

Efek Pemakaian *Economizer* Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler *Pulverized* Pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Suhardi^{1,a}, Kamriani², Suryanto³ Jamal⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

^a Suhardi06mks@gmail.com

Abstract: Heat loss in steam power plants (PLTU) is one of the important factors that is very important to consider in the operation of a boiler. This study aims to analyze the efficiency of a pulverized boiler by using an economizer and compare if not using an economizer on a boiler type Pulverized PLTU. In conducting this research the method used is a method using survey data on the Jeneponto steam power plant and followed by an analysis comparing the use of an economizer and without using an economizer. The analysis results obtained boiler efficiency by using an economizer by an average of 90% and without using an economizer by an average of 80%. Thus the use of an economizer can increase efficiency by about 12% or the equivalent of 2976.8 kg / hour.

Keywords: Boiler, Heat Loss, Economizer, Efficiency,

Abstrak: Kehilangan panas pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu faktor penting yang sangat perlu diperhatikan dalam pengoperasian boiler. Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi boiler *pulverized* dengan memakai *economizer* dan membandingkan jika tidak memakai *economizer* pada suatu boiler jenis Pulverized PLTU. Dalam melakukan penelitian ini metode yang digunakan adalah metode dengan menggunakan data hasil survey pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeneponto dan dilanjutkan dengan analisis yang membandingkan penggunaan *economizer* dan tanpa menggunakan *economizer*. Hasil analisis diperoleh efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* sebesar rata-rata 90% dan tanpa menggunakan *economizer* rata-rata 80%. Dengan demikian penggunaan *economizer* dapat meningkatkan efisiensi sekitar 12% atau yang setara dengan 2976,8 kg/jam.

Kata kunci : Boiler, Kehilangan Panas, *Economizer*, Efisiensi

I. PENDAHULUAN

Kerugian panas yang terjadi pada gas buang (*exhaust*) merupakan salah satu faktor penting yang sangat berpengaruh terhadap efisiensi pada unit boiler (*steam generator*). Konsekuensi logis dari kerugian panas yang hilang atau terbuang berdampak pada faktor ekonomis. Sehubungan dengan itu, penggunaan *economizer* pada PLTU merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk memanfaatkan kalor yang terbawa bersama gas buang yang masih memiliki temperatur yang cukup tinggi yaitu sekitar 700 s.d 1000 °F atau 370 s.d 537 °C (M. M. El-Wakil, 1984), sehingga dapat dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke boiler. Efek air umpan melewati kondensor temperaturnya naik sehingga dapat mengurangi beban boiler dan dapat menghemat pemakaian bahan bakar.

Sistem kelistrikan Sulselrabar mempunyai sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) diantaranya yang berada di kabupaten Jeneponto yang dikelola oleh PT. BOSOWA ENERGI yang memiliki empat unit pembangkit dengan kapasitas desain 2×125 MW dan 2×135 MW. Penggunaan bahan bakar sangat mendominasi pembiayaan produksi di perusahaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeneponto mencakup bagian yang terbesar dari total biaya produksi. Peralatan yang ada di PTLU Jeneponto pada umumnya berumur kurang lebih sepuluh tahun semenjak pendirian pembangkit tersebut. Efisiensi peralatan tersebut menurun sejalan dengan bertambah umur peralatan, ketika efisiensi menurun pemakaian bahan bakar dan hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan target produksi.

Penurunan efisiensi menyebabkan kerugian ekonomi dikarenakan harga bahan bakar semakin hari semakin meningkat, oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan efisiensi untuk meningkatkan kinerja suatu peralatan, menghemat penggunaan bahan bakar, dan meningkatkan hasil produksi peralatan tersebut. Temperatur gas buang yang dihasilkan pada unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeneponto diketahui

memiliki temperatur yang masih tinggi berkisar antara 300⁰ C s.d 400⁰ C (PLTU Jeneponto, 2018). Temperatur gas buang yang masih tinggi ini dapat dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air yang masuk ke dalam boiler. Dengan memanfaatkan kembali gas buang akan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar. Salah satu pilihan PLTU Jeneponto dalam meningkatkan efisiensi boiler (*steam generator*) adalah dengan penggunaan *economizer* [1].

Penelitian tentang Analisa Pemakaian *Economizer* terhadap Peningkatan Efisiensi dan Penghematan Bahan Bakar Boiler 052 B101 Unit Pembangkit Tenaga Uap PT. Pertamina (PERSERO) Revinery Unit IV Cilacap. menyimpulkan bahwa berdasarkan penelitan di dapatkan efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* sebesar 86,97% sedangkan efisiensi boiler tanpa menggunakan *economizer* sebesar 76,07%. Dan dengan menggunakan *economizer* maka dapat menghemat bahan bakar sebesar 174,08% [2,3].

Economizer adalah alat pemindah panas berbentuk *tubular* yang digunakan untuk memanaskan air umpan boiler sebelum masuk ke *steam drum*. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economizer*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer. Biro Efisiensi Energi (2004) menyatakan bahwa sebuah *economizer* dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan boiler. Setiap penurunan 220°C suhu gas buang melalui *economizer* atau pemanas awal terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler. Setiap kenaikan 60 °C suhu air umpan melalui *economizer* atau kenaikan 200°C suhu udara pembakaran melalui pemanas awal udara, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler.

1. Analisis Perhitungan *Economizer*

a. Beban Thermal yang diserap oleh air pada *economizer*

Beban termal untuk setiap pengukuran yang diserap air pada *economizer* yaitu *Q_{eco}*, diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut;

$$Q_{eco} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot \Delta T$$

$$Q_{eco} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(1.1)$$

Keterangan :

- Q_{eco}* = Kalor yang diserap oleh air pada *economizer* (kJ/s)
- m_{air}* = Laju aliran air yang dipanaskan di dalam *economizer* (kg/Jam)
- C_{p_{air}}* = Konstanta panas air pada tekanan konstan (J/ kg . K)
- T_{out}* = Temperatur aliran air keluar *economizer* (K)
- T_{in}* = Temperatur aliran masuk *economizer* (K).

b. Beban Thermal gas buang yang diterima *economizer*

Beban termal gas buang yang diterima oleh gas *economizer* yaitu *Q_{gb}* diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut;

$$Q_{gb} = m_{gas} \cdot C_{p_{gas}} \cdot \Delta T$$

$$Q_{gb} = m_{gb} \cdot C_{p_{gas}} \cdot (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(1.2)$$

Keterangan :

- Q_{gb}* = Kalor gas buang yang diterima *economizer* (kJ/s)
- m_{gb}* = Laju aliran gas yang dipanaskan di dalam *economizer* (kg/Jam)
- C_{p_{gb}}* = Konstanta panas gas pada tekanan konstan (J/ kg . K)
- T_{out}* = Temperatur aliran gas keluar *economizer* (K)
- T_{in}* = Temperatur aliran gas masuk *economizer* (K).

c. Ratio efektivitas *economizer* (*Reff*)

Menghitung harga ratio efektivitas, untuk mengetahui kinerja *economizer*. dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_{eff} = \frac{Q_{ECO}}{Q_{GB}} \dots\dots\dots (1.3)$$

Keterangan :

R_{eff} = Ratio efektivitas *economizer* (%)

Q_{eco} = Beban Thermal yang diserap oleh air pada *economizer* (kJ/s)

Q_{gb} = Beban Thermal gas buang yang diterima *economizer*

d. Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah unjuk kerja suatu kemampuan alat utilitas. Disamping itu, definisi efisiensi boiler adalah tingkat kemampuan kerja boiler atau ketel uap yang didapat melalui perbandingan antara energi yang berpindah tempat atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%, (Asmudi, 2009).

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler adalah:

- Jumlah steam yang dihasilkan per jam (Q) dalam kg/jam
- Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q) dalam kg/jam
- Tekanan uap (dalam Mpa/Bar) dan Temperatur uap (°C)
- Suhu air umpan (°C)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar

1. Efisiensi boiler menggunakan *economizer*

$$\begin{aligned} \eta_{d.eco} &= \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{wi.eco})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.4) \end{aligned}$$

2. Efisiensi boiler tanpa *economizer*

$$\begin{aligned} \eta_{eco} &= \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{\dot{m}_s \times \{(h_s - h_{wi.eco}) - (h_{fw} - h_{wt.eco})\}}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.5) \end{aligned}$$

Keterangan :

\dot{m}_s = Jumlah steam yang dihasilkan per jam (kg/jam)

h_s = Entalpi steam jenuh (kJ/kg)

h_{fw} = Entalpi air umpan (kJ/kg)

$h_{wi.eco}$ = Entalpi air masuk pada *economizer* (kJ/kg)

\dot{m}_{bb} = Jumlah massa bahan bakar yang digunakan per jam (kg/jam)

LHV_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

3. Panas (Q) yang dibutuhkan dalam proses pembentukan uap dalam boiler

a. Dengan menggunakan *economizer*

$$Q_{d.eco} = \dot{m}_u \times (h_s - h_{fw}) \dots\dots\dots (1.6)$$

b. Tanpa menggunakan *economizer*

$$Q_{t.eco} = \dot{m}_u \times (h_s - h_{wi.eco}) \dots\dots\dots (1.7)$$

4. Penggunaan Bahan bakar (\dot{m}_{bb})

a. Dengan menggunakan *economizer*

$$\dot{m}_{bb} = \frac{Q}{LHV_{bb} \times \eta_{t,eco}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.8)$$

b. Tanpa menggunakan economizer

$$\dot{m}_{bb} = \frac{Q}{LHV_{bb} \times \eta_{t,eco}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.9)$$

II. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian ini metode yang digunakan adalah dengan menggunakan data real hasil survey pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeneponto dilanjutkan dengan analisis yang membandingkan penggunaan *Economizer* dan tanpa menggunakan *Economizer*. Adapun parameter-parameter yang akan di catat pada saat penelitian sebagai berikut;

Tabel. 1 Spesifikasi *Economizer* PLTU Jeneponto unit 2×125 MW

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Heating surface</i>	-	mm ²
<i>Tube diameter × min thickness</i>	32x4	mm
<i>Tube length</i>	1800	m ²
<i>Tube material</i>	20	G
<i>Inlet gas temperature</i>	300	°C
<i>Outlet gas temperature</i>	130	°C
<i>Inlet water temperature</i>	250	°C
<i>Outlet water temperature</i>	330	°C
<i>Inlet water pressure</i>	14.22	Mpa
<i>Outlet water pressure</i>	13.8	Mpa
<i>Flow rate water</i>	400	ton/hour

Tabel. 2 Spesifikasi Boiler PLTU Jeneponto unit 2×125 MW

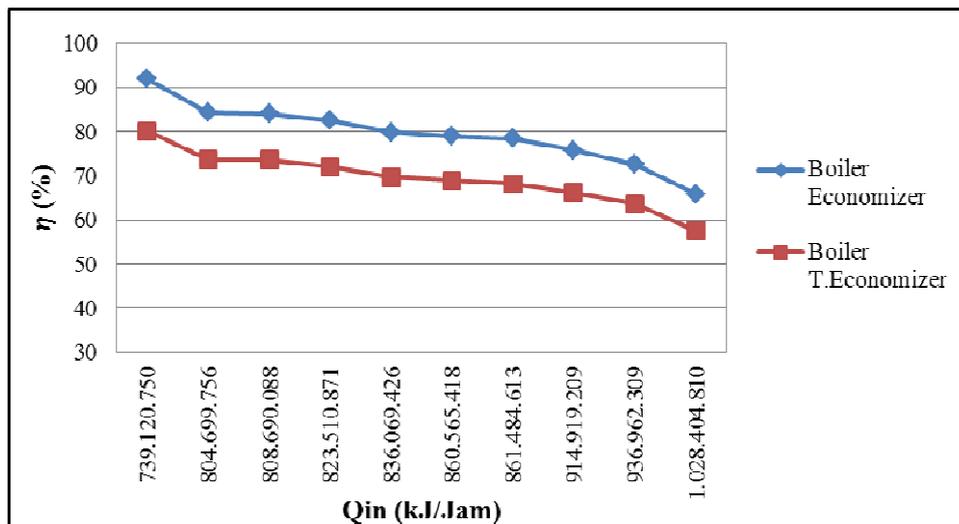
Parameter	Nilai	Satuan
<i>Steam Flow at boiler outlet</i>	410	Ton/hour
<i>Heat output</i>	125	MW
<i>Steam temperature at boiler inlet</i>	330	°C
<i>Steam temperature at boiler outlet</i>	540	°C
<i>Steam pressure at boiler inlet</i>	12.2	Mpa
<i>Steam pressure at boiler outlet</i>	13.8	Mpa
<i>Total boiler heating surface area</i>	1848.6	m ²
<i>Heating surface area of fire tub section</i>	1894	m ²
<i>Fuel</i>	Coal	
<i>Fuel gross calorific value GVC</i>	4500	Kcal/kg
<i>Flow rate water</i>	400	ton/hour

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

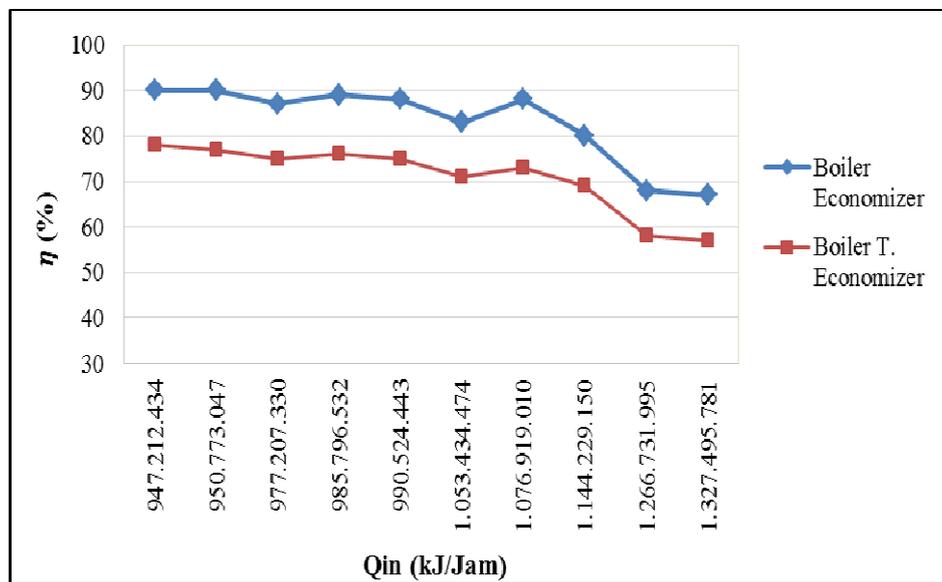
A. Efisiensi Boiler

Pada Gambar 1 s.d 3 menunjukkan bahwa hubungan antara efisiensi boiler terhadap energi input bahan bakar, dapat diketahui bahwa efisiensi boiler berbanding terbalik dengan energi input bahan bakar yang digunakan, dimana semakin sedikit energi input bahan bakar yang digunakan maka efisiensi boiler semakin besar, sebaliknya semakin besar energi input bahan bakar yang digunakan maka efisiensi boiler semakin kecil. Dari gambar 3.3 terlihat bahwa efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* lebih besar yaitu sebesar 92% dibandingkan dengan efisiensi boiler tanpa *economizer* yaitu 80% pada beban 60 MW, dari gambar 3.4 juga terlihat efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* lebih besar yaitu sebesar 90% dibandingkan dengan efisiensi boiler tanpa *economizer* yaitu 78% pada beban 80 MW, dan terlihat juga dari gambar 3.5 bahwa efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* lebih besar yaitu sebesar 68% dibandingkan dengan efisiensi boiler

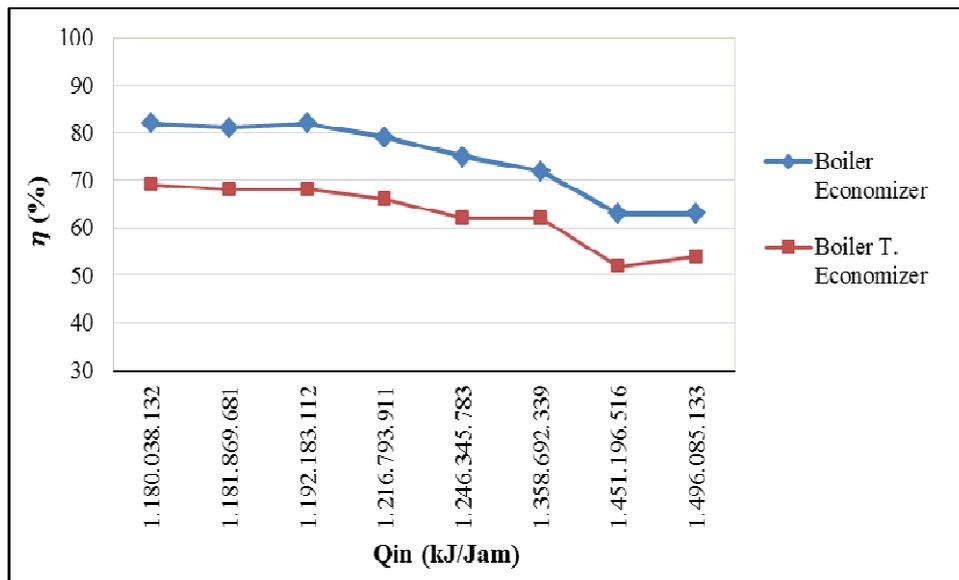
tanpa *economizer* yaitu 62% untuk beban 100 MW. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan pemakaian *economizer* dengan memanfaatkan gas buang dari boiler maka dapat meningkatkan efisiensi dari kerja boiler, hal ini dikarenakan temperatur air sebelum dibakar di dalam boiler sudah cukup tinggi, sehingga pemanasan air menjadi uap di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar temperatur yang telah ditentukan.



Gambar. 1 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Q_{in}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 60 MW dengan mbb 39000 – 47000 kg/jam

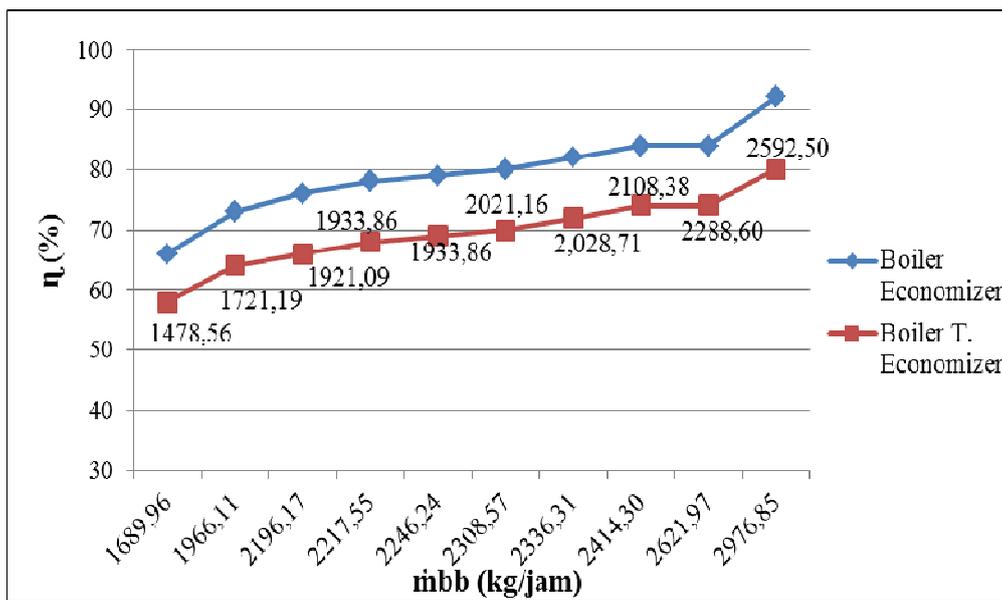


Gambar. 2 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Q_{in}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 80 MW dengan mbb 45000 – 65000 kg/jam

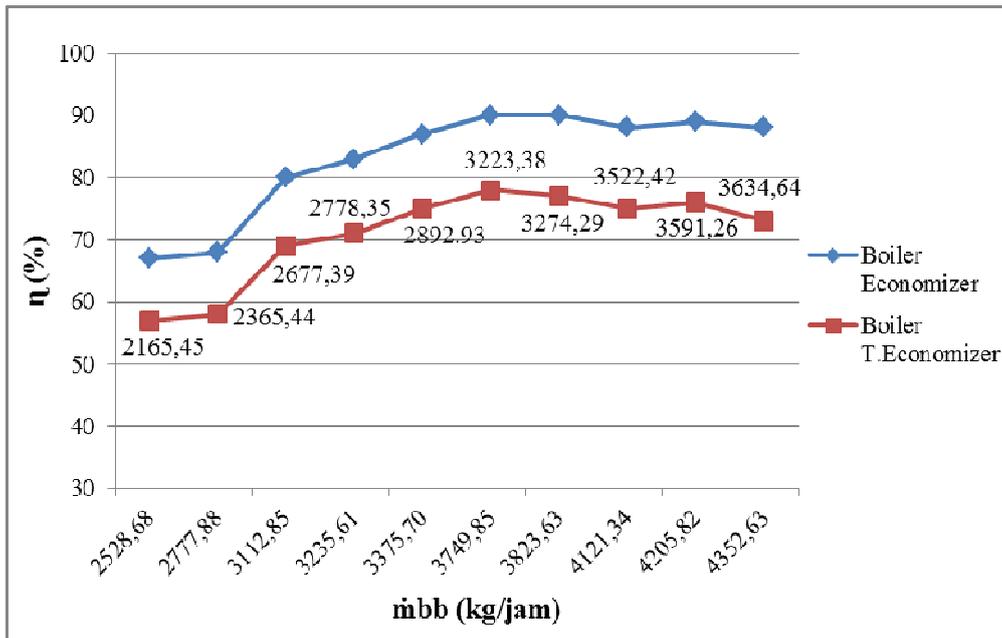


Gambar 3 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Qin) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 100 MW dengan mbb 55000 – 70000 kg/jam

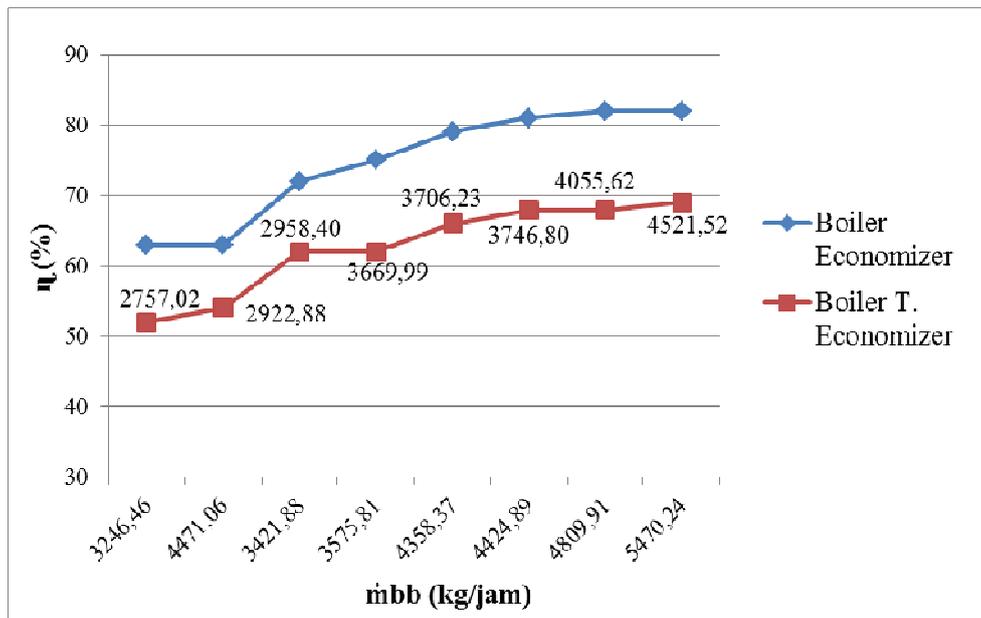
A. Penggunaan Bahan Bakar



Gambar 4 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 60 MW



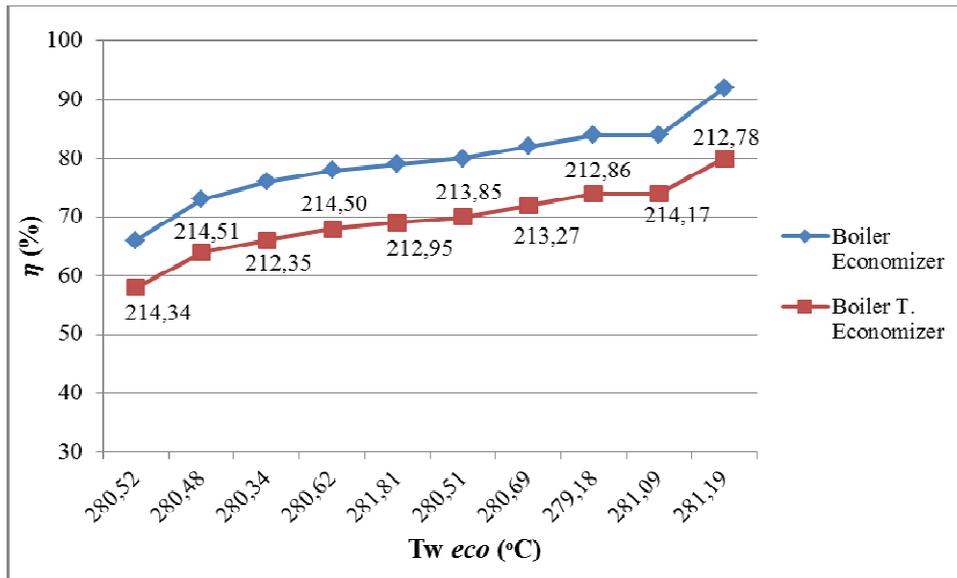
Gambar 5 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 80 MW



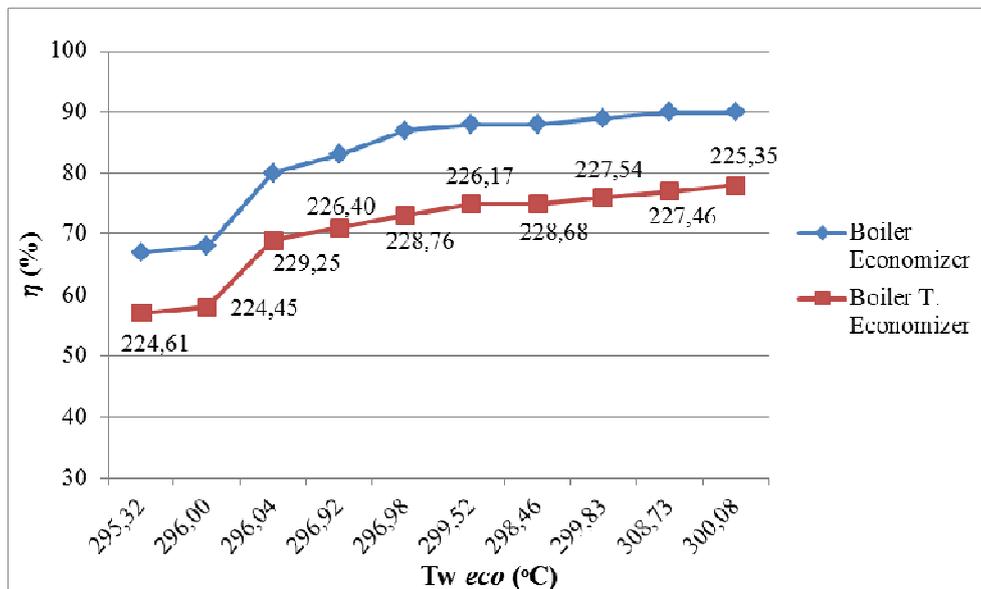
Gambar 6 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 100 MW

Pada Gambar 4 s.d 6 terlihat bahwa hubungan efisiensi boiler terhadap penghematan bahan bakar yaitu berbanding lurus dimana semakin besar penghematan bahan bakar maka semakin besar juga efisiensi boiler yang dihasilkan. sebaliknya tanpa *economizer* maka dapat meningkatkan penghematan bahan bakar. Pada gambar 3.6 terlihat bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat menghemat bahan bakar sebesar 2976,85 kg/jam dan mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 92% sedangkan tanpa *economizer* tidak dapat meningkatkan penghematan bahan bakar hanya 2592,50 kg/jam dengan efisiensi 80% pada beban 60 MW, Pada gambar 3.7

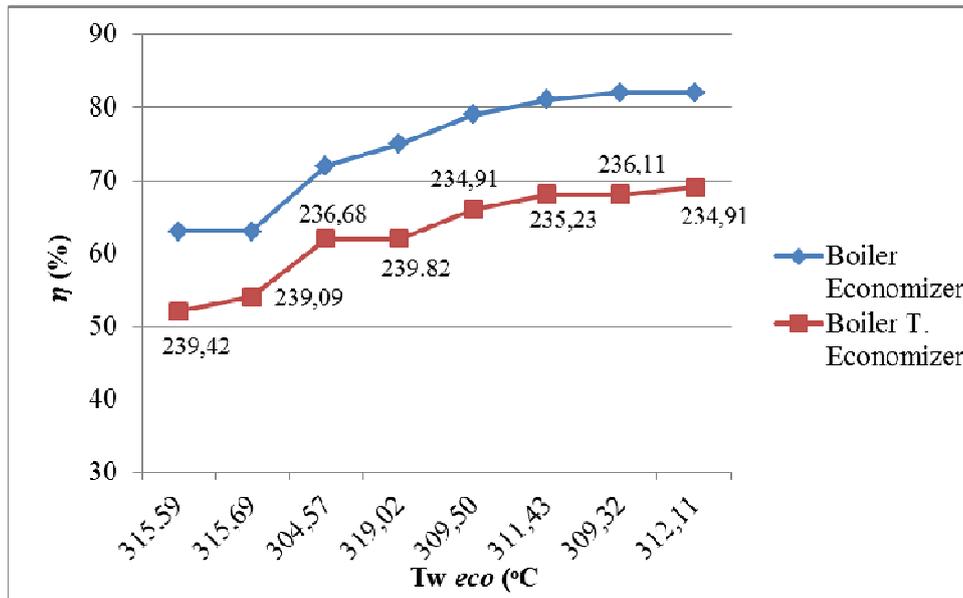
terlihat juga bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan penghematan bahan bakar sebesar 4352,63 kg/jam dan mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 88% sedangkan tanpa *economizer* tidak dapat meningkatkan penghematan bahan bakar hanya 3634,64 kg/jam dengan efisiensi 80% pada beban 80 MW, dan Pada gambar 3.8 terlihat bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan bahan bakar sebesar 5470,24 kg/jam dan mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 75% sedangkan tanpa *economizer* tidak dapat meningkatkan penghematan bahan bakar hanya 4521,52 kg/jam dengan efisiensi 69% pada beban 100 MW.



Gambar 7 Grafik Hubungan Temperatur Air *Economizer* (*Tweco*) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 60 MW



Gambar 8 Grafik Hubungan Temperatur Air *Economizer* (*Tweco*) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 80 MW



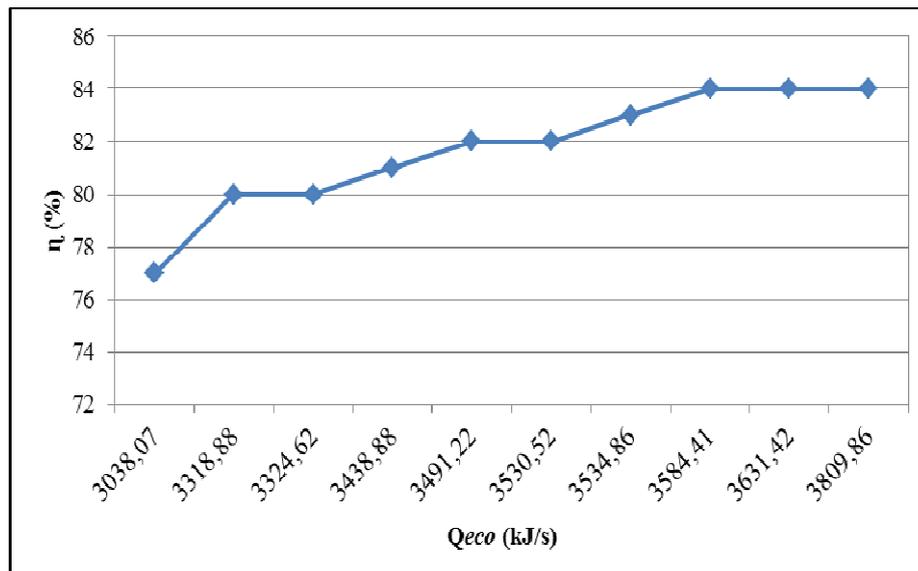
Gambar 9 Grafik Hubungan Temperatur Air Economizer (T_{weco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 100 MW

Pada Gambar 7 s.d 9 menunjukkan bahwa perbandingan antara temperatur air *economizer* terhadap efisiensi boiler dengan pemakaian *economizer* dan tanpa *economizer*, terlihat bahwa dengan pemakaian *economizer* dengan memanfaatkan gas buang dari boiler dapat meningkatkan temperatur air umpan boiler sehingga dapat menaikkan efisiensi boiler. Pada gambar 3.9 terlihat bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan temperatur air umpan boiler sebesar 281,19 °C dan mampu mengkatkan efisiensi boiler sebesar 92% sedangkan tanpa *economizer* temperatur air umpan boiler yang dihasilkan lebih rendah yaitu 212,78 °C dengan efisiensi 80% pada beban 60 MW, Pada gambar 3.10 terlihat juga bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan temperatur air umpan sebesar 300 °C dan mampu mengkatkan efisiensi boiler sebesar 90% sedangkan tanpa *economizer* temperatur air umpan boiler yang dihasilkan lebih rendah yaitu 235,35 °C dengan efisiensi 78% pada beban 80 MW, dan Pada gambar 3.11 terlihat bahwa dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan temperatur air umpan sebesar 312,11 °C dan mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 82% sedangkan tanpa *economizer* temperatur air umpan boiler yang dihasilkan lebih rendah yaitu 234,91 °C dengan efisiensi 78% pada beban 100 MW.

Hal ini dikarenakan temperatur air sebelum dibakar di dalam boiler sudah cukup tinggi, sehingga pemanasan air menjadi steam di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar temperatur yang telah ditentukan, maka biaya operasional dapat lebih di efisienkan dan secara tidak langsung dapat menguntungkan bagi perusahaan. Selain itu dengan bertambahnya efisiensi boiler temperatur air akan mengurangi kadar O_2 dan N_2 yang terkandung dalam air umpan boiler

Dari Gambar 7 s.d 9 jelas terlihat bahwa tanpa pemakaian *economizer* maka efisiensi kerja boiler menurun, dalam artian tanpa pemanasan yang dibantu oleh *economizer*, boiler harus bekerja lebih lama dalam menghasilkan uap dan selain itu boiler akan memerlukan bahan bakar yang lebih banyak untuk mencapai panas temperatur uap yang telah ditentukan.

B. Efektivitas *Economizer*



Gambar 10 Grafik Hubungan Energi Panas yang diserap Air (Q_{eco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) dengan (Q_{in}) 800.000 kJ/jam – 850.000 kJ/jam

Pada Gambar 10 terlihat hubungan energi panas yang diserap air pada *economizer* terhadap efisiensi boiler yaitu berbanding lurus dimana semakin besar energi panas yang diserap air pada *economizer* maka efisiensi boiler semakin besar. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan pemakaian *economizer* pada boiler mampu meningkatkan energi panas pada air umpan boiler, sehingga pemanasan air menjadi uap di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar temperatur pada boiler yang telah ditentukan. terlihat bahwa energi panas yang diserap air sebesar 3809,86 kJ/s mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 84%, untuk energi input bahan bakar yang cenderung meningkat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan :

1. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dengan pemakaian *economizer* (pemanas air pengisi boiler) dapat meningkatkan efisiensi boiler. Dengan pemakaian *economizer* efisiensi boiler sebesar 92 % sedangkan tanpa *economizer* efisiensi boiler sebesar 80 %. Dengan panas yang dibutuhkan untuk proses pembentukan air menjadi uap sebesar 468.534.82 kJ/jam.
2. Dengan pemakaian *economizer*, maka pemanfaatan gas buang dari boiler dapat meningkatkan temperatur air umpan boiler sehingga dapat menaikkan efisiensi boiler sebesar kurang lebih 12 %, sehingga dapat mengurangi biaya bahan bakar dan menghemat biaya operasional yang lain seperti pemakaian chemical untuk mengurangi kadar O_2 dan N_2 yang terkandung dalam air umpan boiler.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASME Power Test Codes 13.2, “*Test Code for Steam Generating Unit*”
- [2] Biro Efisiensi Energi. 2004. *Pemanfaatan Kembali Limbah Panas*. Retrieved from <http://www.energyefficiencyasia.org>, on 30th November 2015.

- [3] Budi Rahman. 2011. *Kajian Efektivitas Economizer Pada Sistem Boiler Kpasitas 20 TON/Jam dan Tekanan 20 Barg*. Jurnal Ilmiah Teknobiz Vol.5 No.2: PT. Basuki Pratama Engineering : Jakarta.
- [4] Cengel, Y dan M. Boles. 1994. *Thermodynamic An Engineering Approach*. Fifth edition. McGraw-Hill Book. New York. (Online), (<https://cruncheez.files.wordpress.com>), diakses 2 Januari 2019.
- [5] Holman, J.P., Jasjfi. E. 1997. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Jakarta : Erlangga
- [6] M.M El-wakil. 1985. *PowerPlant Technology*. International Edition. Singapore McGraw-Hill. (Online), (<https://www.brijrbedu.org>), diakses 2 Januari 2019.
- [7] Nurmalita. 2012. Analisis Efisiensi Energi Pada PLTU PT. Energi Alamraya Semesta di Kabupaten Nagong Raya Nanggroe Aceh Darussalam. Laporan Skripsi : Departemen Teknik Mesin dan Biosistem : Institute Pertanian Bogor (IPB)
- [8] Prakoso Rangga. 2018. *Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Indonesia*. Laporan akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Surabaya
- [9] Perusahaan Umum Listrik Negara. 1987. Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Uap Bagian Dua : Faktor-Faktor Pengusahaan, SPLN 62 – 2: 1987.
- [10] Perusahaan Umum Listrik Negara. 2009. Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN).
- [11] Sunyoto, Karnowo, S. M. Bondan Respati. 2008. *Teknik Mesin Industri Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [12] Sigit P. Kurniawan. 2015. *Desain Economizer Untuk Meningkatkan Efisiensi Boiler 52 B 1/2/3 Pada Unit Utilites Kompleks di PT Pertamina RU IV Cilacap*. Jurnal Teknik Pomits.Surabaya : Jurusan Teknik Fisika Institute Teknologi Sepuluh November (ITS).