kw sebesar 83,56%. Dan nilai kalor dengan bahan bakar 10% pada beban 750 Kw lebih kecil dengan nilai sebesar 75,25%.

Kata Kunci : Boiler, Beban , efisiensi boiler

Abstract. In palm oil processing companies to become oil, the boiling process is carried out to make it easier for the loose fruit to come from the bunches, to stop the development of free fatty acids and will cause the tbs to soften so the oil extraction process becomes easier. The boiling process requires steam from steam. Steam is obtained by heating a vessel filled with water with fuel. Generally, boilers use liquid, gas and solid fuels. Steam functions as a boiling and electric generator, the company uses a boiler as a steam producer to support the production process. A boiler or steam boiler is a closed vessel used to produce steam through an energy conversion process. To find out the boiler efficiency, a calculation is carried out by taking the parameters needed for boiler operation, from the analysis the highest boiler efficiency results are 83.56% and the lowest is 75.25%, where the heating value with 13% fuel at 1000 Kw load is 83, 56%. And the calorific value with 10% fuel at a load of 750 Kw is smaller with a value of 75.25%.

Keywords: Boiler, Load, boiler efficiency.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman pertumbuhan industri – industri di Indonesia sangat pesat, dengan beraneka ragam industri antara lain pabrik karet, pabrik kayu, pabrik makanan dan minuman, pabrik industri khusus dan pabrik kelapa sawit. PT.Perkebunan Nusantara VI (persero) adalah salah satu industri yang bergerak dalam bidang pengolahan kelapa sawit. Di perusahaan ini proses pengolahan kelapa sawit dimulai dari tahap perebusan buah sawit, yang berupa Tandan buah segar (TBS) buah sawit dari perkebunan yang baru di panen. Perusahaan yang terkenal dengan pengolahan kelapa sawit hingga menjadi minyak kelapa sawit mentah ini, dalam proses perebusan TBS dipanaskan dengan Uap yang dihasilkan boiler pada temperatur 135°C[1].

Proses perebusan dilakukan untuk memudahkan pemipilan berondolan dari tandannya, menghentikan perkembangan asam lemak bebas (*free fatty acid*) dan akan menyebabkan TBS melunak sehingga proses ekstraksi minyak menjadi lebih gampang. Proses perebusan membutuhkan uap dari steam, Steam di peroleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Umumnya boiler memakai bahan

bakar cair, gas, dan padat. Steam berfungsi sebagai pengering Di perusahaan ini, digunakanlah boiler sebagai *producer* uap untuk mendukung proses produksi. Boiler atau ketel uap merupakan bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap, melalui proses konversi energi. Pada umumnya, uap yang dihasilkan dari boiler dapat digunakan sebagai pembangkit energi utama atau sebagai pendukung proses produksi. Uap sebagai pembangkit energi utama, biasanya dimanfaatkan pada pembangkit tenaga listrik. Sedangkan sebagai pendukung proses produksi, uap digunakan untuk pengering atau pemanas. Di PT. Perkebunan Nusantara VI (persero) uap yang dihasilkan boiler digunakan untuk proses pengkondisian kandungan air pada buah sawit, serta sebagai penyedia air panas.

Proses pengkondisian kelembaban buah sawit dari hasil perebusan, uap yang dihasilkan oleh boiler ditampung dalam sebuah *header* untuk di distribusikan ke setiap Unit yang membutuhkan uap. uap yang dikonsumsi sesuai dengan proses yang sedang berlangsung. Setelah uap tersebut selesai digunakan, kemudian dikirim ke *unit condensate* untuk mengubah fasa uap menjadi air. tahapan selanjutnya adalah mengirim air hasil kondensasi tersebut ke unit *deaerator*

untuk mengurangi kandungan udara dalam air. Air dari sinilah yang digunakan sebagai *feed water* pada boiler[2].

Bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap berupa *fiber* dan cangkang. Dari penjelasan diatas, penggunaan uap sebagai pendukung proses produksi serta sebagai pembangkit tenaga listrik.

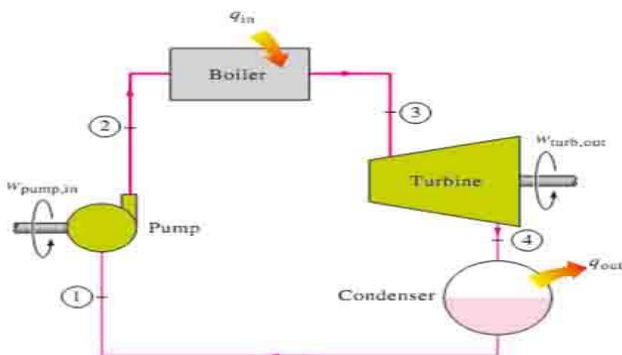
2. KAJIAN PUSTAKA

Pada pabrik kelapa sawit terdapat banyak jenis boiler dengan berbagai bentuk dan ukuran. Karena didalam sebuah pabrik penolahan minyak sawit boiler sama halnya dengan jantung pada manusia.

Boiler adalah salah satu peralatan dari yang berperan sangat penting dalam proses bekerjanya pengolahan minyak kelapa sawit (*crude palm oil*) fungsinya untuk menghasilkan steam (uap)[3].

Siklus Pada boiler

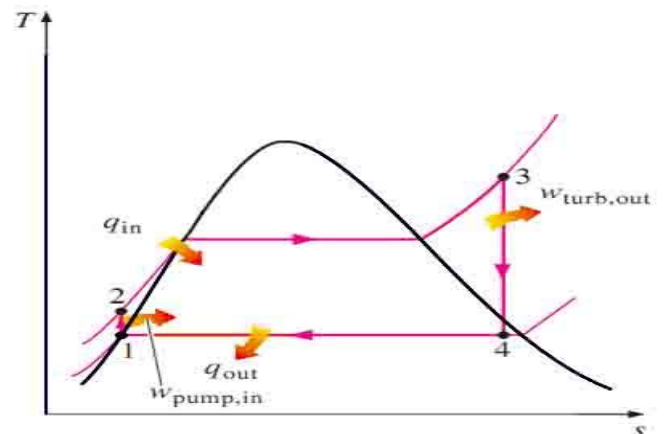
Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk boiler sebagai cairan kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan boiler sebagai uap kering pada kondisi 3.



Gambar 1. Siklus rankine

Boiler pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan. Uap superheater pada kondisi ke 3 masuk ke turbin yang mana uap diexpansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik.

Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensator dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi. Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensator yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin. Uap panas lanjut dari ketel memasuki turbin, setelah melalui beberapa tingkatan sudu turbin, sebagian uap diekstraksikan ke deaerator, sedangkan sisanya masuk ke kondensator dan dikondensasikan didalam kondensator. Selanjutnya air dari kondensator dipompakan ke deaerator juga. Di dalam deaerator, uap yang berasal dari turbin yang berupa uap basah bercampur dengan air yang berasal dari kondensator. Kemudian dari deaerator dipompakan kembali ke ketel, dari ketel ini air yang sudah menjadi uap kering dialirkan kembali lewat turbin. Tujuan uap diekstraksikan ke deaerator adalah untuk membuang gas-gas yang tidak terkondensasi sehingga pemanasan pada ketel dapat berlangsung efektif, mencegah korosi pada ketel, dan meningkatkan efisiensi siklus. Untuk mempermudah penganalisaan siklus termodinamika ini, proses-proses tersebut di atas disederhanakan dalam bentuk diagram dapat dilihat seperti pada gambar 2 sebagai berikut[4].



Gambar 2. Diagram T-S siklus Rankine.

Proses Kerja boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. *Steam* dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar

tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. Air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam disebut air umpan[4][7]..

Dua sumber air umpan adalah kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan air *makeup* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler. Untuk mendapatkan *efisiensi* boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang. Kompenennya terdiri dari:

Furnane (ruang bakar)

Sebagai tempat pembakaran bahan bakar (*fiber* dan *cangkang*) untuk menghasilkan gas panas. Yang memiliki lantai (*fire gratee*) berupa susunan roster yang dibuka tutup dengan *pneumatic* zatau model *fixed gratee* mempunyai lubang-lubang (*deashing nozeel*) atau tempat lewatnya udara pembakaran dari *forced draft fan* (*Fd fan*). Lubang tidak boleh tumpat agar pembakaran dapat sempurna yang dilengkapi “*firing door*” pada bagian depan yang berfungsi sebagai .

Tube Super Heater

Berfungsi untuk meningkatkan temperatur uap kering (*satured steam*) sampai temperatur uap *superheat* (280° C – 300°C).*Tube superheater* berisi uap yang berassal dri drum atas lalu dipanaskan gas panas selanjutnya di distribusikan ke *header uap* untuk seterusnya digunakan oleh turbin. Biasanya berbelok-belok yang mana ujung awal dihubungkan dengan uap drum atas sedang ujungnya berhubungan dengan *Header steam*

Drum Atas (Upper Drum)

Fungsi dari drum atas adalah menampung air umpan untuk di distribusikan ke pipa air oembangkit *Steam*, menampung uap dari pipa pembangkit dan setelah uap dan titik air dipisahkan pada drum selanjutnya uap dialirkan ke *header uap* untuk di distribusikan ke turbin.*Material drum* : Biasanya terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran (*crome*, *vanadium*,*molybdeum*)untuk menghindari *elongation* yang berlebihan.

Header Air Umpan

Merupakan bejana baja berbentuk silinder dipasang di sekeliling dapur dan dibawah *fire grade* pada dinding depan boiler.Befungsi untuk menampung air umpan dan selanjutnya di distribusikan ke pipa air pembangkit uap (*water wall*).

Ekonomiser

Berfungsi untuk menaikan temperatur air umpan dengan memanfaatkan sisa gas panas yang dialirkan melalui *exchanger* dan air umpan boiler dialirkan melalui peralatan ini

Header Uap

Header uap berfungsi sebagai penampung uap dari pada pembangkit uap dan selanjutnya mendistribusikan ke drum uap (*drum atas*).Biasanya berbentuk bejana silinder,tetapi ada juga yang berbentuk persegi empat[5][6].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses pengambilan data dilakukan dengan mengambil data selama tujuh jam beroperasi. Sehingga di dapatkan rata-rata nya dalam satu hari selama tujuh jam. Sehingga mendapaatkan parameter – parameter yang dibutuhkan.

Tabel 1. Data beban 1000 (Kw)

No.	Tu °C	P .bar	Ta. °C	m _{bb} kg/jam	m _{uap} ton / jam	Persentase bb% dari 45ton
1	280 °C	20bar	90 °C	30 kg/jam	18 ton/jam	14%
2	279 °C	21bar	89 °C	28kg/jam	19 ton/jam	13%
3	278 °C	20bar	88 °C	29kg/jam	18 ton/jam	14%
4	276 °C	19bar	85 °C	28kg/jam	17ton/jam	11%
5	275 °C	18bar	86 °C	26kg/jam	17ton/jam	12%
6	274 °C	17bar	84 °C	27kg/jam	19ton/jam	14%
7	273 °C	16bar	90 °C	30kg/jam	18ton/jam	13%
Rata-rata	276 °C	19bar	87 °C	28kg/jam	18ton/jam	13%

Perhitungan Efisiensi Boiler Pada beban 1000 (Kw)

- Fiber 13% persentase bahan bakar dari 45 ton
- 13% x 45 ton = 5800 kg

Komposisi yang terkandung dalam bahan bakar fiber Dimana komposisi yang terkandung sudah ditetapkan.

- Water = 39,8 % x 5800 kg = 2308 kg
- NOS = 55,6 % x 5800 kg = 3224 kg
- OIL = 4,56 % x 5800 kg = 269 kg

- Heating Value NOS = 3850 Kcal/Kg
- OIL = 8800 Kcal/Kg
- Heat Evaporation Water = 600 Kcal/kg

$$\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{m_{uap}(\Delta h)}{m_{bb}(N.O)} \times 100\%$$

$$N.O = \frac{(NOS \times bb \times NOS \text{ heat value}) + (Oil \times oil \text{ heat value}) - (water \times water \text{ heat value})}{m_{bb}}$$

$$= \frac{(3224 \times 3850) + (269 \times 8800) - (600 \times 2308)}{5800}$$

- N.O fiber = 2309 Kcal/Kg
- Q_{in} = m_{bb} X N.O = 5800kg/jam X 2309kcal/kg = 13.392,200Kcal/kg
- Q_{in} = 56.070463kj/kg
- h1 P = 19 bar ,Tu = 276 ° C

Enthalpy = 2967.57 kJ/kg
 h2 ta = 87°C
 Enthalpy = 364.352 kJ/kg
 → Dapat di cari dengan cara interpolasi menggunakan tabel *Properties of saturated water steam*.
 $Q_{out} = (\dot{m}_{uap} \times \Delta h) = 18000 \text{ kg uap/jam} \times 2.603,218$
 $Q_{out} = 4,857,924 \text{ kJ/kg}$
 $\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$
 $= \frac{4,857,924}{56.070463} = 83,5697.1 \times 100\%$
 $\eta_b = 83,56 \%$

Perhitungan Efisiensi Boiler Pada beban 950 (kw)

- Fiber 12 % persentase bahan bakar
 - 12 % x 45 ton = 5400 kg
 Komposisi yang terkandung dalam bahan bakar fiber
 Water = 39,8 % x 5400 kg = 2149 kg
 NOS = 55,6 % x 5400 kg = 3002 kg
 OIL = 4,56 % x 5400 kg = 251 kg

Heating Value

NOS = 3850 Kcal/Kg
 OIL = 8800 Kcal/Kg
 Heat Evaporation Water = 600 Kcal/kg
 $\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{\dot{m}_{uap}(\Delta h)}{\dot{m}_{bb}(N.O)} \times 100\%$
 $N.O = (\text{Nos bb} \times \text{Nos heat value}) + (\text{Oil} \times \text{oil heat value}) - (\text{water} \times \text{water heat value})$

$$\frac{(3002 \times 3850) + (251 \times 8800) - (600 \times 2149)}{5400}$$

N.O fiber = 2310 Kcal/Kg
 $Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times N.O = 5400 \text{ kg/jam} \times 2310 \text{ kcal/kg} = 12.474,000 \text{ kcal/kg}$
 $Q_{in} = 52.2266143.1 \text{ kJ/kg}$
 h1 P = 18 bar tu = 274°C
 Enthalpy = 2966.21 kJ/kg
 h2 ta = 85°C
 Enthalpy = 355.946 kJ/kg
 $Q_{out} = (\dot{m}_{uap} \times \Delta h) = 16.500 \text{ kg uap /jam} \times 2.610.246 \text{ kJ/kg}$
 $(h1-h2) = 43,069,356 \text{ kJ/kg}$
 $Q_{out} = 43,069,356 \text{ kJ/kg}$
 $\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$
 $= \frac{43,069,356}{52,226143.1} = 82,4670432,5 \times 100\%$
 $\eta_b = 82,46 \%$

Perhitungan efisiensi Beban 850 (Kw)

- Fiber 11% persentase bahan bakar

- 11 % x 45 ton = 4900 kg
 Komposisi yang terkandung dalam bahan bakar fiber
 Water = 39,8 % x 4900 kg = 1950 kg
 NOS = 55,6 % x 4900 kg = 2724 kg
 OIL = 4,56 % x 4900 kg = 227 kg
 Heating Value
 NOS = 3850 Kcal/Kg
 OIL = 8800 Kcal/Kg

Heat Evaporation Water = 600 Kcal/kg

$\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{\dot{m}_{uap}(\Delta h)}{\dot{m}_{bb}(N.O)} \times 100\%$

$$N.O = \frac{(\text{Nos bb} \times \text{Nos heat value}) + (\text{Oil} \times \text{oil heat value}) - (\text{water} \times \text{water heat value})}{\dot{m}_{bb}}$$

$$= \frac{(2724 \times 3850) + (227 \times 8800) - (600 \times 1950)}{4900}$$

N.O fiber = 2307 Kcal/Kg
 $Q_{in} = \dot{m}_{bb} \times N.O = 4900 \text{ kg/jam} \times 2307 \text{ kcal /kg} = 11,304,3000 \text{ kcal/kg}$
 $Q_{in} = 47328843,1 \text{ kJ/kg}$
 h1 P = 17 bar
 Enthalpy = 2964.91 kJ/kg
 tu = 272°C
 h2 ta = 83°C
 Enthalpy = 347.544 kJ/kg
 $Q_{out} = (\dot{m}_{uap} \times \Delta h) = 14.000 \text{ kg uap/jam} \times 2,617.366 \text{ kJ/kg}$
 $(h1-h2) = 36,643,124 \text{ kJ/kg}$
 $Q_{out} = 36,643,124 \text{ kJ/kg}$
 $\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$
 $= \frac{36,643,124}{47328843,1} = 77,422395 \times 100\%$
 $\eta_b = 77,42 \%$

Perhitungan efisiensi Beban 750 (Kw)

- Fiber 10 % persentase bahan bakar
 - 10 % x 45 ton = 4500 kg
 Komposisi yang terkandung dalam bahan bakar fiber
 Water = 39,8 % x 4500 kg = 1791 kg
 NOS = 55,6 % x 4500 kg = 2502 kg
 OIL = 4,56 % x 4500 kg = 209 kg
 Heating Value NOS = 3850 Kcal/Kg
 OIL = 8800 Kcal/Kg
 Heat Evaporation Water = 600 Kcal/kg
 $\eta_b = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{\dot{m}_{uap}(\Delta h)}{\dot{m}_{bb}(N.O)} \times 100\%$

$$N.O = \frac{(\text{Nos bb} \times \text{Nos heat value}) + (\text{Oil.bb} \times \text{oil heat value}) - (\text{water.bb} \times \text{water heat value})}{\text{mbb}}$$

$$N.O = \frac{(2502 \times 3850) + (209 \times 8800) - (600 \times 1791)}{4.500}$$

N.O fiber = 2132 Kcal/Kg

Qin = mbb X N.O

= 4.500kg/jam x 2132kcal/kg

= 9,594,000 kcal/kg

Qin = 40168159,1 kj/kg

h1 P = 16 bar tu = 270 °C

Enthalpy = 2963.65 kj/kg

h2 ta = 80 °C

Enthalpy = 334.949 kj/kg

Qout = (muap x Δh)

= 11,500 kg uap/jam x 2,628.701 kj/kg

(h1-h2)

= 30.230,061kj/kg

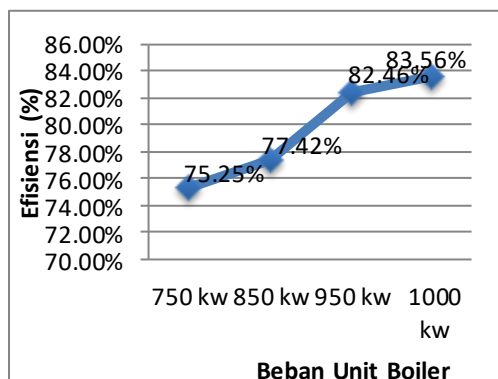
Qout = 30.230,061kj/kg

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

$$= \frac{30.230,061}{40168159.1} = 75,25876 \times 100\%$$

ηb = 75,25 %

Analisa Grafik



Gambar 3. Grafik perbandingan efisiensi pada masing-masing beban

Dari grafik diatas dapat di ketahui, bahwa efisiensi terendah boiler terdapat pada beban 750 Kw dengan nilai 75,25% ini dikarekan persentase bahan bakar boiler pada beban 750 Kw adalah 10% dari 45ton kapasitas. Maka nilai kalor dengan bahan bakar 10% pada beban 750 kw lebih kecil sehingga efisiensi pada beban ini hanya 75,25%. Sedangkan efisiensi tertinggi boiler adalah terdapat pada beban 1000 Kw dengan nilai 83,56% ini dikarenakan persentase bahan bakar boiler pada beban 1000 Kw adalah 13% dari 45ton kapasitas. Maka nilai kalor dengan bahan bakar 13% pada beban 1000 Kw lebih tinggi sehingga efisiensi pada beban ini lebih tinggi dengan nilai 83,56%.

4. KESIMPULAN

- Bahwa efisiensi terendah boiler terdapat pada beban 750 Kw dengan nilai 75,25% ini dikarekan persentase bahan bakar boiler pada beban 750 kw adalah 10% dari 45ton kapasitas. Maka nilai kalor dengan bahan bakar 10% pada beban 750 Kw lebih kecil sehingga efisiensi pada beban ini hanya 75,25%.
- Sedangkan efisiensi tertinggi boiler adalah terdapat pada beban 1000 Kw dengan nilai 83,56% ini dikarenakan persentase bahan bakar boiler pada beban 1,7MW adalah 13% dari 45ton kapasitas. Maka nilai kalor dengan bahan bakar 13% pada beban 1000 Kw lebih tinggi sehingga efisiensi pada beban ini lebih tinggi dengan nilai 83,56%.

Saran

- Pentingnya perawatan yang rutin dilakukan untuk menjaga agar boiler beroperasi dengan baik.
- Rutin melakukan pengecekan pipa-pipapada boiler, membersihkan kerak-kerak yang menempel

DAFTAR PUSTAKA

- Putra Is Dewata. 11 Januari 2011. Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type ihfwsr Single Drum Akibat Kehilangan Panas dipltu pt. PJB unit
- Andalas Stell, Petunjuk Pengoperasian boiler, Takuma water tube boiler, oil palm Wastes Firing Boiler
- Asmudi. 12 Januar 2010. Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada Pltu PT. Indonesia Power Ubp Perak. Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
- Budiarjo,IMade Kartika D, Budiars(Penerjemah), 1989. Buku Teks Termodinamika Terpakai, Teknik Uap Dan Panas.Universitas Indonesia.
- Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat konversi 1(KetelUap) 1988).
- Bandi parapak. 15 Maret 2010 Perekayasaan Ketel Uap Utilitas Pabrik Elemen Bakar Nuklir Tipe
- M.Sitorus,.,Proses Pengolahan Air Umpan Ketel.,2002.Medan