

ANALISIS PEMAKAIAN *ECONOMIZER* TERHADAP PENINGKATAN
EFISIENSI BOILER *PULVERIZED* PADA UNIT PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) JENEPONTO



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma
empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

KAMRIANI 44215009
SUHARDI 44215010

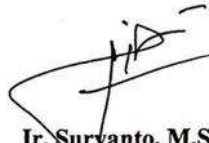
PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2019

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Pemakaian *Economizer* terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler *Pulverized* pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto” oleh **Kamriani** (44215009) dan **Suhardi** (44215010) telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 23 September 2019

Pembimbing I



Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19590826 198803 1 003

Pembimbing II



Dr. Jamal, S.T., M.T
NIP. 19730228 20012 1 002

Mengetahui,

Kepala Program Studi
Teknik Pembangkit Energi



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP. 19601231 19903 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini Selasa Tanggal 27 Agustus 2019, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa atas nama **Suhardi** (44215010) dan **Kamriani** (44215009) dengan judul “Analisis Pemakaian *Economizer* terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler *Pulverized* pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto”

Makassar, 19 september 2019

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

1. Ir. Chandra Buana., M.T.	Ketua	
2. Sri Suwasti, S.ST., M.T.	Sekretaris	
3. Apollo , S.T., M.Eng.	Anggota	
4. Sukma Abadi, S.T., M.T.	Anggota	
5. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.	Pembimbing I	
6. Dr. Jamal, S.T., M.T.	Pembimbing II	

KATA PENGANTAR

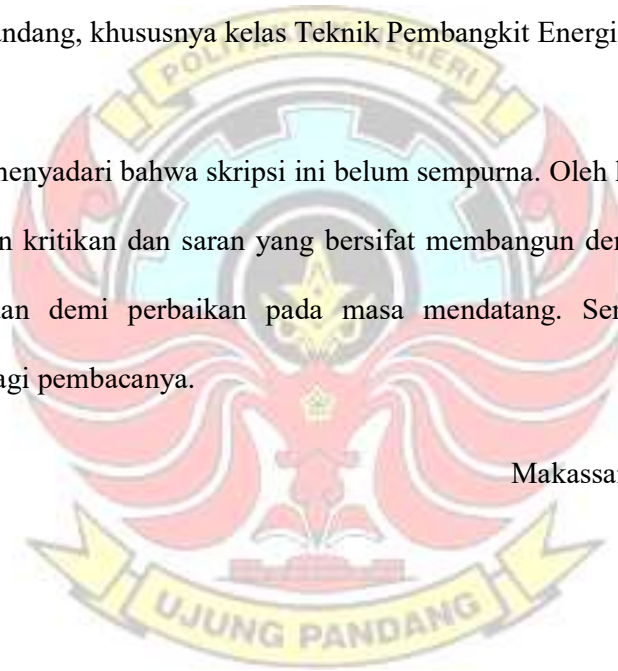
Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis pemakaian *economizer* terhadap peningkatkan efisiensi boiler *pulverized* pada unit pembangkit listrik tenaga uap (pltu) jenepono”. Skripsi ini kami laksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, banyak sekali pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Skripsi ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas dukungan doa, kasih sayang, serta materinya yang tak terhingga nilainya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. La Ode Musa, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir.Suryanto,M.Sc.,Ph.D. selaku Pembimbing I pada penyusunan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T selaku Pembimbing II pada penyusunan skripsi ini.
7. Para Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi
8. General Manager dan Staff dari PT. Bosowa Energi Unit PLTU Jeneponto yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
9. Rekan – rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas Teknik Pembangkit Energi angkatan 2015.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, Agustus 2019



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
SURAT PERNYATAAN	xv
RINGKASAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Teori dasar	8
2.1.1 Prinsip Kerja PLTU	8
2.1.2 <i>Siklus Rankine</i> PLTU	9
2.1.3 <i>Siklus Rankine PLTU Jeneponto</i>	11
2.2 Boiler	12
2.2.1 Siklus Air dan Uap Boiler	14

2.2.2 Proses Pembentukan Uap Boiler	16
2.2.3 Boiler PLTU Jeneponto	17
2.2.4 Boiler <i>pulverized</i>	17
2.2.5 Proses Pemanasan Air Boiler	19
2.3 <i>Economizer</i>	25
2.3.1 <i>Economizer</i> sebagai instrument pembantu dalam feed water treatment pada boiler	25
2.3.2 Mekanisme <i>economizer</i>	29
2.3.3 Kontruksi <i>Economizer</i>	32
2.4 Analisis Perhitungan <i>Economizer</i>	34
2.5 Analisa Performansi Boiler	36
2.6 Efisiensi Boiler	38
2.7 Penelitian yang Relevan	40
BAB III METODE PENELITIAN	41
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.2 Teknik Pengumpulan Data	41
3.3 Teknik Analisis Data	43
3.4 Prosedur Penelitian	44
3.5 Jadwal Pelaksanaan.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
A. Hasil	49
4.1 Analisis <i>Economizer</i>	51
4.2 Analisis Efisiensi Boiler.....	55
4.3 Energi Panas yang di Butuhkan dalam proses pembentukan uap dalam boiler	58
4.4 Penghematan Bahan Bakar per Jam	59
B. Grafik dan Pembahasan	60

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
A. Kesimpulan	69
B. Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	72



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi <i>economizer</i> PLTU Jeneponto unit 2×125 MW	42
Tabel 3.2 Spesifikasi boiler <i>pulverized</i> PLTU Jeneponto unit 2×125 MW	43
Tabel 3.3 Jadwal Pelaksanaan penelitian	48



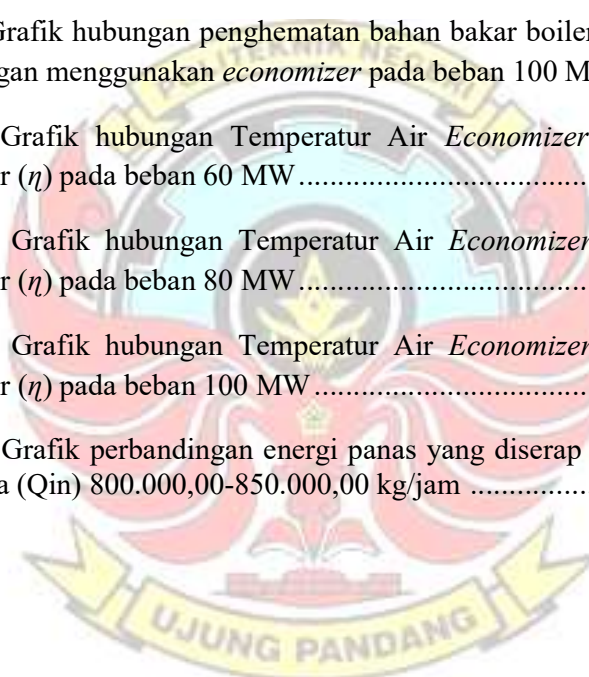
DAFTAR GAMBAR

Uraian

Hal.

Gambar 2.1 Proses konversi energi	8
Gambar 2.2 Siklus <i>Rankine</i> sederhana	10
Gambar 2.3 Siklus <i>Rankine reheat</i> ideal	11
Gambar 2.4 Main <i>reheat</i> PLTU Jeneponto	12
Gambar 2.5 Boiler <i>Cumbustion</i> sistem PLTU	13
Gambar 2.6 Diagram air dan uap PLTU Jeneponto	14
Gambar 2.7 Diagram T-S	16
Gambar 2.8 Boiler pipa air	17
Gambar 2.9 Skema boiler <i>pulverized</i>	18
Gambar 2.10 Diagram blok proses	21
Gambar 2.11 Kurva steam jenuh	23
Gambar 2.12 Mekanisme <i>Economizer</i>	26
Gambar 2.13 Penampang <i>economizer</i>	28
Gambar 2.14 Grafik penggunaan <i>economizer</i>	31
Gambar 2.15 <i>Economizer</i>	33
Gambar 2.16 kontruksi <i>economizer</i>	34
Gambar 2.17 Model sirip-siripe <i>economizer</i>	35
Gambar 2.18 Neraca panas energi boiler (<i>Buerau of energy efficiency</i>)	36
Gambar 2.19 Diagram kehilangan energi pada boiler	37
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> diagram pengerjaan skripsi	47
Gambar 3.2 Skema boiler <i>economizer</i>	56
Gambar 3.3 Grafik hubungan energi input bahan bakar (Q_{in}) terhadap efisiensi	

Boiler (η) pada beban 60 MW dengan mbb 39000 – 47000 kg/jam ...	60
Gambar 3.4 Grafik hubungan energi input bahan bakar (Q_{in}) terhadap efisiensi Boiler (η) pada beban 80 MW dengan mbb 45000 – 65000 kg/jam	60
Gambar 3.5 Grafik hubungan energi input bahan bakar (Q_{in}) terhadap efisiensi Boiler (η) pada beban 100 MW dengan mbb 55000 – 70000 kg/jam.....	61
Gambar 3.6 Grafik hubungan penghematan bahan bakar boiler terhadap efisiensi boiler (η) dengan menggunakan <i>economizer</i> pada beban 60 MW	62
Gambar 3.7 Grafik hubungan penghematan bahan bakar boiler terhadap efisiensi boiler (η) dengan menggunakan <i>economizer</i> pada beban 80 MW	63
Gambar 3.8 Grafik hubungan penghematan bahan bakar boiler terhadap efisiensi boiler (η) dengan menggunakan <i>economizer</i> pada beban 100 MW	63
Gambar 3.9 Grafik hubungan Temperatur Air <i>Economizer</i> (T_{weco}) terhadap efisiensi boiler (η) pada beban 60 MW	65
Gambar 3.10 Grafik hubungan Temperatur Air <i>Economizer</i> (T_{weco}) terhadap efisiensi boiler (η) pada beban 80 MW	65
Gambar 3.11 Grafik hubungan Temperatur Air <i>Economizer</i> (T_{weco}) terhadap efisiensi boiler (η) pada beban 100 MW	66
Gambar 3.12 Grafik perbandingan energi panas yang diserap air (Q_{eco}) efisiensi boiler (η) pada (Q_{in}) 800.000,00-850.000,00 kg/jam	68



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
η	Efisiensi	%
hw	Entalpi air umpan	KJ/kg
hs	Entalpi uap jenuh	KJ/kg
Ts	Temperatur uap	°C
Ps	Tekanan uap	Mpa
\dot{m}_s	Massa uap yang dihasilkan	Kg/jam
\dot{m}_{bb}	Massa bahan bakar	Kg/jam
Q _{bb}	Kalor bahan bakar	Kj/jam
Q _{out}	Energi pembentukan uap	Kj/kg
η (D.eco)	Efisiensi boiler d. <i>eco</i>	%
η (T.eco)	Efisiensi boiler t. <i>eco</i>	%
Q _{air <i>eco</i>}	Panas yang dapat diserap <i>economizer</i>	Kj/s
Q _{gb <i>eco</i>}	Panas yang dilepas gas buang pada <i>economizer</i>	Kj/s
T _{w (in) <i>eco</i>}	Temperatur air masuk <i>economizer</i>	°C
T _{w (out) <i>eco</i>}	Temperatur air keluar <i>economizer</i>	°C
T _{g (in) <i>eco</i>}	Temperatur gas masuk <i>economiser</i>	°C
T _{g (out) <i>eco</i>}	Temperatur gas keluar <i>economizer</i>	°C
$\dot{m}_{w eco$	Massa air umpan <i>economiser</i>	kg/s

$m_{g\ eco}$	Massa gas buang <i>economizer</i>	kg/s
P	Beban	KW
$C_{p\ gas}$	Spesific panas gas buang	Kj/kg . °K
$C_{p\ air}$	Spesific panas air	Kj/kg . °K
$Reff_{\ eco}$	Ratio efektivitas <i>economizer</i>	%



DAFTAR LAMPIRAN

Uraian

Hal.

Lampiran A. Tabel Data Parameter <i>Economizer</i>	73
Lampiran B. Tabel Data Parameter Boiler	79
Lampiran C. Tabel Hasil Analisis Kinerja <i>Economizer</i>	83
Lampiran D. Tabel Hasil Analisa Nilai Efisiensi Boiler	88
Lampiran E. Gambar Pengambilan Data	93
Lampiran F. Tabel Uap	96
Lampiran G. Tabel Data Spesifikasi Batu Bara	103
Lampiran H. Spesifikasi Boiler	105
Lampiran I. Performansi Efisiensi Boiler Unit 2 (Comisioning)	106
Lampiran J. Surat Penelitian Pengambilan Data	107
Lampiran K. Surat Keterangan telah Melakukan Penelitian	108



SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suhardi/Kamriani

NIM : 44215010/44215009

Menyatakan dengan sebenar-sebenarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Analisis pemakaian *economizer* terhadap peningkatan efisiensi boiler *pulverized* pada unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jenepono” merupakan gagasan dan hasil karya kami sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan kami tersebut di atas tidak benar, kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2019



Kamriani
NIM. 44215009



Suardi
NIM. 44215010

**ANALISIS PEMAKAIAN *ECONOMIZER* TERHADAP PENINGKATAN
EFISIENSI BOILER *PULVERIZED* PADA UNIT PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) JENEPONTO**

RINGKASAN

Kehilangan panas merupakan salah satu faktor penting yang sangat perlu diperhatikan dalam pengoperasian boiler. Kehilangan panas yang terlalu besar yang terdapat pada gas buang sisa pembakaran dalam boiler adalah salah satunya. Temperatur gas buang yang masih terlalu besar akan mengurangi efisiensi boiler. Maka untuk mengatasi masalah tersebut digunakan *economizer* sebagai alat untuk mengurangi temperatur gas buang. Temperatur gas buang yang masih terlalu tinggi dapat dimanfaatkan kembali untuk menaikkan temperatur air umpan didalam *economizer* dengan cara melewati gas buang tersebut kemudian diukur temperatur gas buang dan temperatur air umpan. Setelah dilakukan perhitungan maka didapat efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* sebesar 92% sedangkan efisiensi boiler tanpa menggunakan *economizer* sebesar 80%. Dengan menggunakan *economizer* maka dapat menghemat bahan bakar sebesar 2976,8 kg.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Outlook Energi Nasional 2011 (Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Uap Bagian Dua, Perusahaan Umum Listrik Negara), pada kurun waktu 2000-2009 konsumsi energi Indonesia meningkat dari 709.1 juta SBM (Setara Barel Minyak/BOE) ke 865.4 juta SBM atau meningkat rata-rata sebesar 2.2 % pertahun. Konsumsi energi ini sampai akhir tahun 2011, terbesar masih diikuti oleh sektor industri, lalu diikuti oleh sektor rumah tangga, dan sektor transportasi. Dari sektor ketenagalistrikan, saat ini pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil khususnya batu bara.

Saat ini, selain meningkatkan rasio elektrifikasi Indonesia, pengurangan pemakaian BBM untuk pembangkitan listrik juga menjadi tujuan utama pemerintah. Oleh karena itu pemerintah berusaha mengurangi pemakaian BBM dengan cara mempercepat pembangunan PLTU batubara dan gas bumi.

Menurut Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN, dalam kurun waktu 20 tahun ke depan Indonesia memerlukan tambahan tenaga listrik kumulatif sebesar 172 GW. Tambahan kapasitas PLTU batubara mencapai sekitar 79%. Terkait dengan itu Komposisi penggunaan energi (energi mix) secara nasional adalah minyak bumi 26,2%, batubara 32,7% gas bumi 30,6%, panas bumi 3,8% dan sisanya adalah energi alternatif/energi baru terbarukan 4,4% (PLTMH 0,216%, PLTS 0,02%, PLTB 0,028%, Biomasa 0,766%, Biofuel 1,335%, nuklir 1,993%). Energi mix berdasarkan RKAP (Rencana Kerja Dan Anggaran

Perusahaan) PLN tahun 2007, produksi energi listrik diperoleh dari Batubara 44%, bahan bakar minyak 23,7%, energi air 8,6%, panas bumi 3,1% dan gas alam 20,05%. (Rohi, 2010)

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit terbesar yang dikembangkan oleh pemerintah Indonesia untuk mengatasi kekurangan pasokan listrik dan untuk mengurangi ketergantungan BBM pada PLTD (diesel), dimana sistem pembangkit ini memiliki keunggulan yaitu: mampu didesain dengan kapasitas daya perunit lebih besar misalnya pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya, yang berlokasi di provinsi Banten dengan kapasitas sampai 3.400 MW (Rangga Prakoso, 2018). Selain itu PLTU juga dapat dioperasikan dengan menggunakan berbagai jenis bahan bakar misalnya, batu bara, gas, diesel (HSD), dan memiliki *life time* yang cukup lama.

Prinsip kerja PLTU adalah air yang dipanaskan di dalam boiler sehingga menghasilkan *steam* yang digunakan untuk memutar turbin, karena turbin dikopel dengan generator sehingga perputaran rotor turbin menyebabkan berputarnya rotor generator, sehingga menghasilkan listrik. Energi panas yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga pada PLTU batubara, sumber energi primernya untuk pengoperasian sistem PLTU adalah batubara, sedangkan sumber energi sekunder pada sistem pembangkit listrik tersebut adalah uap karena untuk memproduksi uap dibutuhkan sumber energi panas yang diperoleh dari pembakaran batubara.

PLTU yang pertama kali beroperasi di Indonesia yaitu pada tahun 1962

dengan kapasitas 25 MW, suhu 500 °C, tekanan 65 Kg/cm², boiler masih menggunakan pipa biasa dan pendingin generator dilakukan dengan udara. Kemajuan pada PLTU yang pertama adalah boiler yang sudah dilengkapi pipa dinding dan pendingin generator dilakukan dengan hidrogen, namun kapasitasnya masih 25 MW. Bila dayanya ditingkatkan dari 100 - 200 MW, maka boilernya harus dilengkapi *superheater*, ekonomizer dan tungku tekanan. Kemudian turbinnya bisa melakukan pemanasan ulang dan arus ganda dan pendingin generatornya masih menggunakan hidrogen. Hanya saja untuk kapasitas 200 MW uap dihasilkan mempunyai tekanan 131,5 Kg/cm² dan suhu 540 derajat C dan bahan bakarnya masih menggunakan minyak bumi (Nurmalita, 2012).

Banyaknya pemakaian batu bara tentunya akan menentukan besarnya biaya pembangunan PLTU. Harga batu bara itu sendiri ditentukan oleh nilai panasnya (Kcal/Kg), artinya bila nilai panas tetap maka harga akan turun 1 persen pertahun. Sedangkan nilai panas ditentukan oleh kandungan zat SO_x (Gas Oksida Sulfur) yaitu suatu zat yang beracun, yang sangat mudah terlarut dalam air memiliki bau namun tidak berwarna bentuknya seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi dari sumbernya. Gas-gas oksida sulfur seperti SO₂ dan O₃ terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara dan biji-biji yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. jadi pada pembangkit harus dilengkapi alat penghisap SO_x. Hal inilah yang menyebabkan biaya PLTU Batu

bara lebih tinggi sampai 20 persen dari pada PLTU minyak bumi. Bila batu bara yang digunakan rendah kandungan SO_x-nya maka pembangkit tidak perlu dilengkapi oleh alat penghisap SO_x dengan demikian harga PLTU batu bara bisa lebih murah. Keunggulan pembangkit ini adalah bahan bakarnya lebih murah harganya dari minyak dan cadangannya tersedia dalam jumlah besar serta tersebar di seluruh Indonesia (Nurmalita, 2012).

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*. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan suatu penelitian yaitu **Analisis pemakaian *economizer* terhadap peningkatan efisiensi boiler *pulverized* pada unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Jeneponto.**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang diperoleh sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pemakaian *economizer* dan tidak memakai *economizer* terhadap peningkatan efisiensi *boiler pulverized* pada PLTU Jeneponto.
2. Bagaimana pengaruh pemakaian *economizer* dan tidak memakai *economizer* terhadap penghematan bahan bakar *boiler pulverized* pada PLTU Jeneponto.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dari permasalahan yang harus diselesaikan di atas, maka perlu adanya batasan masalah agar dalam melakukan analisis nantinya tidak melebar dan memudahkan dalam melakukan analisis. Batasan-batasan masalah tersebut yaitu :

1. Pengambilan data hanya terfokus pada salah satu unit boiler PLTU Jeneponto kapasitas 2×125 MW Unit 2.
2. Analisis berdasarkan data-data operasi yang diperoleh dari *Central Control Room* (CCR).

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efisiensi *boiler pulverized* dengan memakai *economizer* dan tidak memakai *economizer* pada PLTU Jeneponto.
2. Menghitung penggunaan bahan bakar *boiler pulverized* dengan memakai *economizer* dan tidak memakai *economizer* pada PLTU Jeneponto.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan tambahan informasi sebagai salah satu langkah untuk meningkatkan efisiensi dan penghematan bahan bakar *boiler pulverized*.
2. Dapat digunakan sebagai pertimbangan pentingnya pemakaian *economizer* pada unit boiler.
3. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *economizer*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

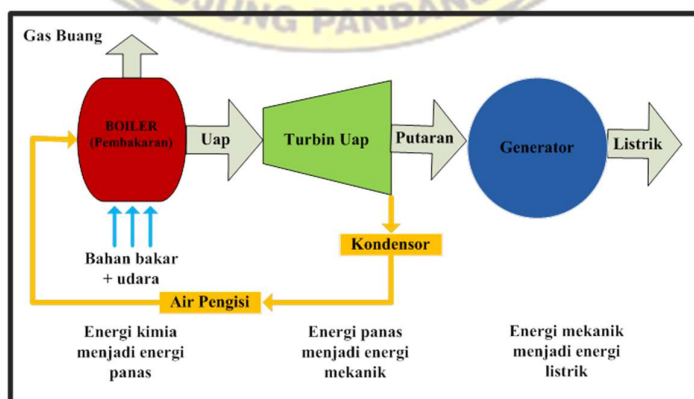
2.1 Teori Dasar

2.1.1 Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu siklus yang terdiri dari komponen-komponen peralatan utama yang dihubungkan untuk menghasilkan karakteristik termodinamika yang optimum seperti temperatur, tekanan, dan kapasitas massa uap yang diintegrasikan untuk menghasilkan listrik yang dibutuhkan (Budi Rahman, 2011).

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

- Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi didalam boiler.
- Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran dalam turbin.
- Energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator.



Gambar 2.1 Proses Konversi Energi PLTU
(William Jhon Macquorn Rankine)

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

Pertama, air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.

Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.

Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator

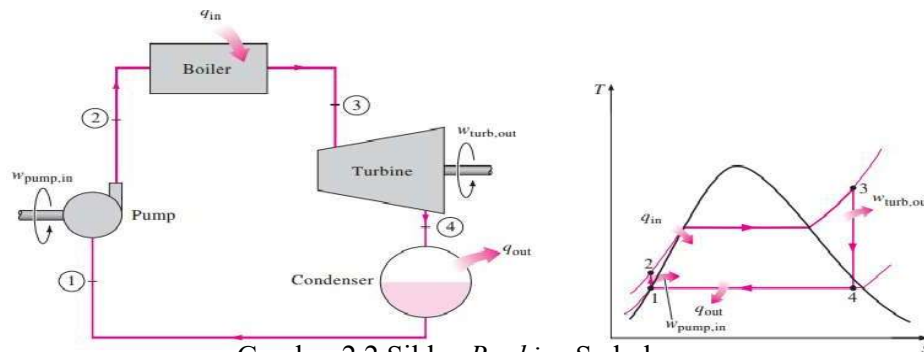
Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

2.1.2 Siklus *Rankine* PLTU

Pada instalasi pembangkit daya dengan memanfaatkan uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin uap digunakan suatu acuan siklus kerja yang menjadi dasar dari pengoperasian instalasi tersebut. Siklus kerja yang digunakan pada PLTU adalah siklus *rankine*, ciri utama siklus *rankine* adalah fluida kerja

yang digunakan yaitu air. Siklus *Rankine* merupakan siklus ideal untuk pembangkit daya uap. Pada siklus *rankine* ideal sederhana terdiri dari 4 proses yang dapat dilihat pada gambar diagram T-s dibawah ini:



Gambar 2.2 Siklus *Rankine* Sederhana
(Sumber :Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

Proses 1-2 terjadi kompresi isentropik yang terjadi di dalam pompa, hal ini mengakibatkan tekanan fluida kerja menjadi naik.

Proses 2-3 terjadi penambahan panas dengan tekanan konstan di dalam boiler.

Proses 3-4 terjadi ekspansi isentropik di dalam turbin yang menyebabkan tekanan menjadi turun.

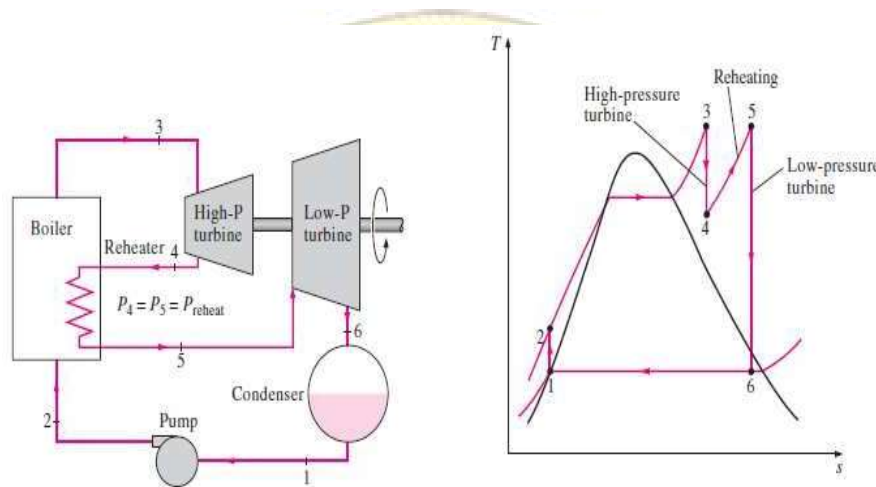
Proses 4-1 terjadi pembuangan panas ke lingkungan oleh kondensor pada tekanan konstan.

Ket :

Kompresi Isentropik, yaitu proses yang berlangsung pada siklus renkine dimana, tekanan air mengalami kenaikan pada entropi konstan (dimana tidak ada panas yang masuk dan keluar) sedangkan *Ekspansi Isentropik*, yaitu proses yang berlangsung pada siklus rankine dimana, temperatur dan tekanan uap mengalami kenaikan pada entropi konstan (dimana tidak ada panas yang masuk dan keluar).

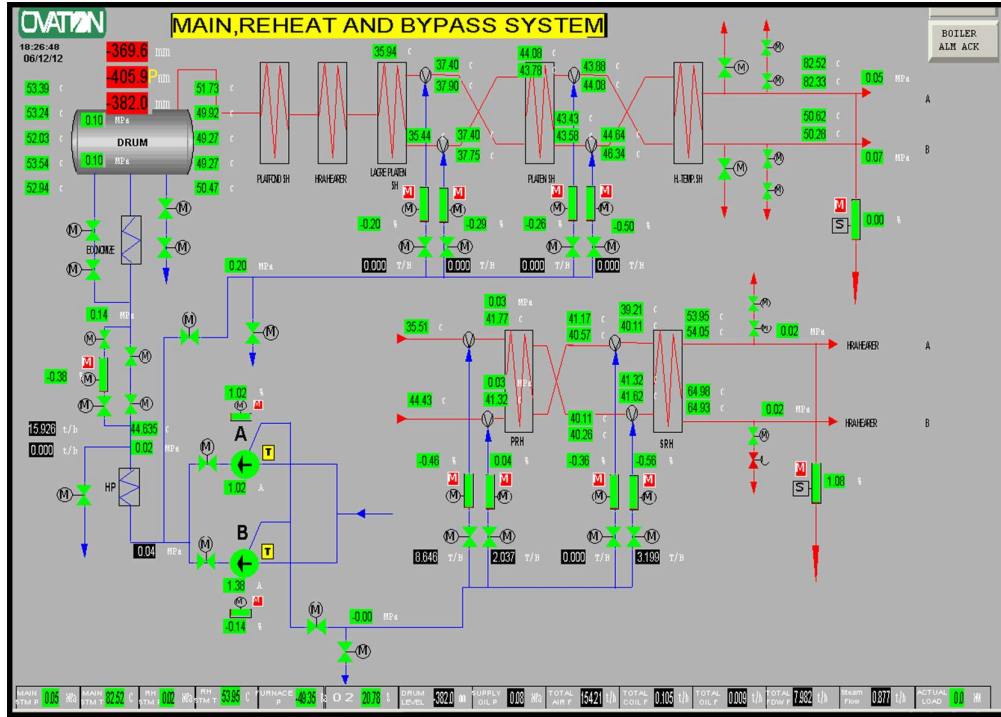
2.1.3 Siklus Rankine PLTU Jeneponto

Pada siklus PLTU Jeneponto menggunakan siklus *Rankine reheat ideal* yang terjadi 2 kali proses ekspansi. Pada ekspansi pertama (*high-pressure turbine*), uap diekspansikan secara isentropik ke tekanan medium dan dikirimkan kembali ke boiler untuk dipanaskan kembali dengan tekanan konstan. Lalu pada proses ekspansi ke kedua (*low-pressure turbine*) uap diekspansikan secara isentropik ke tekanan kondenser.



Gambar 2.3 Siklus *Rankine Reheat Ideal* (Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

Penggunaan dari pada *reheat* tunggal pada pembangkit listrik PLTU Jeneponto, menaikkan efisiensi siklus menjadi 4 sampai 5 persen dengan cara meningkatkan suhu rata-rata uap yang ditransferkan kembali.

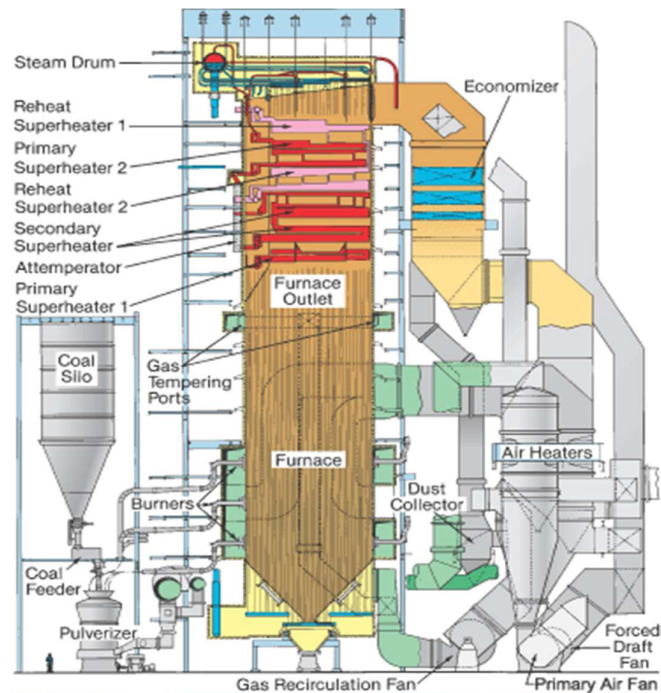


Gambar 2.4 Main Reheat PLTU Jeneponto
(PLTU Jeneponto)

2.2 Boiler

2.2.1 Pengertian Boiler

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai berbentuk air panas (*steam*) yang bersuhu sekitar 2500-3000⁰F. steam pada tekanan tertentu kemudian untuk mengalirkan panas ke suatu proses untuk membangkitkan energi. Volume steam akan meningkat sekitar 1600 kali dari volume air. *Steam* menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak. Boiler tersusun dari beberapa komponen seperti *Superheater*, *Steam drum*, *Economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem boiler adalah *economizer* yang berperan membantu memanaskan *fedwater* yang akan digunakan dalam boiler (UNEP,2004).



Gambar 2.5 Boiler *Combustion System* PLTU
(Sumber : *Session 2, Steam Power Plant : 08*)

Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi

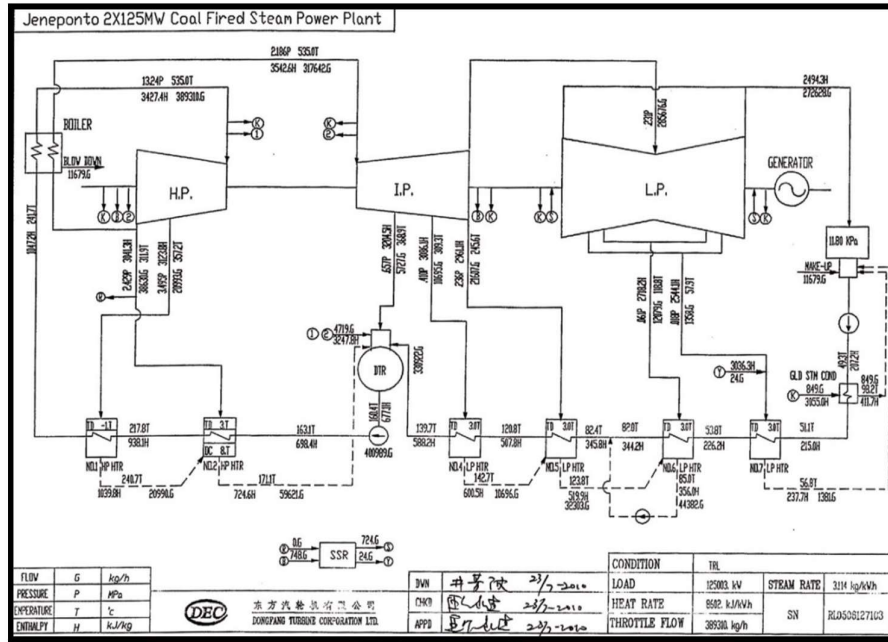
steam dalam boiler. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

2.2.1 Siklus Air dan Uap Boiler

Siklus air merupakan suatu rantai rangkaian siklus fluida kerja. Boiler mendapat pasokan fluida kerja air dan menghasilkan uap untuk dialirkan ke turbin. Air diambil dari sungai melalui *water intake* didalam *water intake* air dilewatkan *steel gate (normaly open)* kemudian *bar screen / trash machine* dan terakhir *travelling screen* sebagai *filter* terhadap ikan maupun sampah dengan diameter tertentu. Kemudian dipompakan ke *cooling water pipe* melalui *circulating water pump* dari *cooling water pipe* air sungai yang mengalir terbagi menjadi 2 sebagai *supply* air di *demineralized water* dan *condensor*. Dari *demineralized water* air dipompakan melewati *economizer* ke boiler melalui *boiler Pulverized* dan langsung dialirkan ke *steam* drum melalui *down corner* dan masuk ke *waterwall*.

Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar diserap oleh pipa-pipa penguap / *waterwall* menjadi uap jenuh kemudian masuk ke *steam* drum, di dalam *steam* drum air dan uap dipisahkan. Air kembali masuk ke *down corner* sementara uap langsung dialirkan ke panel *superheater* kemudian ke *low temperature superheater* kemudian ke *middle temperature superheater*, *high temperature superheater*. Keluaran dari *superheater* ini akan langsung masuk ke turbin. Sementara itu, uap bekas dikembalikan menjadi air di *condensor*. Di dalam kondensor, uap mengalami *heat exchanger* dengan air sungai yang dipasok oleh

circulating water pump. Inilah yang membuat uap menjadi air dan kenaikan temperatur air sungai keluaran *discharge canal*.



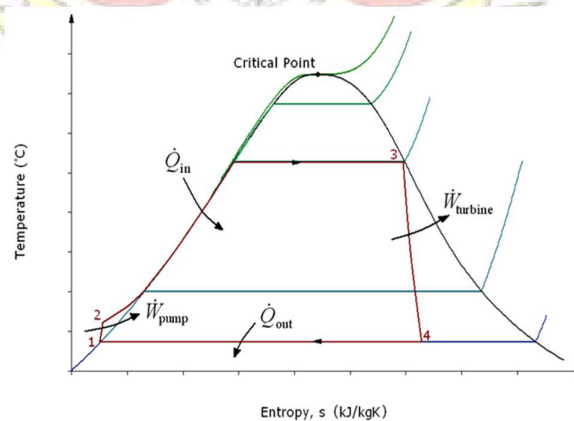
Gambar 2.6 Diagram Air dan Uap PLTU Jeneponto
(PLTU Jeneponto)

Air kondensasi akan digunakan kembali di boiler. Air dipompakan dari *condensor* dengan menggunakan *condensate extraction pump*, dipanaskan lagi oleh *low pressure heater* (LPH) dinaikkan ke deaerator. Didalam daerator tank, gelembung-gelembung oksigen yang membahayakan pipa-pipa boiler seperti korosi diserap. Keluar dari daerator, air kemudian dipompa oleh *boiler feed pump* melalui *high pressure heater* (HPH). Dari sinilah air yang sudah dinaikkan tekanannya masuk ke *economizer* untuk diberi pemanasan air terakhir sebelum masuk ke drum. Didalam *economizer* air menyerap panas gas buang yang keluar dari *superheater* sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong. Perpindahan

panas dari api (*flue gas*) ke air di dalam pipa-pipa boiler terjadi secara radiasi, konveksi dan konduksi.

2.2.2 Proses Pembentukan Uap pada Boiler

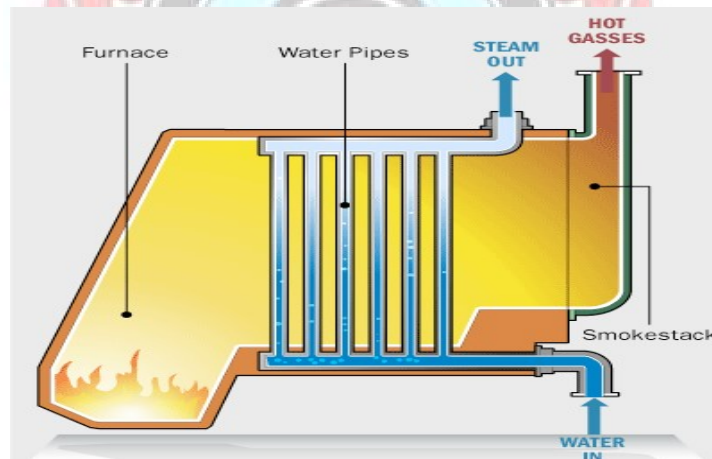
Sebagai fluida kerja di boiler, umumnya digunakan air (H_2O) karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain. Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya ($100^\circ C$) pada tekanan 1 atm, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan. Proses perubahan fasa air menjadi uap dapat digambarkan pada diagram T- s seperti gambar dibawah:



Gambar 2.7 Diagram T-s

2.2.3 Boiler PLTU Jeneponto

PLTU Jeneponto menggunakan tipe boiler pipa air memiliki karakteristik yaitu menghasilkan kapasitas dan tekanan *steam* yang tinggi, dimana proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui *economizer*, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap *secondary superheater* dan *primary superheater* baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut.

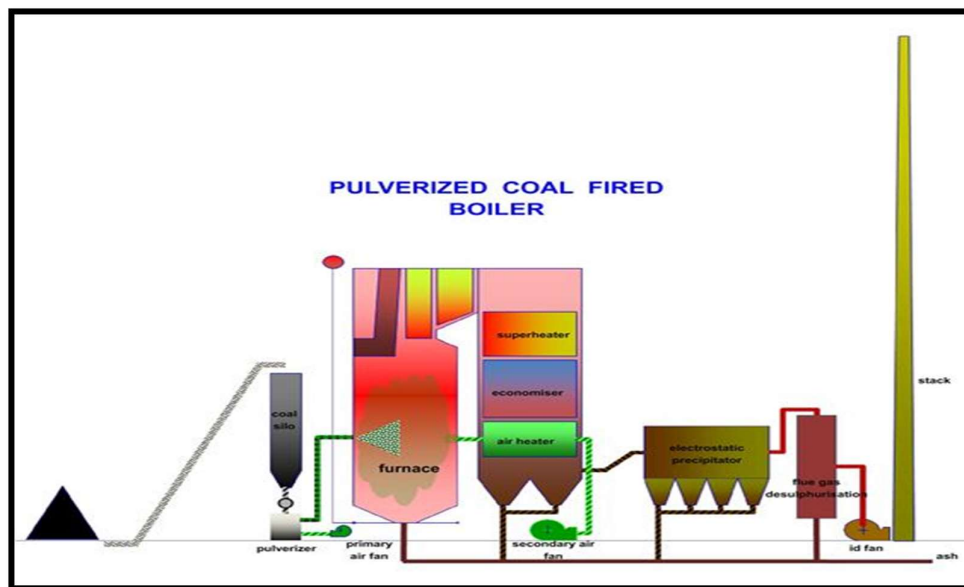


Gambar 2.8 Boiler pipa air
(Sumber :http://en.wikipedia.org/wiki/Water-tube_boiler)

2.2.4 Boiler Pulverized

Jenis boiler pada PLTU Jeneponto adalah jenis *Pulverized Combustion*, jenis boiler ini yang paling banyak digunakan pada saat ini, menggunakan *mill* untuk menggiling batu bara menjadi serbuk sebelum diumpankan ke ruang bakar. Batu bara dihaluskan menjadi bubuk halus kurang dari 2% yaitu +300 mikro

meter (μm) dan 70-75% dibawah 75 mikron untuk batu bara bituminous. Pembakaran berlangsung pada suhu 1300-1700°C tergantung *grade* batu bara. Boiler *Pulverized* memiliki banyak keunggulan seperti kemampuan menggunakan berbagai kualitas batubara, respon cepat terhadap perubahan beban, menggunakan udara *pre-heat* bertemperatur tinggi dan lain-lain (Lakshmi dan P.S.Kishore, 2015).



Gambar 2.9 Skema Boiler *Pulverized*
(Sumber: <https://www.brightengineering.com>)

Spesifikasi Boiler *Pulverized* PLTU Jeneponto 2x215 MW:

<i>Manufacture</i>	: Dongfang Boiler Grup
<i>Boiler Stem Flow</i>	: 410 t/h
<i>Main Steam Outlet Temperature</i>	: 540 °C
<i>Main Pressure Steam</i>	: 13,8 Mpa

2.2.5 Proses Pemanasan Air 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. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

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. Berbagai valve disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan valve dan dipantau dengan alat pemantau tekanan.

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.

Dua sumber air umpan adalah: kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan air make up (air baku yang sudah diolah) yang harus

diumpangkan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat steam adalah air bersih. Air dari RO yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa ke deaerator tank hingga pada level yang sudah ditentukan. Pemanasan dalam deaerator adalah dengan menggunakan steam sisa yang berasal dari hasil pemutaran turbin. Dalam hal ini terdapat beberapa stage atau tahap sirkulasi steam untuk pemanasan awal deaerator.

Tahap 1

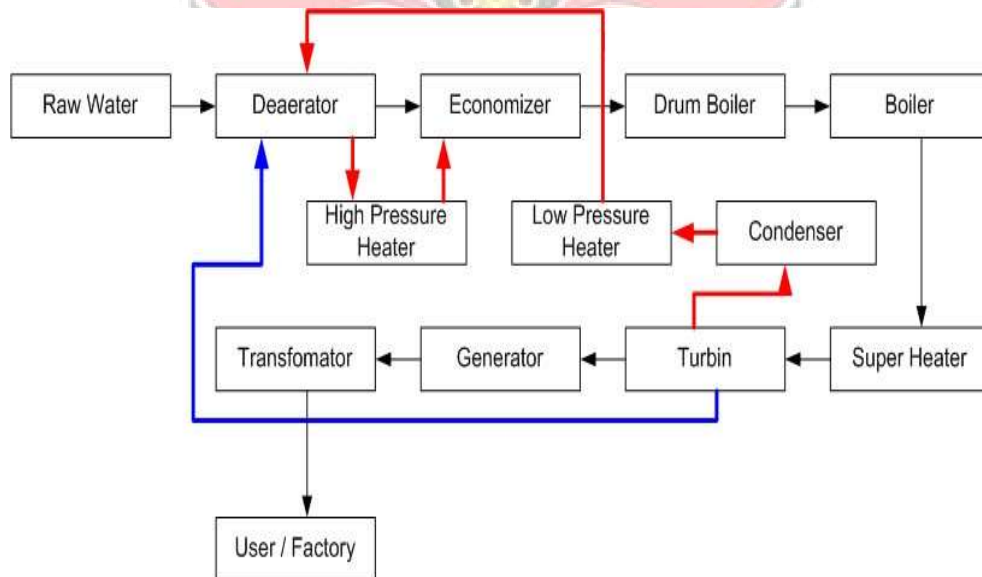
Steam sisa yang berasal dari steam yang memutar turbin langsung dikembalikan ke deaerator untuk memanaskan kembali air yang terdapat pada deaerator tank. Sisa steam ini langsung mengalir disebabkan perbedaan tekanan dan massa jenis air dan steam, karena perbedaan massa jenis itu lah steam cenderung menuju ke massa jenis yang lebih besar yaitu air. Sirkulasi pada stage ini terus menerus seperti itu.

Tahap 2

Sisa steam hasil pemutar turbin jatuh ke condenser (proses pendinginan). Pada tahap ini pendinginan steam sisa dibantu oleh air laut. Setelah melalui proses pendinginan ini, steam berubah menjadi air kembali kemudian di alirkan ke LPH (*low pressure heater*) untuk dipanaskan kembali. Setelah dari LPH air yang hampir panas tadi di alirkan lagi ke deaerator untuk pemanasan lanjut. Setelah dipanaskan di deaerator air panas tadi tidak langsung di alirkan ke *economizer*, tetapi air di alirkan terlebih dahulu ke HPH (*High Pressure Heater*) untuk dipanaskan lebih dan

setelah itu barulah dialirkan ke *economizer*. Bantuan beberapa heater pada stage 2 ini hanyalah suatu langkah pemeliharaan instrument dimana telah disetting sedemikian rupa untuk penjagaan. Selain itu juga bisa digunakan sebagai *safety* jika ada dari salah satu system dari *stage-stage* tadi mengalami kerusakan, selain itu tahap demi tahap ini memang tergantung dari jenis turbin yang digunakan.

Dari komponen lain diluar sistem pemanasan air terdapat *Chemical Tank* yang berfungsi sebagai tempat dibuatnya suatu larutan kimia untuk pemeliharaan pipa-pipa dan instrument-instrument yang lain. Setelah larutan kimia dibuat lalu dialirkan ke deaerator dan ke beberapa instrument lain seperti drum boiler untuk dicampurkan dengan air dan kemudian kembali kedalam proses pemanasan air. Gambar dibawah ini adalah gambar diagram proses pemanasan air menjadi steam hingga memutar turbin dan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.10 Diagram Block Proses

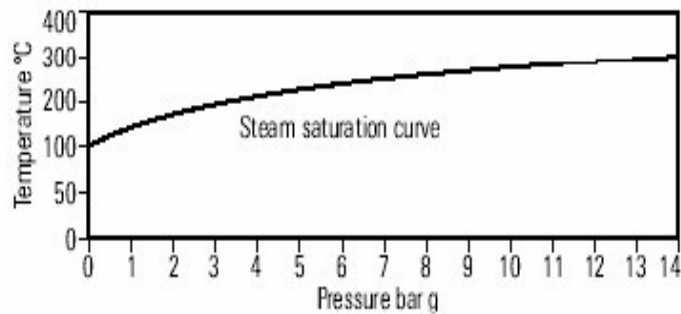
Keterangan gambar :

- Line Hitam proses pemanasan air menjadi steam
- Line Biru proses *stage 1*
- Line Merah proses *stage 2*

Dengan meningkatnya suhu dan air mendekati kondisi didihnya, beberapa molekul mendapatkan energi kinetik yang cukup untuk mencapai kecepatan yang membuatnya sewaktu-waktu lepas dari cairan ke ruang diatas permukaan, sebelum jatuh kembali ke cairan. Pemanasan lebih lanjut menyebabkan eksitasi lebih besar dan sejumlah molekul dengan energi cukup untuk meninggalkan cairan jadi meningkat. Dengan mempertimbangkan struktur molekul cairan dan uap, masuk akal bahwa densitas steam lebih kecil dari air, sebab molekul steam terpisah jauh satu dengan yang lainnya. Ruang yang secara tiba-tiba terjadi diatas permukaan air menjadi terisi dengan molekul steam yang padat.

Jika jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air menguap dengan bebasnya. Pada titik ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekananya tetap, penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air membentuk steam jenuh. Suhu air mendidih dengan steam jenuh dalam sistem yang sama adalah sama, akan tetapi energi panas per satuan massanya lebih besar pada steam. Pada tekanan atmosfer suhu jenuhnya adalah 100°C . Tetapi, jika tekanannya bertambah, maka akan ada penambahan lebih banyak panas yang peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Oleh karena itu, kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu

jenuh. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh (Gambar 3.2).



Gambar 2.11 Kurva *Steam* Jenuh

Air dan steam dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan pada kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. Steam pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan superheated steam/steam lewat jenuh:

- Suhu diatas suhu jenuh disebut derajat steam lewat jenuh.
- Air pada kondisi dibawah kurva disebut air sub- jenuh.

Jika steam mengalir dari boiler pada kecepatan yang sama dengan yang dihasilkannya, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya. Jika steam yang sama tertahan tidak meninggalkan boiler, dan jumlah panas yang masuk dijaga tetap, energi yang mengalir ke boiler akan lebih besar dari pada energi yang mengalir keluar. Energi berlebih ini akan menaikkan tekanan, yang pada gilirannya akan menyebabkan suhu jenuh meningkat, karena suhu steam jenuh berhubungan dengan tekanannya. Dalam hal ini pembakaran air di dalam boiler adalah, air yang melalui *economizer* yang telah melalui pemanasan di dalamnya dialirkan ke drum boiler (penampungan steam) dan kemudian dibakar di dalam

boiler untuk dipanaskan lebih lanjut hingga menjadi steam basah. Suhu di dalam boiler ini adalah sekitar 400°C-459°C. Pembakaran menggunakan bahan bakar batu bara dan dibantu dengan udara untuk menjaga kestabilan pembakaran di dalam *combustion system*.

Sistem pengendalian pembakaran menghubungkan antara pengendalian input panas ke boiler dengan rasio udara/bahan bakar yang masuk ruang pembakaran. Sistem pengendalian ini harus dapat menjamin jumlah udara yang tersedia mencukupi untuk pembakaran sejumlah bahan bakar secara efisien tanpa menimbulkan *smoke* dan dengan minimum discharge particulate dari cerobong. Setelah proses di dalam boiler ini, aliran steam lalu dilanjutkan ke *Superheater* untuk menjadi kan steam kering, suhu steam saat itu sekitar 520°C–600°C dan siap untuk memutar turbin.

2.3 Keterpasangan Peralatan Pada *Economizer*

Konstruksi *economizer* adalah berdasarkan tipenya, ada tipe *economizer* yang tidak menyatu dengan boiler, dan ada juga *economizer* yang menyatu dengan boiler. Perbedaan kedua nya hanyalah pada peletakkan tempat pada penyusunan komponen dalam suatu pabrik. Pada *economizer* yang dihubungkan langsung dengan boiler, dan terpasang langsung saat dikeluarkan dari pabrikannya. Dalam hal ini, spesifikasi alatnya bukan lah dari tipe *economizer* melainkan tipe dari boiler itu sendiri yaitu boiler *recovery* atau bisa juga disebut boiler *economizer*.

Adapun bagian-bagian dari *economizer* adalah sebagai berikut:

1. *Soot blower*

Soot blower yang terlihat pada gambar berikut ini adalah suatu peralatan mekanis yang digunakan untuk pembersihan bagian ketel seperti pada *economizer* dari endapan-endapan abu (*ash*) yang lengket pada pipa-pipa *economizer*. Soot blower mengarahkan alat pembersih melalui mulut pipa (*nozzle*) pada abu yang lengket pada pipa-pipa *economizer*. *Soot blower* juga mencegah penyumbatan gas asap yang lewat.

2. *Ash Handling*

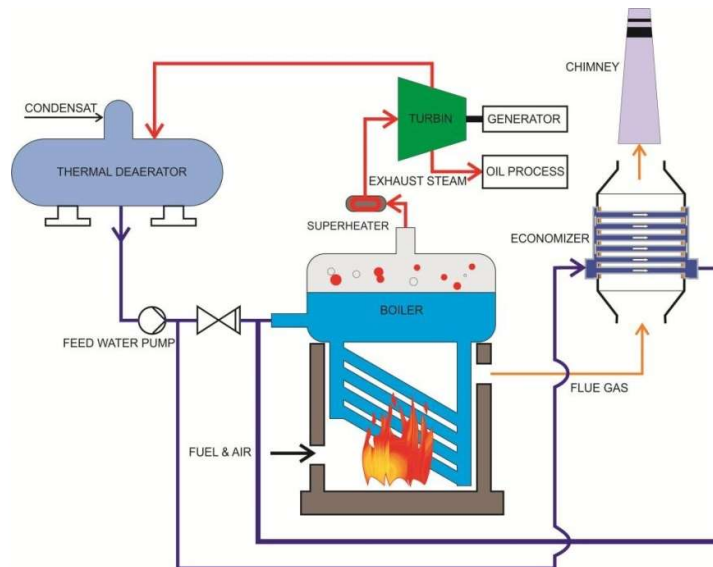
Dalam membantu dan menjaga agar *economizer* tetap dalam kondisi baik, maka *economizer* dilengkapi dengan alat pembantu seperti *ash handling* seperti gambar III.6 berikut, yang berfungsi untuk menangkap abu yang telah dibersihkan oleh *soot blower*.

2.3 *Economizer*

2.3.1 *Economizer* sebagai Instrument Pembantu dalam *feed water treatment* pada Boiler

Penggunaan deaerator dan *economizer* sebagai instrument pembantu dalam pemanasan air sebelum air dibakar di dalam boiler. Air yang didapat dari raw water yang telah ditreatment hingga sesuai dengan standar yang ditentukan dialirkan ke deaerator dengan tujuan pemisahan gas-gas terlarut dalam air dan memisahkan mineral-mineral yang terdapat di dalam air guna menjaga seluruh pipa yang dilewati agar terhindar dari korosi. Selain itu juga, di dalam deaerator air tersebut tadi mengalami proses pemanasan awal yang dipanaskan oleh steam sisa yang berasal dari turbin. Fungsi dari deaerator telah dijelaskan pada bab

sebelumnya yaitu sebagai pemisah gas-gas terlarut dalam air dan memanaskan air umpan boiler sebelum dibakar di dalam boiler ditunjukkan oleh Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 2.12 Mekanisme *economizer*
(Sumber : Sunyoto, dkk, 2008 : 396)

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*.

Kinerja *economizer* ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas. Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan *tubing*/properti *fin* dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh *economizer* adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi.

Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat diambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada *economizer*, maka panas gas sisa yang diambil akan semakin banyak. Semakin besar efektifitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien.

Biaya operasi *economizer* ditentukan oleh tenaga *fan* dan tenaga pompa. *Fan* digunakan untuk mengalirkan udara pembakaran ke *boiler* melalui *economizer*. Semakin banyak *loop* dan semakin rumit susunan *tubing* pada *economizer* maka tenaga *fan* yang dibutuhkan semakin besar.

Pompa digunakan untuk mengalirkan air umpan *boiler* ke *steam drum* melalui *economizer*. Semakin panjang dan semakin banyak *loop* pada *economizer*, maka tenaga pompa yang dibutuhkan semakin besar.

Respon yang optimum diperoleh menggunakan perancangan faktor yang mempengaruhi kinerja *economizer* sebagai berikut:

- a. Diameter luar *tubing*, yaitu besarnya diameter *tube* yang digunakan dalam menyusun *economizer*. Semakin besar diameter *tube* akan mengakibatkan efektifitas perpindahan panas semakin berkurang.
- b. *Transversal spacing*, yaitu menyatakan jarak antar *tube* sejajar ke arah lebar *economizer*. Semakin lebar jarak antar *tube* mengakibatkan proses induksi panas dalam *economizer* semakin berkurang, sehingga efektifitas perpindahan panas menurun.
- c. Kerapatan *fin*, yaitu banyaknya *fin* tiap inci yang dapat disusun untuk menggabungkan beberapa *tube* dalam *economizer*. Semakin banyak *fin* yang tersusun akan mengakibatkan perpindahan panas tidak efektif karena jarak antar *tube* yang semakin jauh.



Gambar 2.13 Penampang *Economizer*

Berikut ini adalah keuntungan-keuntungan menggunakan ekonomiser:

1. Ada penghematan batubara 15 sampai 20%.

2. Meningkatkan kapasitas menghasilkan uap karena memperpendek waktu yang diperlukan untuk merubah air ke uap.
3. Mencegah pembentukan kerak di dalam pipa air ketel, sebab kerak sekarang mengendap di pipa *economizer* yang bisa dengan mudah dibersihkan.
4. Karena air umpan memasuki ketel panas, sehingga regangan karena ekspansi yang tidak sama bisa diminimasi.

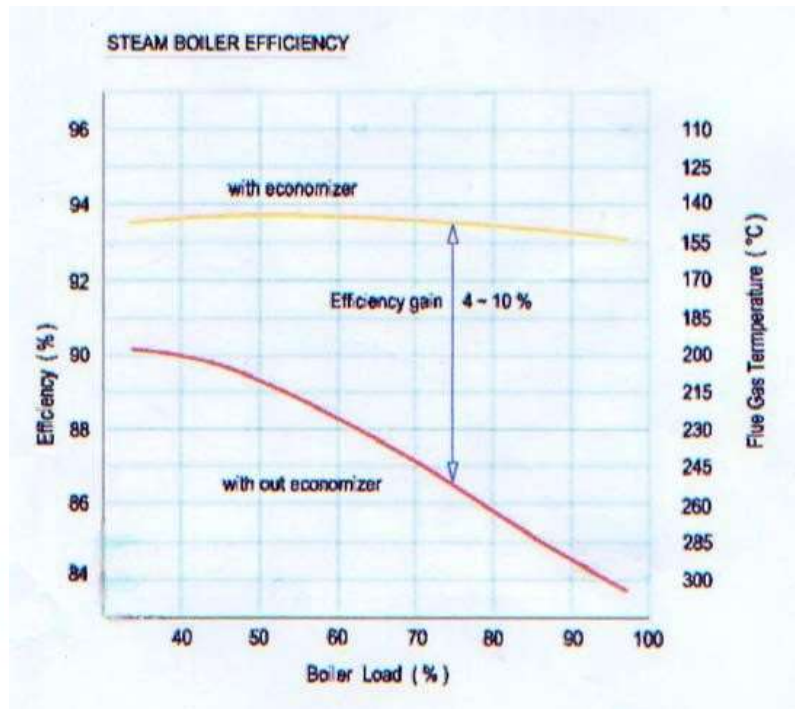
2.3.2 Mekanisme *Economizer*

Kinerja *economizer* sangat sensitif terhadap faktor *noise* temperatur *feedwater*. Hal ini dikarenakan bila temperatur *feedwater* tidak baik maka akan mengakibatkan biaya operasi meningkat. Di dalam deaerator ini air akan diapanaskan hingga suhu 100–105°C yang pada awalnya air bersuhu 30–50°C. setelah melalui proses pemanasan awal kemudian air dialirkan ke *economizer* untuk diapanaskan kembali hingga level 150–160°C dimana pemanasan di dalam *economizer* menggunakan gas buang dari pembakaran di dalam boiler atau chain grate sebelum gas itu dibuang melalui chimney atau cerobong. Setelah diapanaskan lanjut di dalam *economizer*, air dialirkan ke drum boiler sebelum air dibakar di dalam boiler guna penyimpanan. Kemudian air dibakar di dalam boiler hingga pada suhu 400–459°C, pada saat ini wujud air sudah berubah menjadi steam sepenuhnya. Tetapi pada level ini air belum bisa digunakan untuk memutar turbin, oleh sebab itu setelah pada level ini air yang berubah menjadi steam dialirkan ke superheater guna meningkatkan suhu steam itu sendiri hingga pada level 500–600°C. Steam pada level ini telah siap untuk memutar turbin dan memutar generator hingga menghasilkan listrik. Sisa steam yang memutar turbin

tadi akan kembali dialirkan ke deaerator guna untuk pemanasan awal air di dalamnya, begitulah seterusnya siklus penggunaan deaerator dan *economizer* sebagai instrument pendukung dalam pemanasan air hingga menjadi steam. Kita ketahui fungsi deaerator adalah untuk membuang gas-gas yang terkandung dalam air umpan boiler, sesudah melalui proses pemurnian air (*water treatment*). Selain itu deaerator juga berfungsi sebagai pemanas awal air pengisian boiler sebelum dimasukkan kedalam boiler.

Deaerator bekerja berdasarkan sifat dari oksigen yang kelarutannya pada air akan berkurang dengan adanya kenaikan suhu. Jika air dari water treatment langsung dibakar di dalam boiler, maka akan menyebabkan korosi hebat karena air tersebut masih mengandung gas-gas yang dapat menyebabkan korosi dan sebagainya. Begitu juga, apabila air tersebut dibakar langsung di dalam boiler maka tidak menutup kemungkinan akan menggunakan bahan bakar yang tidak sedikit, disebabkan karena air yang berasal dari water treatment hanyalah bersuhu 30–50°C dan dibakar di dalam boiler dengan target suhu air menjadi steam sebesar 400°C keatas. Dari contoh kecil diatas terlihat jelas bahwa pemanasan awal air sangat berguna untuk penghematan bahan bakar. Begitu juga dengan *economizer*, walau hanya perangkat tambahan, kegunaan alat ini bisa meng-efisiensikan proses kerja boiler. Dimana kita ketahui pembakaran air di dalam *economizer* ini hanya memanfaatkan gas buang dari hasil pembakaran di dalam boiler dengan tidak menambah bahan bakar untuk memanaskan air di dalamnya. Memang tidak hanya deaerator dan *economizer* saja yang merupakan heater pendukung, melainkan

banyak heater-heater yang lain yang bisa juga digunakan di dalam suatu sistem industri yang membuat air menjadi steam.



Gambar 2.14 Grafik penggunaan *economizer*

Grafik diatas menunjukkan keuntungan dan kerugian menggunakan *economizer* sebagai pemanasan awal. Jelas terlihat tanpa menggunakan *economizer* maka efisiensi kerja boiler menurun, dalam artian tanpa pemanasan yang dibantu oleh *economizer*, boiler harus bekerja lebih lama dalam pembuatan steam dan selain itu boiler akan memerlukan bahan bakar yang lebih banyak untuk mencapai panas suhu steam yang telah ditentukan. Selain itu juga, apabila boiler tetap dipaksakan bekerja lebih maka akan lebih cepat merusak pipa-pipa di dalam boiler itu sendiri. Apabila telah terjadi seperti ini maka suatu pabrik akan mengalami kerugian yang sangat besar dalam operasional boiler karena pemakaian bahan bakar yang terlalu

banyak dan ketahanan suatu alat akan cepat menurun dan harus mengganti peralatan tersebut.

Namun apabila suatu boiler menggunakan *economizer* dan beberapa heater pemanas pembantu lainnya di dalam proses pemanasan air sebelum dibakar, maka akan lebih meningkatkan efisiensi dari kerja boiler itu sendiri, karena suhu air sebelum dibakar di dalam boiler sudah cukup tinggi, berarti pemanasan air menjadi steam di dalam boiler tidak memakan waktu lama dan tidak menggunakan bahan bakar yang banyak untuk mencapai standar suhu yang telah ditentukan, maka biaya operasional dapat lebih di efisienkan dan secara tidak langsung dapat menguntungkan bagi pabrik.

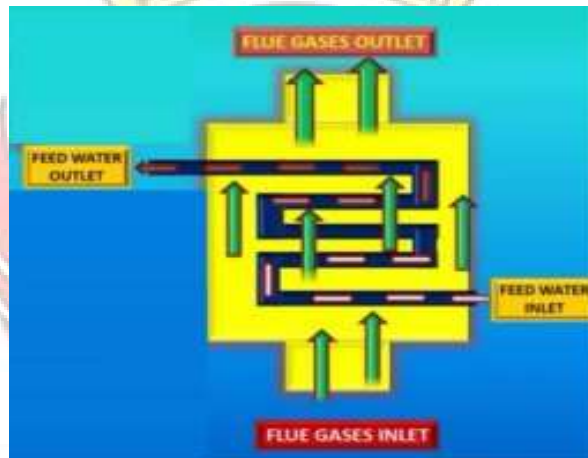
Selain itu maintenance atau perawatan dari peralatan atau pergantian peralatan dapat dilaksanakan lebih lama. Jelas terlihat bahwa dengan menggunakan boiler *economizer* dapat meningkatkan kapasitas boiler dan juga dapat mengefisienkan pembakaran air menjadi steam di dalam boiler hingga penghematan bahan bakar yang cukup jauh perbedaannya jika boiler tanpa *economizer*.

2.3.3 Kontruksi *Economizer*

Economizer adalah alat penukar kalor berbentuk tubular yang memanfaatkan gas asap panas hasil dari pembakaran pada boiler 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.

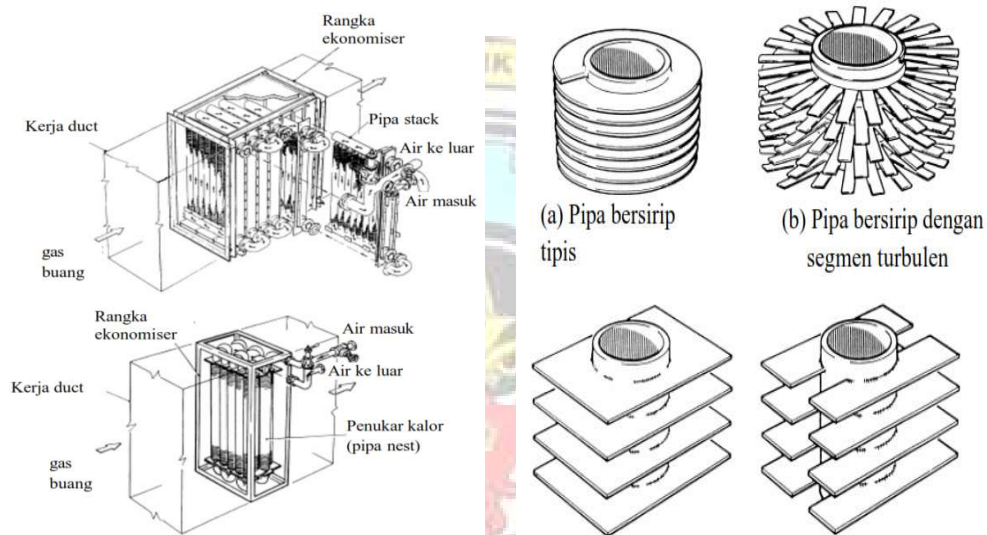
Biro Efisiensi Energi (2004) menyatakan bahwa sebuah *economizer* dapat dipakai untuk memanfaatkan panas gas buang untuk pemanasan awal air umpan *boiler*. Setiap penurunan 220 °C suhu gas buang melalui *economizer* atau pemanas awal terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler. Setiap kenaikan 600 °C suhu air umpan melalui *economizer* atau kenaikan 200 °C suhu udara pembakaran melalui pemanas awal udara, terdapat 1% penghematan bahan bakar dalam boiler.



Gambar 2.15 *Economizer*
(Sumber : Sunyoto, dkk, 2008 : 396)

Economizer dirancang mempunyai banyak sirip seperti pada gambar 2.10 dari material logam untuk memperluas permukaan singgung perpindahan panas dari gas buang yang bertemperatur tinggi ke fluida air bertemperatur lebih rendah karena hal tersebut fluida air pada *economizer* akan mudah menyerap panas dari *flue gas* dari proses pembakaran. Temperatur air yang ke luar dari *economizer* lebih tinggi dari temperatur lingkungan sehingga setelah masuk *boiler* tidak dibutuhkan energi panas yang besar. Energi kalor yang dibutuhkan hanya untuk

menaikkan temperatur dari *economizer* menjadi temperatur didih *boiler*. Jadi dengan pemasangan *economizer* akan menaikkan efisiensi sistem. Karena *economizer* disinggungkan dengan gas buang yang banyak mengandung zat-zat polusi yang dapat menimbulkan korosi, maka pemilihan material dari *economizer* bergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan pada *stoker* atau *burner*. (Sunyoto, dkk, 2008 : 395-396)



Gambar 2.16 Kontruksi Economizer Gambar 2.17 Model Sirip-sirip *Economizer* (Sumber : Sunyoto, dkk (2008) : 395)

2.4 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;

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

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

Keterangan :

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

\dot{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)

\dot{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 :

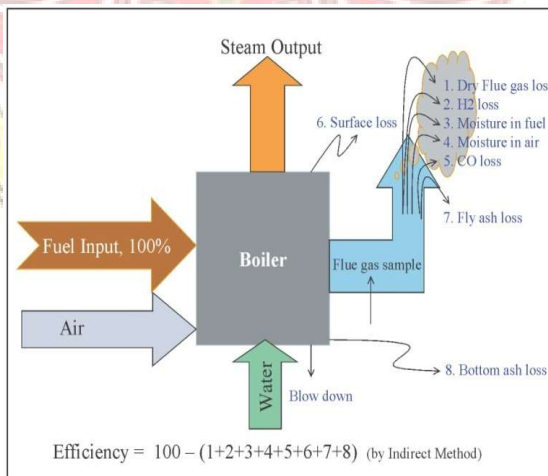
R_{eff} = Ratio efektivitas *economizer* (%)

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

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

2.5 Analisa Performansi Boiler

Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.

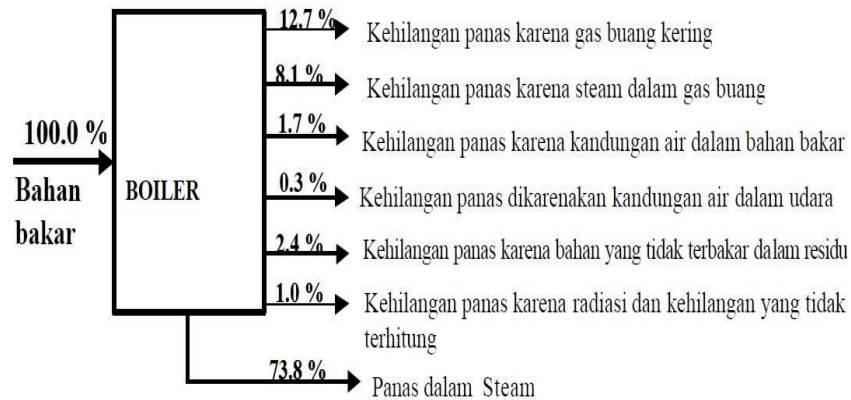


Gambar 2.18 Neraca panas energi boiler (Bureau of energy efficiency)

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut

memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan *steam*.

Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari produksi bersih atau pengkajian energi harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari, dengan meningkatkan efisiensi energi.



Gambar 2.19 Diagram kehilangan energi pada boiler (UNEP, 2004)

Kehilangan berikut dapat dihindari atau dikurangi :

1. Kehilangan gas cerobong:
 - Udara berlebih (diturunkan hingga ke nilai minimum yang tergantung dari teknologi burner, operasi (kontrol), dan pemeliharaan).
 - Suhu gas cerobong (diturunkan dengan mengoptimalkan perawatan (pembersihan), beban burner yang lebih baik dan teknologi boiler).
2. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu.
3. Mengoptimalkan operasi dan pemeliharaan; teknologi burner yang lebih baik.
4. Kehilangan dari blowdown (pengolahan air umpan segar, daur ulang kondensat).
5. Kehilangan kondensat (manfaatkan sebanyak mungkin kondensat).

6. Kehilangan konveksi dan radiasi (dikurangi dengan isolasi boiler yang lebih baik).

2.6 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 ($^{\circ}\text{C}$)
- Suhu air umpan ($^{\circ}\text{C}$)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar

1. Efisiensi boiler menggunakan *economizer*

$$\eta_{d.eco} = \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\%$$

$$= \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{wieco})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.4)$$

2. Efisiensi boiler tanpa economizer

$$\eta_{t.eco} = \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\%$$

$$= \frac{\dot{m}_s \times \{(h_s - h_{wi.eco}) - (h_{fw} - h_{wi.eco})\}}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \dots\dots\dots (1.5)$$

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

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

b. Tanpa menggunakan economizer

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

2.7 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Sigit P. Kurniawan (2015) yang meneliti 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 penelitian 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%.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di PT. Bosowa Energi Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jenepono. Waktu pelaksanaan Penelitian ini dilakukan mulai 1 Maret 2019 s.d 12 April 2019

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini metode yang penulis gunakan adalah metode survey. Dimana didalam hal ini penulis langsung melakukan survey ke Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jenepono untuk mengumpulkan data-data dalam menganalisa pemakaian *economizer* terhadap penghematan bahan bakar pada *boiler pulverized*. Langkah- langkah yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Studi literatur yang penulis lakukan adalah mencari data-data yang berkaitan dengan boiler *pulverized* dan *Economizer* seperti dari data design pada data *sheet* boiler *Economizer* di perpustakaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jenepono.

2. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan penulis dalam penelitian tugas

akhir ini melalui beberapa metode, yaitu :

a. Metode Interview

Suatu metode pengumpulan data melalui wawancara atau tanya jawab secara langsung dengan pihak pekerja instansi/perusahaan untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

b. Metode Observasi Langsung

Melakukan pengamatan dan pencatatan langsung di *Central Control Room* (CCR) kemudian mencatat data-data yang diperlukan. Adapun parameter-parameter yang akan di catat pada saat penelitian sebagai berikut

Tabel 3.1 Spesifikasi *Economizer* PLTU Jenepono 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 3.2 Spesifikasi Boiler PLTU Jeneponto unit 2×125 MW

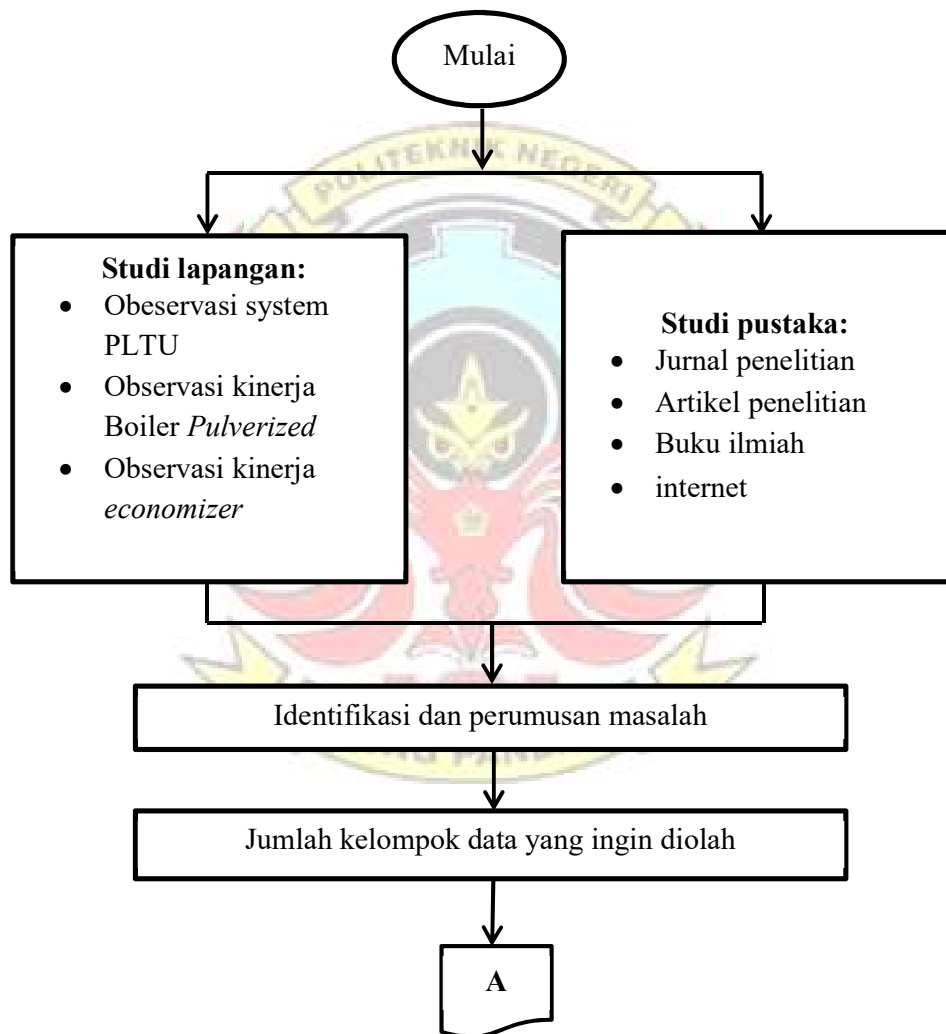
Parameter	Nilai	Satuan
<i>Steam Flow at boiler outlet</i>	410	Ton/hour
<i>Heat output</i>	125	MW
<i>Steam temperature at boiler inlet</i>	330	°C
<i>Steam temperature at boiler outlet</i>	540	°C
<i>Steam pressure at boiler inlet</i>	12.2	Mpa
<i>Steam pressure at boiler outlet</i>	13.8	Mpa
<i>Total boiler 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

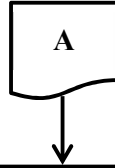
3.3 Metode Analisis Data

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan barulah kemudian melakukan analisa dari data yang didapat sesuai dengan studi literatur yang

sudah dibuat sebelumnya. Dari data-data yang didapatkan dari *Central Control Room* (CCR) kemudian dianalisis efisiensi boiler dan dihitung penghematan bahan bakar boiler dengan menggunakan parameter diatas.

3.4 Prosedur penelitian





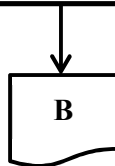
Pengambilan Data

Parameter Boiler

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

Parameter Economizer

- Spesifikasi *economizer*
- Temperatur outlet flue gas [T_{gas}] °C
- Temperatur air masuk *economizer* [T_{in}] °C
- Temperatur air keluar *economizer* [T_{out}] °C
- Tekanan air masuk *economizer* [P_{in}] Mpa
- Tekanan air keluar *economizer* [P_{out}] Mpa
- Laju aliran air masuk *economizer* [m_{air}] kg/jam



B

Analisis Data

1. *Economizer*

- Beban thermal yang diserap oleh air pada *economizer* (Q_{eco})
- Beban thermal gas buang yang diterima *economizer* (Q_{gb})
- Ratio efektifitas *economizer* (R_{eff})

2. Panas yang dibutuhkan dalam proses pembentukan uap dalam boiler

- Dengan menggunakan *economizer*
- Tanpa menggunakan *economizer*

C

3. efisiensi boiler

- Dengan menggunakan *economizer*

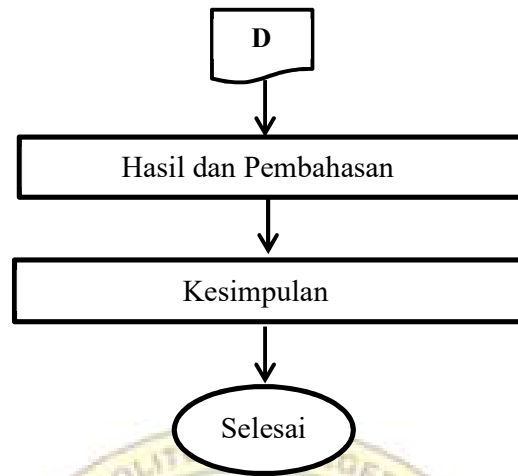
$$= \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{wi\text{eco}})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

- Tanpa menggunakan *economizer*

$$= \frac{\dot{m}_s \times \{(h_s - h_{wi}) - (h_{fw} - h_{wi})\}}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

4. Penghematan Bahan bakar

$$= \frac{Q}{LHV_{bb} \times eff} \times 100\%$$



Gambar 3.1 *Flowchart* Prosedur Pengerjaan Skripsi



3.5 Jadwal Pelaksanaan

Tabel 3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan																											
		februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Ujian Proposal	■																											
2	Revisi proposal		■																										
3	Tahap persiapan Pengumpulan data			■	■	■	■																						
	a. study literatur			■	■	■	■																						
	b. metode interview			■	■	■	■																						
	c. observasi lapangan					■	■	■	■																				
4	Tahap Pelaksanaan					■	■	■	■	■	■	■																	
	a. Pengambilan data					■	■	■	■	■	■	■																	
	b. analisis data											■	■	■	■	■	■												
5	Penyusunan Skripsi											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
6	Asistensi Skripsi											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
7	Ujian akhir																										■		
8	Revisi Skripsi																										■	■	

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Berikut tabel data hasil penelitian tanggal 1 Januari s.d 4 April 2109 yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar dengan *economizer* dan tanpa *economizer*.

Tabel 1. Tabel Parameter Nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW Januari 2019 (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A tabel 1-3)

BEBAN (MW)	TEMP. WATER (Tw)		PRESS. WATER (Pw)		ENTALPHI WATER INLET (h_{wieco})	ENTALPHI WATER OUTLET (h_{woeco})	TEMP. GAS (Tg)		FLOW WATER (\dot{m}_w)		FLOW GAS (\dot{m}_g)	
	Tin [°C]	Tout [°C]	Pin [Mpa]	Pout [MPa]	kJ/kg	kJ/kg	Tin [°C]	Tout [°C]	[t/h]	[kg/s]	[t/h]	[kg/s]
63.197	212,781	281,190	6.604	6.263	910,44	1242,91	331,948	293,288	181,953	50,543	354,499	98,472
83.224	225,350	296,979	8.339	7.906	968,47	1327,95	347,774	314,563	219,851	61,070	436,797	121,333
109.579	239,821	319,016	11.335	10.579	1036,67	1456,00	371,034	336,671	314,080	87,244	480,997	133,610

Tabel 2. Tabel Parameter Nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW Januari 2019 (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B tabel 4-6)

LOAD (MW)	BOILER				ENERGI BAHAN BAKAR		TEMP. FEED WATER (Tfw)	ENTAPHI FEED WATER (hfw)
	PRESSURE STEAM (Ps)	TEMP. STEAM (Ts)	ENTAPHI STEAM (hs)	MAIN STEAM FLOW (Q)	MASSA BAHAN BAKAR (Mbb)	LHV BAHAN BAKAR (LHVbb)		
[MW]	[Mpa]	[°C]	[Kj/kg]	[kg/h]	[kg/h]	[kJ/kg]	[°C]	[Kj/kg]
63.197	5,413	524,210	3485,47	263810	39573	18677,4	281,190	1242,91
83.224	6,687	523,637	3470,61	343363	50905	18677,4	296,979	1327,95
109.579	9,269	528,404	3454,48	399563	68676	18148,2	319,016	1456,00

Pada tabel 1, nilai entalpi diperoleh dengan menggunakan tabel uap. Nilai entalpi pada *economizer inlet* dan *outlet water* dihitung berdasarkan tabel A-5 (*saturated water*), sedangkan nilai entalpi uap pada boiler dihitung berdasarkan tabel A-6 (*superheated water*).

4.1 Analisis *Economizer*

Berdasarkan data pada tabel 1, nilai kinerja *economizer* dapat dihitung berdasarkan persamaan (mengambil contoh data pertama untuk variasi beban 60,80,100 MW

1. kondisi operasional *economizer* pada beban 63,197 MW (Januari 2019).

- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{in}) : 212,781 °C
- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{out}) : 281,190 °C
- Tekanan air masuk pada *economizer* (P_{in}) : 6,604 Mpa
- Tekanan air keluar pada *economizer* (P_{out}) : 6,263 Mpa
- Temperatur gas masuk melewati *economizer* (T_{in}) : 331,948 °C
- Temperatur gas keluar melewati *economizer* (T_{out}) : 293,288°C
- Laju aliran umpan *economizer* (\dot{m}_s) : 50,543 kg/s
- Laju aliran gas *economizer* (\dot{m}_g) : 98,472 kg/s
- Specific panas air (CP_{air}) (Tabel A-2) : 1,008 kJ/kg.K
- Specific panas gas buang (CP_{gas}) (Flue Gases Prop. Table) : 1,122 kJ/kg.K

a. Menghitung beban thermal yang diserap oleh air pada *economizer*

Beban thermal untuk setiap pengukuran yang diterima oleh air pada *economizer* yaitu Q_{eco} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{eco} &= m_{air} \times CP_{air} \times \Delta T_{air} \\ &= m_{air} \times CP_{air} \times (T_{out} - T_{in}) \\ &= 50,543 \text{ kg/s} \times 1,008 \text{ kJ/kg.K} \times 68,41 \text{ K} \\ &= 3485,2 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

b. Menghitung beban thermal gas buang yang diterima *economizer*

Beban thermal gas buang yang diterima oleh gas *economizer* yaitu Q_{gb} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{gb} &= m_{gas} \times CP_{gas} \times \Delta T_{gas} \\ &= m_{gas} \times CP_{gas} \times (T_{in} - T_{out}) \\ &= 98,472 \text{ kg/s} \times 1,122 \text{ kJ/kg.K} \times 38,66 \text{ K} \\ &= 4271,37 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

c. Menghitung ratio efektivitas *economizer* ($Reff$)

Ratio efektivitas *conomizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.3 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} Reff &= \frac{Q_{eco}}{Q_{gb}} \times 100 \% \\ &= \frac{3485,2 \text{ kJ/s}}{4271,37 \text{ kJ/s}} \times 100 \% \\ &= 81,6 \% \end{aligned}$$

2. Kondisi operasional *economizer* pada beban 83,224 MW (Januari 2019)

- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{in}) : 225,350 °C
- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{out}) : 296,979 °C
- Tekanan air masuk pada *economizer* (P_{in}) : 8,339 Mpa
- Tekanan air keluar pada *economizer* (P_{out}) : 7,906 Mpa
- Temperatur gas masuk melewati *economizer* (T_{in}) : 347,774 °C
- Temperatur gas keluar melewati *economizer* (T_{out}) : 314,563 °C
- Laju aliran umpan *economizer* (\dot{m}_s) : 61,070 kg/s
- Laju aliran gas *economizer* (\dot{m}_g) : 121,333 kg/s
- Specific panas air (CP_{air}) (Tabel A-2) : 1,008 kJ/kg.K
- Specific panas gas buang (CP_{gas}) (Flue Gase Prop. Tabel) : 1,122 kJ/kg.K

a. Menghitung beban thermal yang diserap oleh air pada *economizer*

Beban thermal untuk setiap pengukuran yang diterima oleh air pada *economizer* yaitu Q_{eco} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{eco} &= \dot{m}_{air} \times CP_{air} \times \Delta T_{air} \\ &= \dot{m}_{air} \times CP_{air} \times (T_{out} - T_{in}) \\ &= 61,070 \text{ kg/s} \times 1,008 \text{ kJ/kg.K} \times 71,63 \text{ K} \\ &= 4409,36 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

b. Menghitung beban thermal gas buang yang diterima *economizer*

Beban thermal gas buang yang diterima *economizer* yaitu Q_{gb} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{gb} &= m_{\text{gas}} \times CP_{\text{gas}} \times \Delta T_{\text{gas}} \\ &= m_{\text{gas}} \times CP_{\text{gas}} \times (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) \\ &= 121,333 \text{ kg/s} \times 1,122 \text{ kJ/kg.K} \times 33,211 \\ &= 4521,18 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

c. Menghitung ratio efektivitas *economizer* ($Reff$)

Ratio efektivitas *economizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.3 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} Reff &= \frac{Q_{\text{eco}}}{Q_{\text{gb}}} \times 100 \% \\ &= \frac{4409,36 \text{ kJ/s}}{4521,18 \text{ kJ/s}} \times 100 \% \\ &= 97,53 \% \end{aligned}$$

3. Kondisi operasional *economizer* pada Beban 100,218 MW (Januari 2019)

- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{in}) : 100,218 °C
- Temperatur air masuk pada *economizer* (T_{out}) : 234,906 °C
- Tekanan air masuk pada *economizer* (P_{in}) : 10,167 Mpa
- Tekanan air keluar pada *economizer* (P_{out}) : 9,532 Mpa

- Temperatur gas masuk melewati *economizer* (T_{in}) : 360,534 °C
- Temperatur gas keluar melewati *economizer* (T_{out}) : 326,954 °C
- Laju aliran umpan *economizer* (m_s) : 79,586 kg/s
- Laju aliran gas *economizer* (m_g) : 125,018 kg/s
- Specific panas air (CP_{air}) (Tabel A-2) : 1,008 kJ/kg.K
- Specific panas gas buang (CP_{gas}) (Flue Gase Prop. Tabel) : 1,122 kJ/kg.K

a. Menghitung beban thermal yang diserap oleh air pada *economizer*

Beban thermal untuk setiap pengukuran yang diterima oleh air pada *economizer* yaitu Q_{eco} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{eco} &= m_{air} \times CP_{air} \times \Delta T_{air} \\
 &= m_{air} \times CP_{air} \times (T_{out} - T_{in}) \\
 &= 79,568 \text{ kg/s} \times 1,008 \text{ kJ/kg.K} \times 79,20 \text{ K} \\
 &= 6964,60 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung beban thermal gas buang yang diterima *economizer*

Beban thermal gas buang yang diterima *economizer* yaitu Q_{gb} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{gb} &= m_{gas} \times CP_{gas} \times \Delta T_{gas} \\
 &= m_{gas} \times CP_{gas} \times (T_{in} - T_{out}) \\
 &= 125,018 \text{ kg/s} \times 1,122 \text{ kJ/kg.K} \times 34,36 \text{ K} \\
 &= 5151,38 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

c. Menghitung ratio efektivitas *economizer* (Reff)

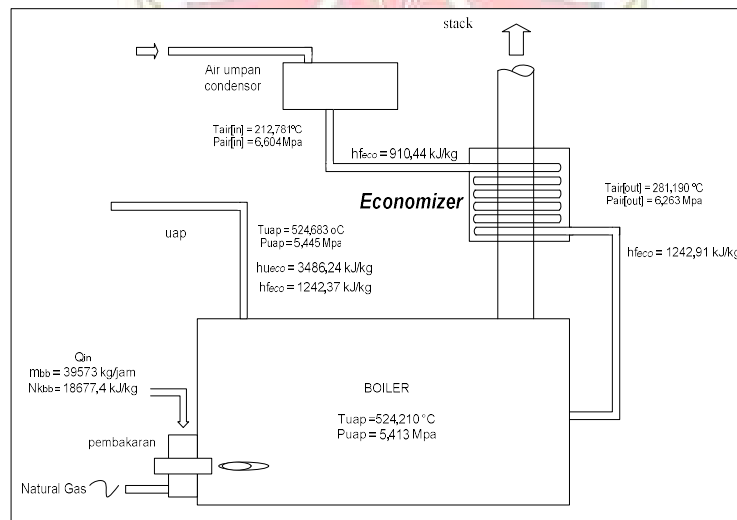
Ratio efektivitas *conomizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.3 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} Reff &= \frac{Q_{eco}}{Q_{gb}} \times 100 \% \\ &= \frac{6964,60 \text{ kJ/s}}{5151,38 \text{ kJ/s}} \times 100 \% \\ &= 64,79 \% \end{aligned}$$

Untuk data analisis kinerja *economizer* pada beban 80,100 MW selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A (tabel 1-3)

4.2 Analisis Efisiensi Boiler

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2, dapat digunakan untuk menghitung nilai efisiensi unit boiler dengan *economizer* dan tanpa *economizer*, menggunakan skema boiler *economizer*.(mengambil contoh data beban 60 MW)



Gambar 3.2 Skema Boiler *Economizer*

Diketahui :

- $Q = 263810 \text{ kg/jam}$
- $\dot{m}_{bb} = 39573 \text{ kg/jam}$
- $LHV_{bb} = 18677,4 \text{ kJ/kg}$
- $h_s = 3485,47 \text{ kJ/kg}$
- $h_{wi\text{eco}} = 910,44 \text{ kJ/kg}$

c. Menghitung efisiensi boiler dengan *economizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.5 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned}
 \eta_{d.\text{eco}} &= \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\% \\
 &= \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{wi\text{eco}})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \\
 &= \frac{263810 \text{ kg/jam} \times (3485,47 \text{ kJ/kg} - 910,44 \text{ kJ/kg})}{39573 \text{ kg/jam} \times 18677,4 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \\
 &= 92 \%
 \end{aligned}$$

d. Menghitung efisiensi boiler tanpa *economizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.4 sebagai berikut ;

$$\begin{aligned}
 \eta_{t.\text{eco}} &= \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100\% \\
 &= \frac{\dot{m}_s \times \{(h_s - h_{wi}) - (h_{fw} - h_{wi})\}}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \\
 &= \frac{263810 \text{ kg/jam} \times \{(3485,47 - 910,44) \text{ kJ/kg} - (1242,91 - 910,44) \text{ kJ/kg}\}}{39573 \text{ kg/jam} \times 18677,4 \text{ kJ/kg}} \times 100\% \\
 &= 80 \%
 \end{aligned}$$

Untuk data efisiensi boiler pada beban 80 dan 100 MW dapat dilihat pada lampiran D (tabel 8-10)

4.3 Energi panas yang dibutuhkan dalam proses pembentukan uap dalam boiler

Berdasarkan tabel 1 dan tabel 2 digunakan untuk menghitung energi panas (Q) yang dibutuhkan dalam proses pembentukan uap pada boiler (mengambil contoh data beban 60 MW) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.6 dan 1.7 sebagai berikut;

Diketahui :

$$\dot{m}_u = 181953 \text{ kg/jam}$$

$$h_s = 3485,47 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fw} = 1242,91 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{wieco} = 910,44 \text{ kJ/kg}$$

a. Dengan menggunakan *economizer*

$$\begin{aligned} Q_{d.eco} &= \dot{m}_u \times (h_s - h_{fw}) \\ &= 181953 \text{ kg/jam} \times (3485,47 - 1242,91) \text{ kJ/kg} \\ &= 408.040.519,7 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

b. Tanpa menggunakan *economizer*

$$\begin{aligned} Q_{t.eco} &= \dot{m}_u \times (h_s - h_{wieco}) \\ &= 181953 \text{ kg/jam} \times (3485,47 - 910,44) \text{ kJ/kg} \\ &= 468.534.434 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Maka dengan menggunakan *economizer* dapat mengurangi panas dalam pembentukan uap sebesar 60.494.309,2 kJ/jam

Untuk hasil analisis data perhitungan panas dalam proses pembentukan uap pada beban 80,100 MW, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D (tabel 8-10)

4.4 Penghematan Bahan bakar per jam

4.5 Dengan *economizer*

Pemakaian *economizer* dapat mengurangi panas pembentukan uap sebesar 60.312.902,4 kJ/jam. LHV bahan bakar 18677,4 kJ/kg. Efisiensi boiler sebesar 92 %. Maka untuk menghitung penghematan bahan bakar dengan menggunakan *economizer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{Q}{LHV_{bb} \times \eta} \times 100\% \\ &= \frac{60.494.309,2 \text{ kJ/jam}}{18677,4 \text{ kJ/kg} \times 92\%} \times 100\% \\ &= 2976,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

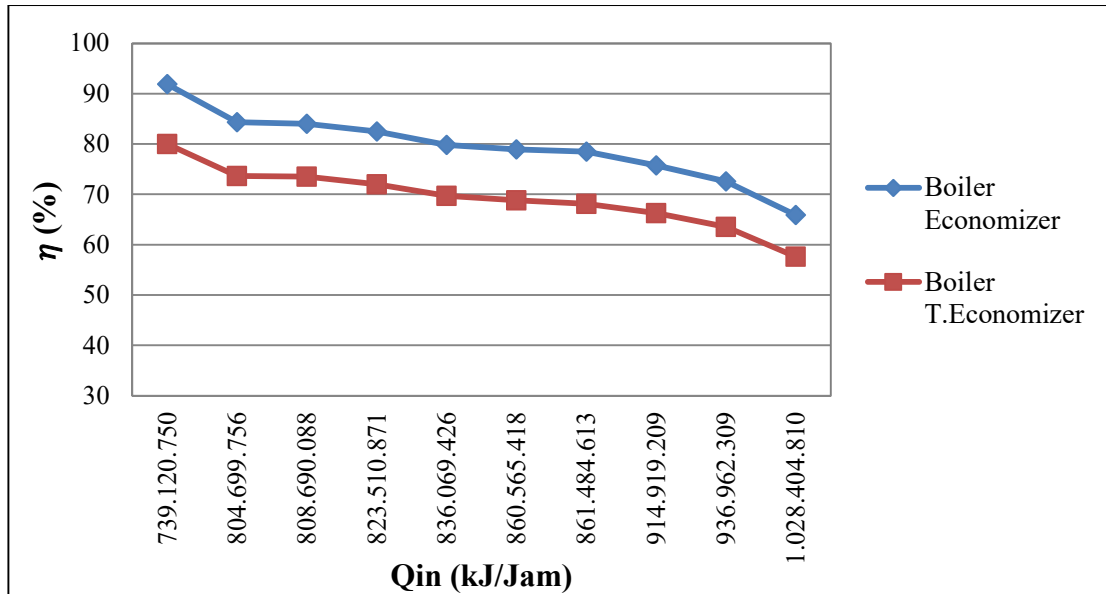
4.6 Tanpa *Economizer*

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{Q}{LHV_{bb} \times \eta} \times 100\% \\ &= \frac{60.494.309,2 \text{ kJ/jam}}{18677,4 \text{ kJ/kg} \times 80\%} \times 100\% \\ &= 2592,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

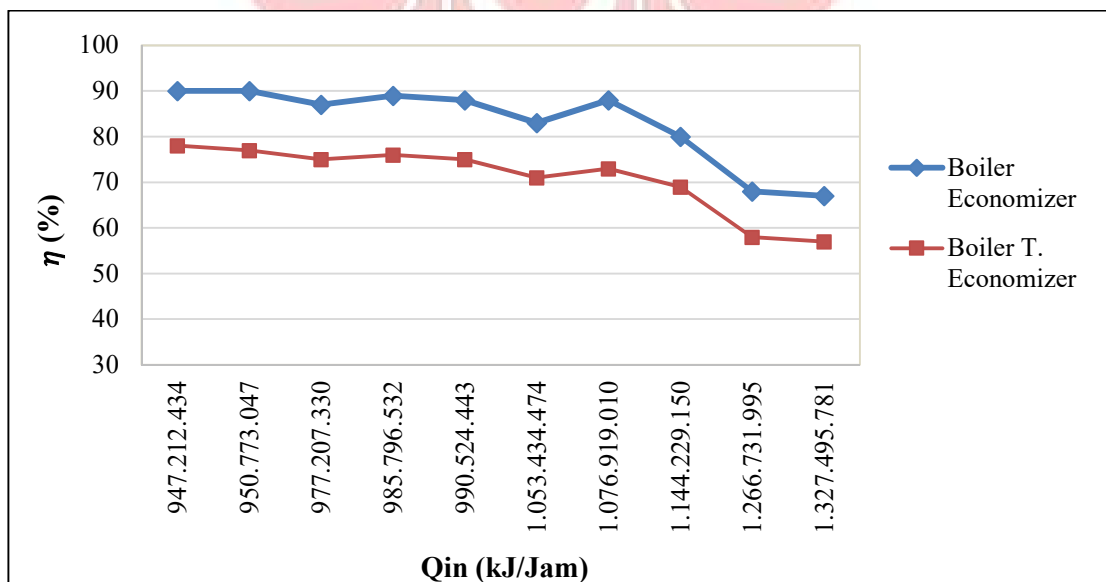
Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D (tabel 8-10)

B. Grafik dan Pembahasan

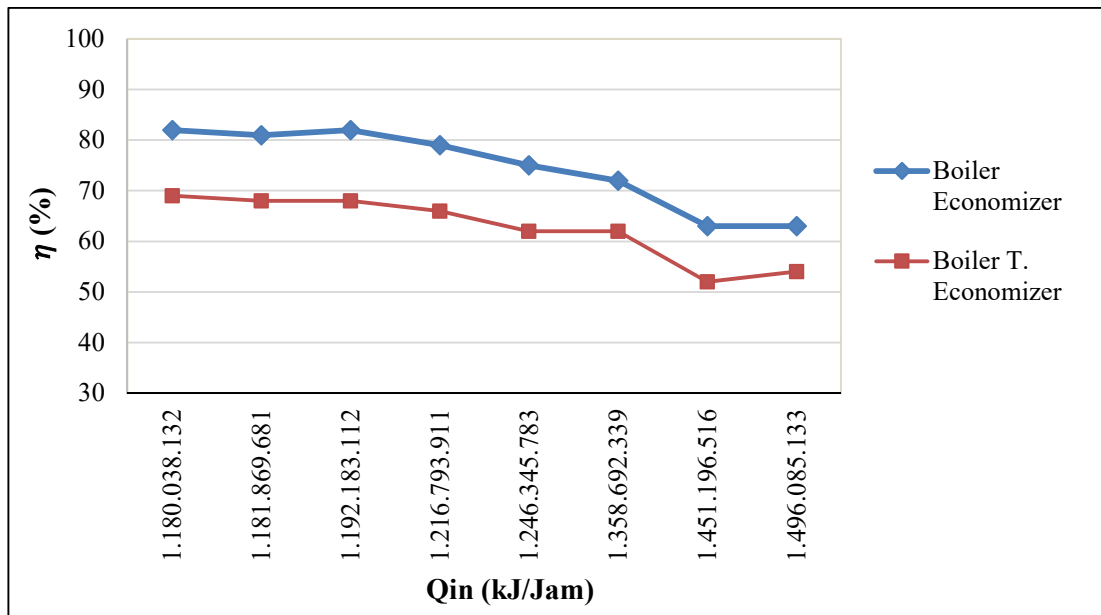
1. Efisiensi Boiler



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Q_{in}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 60 MW dengan mbb 39000 – 47000 kg/jam



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Q_{in}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 80 MW dengan mbb 45000 – 65000 kg/jam



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Energi Input Bahan Bakar (Qin) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 100 MW dengan mbb 55000 – 70000 kg/jam

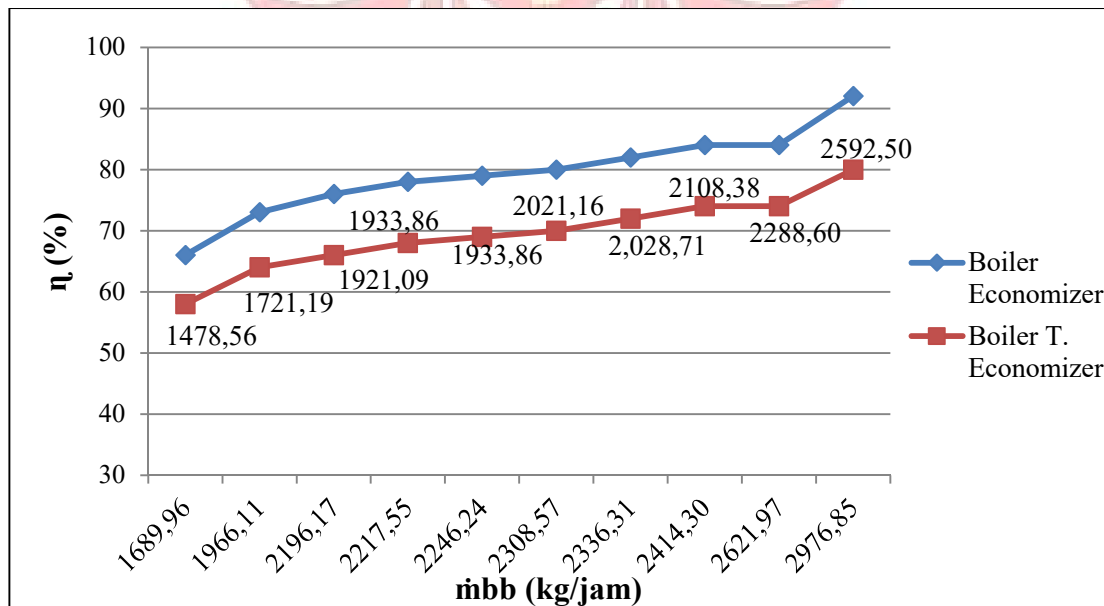
Pembahasan Grafik :

Pada Gambar 3.3 s.d 3.5 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

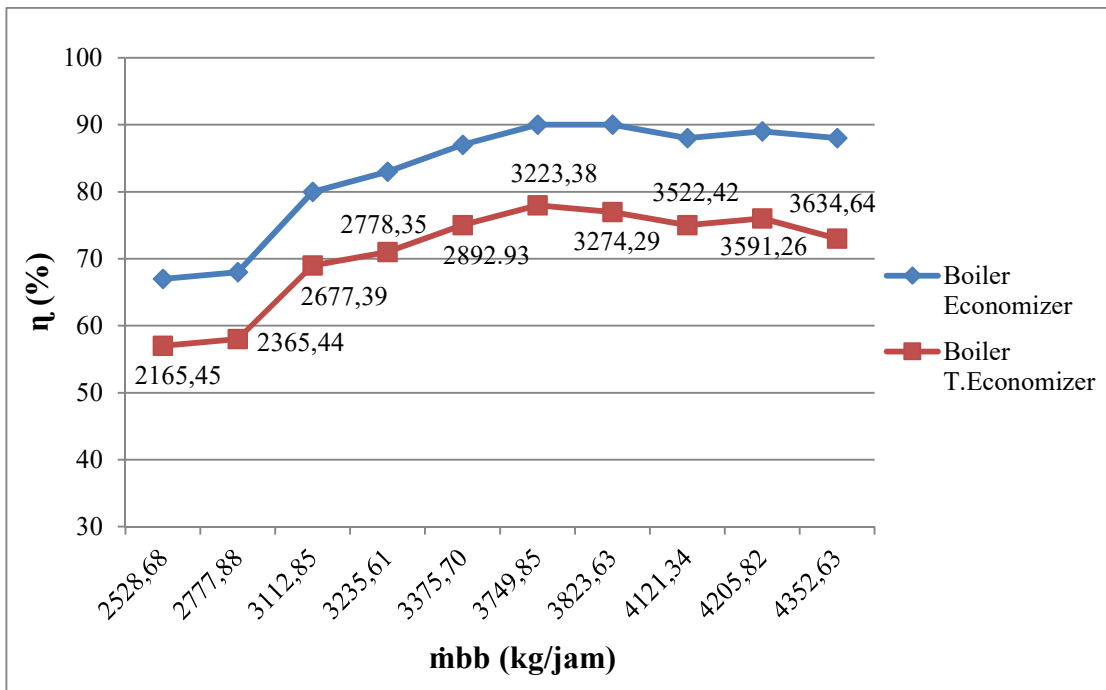
beban 80 MW, dan terlihat juga dari gambar 3.5 bahwa efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* lebih besar yaitu sebesar 68% dibandingkan dengan efisiensi boiler tanpa *economizer* yaitu 62% untuk beban 100 MW. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan pemakaian *economizer* dengan memanfaatkan gas 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.

Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil analisa lampiran D (Tabel 8-10).

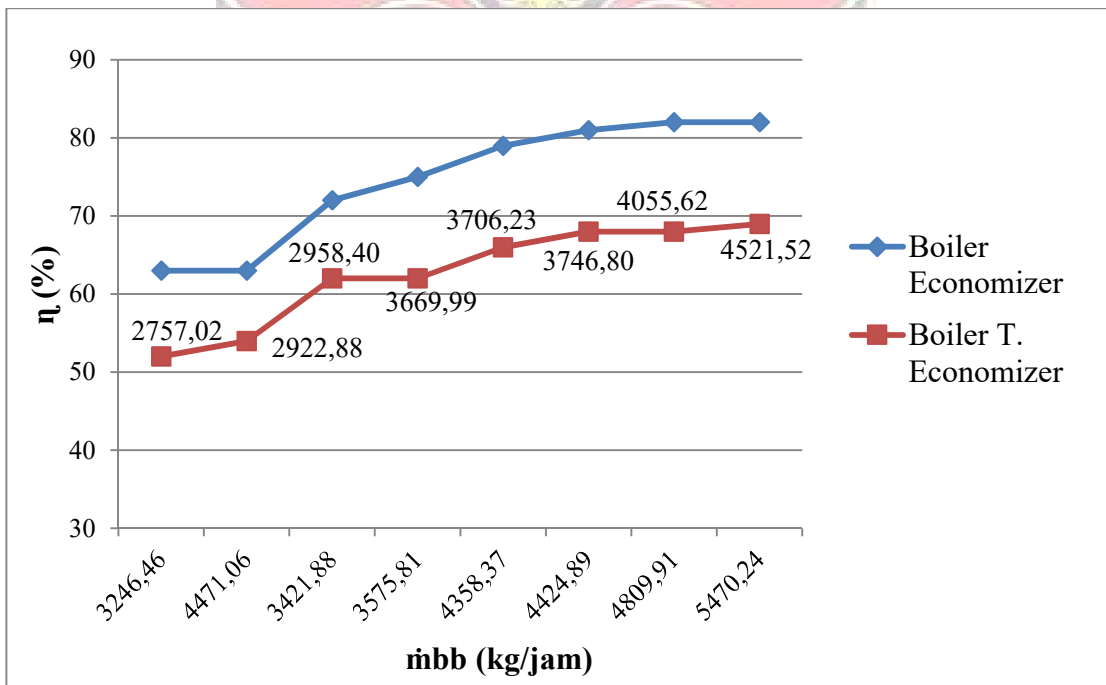
2. Penggunaan Bahan Bakar



Gambar 3.6 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 60 MW



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 80 MW

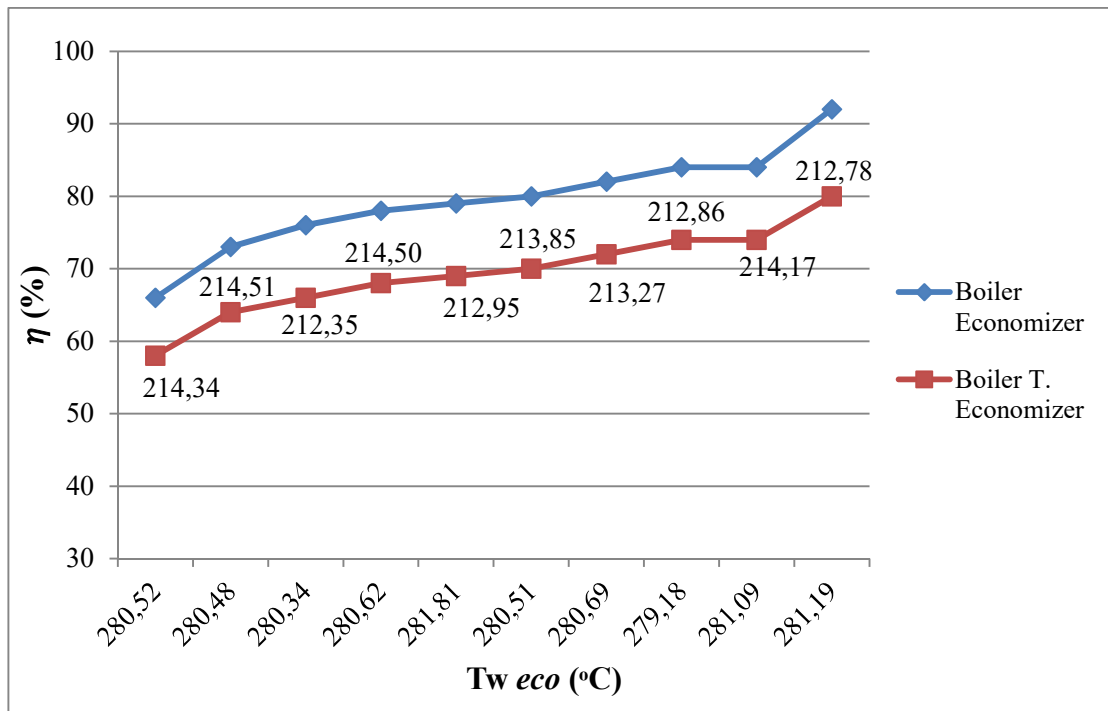


Gambar 3.8 Grafik Hubungan Penghematan Bahan Bakar Boiler terhadap Efisiensi Boiler (η) pada beban 100 MW

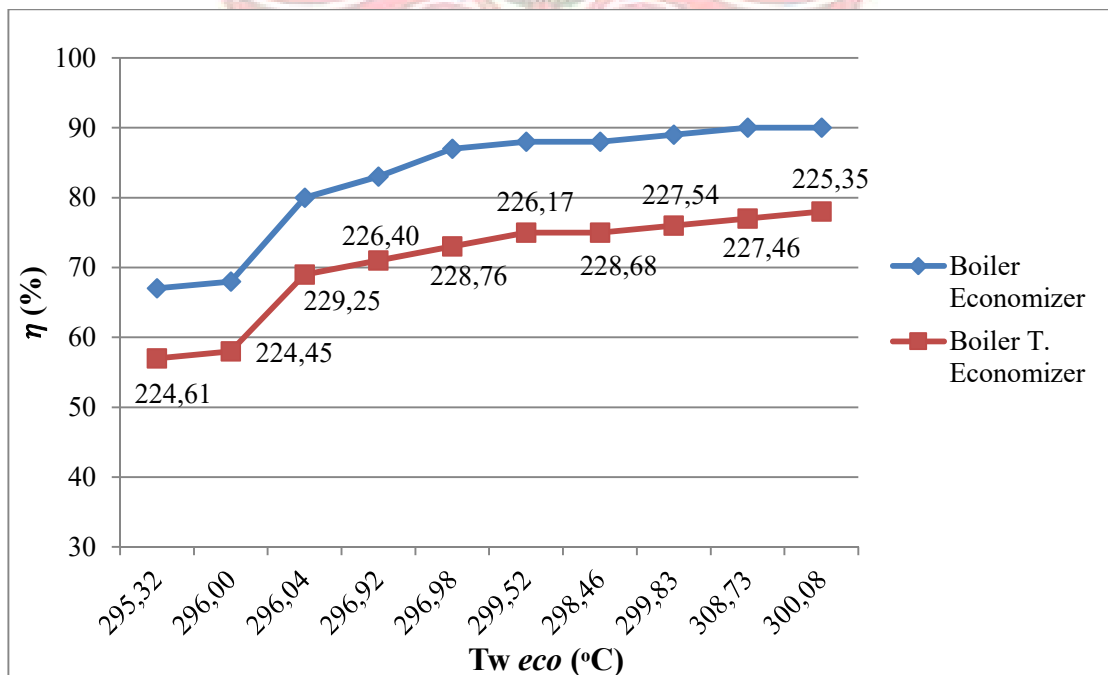
Pembahasan grafik :

Dari Gambar 3.6 s.d 3.8 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.

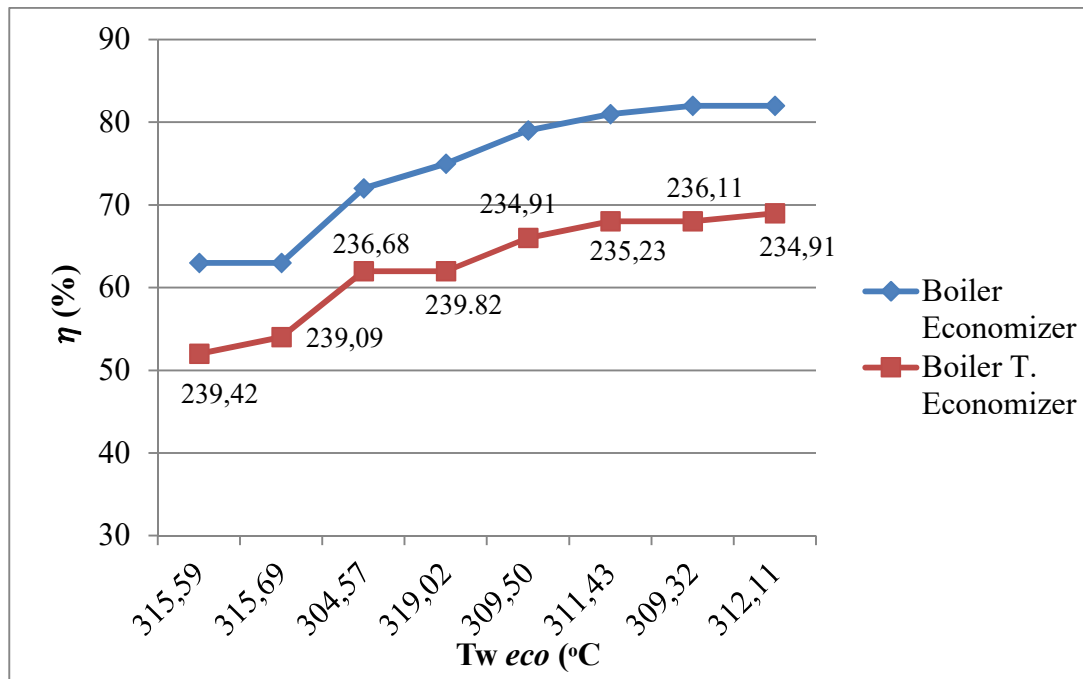
Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil analisa lampiran D (Tabel 8-10).



Gambar 3.9 Grafik Hubungan Temperatur Air *Economizer* (T_{weco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 60 MW



Gambar 3.10 Grafik Hubungan Temperatur Air *Economizer* (T_{weco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 80 MW



Gambar 3.11 Grafik Hubungan Temperatur Air *Economizer* (T_{weco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) pada 100 MW

Pembahasan Grafik :

Pada gambar 3.9 dan 3.11 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

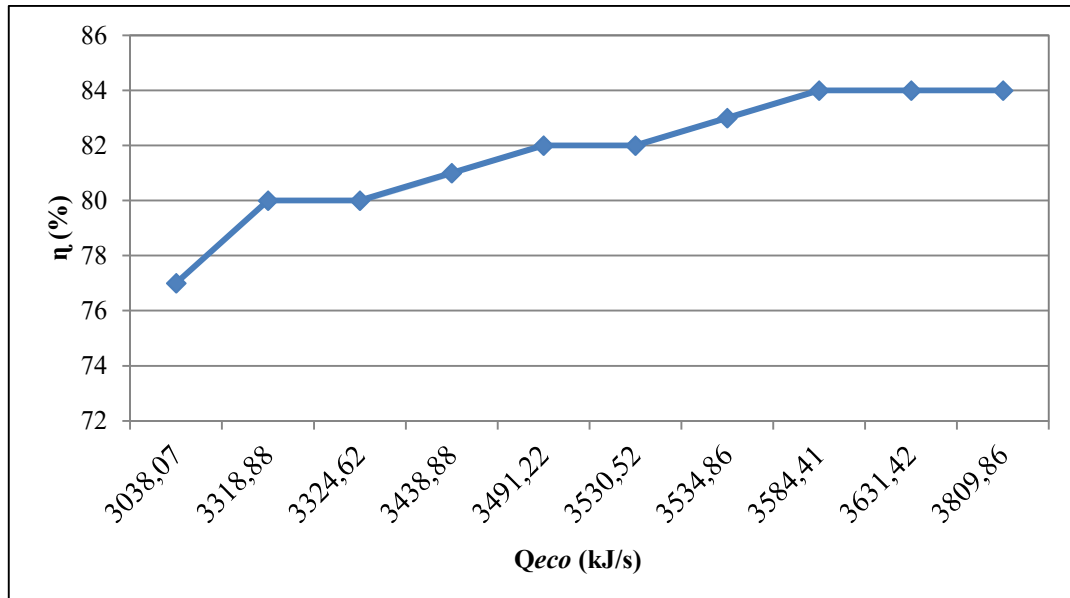
pemakaian *economizer* dapat meningkatkan temperatur air umpan sebesar 300 °C dan mampu meningkatkan efisiensi boiler sebesar 90% sedangkan tanpa *economizer* temperatur air umpan boiler yang dihasilkan lebih rendah yaitu 235,35 °C dengan efisiensi 78% pada beban 80 MW, dan Pada gambar 3.11 terlihat 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 O₂ dan N₂ yang terkandung dalam air umpan boiler

Dar gambar 3.9 s.d 3.11 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.

Untuk data selengkapnya dapat dilihat pada tabel hasil analisa lampiran A (Tabel 1-3) dan Lampiran D (Tabel 8-10).

3. Efektivitas *Economizer*



Gambar 3.12 Grafik Hubungan Energi Panas yang diserap Air (Q_{eco}) terhadap Efisiensi Boiler (η) dengan (Q_{in}) 800.000 kJ/jam – 850.000 kJ/jam

Pembahasan Grafik :

Pada gambar diatas 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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. 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 sehingga dengan pemakaian *economizer* (pemanas air pengisi boiler) dapat meningkatkan efisiensi boiler. sebesar 92 % sedangkan tanpa *economizer* efisiensi boiler hanya 80 %. untuk beban 60 MW.
2. Semakin besar energi panas yang diserap air di dalam *economizer* maka efisiensi boiler semakin besar seiring dengan meningkatnya penghematan bahan bakar. Dengan pemakaian *economizer* dapat meningkatkan penghematan bahan bakar sebesar 2976,8 kg/jam dan mampu meningkatkan efisiensi boiler 90% sedangkan tanpa *economizer* tidak dapat meningkatkan penghematan bahan bakar hanya 2592,50 kg/jam untuk beban 60 MW.
3. Dengan pemakaian *economizer* dengan memanfaatkan gas buang dari boiler dapat meningkatkan temperatur air umpan boiler sehingga dapat menaikkan efisiensi boiler, selain itu dapat mengurangi biaya bahan bakar dan menghemat biaya operasional yang lain seperti pemakaian chemical untuk

mengurangi kadar O₂ dan N₂ yang terkandung dalam air umpan boiler.

4. Dengan pemakaian *economizer* pada boiler, proses untuk mendapatkan energi panas lebih cepat yaitu sebesar 408.040.51 kJ/jam sedangkan tanpa *economizer* panas yang dibutuhkan untuk pembentukan air menjadi uap meningkat sebesar 468.534.82 kJ/jam untuk beban 60 MW.

B. Saran

Kepada pihak PLTU Jenepono 2 × 125 MW disarankan untuk :

1. Melakukan pengecekan secara berkala dan berkelanjutan pada semua peralatan pembangkitan
2. Memakai bahan bakar batu bara yang memiliki spesifikasi bagus dan sesuai dengan peralatan dan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar batu bara agar tidak terlalu boros.
3. Agar menghindari penurunan efisiensi, disarankan untuk meminimalisir kehilangan panas (*heat loss*) pada boiler.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Power Test Codes 13.2, “*Test Code for Steam Generating Unit*”
- Biro Efisiensi Energi. 2004. *Pemanfaatan Kembali Limbah Panas*. Retrieved from <http://www.energyefficiencyasia.org>, on 30th November 2015.
- 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.
- 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.
- Holman, J.P., Jasjfi. E. 1997. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Jakarta : Erlangga
- M.M El-wakil. 1985. *PowerPlant Technology*. International Edition. Singapore McGraw-Hill. (Online), (<https://www.brijrbedu.org>), diakses 2 Januari 2019.
- 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)
- Prakoso Rangga. 2018. *Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Indonesia*. Laporan akhir. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Surabaya
- Perusahaan Umum Listrik Negara. 1987. *Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Uap Bagian Dua : Faktor-Faktor Pengusahaan, SPLN 62 – 2: 1987*.
- Perusahaan Umum Listrik Negara. 2009. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN)*.
- Sunyoto, Karnowo, S. M. Bondan Respati. 2008. *Teknik Mesin Industri Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- 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).

**L
A
M
P
I
R
A
N**



LAMPIRAN A. TABEL DATA PARAMETER *ECONOMIZER*

Tabel 1. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Januari 2019)

LOAD (MW)	TEMP. WATER (<i>T_{weco}</i>)		PRESSURE WATER (<i>P_{weco}</i>)		ENTAL PHI WATER INLET (<i>h_{wi_{weco}}</i>)	ENTAL PHI WATER OUTLET (<i>h_{wo_{weco}}</i>)	TEMP. GAS (<i>T_{geco}</i>)		FLOW WATER (<i>m_{weco}</i>)		FLOW GAS (<i>m_{geco}</i>)	
	<i>T_{in}</i> [°C]	<i>T_{out}</i> [°C]	<i>P_{in}</i> [Mpa]	<i>P_{out}</i> [MPa]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	<i>T_{in}</i> [°C]	<i>T_{out}</i> [°C]	[t/h]	[kg/s]	[t/h]	[kg/s]
61.76	213,85	280,50	6.526	6.162	915,33	1239,32	334,45	303,05	157,64	43,79	351,39	97,61
62.83	212,86	279,18	6.391	6.098	910,81	1232,40	331,11	300,08	154,77	42,99	394,01	109,47
62.99	212,34	280,33	6.617	6.241	908,44	1238,42	340,29	303,82	181,60	50,44	363,30	100,91
63.19	212,78	281,19	6.604	6.263	910,44	1242,91	331,99	293,28	181,95	50,54	354,49	98,47
63.47	214,34	280,51	6.633	6.296	917,58	1239,38	331,65	299,31	169,00	46,94	347,72	96,59
63.52	212,94	280,81	6.563	6.168	911,19	1240,93	330,67	298,67	175,03	48,61	370,80	103,00
63.56	213,27	280,68	6.598	6.259	912,68	1240,27	333,21	298,21	176,12	48,92	358,24	99,51
63.92	214,50	283,61	6.838	6.493	918,31	1255,70	330,72	293,64	187,09	51,97	352,98	98,05
64.16	214,50	280,48	6.674	6.261	918,34	1239,20	343,82	309,75	178,99	49,72	352,24	97,84
64.54	214,16	281,08	6.650	6.301	916,79	1242,37	336,43	304,05	180,70	50,19	345,94	96,09
80.45	224,61	295,31	8.101	7.692	965,02	1318,78	346,25	318,59	212,79	59,11	415,38	115,38
80.50	224,45	296,00	8.281	7.872	964,28	1322,54	352,10	310,44	222,50	61,80	399,11	110,86
83.22	225,35	296,97	8.339	7.906	968,47	1327,95	347,77	314,56	219,85	61,07	436,79	121,33

Lanjutan Tabel 1. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Januari 2019)

84.15	226,16	298,45	8.606	8.148	972,29	1336,15	343,18	309,19	233,10	64,75	398,24	110,62
84.23	226,40	296,92	8.420	7.964	973,36	1327,63	354,92	326,25	226,36	62,87	448,47	124,57
84.24	227,46	300,08	8.649	8.174	978,33	1345,00	375,06	341,29	235,70	65,47	430,30	119,52
85.98	227,53	299,83	8.869	8.388	978,68	1343,82	346,54	311,06	235,09	65,30	398,72	110,75
86.31	228,68	299,52	8.829	8.271	984,03	1342,11	363,40	337,83	224,60	62,38	446,59	124,05
88.12	229,25	296,03	9.461	8.539	968,70	1322,73	342,60	312,31	232,59	64,61	414,37	115,10
89.75	228,75	308,73	9.139	8.660	984,39	1394,59	351,76	322,23	248,57	69,04	420,04	116,6
100.09	235,22	311,42	10.427	9.787	1014,83	1410,38	355,65	320,29	286,70	79,64	469,86	130,51
100.20	234,90	309,50	10.022	9.496	1013,32	1399,09	363,35	335,05	260,03	72,23	461,69	128,24
100.21	234,90	309,31	10.167	9.532	1013,32	1398,02	360,53	326,95	286,44	79,56	450,06	125,01
104.13	236,11	312,10	10.503	9.883	1019,02	1414,40	361,20	325,86	286,72	79,64	471,90	131,08
105.78	236,68	304,56	10.517	9.862	1012,74	1370,59	385,58	352,74	272,01	75,56	485,79	134,94
108.67	239,09	315,58	11.133	10.327	1033,20	1398,02	377,53	345,52	293,91	81,64	482,51	134,03
109.08	239,41	315,68	10.927	10.292	1014,83	1435,77	385,23	353,73	282,88	78,57	459,34	127,59
109.57	239,82	319,01	11.335	10.579	1036,67	1456,00	371,03	336,67	314,08	87,24	480,99	133,61

Tabel 2. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Februari 2019)

LOAD (MW)	TEMP. WATER (Tweco)		PRESS. WATER (Pweco)		ENTAL PHI WATER INLET (<i>h_{wieco}</i>)	ENTAL PHI WATER OUTLET (<i>h_{woeco}</i>)	TEMP. GAS (Tgeco)		FLOW WATER (<i>m_{weco}</i>)		FLOW GAS (<i>m_{geco}</i>)	
	Tin [°C]	Tout [°C]	Pin [Mpa]	Pout [MPa]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	Tin [°C]	Tout [°C]	[t/h]	[kg/s]	[t/h]	[kg/s]
62.75	213,60	282,17	6.751	6.403	914,21	1248,06	328,27	292,35	192,12	53,36	380,05	105,57
62.79	213,35	281,87	6.723	6.366	913,08	1246,50	329,20	293,44	184,03	51,11	364,56	101,26
62.97	213,68	280,28	6.508	6.206	914,57	1238,18	337,42	304,68	162,90	45,25	350,16	97,26
63.32	213,85	281,45	6.661	6.299	915,33	1244,28	331,50	296,57	180,09	50,02	344,63	95,73
63.50	213,93	281,88	6.734	6.397	915,71	1246,40	338,54	302,42	185,78	51,60	366,64	101,84
63.58	214,99	282,83	6.772	6.440	920,58	1249,17	335,36	300,34	182,07	50,57	338,23	93,95
64.10	214,34	281,81	6.732	6.401	917,58	1246,20	335,36	302,42	189,71	52,70	341,53	94,87
64.29	215,48	283,69	6.900	6.542	922,83	1256,12	336,68	301,49	193,35	53,71	360,21	100,06
64.87	215,47	286,99	6.842	6.472	922,80	1273,63	337,95	299,37	195,76	54,38	326,14	90,59
67.39	217,44	282,28	7.131	6.668	931,86	1248,66	343,91	310,44	200,02	55,56	394,55	109,59
80.35	224,94	294,81	8.177	7.750	966,59	1316,04	360,48	331,12	221,93	61,64	421,83	117,17
80.86	224,29	290,34	8.289	7.848	963,56	1291,68	348,78	315,96	220,23	61,17	425,57	118,21
82.60	226,32	297,82	8.509	8.045	976,05	1332,61	357,55	322,69	241,07	66,96	397,75	110,48
83.16	226,97	297,83	8.618	8.174	976,06	1322,67	340,01	312,70	231,68	64,35	392,96	109,15
83.39	227,05	297,71	8.553	8.052	976,44	1332,04	352,30	322,00	226,86	63,01	395,21	109,78

Lanjutan Tabel 2. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Februari 2019)

83.87	227,05	298,58	8.820	8.294	976,44	1366,84	342,79	306,01	234,25	65,07	387,17	107,54
84.12	227,29	297,12	8.631	8.130	977,55	1328,76	360,87	330,42	229,71	63,81	424,75	117,98
88.28	230,13	301,68	9.479	8.777	990,84	1354,23	349,32	313,08	270,59	75,16	408,11	113,36
99,20	235,71	309,71	10.392	9.636	1.017,14	1400,32	356,66	324,86	275,79	76,61	443,17	123,10
100,09	236,03	309,43	10.605	9.824	1.018,67	1398,68	352,54	321,22	297,99	82,77	428,44	119,01
100,15	236,03	310,11	10.485	9.716	1.018,67	1402,66	359,60	327,95	281,99	78,33	454,96	126,37
100,57	236,11	311,92	10.511	9.887	1.019,07	1413,33	366,22	330,04	277,83	77,17	465,94	129,42
100,64	236,43	312,66	10.552	9.938	1.020,58	1417,69	355,65	320,96	290,79	80,77	439,45	122,07
103,49	237,17	312,18	10.667	9.900	1.024,06	1414,87	370,11	339,14	283,18	78,66	439,90	122,19
103,98	237,17	315,89	10.720	10.096	1.024,06	1437,00	353,91	322,70	300,02	83,34	435,35	120,93
104,24	237,49	314,54	11.019	10.273	1.025,59	1428,90	356,29	322,70	308,92	85,81	460,74	127,98
109,39	239,26	317,39	11.359	10.666	1.034,02	1446,11	355,96	317,20	315,27	87,57	446,46	124,01



Tabel 3. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Maret 2019)

LOAD (MW)	TEMP. WATER (<i>T_{weco}</i>)		PRESS. WATER (<i>P_{weco}</i>)		ENTAL PHI WATER INLET (<i>h_{wi_{weco}}</i>)	ENTAL PHI WATER OUTLET (<i>h_{wo_{weco}}</i>)	TEMP. GAS (<i>T_{geco}</i>)		FLOW WATER (<i>m_{weco}</i>)		FLOW GAS (<i>m_{geco}</i>)	
	<i>T_{in}</i> [°C]	<i>T_{out}</i> [°C]	<i>P_{in}</i> [Mpa]	<i>P_{out}</i> [MPa]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	<i>T_{in}</i> [°C]	<i>T_{out}</i> [°C]	[t/h]	[kg/s]	[t/h]	[kg/s]
61.38	211,96	278,00	6.412	5.983	906,71	1226,28	329,40	302,35	187,22	52,00	340,92	94,70
61.96	212,70	280,77	6.560	6.208	910,08	1240,75	332,38	297,35	183,97	51,10	362,55	100,70
62.47	213,59	280,79	6.220	6.548	914,18	1240,81	333,06	297,74	174,86	48,57	342,73	95,20
62.57	213,51	280,32	6.659	6.206	913,82	1238,36	329,35	297,51	175,06	48,62	360,13	100,03
62.78	213,68	282,45	6.726	6.337	914,55	1249,56	329,39	299,26	177,14	49,20	369,78	102,71
62.79	213,43	279,17	6.446	6.113	913,44	1232,34	330,66	303,36	168,63	46,84	363,53	100,98
62.83	213,51	279,93	6.534	6.185	913,82	1236,34	333,02	299,07	178,99	49,72	354,26	98,40
62.99	213,19	280,64	6.682	6.334	912,31	1240,04	329,66	294,93	188,99	52,49	333,60	92,66
63.13	213,59	281,61	6.714	6.339	914,18	1245,12	333,11	298,05	193,12	53,64	332,69	92,41
63.80	214,17	281,68	6.781	6.435	916,81	1245,48	330,17	293,90	191,26	53,12	369,00	102,50
80.07	224,45	293,29	8.039	7.624	964,29	1307,69	345,23	317,27	208,89	58,02	383,09	106,41
80.58	224,69	288,39	8.147	7.723	965,41	982,66	351,56	318,43	215,98	59,99	413,94	114,98
81.06	225,42	297,04	8.414	7.946	968,83	1328,32	341,56	301,80	227,46	63,18	377,82	104,95
81.26	225,10	288,33	8.631	8.019	967,32	1280,82	352,29	310,98	238,68	66,30	395,68	109,91

Lanjutan Tabel 3. Parameter nilai *Economizer* pada beban 60,80,100 MW (Maret 2019)

81.79	225,75	298,21	8.531	8.031	970,38	1334,82	334,29	299,85	241,30	67,02	370,40	102,89
81.98	225,99	297,42	8.522	8.054	971,48	1330,40	340,83	302,97	231,30	64,25	389,62	108,22
82.34	225,83	296,17	8.373	7.952	970,72	1323,48	338,93	302,74	215,43	59,84	365,20	101,44
82.78	226,06	297,42	8.457	7.967	971,78	1330,40	339,22	305,93	216,30	60,08	383,90	106,64
83.24	226,49	298,94	8.786	8.174	973,78	1338,87	346,94	313,94	240,91	66,92	422,62	117,39
84.67	226,81	298,92	8.710	8.222	972,37	1338,74	341,86	307,18	235,56	65,43	369,67	102,68
90.25	223,16	305,42	9.792	8.142	958,31	1375,50	342,93	317,12	222,27	61,74	425,24	118,12
90.42	229,92	301,94	9.250	8.733	989,86	1355,70	345,87	313,35	244,39	67,88	308,41	85,66
91.95	230,20	307,64	9.848	9.072	991,16	1388,27	348,69	310,14	258,67	71,85	398,62	110,72
96.63	233,34	306,18	9.685	9.218	1.005,94	1379,88	354,05	322,64	255,35	70,93	439,94	122,20
97.09	234,01	307,00	9.999	9.409	1.009,09	1384,60	326,88	316,41	277,83	77,17	442,05	122,79
97.57	233,69	305,24	9.858	9.320	1.007,58	1374,49	351,27	320,44	266,75	74,09	440,38	122,32
100.99	235,38	310,06	10.306	9.700	1.015,58	1402,40	364,91	331,81	287,39	79,83	447,82	124,39
101.06	235,38	311,01	10.358	9.757	1.015,58	1407,93	353,12	321,77	285,98	79,43	433,59	120,44
102.03	236,44	311,75	10.669	9.888	1.020,61	1412,32	356,83	325,79	297,04	82,51	431,90	119,97
103.32	237,00	313,10	10.698	10.067	1.023,28	1420,32	356,05	324,66	296,71	82,41	454,28	126,18

LAMPIRAN B. TABEL DATA PARAMETER BOILER

Tabel 4. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW (Januari 2019)

LOAD (MW)	BOILER				ENERGI BAHAN BAKAR		TEMP. FEED WATER (Tfw)	ENTAPHI FEED WATER (hfw)
	PRESS. STEAM (Ps)	TEMP. STEAM (Ts)	ENTAPHI STEAM (hs)	MAIN STEAM FLOW (Q)	MASSA BAHAN BAKAR (Mbb)	LHV BAHAN BAKAR (LHVbb)		
[MW]	[Mpa]	[°C]	[Kj/kg]	[kg/h]	[kg/h]	[kJ/kg]	[°C]	[Kj/kg]
61.76	5.365	518.53	3472,77	260930	46069	18148,2	280,50	1239,32
62.83	5.281	527.21	3493,88	263034	44643	18114,6	279,18	1232,40
62.99	5.418	527.77	3542,93	263052	44267	20668,2	280,33	1238,42
63.19	5.413	524.21	3485,47	263810	39573	18677,4	281,19	1242,91
63.47	5.449	526.31	3490,02	263389	48506	21201,6	280,51	1239,38
63.52	5.332	525.21	3488,66	263581	41884	20546,4	280,81	1240,93
63.56	5.416	525.82	3489,23	263601	45377	18148,2	280,68	1240,27
63.92	5.610	523.12	3480,83	263811	40633	21201,6	283,61	1255,70
64.16	5.426	527.96	3494,14	264011	44193	21201,6	280,48	1239,20
64.54	5.445	524.68	3486,24	264064	39165	20546,4	281,08	1242,37
80.45	6.688	529.16	3484,7	339215	52290	18114,6	295,31	1318,78
80.50	6.819	523.72	3469,4	339410	47561	20546,4	296,00	1322,54
83.22	6.687	523.63	3470,61	343364	50905	18677,4	296,97	1327,95
84.15	7.084	527.68	3476,12	348210	54681	18114,6	298,45	1336,15
84.23	6.971	528.87	3480,18	348369	51271	20546,4	296,92	1327,63
84.24	7.105	516.10	3447,92	349541	59747	21201,6	300,08	1345,00
85.98	7.308	529.26	3477,56	350121	54420	18114,6	299,83	1343,82
86.31	7.224	528.60	3476,85	354987	62613	21201,6	299,52	1342,11
88.12	7.473	539.00	3499,4	362375	53969	21201,6	296,03	1322,73
89.75	7.546	527.64	3471,11	379832	52414	20546,4	308,73	1394,59
100.09	8.552	523.58	3450,29	391345	57183	20668,2	311,42	1410,38
100.20	8.269	524.54	3455,74	392098	67172	18114,6	309,50	1399,09

Lanjutan Tabel 4. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW (Januari 2019)

100.21	8.354	529.26	3466,46	392160	63180	18677,4	309,31	1398,02
104.13	8.633	527.77	3459,8	398156	57682	20668,2	312,10	1414,40
105.78	8.622	530.50	3466,67	399910	66128	20546,4	304,56	1370,59
108.67	9.059	526.91	3453,05	391368	71557	20907,6	315,58	1398,02
109.08	9.020	526.62	3452,74	373731	69410	20907,6	315,68	1435,77
109.57	9.269	528.40	3454,48	388563	68676	18148,2	319,01	1456,00

Tabel 5. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW Februari 2019)

LOAD (MW)	BOILER				ENERGI BAHAN BAKAR		TEMP. FEED WATER (Tfw)	ENTAPHI FEED WATER (hfw)
	PRESS. STEAM (Ps)	TEMP. STEAM (Ts)	ENTAPHI STEAM (hs)	MAIN STEAM FLOW (Q)	MASSA BAHAN BAKAR (Mbb)	LHV BAHAN BAKAR (LHVbb)		
[MW]	[Mpa]	[°C]	[Kj/kg]	[kg/h]	[kg/h]	[kJ/kg]	[°C]	[Kj/kg]
62.75	5.528	525.16	3486,51	253052	38696	18522,0	282.17	1248,06
62.79	5.487	528.03	3493,05	253578	41170	20554,8	281.87	1246,50
62.97	5.368	523.16	3483,49	253581	44025	18832,8	280.28	1238,18
63.32	5.452	529.03	3496,37	263664	43091	18522,0	281.45	1244,28
63.50	5.537	523.45	3482,38	263410	39262	20559,0	281.88	1246,40
63.58	5.561	525.16	3486,16	263620	38641	20559,0	282.83	1249,17
64.10	5.531	528.60	3494,54	264034	43997	18832,8	281.81	1246,20
64.29	5.659	528.17	3492,21	264420	38895	20559,0	283.69	1256,12
64.87	5.615	519.86	3473,1	264489	40056	18807,6	286.99	1273,63
67.39	5.779	527.78	3490,05	267011	44652	18841,2	282.28	1248,66
80.35	6.730	525.88	3475,53	363816	47737	20559,0	294.81	1316,04
80.86	6.829	529.46	3483,07	340364	54361	20554,8	290.34	1291,68
82.60	6.985	522.34	3464,31	345121	54768	18841,2	297.82	1332,61

Lanjutan Tabel 5. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW Februari 2019)

83.16	7.130	527.02	3474,04	346319	55025	18832,8	297.83	1322,67
83.39	7.027	524.88	3469,96	346597	52560	20559,0	297.71	1332,04
83.87	7.197	530.89	3482,66	343410	50211	20554,8	298.58	1366,84
84.12	7.098	517.38	3451,09	348250	54517	18841,2	297.12	1328,76
88.28	7.662	517.95	3446,25	362875	52186	18841,2	301.68	1354,23
99.20	8.459	523.10	3450,14	376134	62592	18841,2	309.71	1400,32
100.09	8.598	521.34	3440,95	391345	64460	18841,2	309.43	1398,68
100.15	8.507	522.39	3447,84	391354	64215	18841,2	310.11	1402,66
100.57	8.652	528.36	3461,03	391368	69323	18832,8	311.92	1413,33
100.64	8.698	523.68	3448,94	398556	61205	18841,2	312.66	1417,69
103.49	8.674	522.59	3446,49	397725	61326	20554,8	312.187	1414,87
103.98	8.820	527.74	3457,7	401160	62855	18522,0	315.89	1437,00
104.24	8.997	523.45	3445,07	398101	58790	20559,0	314.54	1428,90
109.39	9.310	528.17	3453,46	401160	60014	20554,8	317.39	1446,11

Tabel 6. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW (Maret 2019)

LOAD (MW)	BOILER				ENERGI BAHAN BAKAR		TEMP. FEED WATER (Tfw)	ENTAPHI FEED WATER (hfw)
	PRESS. STEAM (Ps)	TEMP. STEAM (Ts)	ENTAPHI STEAM (hs)	MAIN STEAM FLOW (Q)	MASSA BAHAN BAKAR (Mbb)	LHV BAHAN BAKAR (LHVbb)		
[MW]	[Mpa]	[°C]	[Kj/kg]	[kg/h]	[kg/h]	[kJ/kg]	[°C]	[Kj/kg]
61.38	5.100	523.40	3486,87	265578	43587	20643,0	278.08	1226,28
61.96	5.347	522.69	3482,60	264052	38415	20193,6	280.77	1240,75
62.47	5.405	526.82	3491,69	262664	43648	21630,0	28.79	1240,81
62.57	5.385	524.21	3485,76	263581	47258	16892,4	280.32	1238,36
62.78	5.468	528.26	3494,21	263034	42928	18593,4	282.45	1249,56
62.79	5.299	524.92	3488,34	263210	47405	21630,0	279.17	1232,34
62.83	5.368	524.21	3485,94	263620	45274	21630,0	279.93	1236,34

Lanjutan Tabel 6. Parameter nilai Boiler pada beban 60,80,100 MW (Maret 2019)

62.99	5.485	525.06	3496,11	264420	40653	20193,6	680.64	1240,04
63.13	5.489	525.39	3487,46	237211	43505	21407,4	281.61	1245,12

63.80	5.571	523.68	3482,56	264489	42221	21407,4	281.68	1245,48
80.07	6.640	526.78	3478,65	340364	52370	18593,4	293.29	1307,69
80.58	6.730	528.97	3486,71	363510	54216	21407,4	288.39	1281,13
81.06	6.920	526.11	3474,07	357519	54488	20651,4	297.04	1328,31
81.26	6.993	527.83	3477,43	348597	58602	21630,0	288.33	1280,82
81.79	6.987	524.30	3469,01	343816	52320	18568,2	298.21	1334,82
81.98	7.023	525.78	3472,18	345121	52587	18593,4	297.42	1330,04
82.34	6.459	523.49	3472,07	378250	57843	20651,4	296.17	1328,48
82.78	6.953	523.49	3467,41	372875	55286	20651,4	297.42	1330,40
83.24	7.116	523.16	3464,86	301160	51141	20643,0	298.94	1338,87
84.67	7.164	523.08	3464,16	337825	48227	20643,0	298.92	1338,74
90.25	7.509	532.18	3460,67	402160	58131	17556,0	305.42	1375,50
90.42	7.627	522.00	3456,52	431548	58451	17556,0	301.94	1355,70
91.95	7.994	524.00	3457,40	341931	58872	17707,2	307.64	1388,27
96.63	8.507	522.58	3448,30	321645	57133	17203,2	306.18	1397,25
97.09	8.240	522.53	3451,12	340756	58676	17203,2	307.00	1384,60
97.57	8.150	523.39	3454,22	323364	57179	17203,2	305.24	1374,49
100.96	8.465	525.64	3456,33	356154	52407	17203,2	310.06	1402,40
101.06	8.526	522.06	3446,81	352567	53658	17463,6	311.01	1407,93
102.03	8.654	524.30	3450,98	352340	59047	20643,0	311.75	1412,32
103.32	8.796	523.78	3488,11	339034	60720	20643,0	313.10	1420,32



LAMPIRAN C. TABEL HASIL ANALISA KINERJA *ECONOMIZER*

Tabel 7. Hasil analisis kinerja *economizer* (Januari 2019)

BEBAN	$\Delta T_{air\ eco}$ ($T_{out}-T_{in}$)	C_{Pair}	C_{Pgas}	$\Delta T_{gas\ eco}$ ($T_{in} - T_{out}$)	Energi panas yang diserap air (Q_{eco})	Energi panas yang dilepas gas buang (Q_{eco})	Ratio Efek. efisiensi
[MW]	[K]	[KJ/kg.K]	[KJ/kg.K]	[K]	[kJ/s]	[kJ/s]	[%]
61.76	66,66	1,008	1,122	31,400	2.942,22	3.438,88	85,56
62.83	66,32	1,008	1,122	31,025	2.874,17	3.809,86	75,44
62.99	67,99	1,008	1,122	36,470	3.457,20	4.129,50	83,72
63.19	68,41	1,008	1,122	38,660	3.485,22	4.271,37	81,59
63.47	66,18	1,008	1,122	32,344	3.131,47	3.505,29	89,34
63.52	67,87	1,008	1,122	31,993	3.326,15	3.697,36	89,96
63.56	67,42	1,008	1,122	35,000	3.324,62	3.907,87	85,08
63.92	69,12	1,008	1,122	37,088	3.620,86	4.080,13	88,74
64.16	65,98	1,008	1,122	34,072	3.306,76	3.740,47	88,40
64.54	66,92	1,008	1,122	32,380	3.385,83	3.491,22	96,98
80.45	70,71	1,008	1,122	27,664	4.212,97	3.581,42	117,63
80.50	71,55	1,008	1,122	41,666	4.457,67	5.182,82	86,01
83.22	71,63	1,008	1,122	33,211	4.409,36	4.521,18	97,53
84.15	72,29	1,008	1,122	33,981	4.718,11	4.217,74	111,86
84.23	70,52	1,008	1,122	28,676	4.469,84	4.008,15	111,52
84.24	72,62	1,008	1,122	33,768	4.792,59	4.528,65	105,83
85.98	72,29	1,008	1,122	35,482	4.758,82	4.409,30	107,93
86.31	70,84	1,008	1,122	25,573	4.455,17	3.559,45	125,16
88.12	66,78	1,008	1,122	30,288	4.349,47	3.911,55	111,20
89.75	79,97	1,008	1,122	29,535	5.566,11	3.866,54	143,96
100.09	76,20	1,008	1,122	35,364	6.117,28	5.178,69	118,12
100.20	74,60	1,008	1,122	28,296	5.431,21	4.071,65	133,39
100.21	74,41	1,008	1,122	33,580	5.968,29	4.710,28	126,71
104.13	76,00	1,008	1,122	35,341	6.101,28	5.197,80	117,38
105.78	67,88	1,008	1,122	32,843	5.170,24	4.972,63	103,97

Lanjutan Tabel 7. Hasil analisis kinerja *economizer* (Januari 2019)

108.67	76,49	1,008	1,122	32,010	6.294,98	4.813,76	130,77
109.08	76,27	1,008	1,122	31,503	6.041,42	4.510,06	133,95
109.57	79,20	1,008	1,122	34,363	6.964,60	5.151,38	135,20

Tabel 8. Hasil analisis kinerja *economizer* (Februari 2019)

BEBAN	$\Delta T_{air\ eco}$ ($T_{out}-T_{in}$)	$C_{P_{air}}$	$C_{P_{gas}}$	$\Delta T_{gas\ eco}$ ($T_{in}-T_{out}$)	Energi panas yang diserap air (Q_{eco})	Energi panas yang dilepas gas buang (Q_{eco})	Ratio Efek. efisiensi
[MW]	[K]	[KJ/kg.K]	[KJ/kg.K]	[K]	[kJ/s]	[kJ/s]	[%]
62.75	68,57	1,008	1,122	35,93	3.688,43	4.255,41	86,68
62.79	68,52	1,008	1,122	35,76	3.530,52	4.063,19	86,89
62.97	66,61	1,008	1,122	32,73	3.038,07	3.572,23	85,05
63.32	67,60	1,008	1,122	34,93	3.408,84	3.752,09	90,85
63.50	67,95	1,008	1,122	36,12	3.534,86	4.127,49	85,64
63.58	67,84	1,008	1,122	35,02	3.458,43	3.691,79	93,68
64.10	67,48	1,008	1,122	32,94	3.584,41	3.506,15	102,23
64.29	68,21	1,008	1,122	35,20	3.693,12	3.951,26	93,47
64.87	71,51	1,008	1,122	38,57	3.919,93	3.920,66	99,98
67.39	64,84	1,008	1,122	33,47	3.631,42	4.115,70	88,23
80.35	69,87	1,008	1,122	29,36	4.328,97	3.860,29	112,14
80.86	66,05	1,008	1,122	32,83	4.061,06	4.353,95	93,27
82.60	71,50	1,008	1,122	34,86	4.811,78	4.321,32	111,35
83.16	70,85	1,008	1,122	27,31	4.582,64	3.344,89	137,00
83.39	70,66	1,008	1,122	30,30	4.474,99	3.732,29	119,90
83.87	71,52	1,008	1,122	36,78	4.677,21	4.438,44	105,38
84.12	69,83	1,008	1,122	30,44	4.478,17	4.030,25	111,11
88.28	71,55	1,008	1,122	36,24	5.404,72	4.609,85	117,24
99,20	74,00	1,008	1,122	31,80	5.697,55	4.391,85	129,73
100,09	73,40	1,008	1,122	31,32	6.105,79	4.181,82	146,01

Lanjutan Tabel 8. Hasil analisis kinerja *economizer* (Februari 2019)

100,15	74,08	1,008	1,122	31,65	5.831,55	4.487,30	129,96
100,57	75,81	1,008	1,122	36,18	5.879,73	5.254,03	111,91
100,64	76,22	1,008	1,122	34,69	6.187,91	4.751,64	130,23
103,49	75,02	1,008	1,122	30,97	5.930,45	4.246,23	139,66
103,98	78,72	1,008	1,122	31,21	6.593,43	4.235,13	155,68
104,24	77,05	1,008	1,122	33,60	6.644,93	4.824,80	137,72
109,39	78,13	1,008	1,122	38,76	6.876,53	5.393,27	127,50

Tabel 9. Hasil analisis kinerja *economizer* (Maret 2019)

BEBAN	$\Delta T_{air\ eco}$ ($T_{out}-T_{in}$)	C_{Pair}	C_{Pgas}	$\Delta T_{air\ eco}$ ($T_{in}-T_{out}$)	Energi panas yang diserap air (Q_{eco})	Energi panas yang dilepas gas buang (Q_{eco})	Ratio Efek. efisiensi
[MW]	[K]	[KJ/kg.K]	[KJ/kg.K]	[K]	[kJ/s]	[kJ/s]	[%]
61.38	66,04	1,008	1,122	27,05	3.451,69	2.723,43	126,74
61.96	68,08	1,008	1,122	35,03	3.496,34	3.750,21	93,23
62.47	67,19	1,008	1,122	35,32	3.280,07	3.574,73	91,76
62.57	66,80	1,008	1,122	31,84	3.264,83	3.385,94	96,42
62.78	68,78	1,008	1,122	30,13	3.401,21	3.289,9	103,38
62.79	65,73	1,008	1,122	27,30	3.094,63	2.930,91	105,59
62.83	66,42	1,008	1,122	33,95	3.318,88	3.551,05	93,46
62.99	67,45	1,008	1,122	34,73	3.558,82	3.421,39	104,02
63.13	68,01	1,008	1,122	35,06	3.666,84	3.443,79	106,48
63.80	67,51	1,008	1,122	36,27	3.604,61	3.951,63	91,22
80.07	68,84	1,008	1,122	27,96	4.014,53	3.162,25	126,95
80.58	63,70	1,008	1,122	33,13	3.840,64	4.049,52	94,84
81.06	71,62	1,008	1,122	39,77	4.547,75	4.436,59	102,51
81.26	63,23	1,008	1,122	41,31	4.213,25	4.826,90	87,29
81.79	72,46	1,008	1,122	34,44	4.881,02	3.766,76	129,58
81.98	71,43	1,008	1,122	37,86	4.612,10	4.355,89	105,88
82.34	70,34	1,008	1,122	36,19	4.230,29	3.902,75	108,39

Lanjutan Tabel 9. Hasil analisis kinerja *economizer* (Maret 2019)

82.78	71,36	1,008	1,122	33,29	4.309,06	3.773,69	114,19
83.24	72,46	1,008	1,122	33,00	4.872,97	4.117,95	118,33
84.67	72,11	1,008	1,122	34,68	4.742,17	3.785,75	125,26
90.25	82,26	1,008	1,122	25,81	5.104,32	3.240,83	157,50
90.42	72,02	1,008	1,122	32,52	4.913,47	2.961,19	165,93
91.95	77,44	1,008	1,122	38,55	5.592,07	4.537,82	123,23
96.63	72,84	1,008	1,122	31,40	5.192,70	4.079,25	127,30
97.09	73,00	1,008	1,122	10,47	5.661,66	1.366,09	414,44
97.57	71,56	1,008	1,122	30,82	5.328,69	4.008,17	132,95
100.99	74,68	1,008	1,122	33,09	5.992,02	4.375,80	136,94
101.06	75,63	1,008	1,122	31,36	6.037,76	4.014,57	150,40
102.03	75,31	1,008	1,122	31,04	6.245,06	3.958,66	157,76
103.32	76,10	1,008	1,122	31,39	6.303,31	4.209,90	149,73



LAMPIRAN D. TABEL HASIL ANALISA DATA NILAI EFISIENSI BOILER

Tabel 8. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Januari 2019)

Beban	EFISIENSI BOILER DENGAN <i>ECONOMIZER</i>					EFISIENSI BOILER TANPA <i>ECONOMIZER</i>				Qlosses
	Energi Input Bahan Bakar (Q _{in})	Energi Output Bahan Bakar D. <i>eco</i> (Q _{out})	Efisiensi Boiler D. <i>eco</i>	Energi Panas boiler (Q) D. <i>eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	Energi Output Bahan Bakar T. <i>eco</i> (Q _{out})	Efisiensi Boiler T. <i>eco</i>	Energi Panas boiler (Q) T. <i>eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	
[MW]	[Kj/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[Kg/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[Kg/jam]	[kJ/jam]
61.76	836.069,42	667.312,03	80	352.089,99	2246,2	582.774,10	70	403.164,27	2592,5	60.494.30
62.83	808.690,08	679.434,70	84	350.027,35	2308,6	594.846,13	74	399.801,77	1921,1	59.925.68
62.99	914.919,20	693.007,86	76	418.510,53	2196,2	606.205,96	66	478.436,22	2108,4	58.831.80
63.19	739.120,75	679.319,72	92	408.040,51	2976,8	591.609,75	80	468.534,82	1933,9	57.714.58
63.47	1.028.404,81	677.551,34	66	380.360,41	1690,0	592.793,81	58	434.743,93	2021,2	49.774.42
63.52	860.565,41	679.372,91	79	393.420,18	2217,6	592.458,92	69	451.134,76	2288,6	57.695.70
63.56	823.510,87	679.182,47	82	396.086,83	2622,0	592.828,10	72	453.782,53	1961,7	51.074.28
63.92	861.484,61	676.019,90	78	416.310,69	2336,3	587.013,77	68	479.433,59	2028,7	63.122.89
64.16	936.962,30	680.040,32	73	403.627,49	1966,1	595.328,96	64	461.060,68	1721,2	57.433.19
64.54	804.699,75	678.498,98	84	405.467,30	2414,3	592.525,28	74	464.299,10	1478,6	54.383.52
80.45	947.212,43	854.712,23	90	460.903,44	3749,9	734.712,55	78	536.181,87	3274,3	79.031.89

Lanjutan Tabel 8. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Januari 2019)

80.50	977.207,33	850.263,45	87	477.680,64	3375,7	728.665,75	75	557.394,29	2892,9	79.713.65
83.22	950.773,04	859.145,14	90	471.065,94	3823,6	735.712,30	77	550.097,84	2778,3	80.193.06
84.15	990.524,44	871.859,68	88	498.835,56	4121,3	745.158,95	75	583.653,12	3634,6	101.965.37
84.23	1.053.434,47	873.296,98	83	487.261,98	3235,6	749.881,69	71	567.455,04	3522,4	84.817.55
84.24	1.266.731,99	863.221,91	68	495.675,06	2777,9	735.056,76	58	582.101,04	3591,3	85.842.74
85.98	985.796,53	874.908,96	89	501.640,14	4205,8	747.067,18	76	587.482,88	3223,4	75.278.42
86.31	1.327.495,78	884.919,75	67	479.462,60	2528,7	757.804,94	57	559.887,68	2677,4	82.345.85
88.12	1.144.229,15	917.061,68	80	506.289,08	3112,9	788.770,79	69	588.634,93	2365,4	86.425.97
89.75	1.076.919,01	944.535,07	88	516.175,1	4352,6	788.728,74	73	618.140,49	2165,4	80.425.08
100.09	1.181.869,68	953.105,09	81	584.850,35	4424,9	798.308,57	68	698.255,72	4055,6	110.195.39
100.20	1.216.793,91	957.667,99	79	534.796,86	4358,4	806.408,35	66	635.109,41	3706,2	107.225.34
100.21	1.180.038,13	962.023,38	82	592.496,364	5470,2	811.159,43	69	702.691,75	4521,5	119.077.19
104.13	1.192.183,11	971.811,20	82	586.461,17	4809,9	814.388,28	68	699.824,92	3746,8	113.405.37
105.78	1.358.692,33	981.351,14	72	570.171,48	3421,9	838.243,35	62	667.512,77	3669,9	113.363.74
108.67	1.496.085,13	947.051,85	63	604.002,08	3246,5	804.272,98	54	711.227,42	2922,9	97.341.28
109.08	1.451.196,51	911.122,54	63	570.570,55	4471,6	753.804,21	52	689.647,74	2757,2	100.312.54
109.57	1.246.345,78	939.471,50	75	627.682,59	3575,8	776.535,38	62	759.385,34	2598,4	131.702.74

Tabel 9. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Februari 2019)

Beban	EFISIENSI BOILER DENGAN <i>ECONOMIZER</i>					EFISIENSI BOILER TANPA <i>ECONOMIZER</i>				Qlosses
	Energi Input Bahan Bakar (Qin)	Energi Output Bahan Bakar <i>D.eco</i> (Qout)	Efisiensi Boiler <i>D.eco</i>	Energi Panas boiler (Q) <i>D.eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	Energi Output Bahan Bakar <i>T. eco</i> (Qout)	Efisiensi Boiler <i>T.eco</i>	Energi Panas boiler (Q) <i>T.eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	
[MW]	[Kj/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[kg/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[kg/jam]	[kj/jam]
62.75	716.727.31	650.926.67	91	494.193.61	3145,0	566.444.24	79	494.193.61	2009,6	64.140.36
62.79	846.241.11	654.224.14	77	474.792.24	2307,8	569.675.65	67	474.792.24	2736,8	61.359.65
62.97	829.114.02	651.429.81	79	418.482.53	2199,3	569.367.95	69	418.482.53	2379,5	52.717.04
63.32	798.131.50	680.526.54	85	464.818.95	2727,1	593.795.05	74	464.818.95	1922,3	59.240.06
63.50	807.187.45	676.086.80	84	476.843.83	2503,0	588.979.49	73	476.843.83	2371,7	61.436.76
63.58	794.420.31	676.339.25	85	467.126.14	2477,5	589.715.30	74	467.126.14	2180,5	59.828.42
64.10	828.586.70	680.404.00	82	488.897.51	2718,4	593.638.20	72	488.897.51	2160,2	62.344.69
64.29	799.642.30	679.395.19	85	496.809.98	2663,2	591.266.91	74	496.809.98	2317,8	64.444.09
64.87	753.357.22	674.525.23	90	499.266.34	3269,6	581.735.62	77	499.266.34	2392,6	68.680.50
67.39	841.297.26	683.065.67	81	511.707.67	2730,8	598.475.78	71	511.707.67	2819,8	63.369.15
80.35	981.424.98	912.791.78	93	556.811.11	3508,4	785.657.01	80	556.811.11	2346,8	77.553.34
80.86	1.117.379.43	857.549.82	77	554.888.88	2698,1	745.870.26	67	554.888.88	3132,3	72.263.72
82.60	1.031.894.84	858.751.81	83	599.853.02	3796,7	735.694.43	71	599.853.02	3065,7	85.957.71

Lanjutan Tabel 9. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Februari 2019)

83.16	1.036.274.82	865.096.89	83	578.738.80	3559,6	745.060.30	72	578.738.80	2690,8	80.302.95
83.39	1.080.581.04	864.246.20	80	565.692.18	3138,4	740.996.65	69	565.692.18	3019,8	80.672.96
83.87	1.032.077.06	860.660.66	83	587.086.81	3710,2	726.593.74	70	587.086.81	3252,7	91.451.74
84.12	1.027.165.70	861.411.00	84	568.217.12	3591,1	739.101.42	72	568.217.12	3081,2	80.679.71
88.28	983.246.86	891.007.63	91	664.409.93	4729,3	759.141.75	77	664.409.93	4029,4	98.330.24
99.20	1.179.308.39	915.134.02	78	671.018.96	4352,6	771.006.99	65	671.018.96	4126,1	105.680.66
100.09	1.214.503.75	947.947.16	78	721.822.48	4691,1	799.232.15	66	721.822.48	3451,4	113.240.32
100.15	1.209.887.65	950.665.39	79	685.006.50	4515,8	800.389.37	66	685.006.50	4657,5	108.282.10
100.57	1.305.546.19	955.705.00	73	678.449.74	4257,7	801.404.25	61	678.449.74	3570,3	109.537.25
100.64	1.153.175.64	967.837.44	84	706.157.37	5144,0	809.566.87	70	706.157.37	4024,4	115.478.00
103.49	1.260.543.66	963.460.97	76	685.995.84	4115,3	808.026.06	64	685.995.84	3955,2	110.671.53
103.98	1.164.200.31	976.279.02	84	730.152.84	5609,2	810.624.01	70	730.152.84	4302,8	123.892.32
104.24	1.208.663.61	963.197.40	80	747.440.27	4829,5	802.639.29	66	747.440.27	3801,9	124.592.94
109.39	1.233.575.76	970.582.55	79	762.776.84	4973,1	805.268.52	65	762.776.84	3667,1	129.919.61

Tabel 10. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Maret 2019)

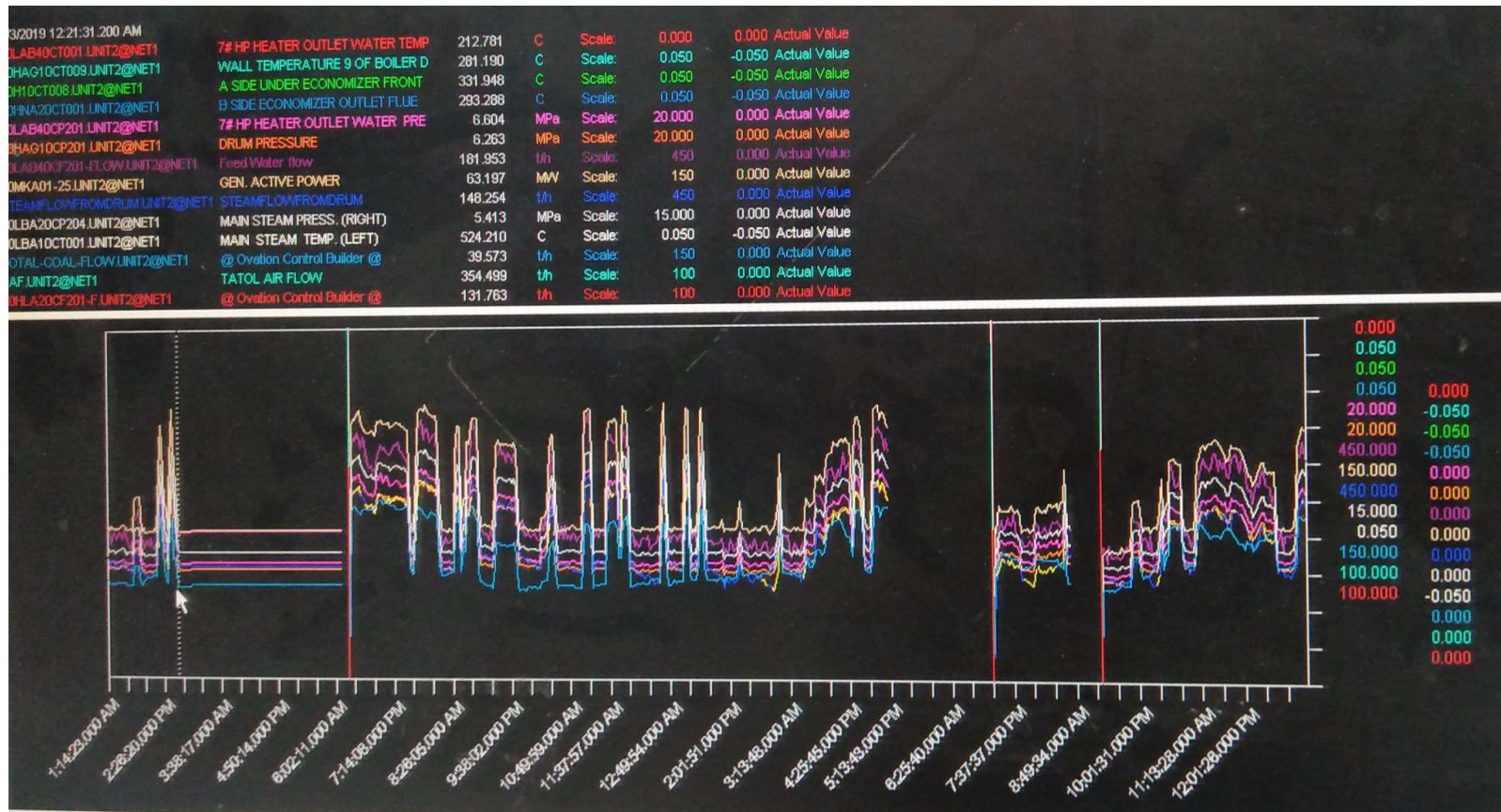
Beban	EFISIENSI BOILER DENGAN <i>ECONOMIZER</i>					EFISIENSI BOILER TANPA <i>ECONOMIZER</i>				Qlosses
	Energi Input Bahan Bakar (Qin)	Energi Output Bahan Bakar <i>D.eco</i> (Qout)	Efisiensi Boiler <i>D.eco</i>	Energi Panas boiler (Q) <i>D.eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	Energi Output Bahan Bakar <i>T. eco</i> (Qout)	Efisiensi Boiler <i>T.eco</i>	Energi Panas boiler (Q) <i>T.eco</i>	Penggunaan Bahan Bakar per jam	
[MW]	[Kj/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[kg/jam]	[Kj/jam]	[%]	[kJ/jam]	[kg/jam]	[kj/jam]
63.13	931.328.93	679.480.25	73	433.042.94	2178,2	592.094.36	64	496.954.79	1898,0	63.911.85
62.47	944.106.24	677.019.61	72	393.593.37	1893,6	591.225.14	63	450.708.90	1653,6	57.115.52
62.83	979.276.62	677.963.01	69	402.673.90	1847,8	592.951.81	61	460.405.05	1616,1	57.731.15
63.80	903.841.83	681.408.08	75	427.872.86	2213,9	594.119.23	66	490.736.56	1930,3	62.863.69
62.79	1.025.370.15	677.286.24	66	380.447.32	1642,3	593.404.70	58	434.225.98	1438,9	53.778.65
62.78	798.301.03	676.961.38	85	393.436.58	2852,2	591.538.15	74	450.252.23	2492,3	56.815.64
62.99	820.930.42	681.140.56	83	426.383.69	2544,9	594.745.17	072	488.322.13	2222,1	61.938.43
61.96	775.737.14	680.227.06	88	412.435.38	2641,7	592.789.97	76	473.269.99	2302,1	60.834.61
61.38	899.766.44	612.041.85	68	423.229.92	1971,5	536.236.81	60	483.059.76	1727,3	59.829.84
62.78	798.177.47	682.290.63	85	397.637.50	2728,4	593.685.23	74	456.983.48	2374,0	59.345.97
80.58	1.160.623.59	858.158.39	74	476.376.60	2355,2	750.700.03	65	544.567.15	2060,3	68.190.55
81.26	1.267.561.26	912.450.81	72	524.304.44	2490,3	798.489.70	63	599.133.61	2179,3	74.829.16
83.24	1.055.703.66	890.607.00	84	512.180.75	3594,4	760.081.81	72	600.135.08	3067,6	87.954.32

Lanjutan Tabel 10. Hasil analisa efisiensi boiler dan penghematan bahan bakar (Maret 2019)

84.67	995.549.96	868.630.51	87	500.683.06	3647,9	740.915.03	74	586.988.47	3111,5	86.305.41
80.07	973.736.35	864.476.51	89	453.491.83	3425,1	746.410.78	77	525.224.24	2957,3	71.732.40
81.98	977.771.12	863.042.70	88	495.487.69	3937,1	739.297.49	76	578.423.48	3372,6	82.935.79
82.34	1.194.538.93	946.135.63	79	461.810.74	2956,1	810.812.91	68	538.885.84	2533,3	77.075.09
81.06	1.125.253.48	934.140.61	83	488.074.57	3286,9	800.100.26	71	569.841.43	2815,3	81.766.86
82.78	1.141.733.30	751.583.02	66	462.237.40	2472,6	643.581.93	56	539.806.61	2117,3	77.569.21
81.79	971.488.224	844.101.36	87	514.984.31	4115,1	720.982.73	74	602.925.62	3514,9	87.941.30
102.03	1.218.907.22	977.397.59	80	605.563.56	4519,7	819.867.50	67	721.917.10	3791,2	116.353.53
103.32	1.253.442.96	1.063.692.45	85	613.533.97	4842,9	892.350.63	71	731.339.70	4062,8	117.805.73
101.06	937.061.84	831.312.90	89	583.078.90	5700,0	697.156.27	74	695.283.15	4780,1	112.204.25
100.99	901.568.10	785.055.03	87	590.293.32	5627,1	660.636.31	73	701.464.22	4735,3	111.170.90
97.09	1.009.414.96	832.136.37	82	574.151.58	4999,5	704.179.08	70	678.481.40	4230,7	104.329.82
97.57	983.661.77	791.155.29	80	554.776.29	4575,9	672.509.81	68	652.651.00	3889,7	97.874.71
96.63	982.870.42	869.856.28	89	523.749.97	5140,6	730.489.66	74	623.673.72	4317,0	99.923.74
90.42	1.026.165.75	869.663.62	85	513.419.40	4316,0	740.679.80	72	602.827.52	3675,9	89.408.12
90.25	1.020.547.83	881.682.93	86	463.487.41	4563,4	734.688.79	72	556.220.46	3802,6	92.733.04
91.90	1.040.458.27	836.139.89	80	353.255.99	4563,0	701.505.42	67	637.947.75	3902,8	102.721.75

LAMPIRAN E. GAMBAR PENGAMBILAN DATA

BEBAN 60 MW



BEBAN 80 MW



BEBAN 100 MW

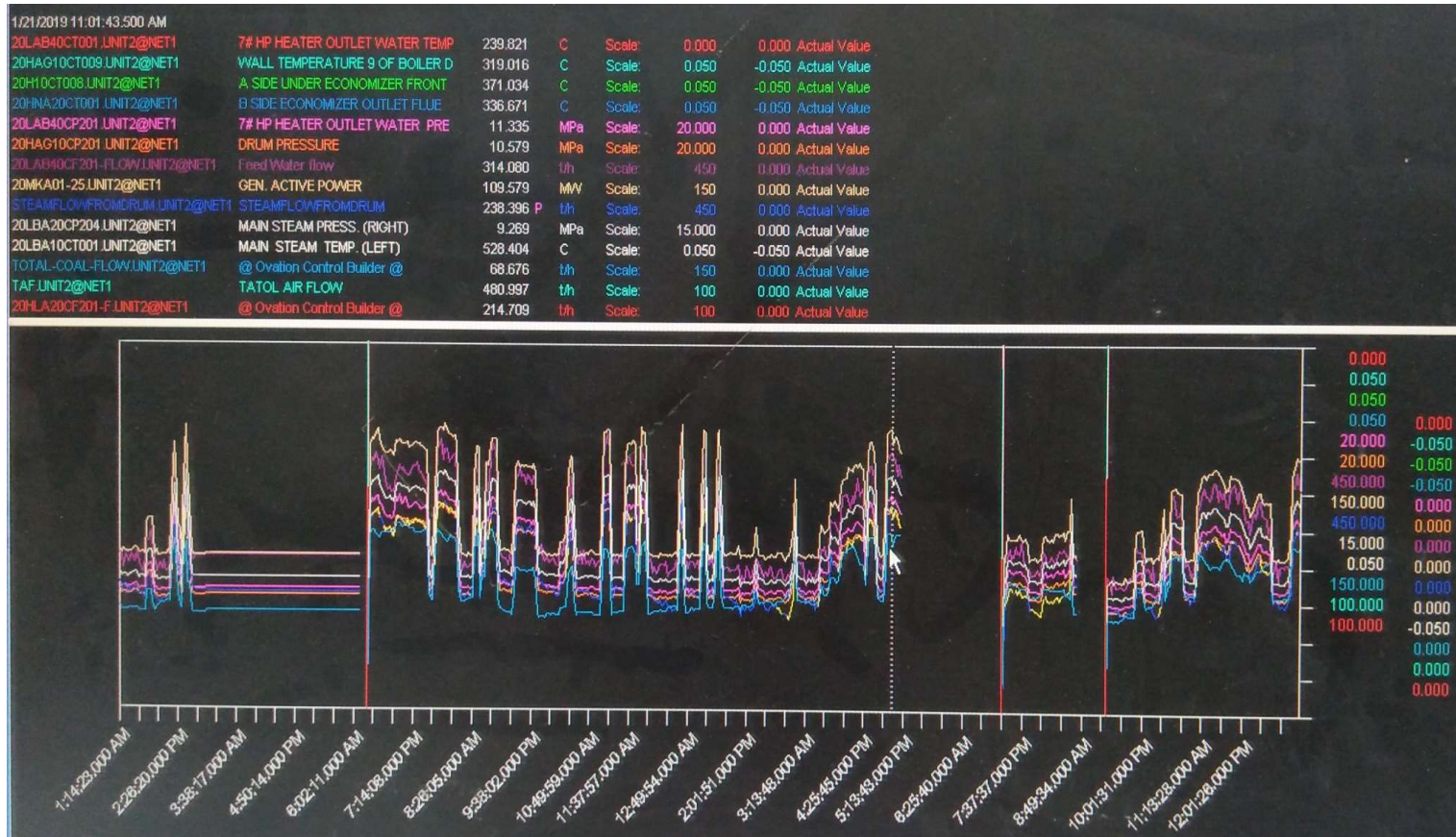


TABLE A-4

Saturated water—Temperature table (Continued)

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7476	3.3596	6.1072
250	3976.2	0.001252	0.050085	1080.7	1521.1	2601.8	1085.7	1715.3	2801.0	2.7933	3.2788	6.0721
255	4322.9	0.001263	0.045941	1104.7	1495.8	2600.5	1110.1	1689.0	2799.1	2.8390	3.1979	6.0369
260	4692.3	0.001276	0.042175	1128.8	1469.9	2598.7	1134.8	1661.8	2796.6	2.8847	3.1169	6.0017
265	5085.3	0.001289	0.038748	1153.3	1443.2	2596.5	1159.8	1633.7	2793.5	2.9304	3.0358	5.9662
270	5503.0	0.001303	0.035622	1177.9	1415.7	2593.7	1185.1	1604.6	2789.7	2.9762	2.9542	5.9305
275	5946.4	0.001317	0.032767	1202.9	1387.4	2590.3	1210.7	1574.5	2785.2	3.0221	2.8723	5.8944
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.2	1358.2	2586.4	1236.7	1543.2	2779.9	3.0681	2.7898	5.8579
285	6914.6	0.001349	0.027756	1253.7	1328.1	2581.8	1263.1	1510.7	2773.7	3.1144	2.7066	5.8210
290	7441.8	0.001366	0.025554	1279.7	1296.9	2576.5	1289.8	1476.9	2766.7	3.1608	2.6225	5.7834
295	7999.0	0.001384	0.023528	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2076	2.5374	5.7450
300	8587.9	0.001404	0.021659	1332.7	1230.9	2563.6	1344.8	1404.8	2749.6	3.2548	2.4511	5.7059
305	9209.4	0.001425	0.019932	1360.0	1195.9	2555.8	1373.1	1366.3	2739.4	3.3024	2.3633	5.6657
310	9865.0	0.001447	0.018333	1387.7	1159.3	2547.1	1402.0	1325.9	2727.9	3.3506	2.2737	5.6243
315	10556	0.001472	0.016849	1416.1	1121.1	2537.2	1431.6	1283.4	2715.0	3.3994	2.1821	5.5816
320	11,284	0.001499	0.015470	1445.1	1080.9	2526.0	1462.0	1238.5	2700.6	3.4491	2.0881	5.5372
325	12,051	0.001528	0.014183	1475.0	1038.5	2513.4	1493.4	1191.0	2684.3	3.4998	1.9911	5.4908
330	12,858	0.001560	0.012979	1505.7	993.5	2499.2	1525.8	1140.3	2666.0	3.5516	1.8906	5.4422
335	13,707	0.001597	0.011848	1537.5	945.5	2483.0	1559.4	1086.0	2645.4	3.6050	1.7857	5.3907
340	14,601	0.001638	0.010783	1570.7	893.8	2464.5	1594.6	1027.4	2622.0	3.6602	1.6756	5.3358
345	15,541	0.001685	0.009772	1605.5	837.7	2443.2	1631.7	963.4	2595.1	3.7179	1.5585	5.2765
350	16,529	0.001741	0.008806	1642.4	775.9	2418.3	1671.2	892.7	2563.9	3.7788	1.4326	5.2114
355	17,570	0.001808	0.007872	1682.2	706.4	2388.6	1714.0	812.9	2526.9	3.8442	1.2942	5.1384
360	18,666	0.001895	0.006950	1726.2	625.7	2351.9	1761.5	720.1	2481.6	3.9165	1.1373	5.0537
365	19,822	0.002015	0.006009	1777.2	526.4	2303.6	1817.2	605.5	2422.7	4.0004	0.9489	4.9493
370	21,044	0.002217	0.004953	1844.5	385.6	2230.1	1891.2	443.1	2334.3	4.1119	0.6890	4.8009
373.95	22,064	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

Source: Tables A-4 through A-8 are generated using the Engineering Equation Solver (EES) software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. The routine used in calculations is the highly accurate Steam_IAPWS, which incorporates the 1995 Formulation for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use, issued by The International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS). This formulation replaces the 1984 formulation of Haar, Gallagher, and Kell (NBS/NRC Steam Tables, Hemisphere Publishing Co., 1984), which is also available in EES as the routine STEAM. The new formulation is based on the correlations of Saul and Wagner (J. Phys. Chem. Ref. Data, 16, 893, 1987) with modifications to adjust to the International Temperature Scale of 1990. The modifications are described by Wagner and Pruss (J. Phys. Chem. Ref. Data, 22, 783, 1993). The properties of ice are based on Hyland and Wexler, "Formulations for the Thermodynamic Properties of the Saturated Phases of H₂O from 173.15 K to 473.15 K," *ASHRAE Trans.*, Part 2A, Paper 2793, 1983.

TABLE A-5
Saturated water—Pressure table (Continued)

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases (Continued)

(b) At various temperatures

Temperature, K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k
	kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K	
	<i>Air</i>			<i>Carbon dioxide, CO₂</i>			<i>Carbon monoxide, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hydrogen, H₂</i>			<i>Nitrogen, N₂</i>			<i>Oxygen, O₂</i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Table A-4M. Originally published in *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.

TABEL CP GAS

Flue gases properties table

density, specific heat, viscosity

This table is for flue gases. It gives values of some physical properties - density and viscosity in relation to the temperature of gases. It is for following chemical composition:

Temperature [°C]	c_p [kJ/kgK]	ρ [kg/m ³]	$\mu \cdot 10^6$ [Pa*s]	$\nu \cdot 10^6$ [m ² /s]
0.0	1.042	1.295	15.8	12.2
100.0	1.068	0.95	20.4	21.54
200.0	1.097	0.748	24.5	32.8
300.0	1.122	0.617	28.2	45.81
400.0	1.151	0.525	31.7	60.38
500.0	1.185	0.457	34.8	76.3
600.0	1.214	0.405	37.9	93.61
700.0	1.239	0.363	40.7	112.1
800.0	1.264	0.33	43.4	131.8
900.0	1.29	0.301	45.9	152.5
1000.0	1.306	0.275	48.4	174.3
1100.0	1.323	0.257	50.7	197.1
1200.0	1.34	0.24	53.0	221.0

Copyright: www.pipeflowcalculations.com

LAMPIRAN G. TABEL DATA SPESIFIKASI BATU BARA

SAMPEL BATU BARA



Certificate No. 00326/CODBAM
Date: January 22, 2019



Issuing Office:
Jl. Urip Sumoharjo No. 90 A, Makassar 90232, Indonesia
Phone/Facs: +62 411 451890/451796
Email: makassar@sucofindo.co.id

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

BARGE / TUG BOAT : BG. DY 3006 / TB. KYK 06

CONSIGNMENT : 8,566.134 MT of Coal in Bulk

PRINCIPAL : PT. BOSOWA ENERGI
Jl. Urip Sumoharjo No. 226, Karampuang
Panakukang Makassar 90230

INTERVENTION OF SURVEY : Sampling for Analysis

DISCHARGING PORT : Jetty PLTU JENEPONTO

DISCHARGING DATE : 13/01/2019 to 17/01/2019

STANDARD METHOD : ASTM STANDARD

Gross sample were taken during discharging from the barge in accordance with ASTM Standard Methods. Sample were prepared and analysed with ASTM Standard Methods and showed the following results :

PARAMETERS	UNIT	TEST RESULTS			METHODS
		AR	ADB	DB	
Total Moisture	%wt	24.6	-	-	ASTM D - 3302M - 2017
Moisture in Analysis the Sample	%wt	-	17.8	-	ASTM D - 3173M - 2017
Ash Content	%wt	4.0	4.4	5.4	ASTM D - 3174 - 2012
Volatile Matter	%wt	36.6	40.0	48.6	ASTM D - 3175 - 2017
Fixed Carbon	%wt	34.7	37.8	46.0	ASTM D - 3172 - 2013
Total Sulfur	%wt	0.10	0.11	0.13	ASTM D - 4239 - 2017
Gross Calorific Value	Kcal/kg	4892	5337	6491	ASTM D - 5865 - 2013
Hardgrove Grindability Index	Index	52			ASTM D - 409 - 2016
Size :					
Less than 50 mm	%wt	93.6			ASTM D - 4749 - 87/2012
Less than 2.38 mm	%wt	16.0			ASTM D - 4749 - 87/2012
Less than 1.00 mm	%wt	5.4			ASTM D - 4749 - 87/2012

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id

Dept. of Inspection & Testing



7301031900007



DATA BATU BARA

PT BOSOWA ENERGI

LAPORAN PENERIMAAN BATUBARA PERIODE JANUARI 2019 UNIT 1&2

No	Coal Supplier	Total (ton)	Sandar	Unloading Star	Unloading Finish	BARGE & TUGBOAT	Calorie (Kcal/Kg)
1	Kideco Coal	8,505.712	January 4, 2019 22:45	January 4, 2019 23:15	January 7, 2019 05:40	DY 3002/KYK 02	4447
2	SSP Coal	10,497.978	January 7, 2019 08:30	January 7, 2019 09:00	January 10, 2019 12:25	KYK BSW 02/ KYK BSW 01	4978
3	Adaro Coal	10,217.376	January 10, 2019 15:20	January 10, 2019 15:35	January 13, 2019 09:50	PULAU TIGA 345/ BOMAS CAHAYA	4921
4	SSP Coal	8,566.134	January 13, 2019 12:00	January 13, 2019 12:20	January 17, 2019 22:05	DY 3006/KYK 06	4892
5	Kideco Coal	8,490.007	January 18, 2019 00:40	January 18, 2019 01:25	January 21, 2019 01:30	DY 3005/KYK 05	4313
6	Kideco Coal	8,544.040	January 21, 2019 08:40	January 21, 2019 09:30	January 25, 2019 10:50	DY 3002/KYK 02	4321
7	SSP Coal	10,649.173	January 26, 2019 08:25	January 26, 2019 13:35	January 31, 2019 23:10	PULAU TIGA 338/ BOMAS EXPLORER	5048
Grand Total		65,470.420					4728

LAPORAN PENERIMAAN BATUBARA PERIODE FEBRUARI 2019 UNIT 1&2

No	Coal Supplier	Total (ton)	Sandar	Unloading Star	Unloading Finish	BARGE & TUGBOAT	Calorie (Kcal/Kg)
1	Adaro Coal	10624.965	February 1, 2019 04:15	February 1, 2019 05:00	February 4, 2019 18:00	PULAU TIGA 345/ BOMAS PROGRESS	4894
2	Kideco Coal	8,492.776	February 4, 2019 20:20	February 4, 2019 20:55	February 7, 2019 10:45	DY 3006/KYK 06	4410
3	Kideco Coal	8,504.125	February 7, 2019 16:10	February 7, 2019 17:20	February 10, 2019 03:50	DY 3005/KYK 05	4484
4	Adaro Coal	12,410.515	February 10, 2019 07:15	February 10, 2019 09:30	February 14, 2019 13:00	WINBUILD 358/ CREST OMEGA 1	4895
5	SSP Coal	8,557.722	February 14, 2019 15:45	February 14, 2019 17:30	February 17, 2019 07:05	DY 3002/KYK 02	5198
6	Kideco Coal	8,516.068	February 17, 2019 08:30	February 17, 2019 09:35	February 20, 2019 04:20	DY 3006/KYK 06	4486
7	Kideco Coal	10,525.902	February 26, 2019 01:10	February 26, 2019 01:40	February 28, 2019 23:15	KYK BSW 02/ KYK BSW 01	4478
Grand Total		67,632.073					4704

**LAPORAN PENERIMAAN BATUBARA PERIODE MARET 2019
UNIT1&2**

No	Coal Supplier	Total (ton)	Standar	Unloading star	Unloading Finish	BARGE & TUGBOAT	Calorie (KcalKg)
1	SSP Coal	8523.654	March 4, 2019 17:05	March 4, 2019 17:40	March 7, 2019 02:50	DY 3002/KYK 02	5097
2	SSP Coal	8488.810	March 7, 2019 03:50	March 7, 2019 04:15	March 11, 2019 03:50	DY 3005/KYK 05	5150
3	Kideco Coal	8502.944	March 11, 2019 05:10	March 11, 2019 05:40	March 13, 2019 15:20	DY 3001/KYK 01	4022
4	Adaro Coal	12,538.039	March 13, 2019 19:30	March 13, 2019 20:25	March 18, 2019 07:00	WINBUILD 358/ CREST OMEGA 1	4808
5	Adaro Coal	12,700.866	March 18, 2019 09:55	March 18, 2019 10:45	March 22, 2019 15:30	PULAU TIGA 3708/ BOMAS EXPANDER	4915
6	Kideco Coal	8,495.418	March 22, 2019 17:50	March 22, 2019 18:00	March 25, 2019 17:20	DY 3006/KYK 06	4427
7	SSP Coal	8,416.990	March 25, 2019 19:20	March 25, 2019 19:30	March 28, 2019 12:50	DY 3005/KYK 05	4917
8	Kideco Coal	8,507.982	March 28, 2019 16:55	March 28, 2019 17:50	April 1, 2019 05:55	DY 3003/KYK 03	4421
Grand Total		76,174.703					4735

LAMPIRAN H. SPESIFIKASI BOILER

Data Spesifikasi Boiler

Equipment list 主要设备清册								
No. 编号	Mark system NO. 标识系统编码	Name 名称	Type & Specification 规格及技术要求	Unit 单位	Quantity 数量			Manufactory 供货厂家
					#1 unit #1 机组	#2 unit #2 机组	Total 总计	
One 一	Boiler and flue gas and air, pulverized coal system auxiliary equipments 锅炉和烟风、煤粉系统辅机设备							
1	10H	Boiler 锅炉	ultra high pressure, reheat natural circulation four-corner tangential firing drum boiler DG410/13.8-II14 超高压再热自然循环四角切圆汽包炉 Maximum continuous rating: 410t/h 锅炉最大连续蒸发量: 410t/h Superheater outlet steam pressure (BMCR Condition): 13.8Mpa.g 过热器出口蒸汽压力(BMCR 工况): 13.8 Mpa.g Superheater outlet steam temperature (BMCR Condition): 540℃ 过热器出口蒸汽温度(BMCR 工况): 540℃ Reheat steam flow (BMCR Condition): 335t/h 再热蒸汽流量(BMCR 工况): 335t/h Reheater inlet/outlet steam pressure (BMCR Condition): 2.54/2.36Mpa.a 再热器进/出口蒸汽压力(BMCR 工况): 2.54/2.36MPa.a Reheater inlet/outlet steam temperature (BMCR Condition): 317℃/540℃ 再热器进/出口蒸汽温度(BMCR 工况): 317/540℃ Feed water temperature (BMCR Condition): 243℃ 给水温度(BMCR 工况): 243℃ Guaranteed efficiency (BRL 工况): ≥91%(Base on LHV) 保证效率(BRL 工况): ≥91% (按低位发热量)	Set 台	1	1	2	Dongfang boiler group Co.Ltd 东方锅炉(集团)股份有限公司
2	10HLD11 AC001 10HLD12 AC001	Gas air preheater 空气预热器	Trisector regenerative air preheater (BMCR Condition) Primary air inlet/outlet temperature: 27/346℃, Secondary air inlet/outlet temperature: 27/353℃, Flue gas temperature at outlet of GAH: 133℃ (After Modification) 三分仓再生式空气预热器 (BMCR 工况) 一次风进/出口温度: 27/346℃, 二次风进/出口温度: 27/353℃, 排烟温度: 133℃ (修正后)	Set 台	2	2	4	Packaged with boiler 东方锅炉(集团)股份有限公司 配套供货
3	10HFE10 AN001 10HFE20 AN001	Primary air fan 一次风机	Model: GJ24142, one suction two supports centrifugal type, 2x50%BMCR, Q _m =32.57m ³ /s, P _m =16589 Pa; medium density: γ=1.2278kg/m ³ ; one left-whirl and one right-whirl for each boiler GJ24142 型, 单吸双支承离心式, 2x50%BMCR, Q _m =32.57m ³ /s, P _m =16589 Pa; 介质重度 γ=1.2278kg/m ³ , 每炉左右旋各一台	Set 台	2	2	4	Chengdu power machinery works 成都电力机械厂

LAMPIRAN I PERFORMANSI EFISIENSI BOILER UNIT 2 (COMISIONING)

Report for Boiler Performance Test of Unit 2
2号机组锅炉性能试验报告

项目 PARAMETER	工况 1 CONDITION 1 100%MCR-1		工况 2 CONDITION 2 100%MCR-2		工况 3 CONDITION 3 75%MCR		工况 4 CONDITION 4 50%MCR	
	UCV (HHV/LLV)	CV (HHV/LLV)	UCV (HHV/LLV)	CV (HHV/LLV)	UCV	CV	UCV	CV
锅炉散热损失 Heat loss of surface radiation and convection	/	/	/	/	0.642	0.642	0.718	0.718
灰渣物理热损失 Heat loss in ash and slag	/	/	/	/	0.022	0.022	0.019	0.019
总热损 Total losses	11.260 6.932	11.562 7.275	11.133 6.862	11.447 6.898	6.609	6.374	7.139	6.712
锅炉热效率 Thermal efficiency	88.740 93.088	88.418 92.725	88.867 93.338	88.553 93.002	93.291	93.828	92.861	93.288

UCV: Uncorrected Value;

CV: Corrected Value;

额定负荷下（即工况 1 和工况 2）锅炉热效率按 ASME PTC 4-1998 标准计算，75%额定负荷（即工况 3）和 50%额定负荷（即工况 4）下锅炉热效率按 GB 10184-88 标准计算。

The thermal efficiency at 100%MCR load (CONDITION 1 and CONDITION 2) was calculated in ASME PTC 4-1998 standard; the thermal efficiencies at 75%MCR and 50%MCR load were calculated in GB 10184-88 standard.

7.2 锅炉断油（切除稳燃措施）最低出力试验 THE MINIMUM LOAD OF STABLE FIRING TEST WITHOUT OIL SUPPORTING

锅炉断油（切除稳燃措施）条件下最低出力工况平均蒸汽流量为 201.2 t/h (49.3%BMCR)；机组平均负荷 62.2MW (49.8%BRL)；锅炉燃烧稳定；炉膛负压变化平稳；主蒸汽平均温度 525℃，平均压力 6.96Mpa；再热蒸汽平均温度 520℃，平均压力 1.13Mpa；各受热面金属壁温未出现超温现象。试验表明锅炉断油（切除稳燃措施）条件下最低出力不大于 50%BMCR，满足锅炉厂所提供的性能要求。

In the minimum load of stable firing test without oil supporting, the average steam flow was 201.2t/h (49.3%BMCR); the average electric load was 62.2MW (49.8%BRL); the combustion was stable; furnace pressure was fluctuated evenly; the average temperature of superheated and reheated steam was 525℃ and 520℃; the average pressure of superheated and reheated steam was 6.96Mpa and 1.13Mpa; and temperature of all tube wall

LAMPIRAN I. SURAT PENELITIAN PENGAMBILAN DATA



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90265
Telepon : (0411)-585365, 585367, 585368; Faksimili : (0411)-586043
Website : <http://www.pnupolupg.ac.id/>
E-Mail : pnup@pnupolupg.ac.id

Nomor : B/ 471 /PL10/PK.03.08/2019
Hal : Permohonan izin Pengambilan Data

12 Februari 2019

Yth. Pimpinan PT Bosowa Energi
Desa Punagaya, Kec. Bangkala Kab. Jeneponto

Sehubungan dengan penyelesaian Tugas Akhir (Skripsi) mahasiswa pada Jurusan Teknik Mesin Program Studi S1 Terapan (D4) Teknik Pembangkit Energi maka kami mengharapkan bantuan Bapak/Ibu kiranya dapat memberikan izin penelitian dan Pengambilan Data pada Perusahaan Bapak/ Ibu Pimpin

Adapun nama mahasiswa tersebut Sebagai berikut :

No	Nama / Stambuk	Judul Skripsi
1	Suhardi 442 15 010	Analisis Pemakaian Economizer Terhadap Peningkatan Boiler Pulverised pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto
2	Karniani 442 15 009	

Demikian Permohonan kami atas perhatian dan kerja sama yang baik, diucapkan terima kasih



Annad Zubair Sultan, S. ST, M.T., Ph.D
NIP. 19740423 199903 1 00 2

Tembusan :
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

AZAPRHEM

**LAMPIRAN K. SURAT KETERANGAN TELAH MELAKUKAN
PENELITIAN**

PT BOSOWA ENERGI

**JENEPONTO EXISTING COAL FIRED STEAM POWER PLANT 2X125 MW
JENEPONTO EXPANSION COAL FIRED STEAM POWER PLANT 2X135 MW**

Jeneponto, 4 April 2019
Ref. : SL/GM/LO-PNUP/VI-19/0144

SURAT KETERANGAN

Dengan hormat,

Yang bertandatangan dibawah ini menerangkan bahwa:

Nama:

1. Suhardi 44215010
2. Kamriani 44215009

Mahasiswa Ploiteknik Negeri Ujungpandang Jurusan Teknik Mesin program studi Teknik Pembangkit Energi, telah melaksanakan pengambilan data di PLTU jeneponto untuk keperluan penulisan Tugas Akhir yang berjudul:

"Analisis Pemakaian Ekonomizer Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pulpurized pada
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU Jeneponto)"

Demikian Keterangan ini kami berikan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya, dan atas perhatian dan kerjasama Bapak/Ibu, diucapkan terimakasih

Hormat kami,



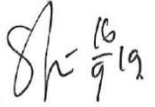


MUCHAMAD MUSLICH
General Manager

LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : Kamriani / Subardi
 NIM : 44.215009 / 44.215010

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Apollo, ST, M.Eng.	<ul style="list-style-type: none"> - efekten Boiler Tanpa ekonomizer perlu diteliti - daftar Daftar pustaka dicocokkan dengan isi laporan yang terkait dengan penelitian. 	
2.	Sukma Abadi, ST, MT	<ul style="list-style-type: none"> - persamaan no. ③ hal 38 dibedakan antara a & b - sederhanakan persamaan no. ② hal. 28. - 4.3 bagian (a) diperbaiki hal. 57 dan 4.3 bagian (b) - 4.4. kata penghematan → pengurangan Bahan Bakar. - simbol h₂O dan H₂O ulas analisisnya. - pada analisa dicantumkan nomor nomor persamaan. - persamaan no. ③ - Judul tabel tetap dimasukkan - Daftar tabel 	
3.	Sri nurash	<ul style="list-style-type: none"> - Pendahuluan diteliti - Bab 2 diteliti - Tabel diteliti dan format. 	
4.	Ir. Charissa Ghirana MT	<ul style="list-style-type: none"> - 2.2.2 di pembahasan dimandek. 4/ 80 dan 100. 	

- Perulangan penghematan Bahan Bakar 2 & 3
 dipresentasikan Makassar,
 Ketua / Sekretaris Panitia Ujian Sidang
 - Persetujuan efekten dipeleki
 - Gandengkan 2.4 & 3.5

NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.

