

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR ECONOMIZER TERHADAP  
EFISIENSI BOILER  
PT INDONESIA CHEMICAL ALUMINA KABUPATEN SANGGAU  
KALIMANTAN BARAT**

**SKRIPSI**

**BIDANG KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**LEO KRISTI**

NIM : 151210238

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAN PONTIANAK**

**2020**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR ECONOMIZER TERHADAP**  
**EFISIENSI BOILER PT INDONESIA CHEMICAL ALUMINA**  
**KABUPATEN SANGGAU KALIMANTAN BARAT**

**SKRIPSI**

BIDANG KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**LEO KRISTI**  
**NIM: 151210238**

Proposal outline ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 20 juli 2020

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Doddy Irawan, ST., M.Eng  
NIDN. 1121108001

Gunarto, ST., M. Eng  
NIDN. 0009097301

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Eko Sarwono, ST.MT  
NIDN. 0018106901

Fuazen, ST., MT  
NIDN. 1122087301

Mengetahui  
Dekan / Fakultas Teknik

Fuazen, ST., MT  
NIDN. 1122087301



## **KATA PENGANTAR**

Segala puji hanya bagi Allah SWT, karena atas izinnya penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi ini berjudul “Analisa Pengaruh Temperatur Economizer Terhadap Efisiensi Boiler PT. Indonesia Chemical Alumina” ditulis dengan maksud untuk memenuhi syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam penulisan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua saya (Ayah dan Ibu), kedua orang tua mertua saya, istri saya dan seluruh keluarga saya yang mendoakan untuk keberhasilan saya;
2. Bapak Helman Fachri SE., MM, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Pontianak;
3. Anas Safriatna, ST selaku Direktur PT. Indonesia Chemical Alumina yang telah menerima penulis untuk melakukan analisa di lingkungan PT. Indonesia Chemical Alumina;
4. Bapak Fuazen ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak;
5. Dr. Doddy Irawan, ST., M. Eng selaku wakil Dekan dan pembimbing skripsi I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak;
6. Gunarto, ST., M.Eng, ST., M. Eng selaku pembimbing skripsi II Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak;
7. Bapak Eko sarwono ST., MT selaku Rektor Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak;

8. Bapak Hendra Djati Prebowo ST, selaku Manager di PT.Indonesia Chemical Alumina;
9. Staf pengajar beserta karyawan/ti Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak;
10. Istri dan anak penulis tercinta yang selalu memberikan dukungan, doa dan Motivasinya selama ini kepada saya;
11. Teman-teman Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak, Rekan kerja di PT. Indonesia Chemical Alumina yang tidak sempat saya sebutkan secara satu-persatu yang juga turut serta memberikan dorongan dan semangat serta bantuannya dalam penulisan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semuanya, jika ada kesalahan di dalam penulisan skripsi ini maka penulis mengharapkan masukan yang sifatnya membangun guna penyempurnaannya di masa mendatang.

Akhir kata, semoga penulisan skripsi yang berjudul “Analisa Pengaruh Economizer terhadap Efisiensi Boiler CFB Kapasitas 75 Ton/jam di PT. Indonesia Chemical Alumina” ini dapat bermanfaat bagi para mahasiswa Teknik Mesin khususnya adik tingkat dan masyarakat pada umumnya.

Pontianak, 20 Juli 2020

**LEO KRISTI**  
NIM. 151210238

## ABSTRAK

Tuntutan perkembangan modern baik di bidang pengetahuan dan teknologi saat ini, mengharapkan Fakultas Teknik Mesin memiliki kemampuan tidak hanya pemahaman terhadap konsep dan teori saja tetapi memiliki keterampilan sesuai dengan bidang keahliannya.

Dengan tuntutan tersebut saya sebagai Mahasiswa semester terakhir mencoba untuk melakukan Analisa Pengaruh Temperatur *Economizer* Terhadap Efisiensi Boiler pada Boiler CFB dengan kapasitas 75 Ton/jam di PT.Indonesia Chemical Alumina. Agar kita mengetahui seberapa besar Efektipitas *Economizer* terhadap efisiensi boiler. Dengan harapan untuk membantu proses belajar mengajar praktek yang lebih menarik dan lebih memotivasi mahasiswa untuk belajar praktek yang nyata.

Dalam penelitian ini, masalah utama yang dibahas adalah: (1) menghitung temperatur air umpan. (2) menghitung pengaruh flue gas boiler. (3) mengetahui *fouling faktor*.

Spesifikasi dari pembangkit yang diteliti merupakan boiler buatan Qingdao engineering berjenis pipa air yang dapat menghasilkan steam sebesar 75 Ton/jam dengan daya turbine sebesar 12 MW pada temperatur steam 485 C serta pada tekanan kerja 53 bar Yang mana listrik tersebut tidak hanya digunakan sebagai penerangan dan kebutuhan tetapi juga digunakan untuk proses produksi alumina dan perlengkapan lainnya.

Kata Kunci : Boiler, Pipa air, Efisiensi pembakaran

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
ABSTRAK.....	ii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SIMBOL .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori Sistem Boiler .....	8
2.3 Spesifikasi Boiler .....	10
2.4 Sistem Pembakaran Boiler .....	10
2.5 Perpindahan Panas Boiler.....	11
2.6 Peralatan Di Boiler .....	12
2.7 Konsep Sirkulasi Air Umpan Boiler .....	16
2.8 Alat Pendukung Economizer.....	20
2.9 Analisa Perhitungan Awal Efisiensi Boiler .....	21
2.9.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi .....	22
2.9.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	23
2.9.3 Perpindahan Panas Secara Radiasi .....	25
2.10 Jenis –Jenis Perpindahan Panas Berdasarkan Proses Transfer Panas .....	25
2.10.1 Perpindahan Panas Secara Kontak Tak Langsung .....	26
2.10.2 Perpindahan Panas Tipe <i>Direct Transfer</i> .....	26
2.10.3 Perpindahan Panas Tipe <i>Storage</i> .....	26
2.10.4 Perpindahan Panas Tipe <i>Fluidized Bed</i> .....	26
2.10.5 Perpindahan Panas Secara Kontak Langsung .....	27
2.11 Perpindahan Panas <i>Immiscible Fluid</i> .....	27
2.12 Perpindahan Panas Gas <i>Liquid</i> .....	28
2.13 Perpindahan Panas <i>Liquid Vapour</i> .....	29

2.14	Jenis – Jenis Perpindahan Panas Berdasarkan Aliran Fluida .....	30
2.14.1	Berdasarkan Paralel <i>Flow</i> .....	30
2.14.2	Berdasarkan <i>Counter Flow</i> .....	31
2.14.3	Berdasarkan <i>Cross Flow</i> .....	31
2.15	Tipe Alat Penukar Panas Berdasarkan Kontruksi .....	32
2.15.1	Alat Penukar Panas Tipe <i>Shell</i> dan <i>Tube</i> .....	32
2.15.2	Alat Penukar Panas Tipe Plat .....	35
2.15.3	Alat Penukar Panas Tipe Plat Dengan Sirip .....	36
2.16	Pengertian <i>Superheated Steam</i> .....	37
2.17	Analisa Perhitungan Awal Efisiensi Boiler .....	39
2.17.1	Metode Langsung Dalam Menentukan Efisiensi Boiler .....	39
2.17.2	Metode Tidak Langsung Dalam Menentukan Efisiensi Boiler .....	40
2.18	Perhitungan Perpindahan Panas .....	49
2.19	Bilangan <i>Reynold</i> .....	50
2.20	Bilangan <i>Nusselt</i> .....	50
2.21	Bilangan <i>Prandtl</i> .....	51
2.22	Bebab Termal Fluida Dingin .....	51
2.23	Konstanta Panas Fluida Panas Pada Tekanan Konstanta .....	52
2.24	Beda Temperatur Rata – Rata Logaritmik .....	53
2.25	Koefisien Perpindahan Panas Global .....	53
2.26	Tahanan Termal Akibat Faktor Pengotor .....	54
2.27	Laju Perpindahan Panas Maksimum .....	54
2.28	Efektivitas Perpindahan Panas .....	54
2.29	Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Koefisien Perpindahan Panas .....	56
2.30	Beda Suhu Rata – Rata Log (LMTD) .....	56
2.31	Efektivitas Metode NTU .....	60
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>61</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	61
3.2	Alat dan Bahan .....	61
3.3	Prosedur Penelitian .....	61
3.4	Data Penelitian .....	62
3.5	Langkah – Langkah Penelitian .....	62
3.5.1	Tahapan Dalam Perhitungan Efektivitas Alat Penukar Panas .....	62
3.6	Alur Penelitian .....	63
<b>BAB IV</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>65</b>
4.1	Peralatan yang digunakan pada saat penelitian .....	65
4.2	Data Penelitian .....	66



4.3	Parameter Utama .....	69
4.4	Perhitungan Efisiensi Boiler .....	72
	4.4.1 <i>Direct Methode</i> .....	72
	4.4.2 <i>Indirect Methode</i> .....	72
4.5	Sifat – Sifat Fisik Fluida.....	77
4.6	Menghitung Laju Aliran Gas.....	86
4.7	Analisa LMTD .....	88y7
4.8	Perhitungan Perpindahan Panas dan <i>Economizer</i> .....	89
	4.8.1 Menghitung Kecepatan Saluran Gas Panas Dan Air Umpan Boiler .....	90
	4.8.2 Menghitung <i>Koefisien</i> Perpindahan Panas.....	90
4.9	Menghitung <i>Koefisien</i> Perpindahan Panas Keseluruhan (U) .....	93
4.10	Perhitungan Penurunan Tekanan .....	95
4.11	Perhitungan <i>Efektivitas</i> APK.....	98
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>106</b>
5.1	Kesimpulan .....	106
5.2	Saran .....	107
DAFTAR PUSTAKA .....		108
LAMPIRAN LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> <i>Water Tube Boiler</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b> <i>Water Tube Boiler PT. ICA</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b> <i>Posisi Economizer pada Monitor</i> .....	13
<b>Gambar 2.4</b> <i>Jalur Feed Water</i> .....	14
<b>Gambar 2.5</b> <i>Alur Aliran Gas Buang</i> .....	15
<b>Gambar 2.6</b> <i>Economizer</i> .....	16
<b>Gambar 2.7</b> <i>Diagram Block Proses Garis Besar Jalur Air Menjadi Steam</i> .....	18
<b>Gambar 2.8</b> <i>Kurva Steam Jenuh</i> .....	19
<b>Gambar 2.9</b> <i>Shoot Blower</i> .....	20
<b>Gambar 2.10</b> <i>ESP</i> .....	20
<b>Gambar 2.11</b> <i>Dinding Konduksi Satu Dimensi</i> .....	22
<b>Gambar 2.12</b> <i>Perpindahan Panas Secara Konveksi</i> .....	23
<b>Gambar 2.13</b> <i>Perpindahan Panas Tipe Fluidized Bed</i> .....	27
<b>Gambar 2.14</b> <i>Perpindahan Panas Immiscible Fluid Pembangkit Listrik</i> .....	28
<b>Gambar 2.15</b> <i>Perpindahan Panas Gas Liquid pada Cooling Tower</i> .....	29
<b>Gambar 2.16</b> <i>Perpindahan Panas Liquid Vapour Pada Dearator</i> .....	30
<b>Gambar 2.17</b> <i>Parealel Flow</i> .....	30
<b>Gambar 2.18</b> <i>CounterFlow</i> .....	31
<b>Gambar 2.19</b> <i>Cross Flow</i> .....	32
<b>Gambar 2.20</b> <i>Tipe Shell Dan Tube</i> .....	33
<b>Gambar 2.21</b> <i>Rangkaian Pipa Tube</i> .....	33
<b>Gambar 2.22</b> <i>Tipe-Tipe Desain Front – End Head , Sheel, dan Rear – End Head</i> .....	35
<b>Gambar 2.23</b> <i>Alat Penukar Panas Tipe Plat Dengan Gasket</i> .....	36
<b>Gambar 2.24</b> <i>Desain Gasket Untuk Aliran Fluida Kerja</i> .....	37
<b>Gambar 2.25</b> <i>Desain Sirip Alat Penukar Panas Tipe Plat</i> .....	38
<b>Gambar 2.26</b> <i>Fase Diagram Of Water</i> .....	39
<b>Gambar 2.27</b> <i>Penukar Kalor Aliran Silang Fluida Tak Campur</i> .....	57
<b>Gambar 2.28</b> <i>Penukar Kalor Pipa Ganda</i> .....	57
<b>Gambar 2.29</b> <i>Contoh Profil Suhu Untuk Penukar Kalor Aliran Silang</i> .....	58
<b>Gambar 4.8.1</b> <i>Pipe Economizer</i> .....	89
<b>Gambar 4.10.1</b> <i>Pipe Stailless Steel</i> .....	96
<b>Gambar 4.10.2</b> <i>Diagram Moody</i> .....	97
<b>Gambar 4.11.1</b> <i>Efektifitas Metode NTU</i> .....	97

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.3 Spesifikasi Boiler .....	10
Tabel 3.1 Waktu dan Tempat penelitian .....	60
Tabel 3.4 Data penelitian .....	61
Tabel Data Economizer .....	61
Tabel 4.2.1 Tabel Spesifikasi Boiler .....	66
Tabel 4.2.2 Tabel Parameter <i>Running Boiler</i> .....	66
Tabel 4.2.3 Tabel Standart Batu Bara PT Indonesia Chemical .....	67
Tabel 4.2.4 Tabel Paramater Batu Bara Suplayer PT Mitra Mandiri Indoenergi .....	67
Tabel 4.2.5 Tabel Paramater Batu Bara Suplayer PT Indonesia Coal Resources .....	68
Tabel 4.2.6 Tabel Paramater Batu Bara Suplayer PT Energi Utama Alam Mulia .....	68
Tabel 4.3 Parameter Utama .....	69
Tabel 4.3.1 Tabel Parameter .....	69
Tabel 4.3.2 Peralatan Penunjang .....	70
Tabel 4.3.3 Analisa Air Umpan .....	71
Tabel 4.3.4 Analisa Batu Bara .....	71
Tabel 4.5.1 <i>Water Proporties</i> .....	78
Tabel 4.5.2 <i>Water Proporties</i> .....	78
Tabel 4.5.3 Gas Ideal .....	82
Tabel 4.5.4 Gas <i>Proposties</i> .....	83
Tabel 4.5.6 Data Sifat Fisik Fluida .....	87
Tabel 4.8.2 Gas Ideal .....	91
Tabel 4.5.8 <i>Proporties Air</i> .....	92
Tabel 4.9.1 Konduktivitas Thermal Pada Beberapa Material .....	93
Tabel 4.9.2 Data APK Masih Dalam Kondisi Baik .....	94

## DAFTAR SIMBOL

A	= berat abu dalam gas asap (kg/kg bh bkr)
C <sub>pg</sub>	= panas jenis gas asap (kj/kg.oK)
HHV	= nilai kalor bahan bakar (kj/kg bh bkr)
hg	= entalpi uap (kj/kg)
hf	= entalpi air umpan (kj/kg)
mu	= massa uap (kg/jam)
mbb	= massa bahan bakar (kg/jam)
Q <sub>bb</sub>	= kalor bahan bakar (kj/jam)
Q <sub>uap</sub>	= energi pembentukan uap (kj/jam)
Q <sub>eco</sub>	= panas yang dapat diserap ekonomiser (kj/jam)
T <sub>g1</sub>	= temperatur gas asap masuk ekonomiser (oK)
T <sub>g2</sub>	= temperatur gas asap keluar ekonomiser (oK)
W <sub>g</sub>	= berat gas asap (kg/kg bh bkr)
W <sub>ath</sub>	= kebutuhan udara pembakar teoritis (kg/kg bh bkr)
W <sub>aakt</sub>	= kebutuhan udara pembakar sebenarnya (kg/kg bh bkr)
η	= efisiensi (%)
Q <sub>c</sub>	= kalor yang diterima oleh aliran fluida dingin ( w )
m <sub>c</sub>	= laju aliran massa fluida dingin (kg/s)
C <sub>pc</sub>	= Konstanta Panas fluida dingin pada konstan ( j/kg . k )
T <sub>ci</sub>	= Temperature aliran fluida dingin masuk <i>economizer</i> ( k )
T <sub>co</sub>	= Temperature aliran fluida dingin keluar <i>economizer</i> ( k )
	Harga kalor jenis gas ( C <sub>pc</sub> )

$\Delta T_1$  = Beda temperature fluida panas masuk APK ( *Economizer* ) dengan temaperatur fluida dingin masuk APK ( *Economizer* ) (K)

$\Delta T_2$  = Beda temperature fluida panas keluar APK ( *Economizer* ) dengan temaperatur fluida dingin keluar APK ( *Economizer* ) (K)

Sedangkan bila konfigurasi aliarannya berlawanan maka berlaku :

$\Delta T_1$  = Beda temperature fluida panas masuk APK ( *Economizer* ) dengan temaperatur fluida dingin keluar APK ( *Economizer* ) (K)

$\Delta T_2$  = Beda temperature fluida panas keluar APK ( *Economizer* ) dengan temaperatur fluida dingin masuk APK ( *Economizer* ) (K)

U = koefisien global perpindahan panas di dalam APK ( $W/m^2 \cdot K$ )

A = Luas total perpindahan panas di dalam APK ( $m^2$  )

$\Delta T_{m.f}$  = Beda temperatur rata-rata logaritmik antara dua fluida (K)

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh (  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  atau  $Btu/h.ft^2 \cdot ^\circ F$ )

A = Luas penampang (APK) ( $m^2$  atau  $ft^2$ )

LMTD = Perbedaan temperatur rata – rata logaritma ( $^\circ C$  atau  $^\circ F$  )

Q = Laju perpindahan panas ( W atau Btu/h)

Q = Laju perpindahan panas

m = Laju Aliran massa ( kg/s atau lbm/h)

h = Enthalpi fluida panas pada sisi aliran masuk ( $J/kg \cdot ^\circ C$  atau  $Btu/h.lb \cdot ^\circ F$ )

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Pembangkit listrik tenaga uap ( PLTU ) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari steam yang digunakan untuk memutar turbin agar dapat membangkitkan energi listrik melalui generator. PT. Indonesia Chemical Alumina yang terletak didaerah Kabupaten Sanggau, memiliki 2 unit boiler jenis *Circulating fluidized Bed* berkapasitas 75ton/jam yang digunakan untuk pembangkit listrik dan memproduksi *CGA (chemical grade alumina)*. Di dalam pengoperasiannya, sistem boiler memerlukan beberapa komponen pendukung, salah satunya komponen terpenting pada sistem boiler adalah alat penukar panas.

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 mempaatkan 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. Dengan melakukan perhitungan maka akan didapat efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer*.

Ada beberapa cara yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi boiler diantaranya adalah menaikkan efisiensi baik tenaga kerja maupun mesin-mesin pembangkitnya, untuk mesin diesel maupun mesin boiler. khusus boiler, metode untuk menaikkan efisiensinya ada bermacam-macam, diantaranya adalah dengan mengembalikan air kondensat bekas pemakaian dari turbin di alirkan ke LP ( low pressure ), kemudian di kembalikan lagi kedearator begitu seterusnya. Selain itu efisiensi boiler juga memanfaatkan

gas buang dari hasil pembakaran di boiler untuk meningkatkan temperatur air umpan boiler.

*Heat exchanger* adalah alat penukar panas yang berpungsi untuk memanaskan air umpan boiler dengan memanfaatkan sisa gas pembakaran dari boiler. Sesuai dengan fungsinya maka di dalam economizer terjadi perpindahan energy panas dari aliran fluida (gas) panas melalui permukaan pipa aliran fluida (air) yang mengalir didalam pipa *economizer*. 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.

*Heat exchanger* yang di gunakan adalah tipe Tubular *Heat exchanger* tipe ini melibatkan penggunaan pada tube pada desainnya. Bentuk penampang yang digunakan bisa bundar, elips, kotak, dan lain sebagainya. *Heat exchanger* tipe tubular didesain untuk dapat bekerja pada tekanan tinggi, baik tekanan yang berasal dari lingkungan kerjanya maupun perbedaan tekanan tinggi antara fluida kerjanya. Tipe tubular sangat umum digunakan untuk fluida kerja cair-cair, cair-uap, cair-gas, adapun juga gas-gas. khusus untuk digunakan pada kondisi fluida kerja bertekanan tinggi sehingga tidak ada jenis *heat exchanger* lain yang mampu bekerja pada kondisi tersebut. Ada beberapa jenis *heat exchanger* tipe tubular salah satunya adalah tipe *shell and tube*.

*Heat exchanger* tipe *shell and tube* tipe ini melibatkan tube sebagai komponen utamanya, salah satu fluida mengalir di dalam tube, sedangkan fluida lainnya mengalir diluar tube. Pipa-pipa tube didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan shell, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa tube tersebut berada sejajar sumbu shell.

## 1.2 Identifikasi masalah

Dilihat dari spesifikasi desain temperatur economizer air umpan masuk  $150^{\circ}\text{C}$  dan temperatur keluaran economizer  $250^{\circ}\text{C}$ , sedangkan di lihat dari operasional normal temperature air umpan  $148^{\circ}\text{C}$  dan keluaran dari

economizer  $240^{\circ}\text{C}$ . Diketahui dari data yang ada temperatur economizer mengalami penurunan sedangkan economizer merupakan salah satu bagian alat penukar panas (*heat exchanger*) pada boiler yang memainkan peran penting dalam penentuan Efisiensi thermal boiler secara keseluruhan.

### 1.3 Perumusan Masalah

Jadi rumusan masalah : dari data yang di dapatkan bahwa temperatur tidak sesuai dengan basic design yang di tentukan, hal tersebut dapat di rumuskan bagaimana kinerja economizer pada saat kondisi actual (saat running normal).

Berdasarkan identifikasi masalah maka rumusan masalah pada economizer yaitu:

- a) Apa penyebab penurunan temperatur di *Economizer*.
- b) Bagaimana pengaruh peran *economizer* terhadap Efisiensi boiler.

### 1.4 Batasan masalah

Batasan masalah dari analisa ini adalah :

- a) Hanya menghitung temperatur air umpan masuk dan keluar dari *economizer*
- b) Hanya menghitung temperatur gas buang sebelum dan sesudah melalui *Economizer*.

### 1.5 Tujuan penelitian

Ada pun yang menjadi tujuan umum dalam penelitian ini adalah: Mengetahui penyebab turunnya temperatur *economizer* terhadap efisiensi boiler. Sedangkan, tujuan khusus penelitian ini adalah:

- a) Mengetahui prinsip kerja economizer sebagai usaha meningkatkan efisiensi boiler.
- b) Mengetahui dengan pemanfaatan gas buang yang melalui economizer dapat mengetahui perbandingan pemakain bahan bakar.



## 1.6 Manfaat penelitian

Manfaat analisa ini adalah :

- a) Memberikan informasi dan data potensi peluang meningkatkan efisiensi boiler dengan menggunakan economizer.
- b) dengan adanya analisa performasi boiler dapat memberikan gambaran mengenai perbaikan pada sistem boiler sehingga kebutuhan dan kualitas uap dapat dijaga dengan baik.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memecahkan masalah dalam penelitian ini , maka susunlah sistematika penulisan tugas akhir sebagai berikut :

### BAB 1 : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang , identifikasi masalah , rumusan masalah, batasan masalah , tujuan penelitaian , manfaat penelitian , sistematika penulisan

### BAB II : LANDASAN TEORI

Berisi tentang tinjauan pustaka ( jurnal ilmiah ) landasan teori sebagai telah kepustakaan

### BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi waktu dan tempat , bahan am alat , batasan sistem , metode pengambilan data dan parameter pengukuran

### BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil penelitian , laporan hasil analisis penelitian

### BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan efektifitas alat penukar panas tipe *shell and tube* di PT. Indonesia Chemical Alumina, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan efisiensi boiler dengan metode secara langsung ( *Direct methode* ) sebesar 79,12 %.
2. Diperoleh perhitungan efisiensi boiler dengan metode tidak langsung (*Indirech Methode*) sebesar 89,5 %.
3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata – rata efektifitas alat penukar panas tipe *shell and tube* terhadap efisiensi boiler, pada bulan Oktober adalah sebesar 60 %, pada bulan November sebesar 62 % dan untuk di bulan Desember sebesar 67 %.
4. Efektivitas perhitungan *economizer* di bulan Oktober kinerja *economizer* tertinggi dan terendah diketahui temperatur flow gas, Inlet temperatur 420,98<sup>0</sup>C, outlet temperatur 185,03<sup>0</sup>C sedangkan temperature air *economizer* inlet 146,67<sup>0</sup>C dan outlet 220,38<sup>0</sup>C didapat efektivitas kinerja *economizer* tertinggi sebesar 86%, sedangkan kinerja terendah di bulan Oktober temperatur flow gas, inlet temperatur 409,82<sup>0</sup>C, outlet temperature 191,9<sup>0</sup>C diketahui temperature inlet air *economizer* 149<sup>0</sup>C outlet 232,73<sup>0</sup>C didapat kinerja *economizer* sebesar 82,91%.
5. Efektivitas perhitungan *economizer* di bulan November kinerja *economizer* tertinggi dan terendah diketahui temperatur flow gas, Inlet temperatur 390,28<sup>0</sup>C, outlet temperatur 188,48<sup>0</sup>C sedangkan temperature air *economizer* inlet 149,37<sup>0</sup>C dan outlet 229,28<sup>0</sup>C didapat efektivitas kinerja *economizer* tertinggi sebesar 87%, sedangkan kinerja terendah di bulan November temperatur flow gas, inlet temperatur 504,34<sup>0</sup>C, outlet temperature 213,1<sup>0</sup>C diketahui temperature inlet air *economizer* 147,41<sup>0</sup>C outlet 249<sup>0</sup>C didapat kinerja *economizer* sebesar 81,59%.

6. Efektivitas perhitungan *economizer* di bulan Desember kinerja *economizer* tertinggi dan terendah diketahui temperatur flow gas, Inlet temperatur  $357,23^{\circ}\text{C}$ , outlet temperatur  $167,39^{\circ}\text{C}$  sedangkan temperature air *economizer* inlet  $141,05^{\circ}\text{C}$  dan outlet  $231,47^{\circ}\text{C}$  didapat efektivitas kinerja *economizer* tertinggi sebesar 87,81%, sedangkan kinerja terendah di bulan Desember temperatur flow gas, inlet temperatur  $429,81^{\circ}\text{C}$ , outlet temperature  $195,09^{\circ}\text{C}$  diketahui temperature inlet air *economizer*  $148,07^{\circ}\text{C}$  outlet  $248,86^{\circ}\text{C}$  didapat kinerja *economizer* sebesar 83,31%
7. Diperoleh hasil perhitungan laju aliran massa pada flue gas adalah 16,68 kg/s dan pada air umpan boiler sebesar 16,402 kg/s, serta laju perpindahan panas pada flue gas sebesar m/s sedangkan 2.685,864 pada air umpan boiler sebesar 3.256.664,446 m/s.
8. Nilai LMTD untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*) sebesar 33,388.
9. Diperoleh hasil perhitungan koefisien perpindahan panas *economizer* sebesar untuk flue gas 1,8922 w/m.K sedangkan pada air umpan boiler sebesar 127,603 w/m. K.
10. Terjadinya *fouling faktor* pada pipa APK yang mana itu ditunjukkan dengan nilai *fouling faktor*  $0,130128 \text{ kw/m}^2\cdot\text{K}$ , hal itu juga mengakibatkan koefisien panas menjadi tidak maksimal atau rendah dapat dilihat dari nilai  $U_d$  lebih rendah dari nilai  $U_c$  (koefisien panas ketika bersih).
11. Diperoleh dari hasil perhitungan boiler terdapat data yang eror di bulan oktober tgl 5 dan 15, sedangkan di bulan November tgl 4, dan di bulan Desember 4, 10, 13 dan 21.
12. Didapat data yang eror dalam perhitungan *economizer* di bulan Desember tgl 26, dan bulan November tgl 18.
13. Dari hasil perhitungan dan grafik di atas menunjukkan bahwa kinerja dari *Economizer* terhadap efisiensi boiler saat beroperasi 86,9 %, itu menunjukkan bahwa APK masih dalam keadaan baik proses perpindahan panas yang terjadi antara flue gas dan air didalam pipa APK dan salah satu faktor penyebab kurang maksimalnya kinerja dari APK adalah meningkatnya nilai *fouling faktor* pada pipa *economizer*. *fouling faktor*

adalah hambatan perpindahan panas karena adanya endapan – endapan atau debu *flay ash* yang menempel pada pipa air umpan yang menyebabkan kurang maksimalnya penyerapan panas pada pipa *economizer* yang dilalui oleh flue gas buang boiler.

## 5.2 Saran

Pemeliharaan *Economizer* harus dilakukan secara rutin terutama pada jalur air umpan boiler seperti di *Economizer* dan di jalur *flue gas* agar meminimalisir kotoran – kotoran yang dapat menempel di luar pipa maupun di dinding flue gas. Hal itu juga sangat membantu proses pemanasan air umpan boiler dapat beroperasi dengan baik dan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar di boiler.

## DAFTAR PUSTAKA

- Holman, j.p. 1986. *Perpindahan kalor*. Terjemahan E Jasjfi. Jakarta. Erlangga.
- Setyoko, Bambang. 2008. *Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Factor*. Semarang: Universitas Diponegoro,
- Biro Efisiensi Energi, 2004. *Pemanfaatan Kembali Limbah Panas*. on 30<sup>th</sup> march 2008. Retrive <http://www.energyefficiencyasia.org>,
- Djokosetyardjo. M.J, 2003. *Ketel Uap*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Sihobing, helmon. 2009. *Mekanisme Proses Pemanasan Air di dalam boiler dengan Mempergunakan Heater Tambahan untuk Efisiensi Pembakaran*. Karya akhir: Teknologi Instrumentasi Pabrik, Fakultas Teknik: Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Robert w. Serth. 2007. *Process Heat Transfer: Principles And Applications*” First Edition, Elsevier Ltd, .
- Akbar et al. 2009. *Kinerja Economizer Pada Boiler*. Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No 1, Juni 2009, pp. 72-81 ISSN 14112485. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Statika Kampus Keputih Sukolilo, Surabaya.



## Lampiran 1

Tanggal	gas		air		A=	1971															
	Th1	Th2	spifikas	m			Ch	Tc1	Tc2	debit air	m	Cc	Qact1	Qact2	Qact yg	Qmax	ε	ΔT1	ΔT2	LMTD	U
oktober	C	C	m3/h	kg/s	kw/°c	C	C	m3/h	kg/s	kw/°C	kw	kw	kw	kw	%	C	C	C	kw/m2C		
1	431.45	188.08	59	0.0081	0.0087	146.67	217.79	34.64	7.808	33.613	2.124	2390.6	2.124	2.4854	85.459	213.66	41.41	104.98	0.0103	0	
2	420.98	185.03	59	0.0081	0.0087	146.67	220.38	37.58	8.4707	36.466	2.0592	2687.9	2.0592	2.394	86.016	200.6	38.36	98.072	0.0107	-3.5442	
3	435.66	179.27	59	0.0081	0.0087	129.32	212.25	37.57	8.4684	36.457	2.2376	3023.4	2.2376	2.6736	83.695	223.41	49.95	115.8	0.0098	4.5841	
4	434.2	189.6	59	0.0081	0.0087	149.22	221.8	36.94	8.3264	35.845	2.1347	2601.7	2.1347	2.4871	85.831	212.4	40.38	103.62	0.0105	-1.743	
5	431.58	189.69	59	0.0081	0.0087	147.17	227.37	33.98	7.6592	32.973	2.1111	2644.4	2.1111	2.4822	85.05	204.21	42.52	103.04	0.0104	-1.2094	
6	450.31	195.64	59	0.0081	0.0087	148.83	227.45	39.87	8.9869	38.688	2.2226	3041.7	2.2226	2.6312	84.473	222.86	46.81	112.82	0.01	2.6346	
7	349.35	122.11	59	0.0081	0.0087	47.97	178.25	20.21	4.5554	19.611	1.9832	2554.9	1.9832	2.6303	75.4	171.1	74.14	115.94	0.0087	17.812	
8	419.38	135.44	59	0.0081	0.0087	58.99	181.47	30.58	6.8929	29.674	2.4781	3634.4	2.4781	3.1453	78.787	237.91	76.45	142.22	0.0088	15.708	
9	440.92	196.12	59	0.0081	0.0087	149.08	228.31	40.54	9.1379	39.339	2.1365	3116.8	2.1365	2.547	83.882	212.61	47.04	109.76	0.0099	3.8459	
10	433.64	195	59	0.0081	0.0087	148.88	228.31	31.97	7.2062	31.023	2.0827	2464.1	2.0827	2.4852	83.804	205.33	46.12	106.61	0.0099	3.4789	
11	429.79	190.41	59	0.0081	0.0087	148.98	221.36	34.43	7.7607	33.41	2.0892	2418.2	2.0892	2.4508	85.246	208.43	41.43	103.37	0.0103	0.1067	
12	423.98	189.69	59	0.0081	0.0087	148.61	222.26	33.72	7.6006	32.721	2.0448	2409.9	2.0448	2.4033	85.082	201.72	41.08	100.95	0.0103	-0.1094	
13	404.1	187.51	59	0.0081	0.0087	148.83	232.91	25.16	5.6712	24.414	1.8903	2052.8	1.8903	2.2279	84.847	171.19	38.68	89.085	0.0108	-4.5239	
14	388.68	180.46	59	0.0081	0.0087	148.13	217.28	27.09	6.1062	26.287	1.8172	1817.8	1.8172	2.0994	86.56	171.4	32.33	83.375	0.0111	-6.9833	
15	418.02	188.92	59	0.0081	0.0087	148.39	220.2	31.66	7.1363	30.722	1.9995	2206.1	1.9995	2.3532	84.968	197.82	40.53	99.217	0.0102	0.3912	
16	423.12	191.47	59	0.0081	0.0087	148.52	227.65	33.44	7.5375	32.449	2.0217	2567.7	2.0217	2.3966	84.359	195.47	42.95	100.65	0.0102	0.7105	
17	424.75	193.45	59	0.0081	0.0087	149.14	231.48	32.92	7.4203	31.944	2.0187	2630.3	2.0187	2.4054	83.923	193.27	44.31	101.14	0.0101	1.3341	
18	416.26	194.71	59	0.0081	0.0087	149.46	239.43	28.81	6.4939	27.956	1.9336	2515.2	1.9336	2.3285	83.04	176.83	45.25	96.538	0.0102	0.9935	
19	420.19	194.41	59	0.0081	0.0087	148.95	232.58	29.38	6.6224	28.509	1.9705	2384.2	1.9705	2.3672	83.24	187.61	45.46	100.28	0.01	2.8927	
20	411.69	192.38	59	0.0081	0.0087	149	232.21	31.18	7.0281	30.256	1.914	2517.6	1.914	2.2926	83.486	179.48	43.38	95.841	0.0101	1.2805	
21	398.88	189.51	59	0.0081	0.0087	149.21	231.89	30.43	6.8591	29.528	1.8273	2441.4	1.8273	2.179	83.859	166.99	40.3	89.119	0.0104	-1.2843	
22	409.57	193.19	59	0.0081	0.0087	148.83	240.16	26.9	6.0634	26.103	1.8884	2384	1.8884	2.2756	82.987	169.41	44.36	93.322	0.0103	-0.0118	
23	411.76	192.51	59	0.0081	0.0087	149.11	235.81	28.5	6.424	27.655	1.9135	2397.7	1.9135	2.2923	83.476	175.95	43.4	94.696	0.0103	0.1286	
24	412.31	193.4	59	0.0081	0.0087	149.08	237.91	28.44	6.4105	27.597	1.9105	2451.5	1.9105	2.2973	83.163	174.4	44.32	94.955	0.0102	0.5469	
25	415.17	192.7	59	0.0081	0.0087	149.32	229.06	25.73	5.7997	24.968	1.9416	1990.9	1.9416	2.3202	83.683	186.11	43.38	98.006	0.0101	2.0768	
26	409.82	191.9	59	0.0081	0.0087	147	232.73	27.33	6.1603	26.52	1.9019	2273.6	1.9019	2.2937	82.916	177.09	44.9	96.333	0.01	2.4202	
27	411.79	191.19	59	0.0081	0.0087	149.36	230.17	29.05	6.548	28.189	1.9253	2278	1.9253	2.2903	84.061	181.62	41.83	95.205	0.0103	0.0528	
28	425.06	195.36	59	0.0081	0.0087	149	232.19	30.57	6.8906	29.664	2.0047	2467.8	2.0047	2.4093	83.207	192.87	46.36	102.77	0.0099	3.6314	
29	410.8	191.92	59	0.0081	0.0087	149.04	230.65	26.7	6.0183	25.909	1.9103	2114.4	1.9103	2.2845	83.619	180.15	42.88	95.633	0.0101	1.2601	
30	409.8	191.9	59	0.0081	0.0087	149.99	231.72	26.76	6.0318	25.967	1.9017	2122.3	1.9017	2.2675	83.869	178.08	41.91	94.124	0.0103	0.1399	
31	412.56	190.6	59	0.0081	0.0087	148.65	226.06	32.09	7.2332	31.139	1.9371	2410.5	1.9371	2.3033	84.104	186.5	41.95	96.886	0.0101	1.1663	

november				0	0				0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1	410.65	190.36	59	0.0081	0.0087	148.57	228.47	26.98	6.0814	26.18	1.9173	2091.8	1.9173	2.2873	83.826	182.18	42.39	95.872	0.0101	1.1425	
2	439.48	198.45	59	0.0081	0.0087	149.26	234.51	32.76	7.3842	31.789	2.1036	2710	2.1036	2.5329	83.051	204.97	49.19	109.15	0.0098	4.86	
3	408.36	190.75	59	0.0081	0.0087	149.22	241.38	30.88	6.9605	29.965	1.8992	2761.6	1.8992	2.2616	83.974	166.98	41.53	90.157	0.0107	-3.8468	
4	504.34	213.1	59	0.0081	0.0087	147.41	249	56.89	12.823	55.204	2.5418	5608.2	2.5418	3.1151	81.596	255.34	65.69	139.69	0.0092	10.908	
5	391.3	176.3	59	0.0081	0.0087	140.81	229.08	30.25	6.8185	29.354	1.8764	2591	1.8764	2.1861	85.832	162.22	35.49	83.391	0.0114	-9.818	
6	390.28	180.48	59	0.0081	0.0087	149.37	229.28	31.72	7.1498	30.78	1.831	2459.6	1.831	2.1025	87.086	161	31.11	79.015	0.0118	-12.358	
7	396.78	180.01	59	0.0081	0.0087	146.51	226.12	31.62	7.1273	30.683	1.8919	2442.7	1.8919	2.1842	86.614	170.66	33.5	84.244	0.0114	-9.6449	
8	439.19	197.28	59	0.0081	0.0087	148.5	245.9	39.22	8.8404	38.058	2.1113	3706.8	2.1113	2.537	83.219	193.29	48.78	104.96	0.0102	0.5694	
9	447.77	198.71	59	0.0081	0.0087	148.5	244.15	61.39	13.838	59.571	2.1737	5697.9	2.1737	2.6119	83.223	203.62	50.21	109.58	0.0101	1.9457	
10	437.74	197.09	59	0.0081	0.0087	148.37	246.59	44.28	9.9809	42.968	2.1003	4220.3	2.1003	2.5255	83.163	191.15	48.72	104.19	0.0102	0.3679	
11	441.83	199.3	59	0.0081	0.0087	148.3	248.04	45.65	10.29	44.297	2.1167	4418.2	2.1167	2.5618	82.625	193.79	51	106.96	0.01	2.1882	
12	444.72	199.68	59	0.0081	0.0087	148.11	246.77	51.43	11.593	49.906	2.1386	4923.7	2.1386	2.5887	82.614	197.95	51.57	108.83	0.01	2.8858	
13	447.83	200.25	59	0.0081	0.0087	148.09	244.12	59.61	13.436	57.844	2.1607	5554.7	2.1607	2.616	82.598	203.71	52.16	111.24	0.0099	4.0573	
14	431.84	195.38	59	0.0081	0.0087	146.34	241.34	53.59	12.079	52.002	2.0637	4940.2	2.0637	2.4865	82.998	189.9	48.44	103.54	0.0101	1.4805	
15	445.38	199.71	59	0.0081	0.0087	147.08	244.81	57.67	12.999	55.961	2.1441	5469.1	2.1441	2.6034	82.357	200.57	52.63	110.58	0.0098	4.2387	
16	429.23	195.95	59	0.0081	0.0087	148.25	243.91	149.1	33.608	144.68	2.0359	13840	2.0359	2.4522	83.024	185.32	47.7	101.4	0.0102	0.7556	
17	414.65	189.15	59	0.0081	0.0087	143.19	238.99	50.95	11.484	49.44	1.968	4736.4	1.968	2.3692	83.069	175.66	45.96	96.735	0.0103	-0.5331	
18	434.05	203.54	59	0.0081	0.0087	148.25	240.38	53.96	12.163	52.361	1.2263	4824	1.2263	2.4943	49.164	193.67	145.29	168.32	0.0037	173.13	
19	432.03	193.23	59	0.0081	0.0087	148.28	240.11	56.52	12.74	54.845	2.0841	5036.4	2.0841	2.4764	84.159	191.92	44.95	101.25	0.0104	-1.657	
20	425.28	194.13	59	0.0081	0.0087	148.29	245.6	55.89	12.598	54.234	2.0174	5277.5	2.0174	2.4174	83.451	179.68	45.84	97.978	0.0104	-1.6865	
21	431.84	195.6	59	0.0081	0.0087	148.31	245.32	50.13	11.3	48.644	2.0618	4719	2.0618	2.4745	83.321	186.52	47.29	101.46	0.0103	-0.4186	
22	435.07	196.27	59	0.0081	0.0087	148.24	243.84	59.99	13.522	58.212	2.0841	5565.1	2.0841	2.5033	83.255	191.23	48.03	103.64	0.0102	0.6054	
23	436.9	195.65	59	0.0081	0.0087	148.24	244.95	61.97	13.968	60.134	2.1055	5815.5	2.1055	2.5193	83.576	191.95	47.41	103.36	0.0103	-0.6552	
24	426.47	191.42	59	0.0081	0.0087	148.24	242.96	55.53	12.517	53.884	2.0514	5103.9	2.0514	2.4282	84.48	183.51	43.18	96.987	0.0107	-4.2269	
25	433.95	193.92	59	0.0081	0.0087	148.23	245.68	55.34	12.474	53.7	2.0949	5233.1	2.0949	2.4936	84.009	188.27	45.69	100.69	0.0106	-2.6742	
26	425.89	192.08	59	0.0081	0.0087	148.32	245.35	44.06	9.9313	42.754	2.0406	4148.5	2.0406	2.4225	84.235	180.54	43.76	96.512	0.0107	-4.1916	
27	428.93	193.85	59	0.0081	0.0087	148.33	247.05	54.97	12.39	53.341	2.0517	5265.8	2.0517	2.4489	83.778	181.88	45.52	98.441	0.0106	-2.8421	
28	431.84	191.55	59	0.0081	0.0087	148.32	241.59	51.66	11.644	50.129	2.0971	4675.5	2.0971	2.4744	84.752	190.25	43.23	99.217	0.0107	-4.1634	
29	432.45	192.32	59	0.0081	0.0087	148.24	242.23	60.29	13.59	58.503	2.0957	5498.7	2.0957	2.4804	84.49	190.22	44.08	99.947	0.0106	-3.4146	
30	440.72	195.24	59	0.0081	0.0087	148.24	244.48	63.5	14.313	61.618	2.1424	5930.1	2.1424	2.5526	83.931	196.24	47	104.42	0.0104	-1.3456	



desembar			0	0			0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
1	434.22	192.92	59	0.0081	0.0087	148.23	242.61	62.71	14.135	60.852	2.1059	5743.18	2.1059	2.49596	84.3736	191.61	44.69	100.9265	0.010587	-2.953598
2	438.22	194.41	59	0.0081	0.0087	148.21	245.55	61.19	13.792	59.377	2.1278	5779.728	2.1278	2.53105	84.0695	192.67	46.2	102.5701	0.010525	-2.403639
3	421.84	191.39	59	0.0081	0.0087	148.18	246.61	54.92	12.379	53.293	2.0112	5245.582	2.0112	2.38836	84.2103	175.23	43.21	94.29815	0.010821	-5.002021
4	422.3	188.64	59	0.0081	0.0087	148.23	237.14	58.51	13.188	56.776	2.0393	5047.965	2.0393	2.39193	85.2556	185.16	40.41	95.09619	0.01088	-5.500236
5	418.15	191.2	59	0.0081	0.0087	148.32	248.43	51.11	11.52	49.595	1.9807	4964.997	1.9807	2.35493	84.1085	169.72	42.88	92.19735	0.0109	-5.667378
6	424.44	192.2	59	0.0081	0.0087	148.31	247.27	56.82	12.807	55.136	2.0269	5456.279	2.0269	2.40991	84.1053	177.17	43.89	95.51224	0.010767	-4.533658
7	429.47	193.93	59	0.0081	0.0087	148.28	246.69	51.23	11.547	49.712	2.0557	4892.144	2.0557	2.45407	83.7654	182.78	45.65	98.84813	0.010551	-2.636439
8	427.28	193.07	59	0.0081	0.0087	148.17	247.27	51.82	11.68	50.284	2.0441	4983.181	2.0441	2.43592	83.9132	180.01	44.9	97.30122	0.010658	-3.589858
9	428.16	193.4	59	0.0081	0.0087	148.7	245.04	58.78	13.249	57.038	2.0489	5495.053	2.0489	2.43897	84.0049	183.12	44.7	98.15851	0.01059	-2.984959
10	421.61	190.42	59	0.0081	0.0087	148.14	244.59	57.36	12.929	55.66	2.0177	5368.426	2.0177	2.3867	84.5394	177.02	42.28	94.09556	0.010879	-5.495718
11	357.23	167.39	59	0.0081	0.0087	141.05	231.47	29.7	6.6945	28.82	1.6568	2605.893	1.6568	1.8867	87.8157	125.76	26.34	63.59678	0.013218	-21.75687
12	428.82	191.18	59	0.0081	0.0087	148.23	247.16	55.88	12.596	54.224	2.074	5364.386	2.074	2.44884	84.693	181.66	42.95	96.18611	0.01094	-6.003805
13	433.08	192.26	59	0.0081	0.0087	147.36	244.77	57.86	13.042	56.145	2.1017	5469.122	2.1017	2.49361	84.2853	188.31	44.9	100.0313	0.01066	-3.604898
14	426.83	193.88	59	0.0081	0.0087	148.21	247.55	51.61	11.633	50.081	2.0331	4975.006	2.0331	2.43164	83.6085	179.28	45.67	97.70332	0.010557	-2.692545
15	426.84	193.27	59	0.0081	0.0087	148.17	248.07	56.24	12.677	54.573	2.0385	5451.882	2.0385	2.43208	83.816	178.77	45.1	97.058	0.010656	-3.567946
16	428.92	194.39	59	0.0081	0.0087	148.19	245.49	61.19	13.792	59.377	2.0468	5777.353	2.0468	2.45006	83.5429	183.43	46.2	99.52473	0.010434	-1.576761
17	429.81	195.09	59	0.0081	0.0087	148.07	248.86	54.07	12.188	52.468	2.0485	5288.219	2.0485	2.45887	83.3109	180.95	47.02	99.38057	0.010458	-1.793039
18	426.73	193.65	59	0.0081	0.0087	148.17	245.61	41.34	9.3182	40.115	2.0342	3908.799	2.0342	2.43112	83.6732	181.12	45.48	98.15563	0.010515	-2.307122
19	426.52	193.62	59	0.0081	0.0087	148.17	246.41	56.08	12.641	54.418	2.0326	5346.037	2.0326	2.42929	83.6716	180.11	45.45	97.7955	0.010545	-2.582827
20	426.44	192.67	59	0.0081	0.0087	148.26	247.02	58.01	13.076	56.291	2.0402	5559.293	2.0402	2.4278	84.0355	179.42	44.41	96.6937	0.010705	-4.000174
21	416.9	189.88	59	0.0081	0.0087	148.28	245.2	54.24	12.226	52.633	1.9813	5101.157	1.9813	2.34437	84.5134	171.7	41.6	91.77168	0.010954	-6.11912
22	421.76	190.88	59	0.0081	0.0087	148.2	247.53	55.77	12.571	54.117	2.015	5375.473	2.015	2.38748	84.3983	174.23	42.68	93.52034	0.010932	-5.934959
23	355.34	162.53	59	0.0081	0.0087	125.59	241.08	24.2	5.4548	23.483	1.6827	2712.036	1.6827	2.00513	83.9217	114.26	36.94	68.47437	0.012468	-17.20913
24	416.17	189.72	59	0.0081	0.0087	148.44	247.06	49.48	11.153	48.014	1.9763	4735.113	1.9763	2.3366	84.5815	169.11	41.28	90.64856	0.011061	-7.009413
25	430.94	194.82	59	0.0081	0.0087	148.24	247.38	54.57	12.3	52.953	2.0607	5249.749	2.0607	2.46725	83.5232	183.56	46.58	99.89549	0.010467	-1.877054
26	431.06	194.09	59	0.0081	0.0087	148.23	247.19	58.32	13.146	56.592	2.0681	#VALUE!	2.0681	#VALUE!	#VALUE!	183.87	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
27	425.31	192.45	59	0.0081	0.0087	147.26	244.64	53.59	12.079	52.002	2.0323	5063.947	2.0323	2.42667	83.7475	180.67	45.19	97.76328	0.010547	-2.597784
28	421.2	191.82	59	0.0081	0.0087	148.27	247.84	53.65	12.093	52.06	2.0019	5183.628	2.0019	2.38198	84.0435	173.36	43.55	93.96576	0.010809	-4.898206
29	423.95	192.17	59	0.0081	0.0087	148.17	244.92	58.79	13.252	57.048	2.0228	5519.377	2.0228	2.40686	84.0453	179.03	44	96.21882	0.010666	-3.660861
30	424.59	193.76	59	0.0081	0.0087	148.08	247.99	50.79	11.448	49.285	2.0146	4924.054	2.0146	2.41323	83.4798	176.6	45.68	96.81808	0.010557	-2.688705
31	423.14	194.86	59	0.0081	0.0087	147.46	248.36	60.07	13.54	58.29	1.9923	5881.45	1.9923	2.40598	82.8062	174.78	47.4	97.61624	0.010355	-0.840961

## Lampiran 2

### Lampiran Perhitungan Boiler Selama Bulan Oktober

TGI	flow steam	temperatur steam	presssure	temperatur air	pressure	flue batu bara	Q=Kg/h	Hg=Kcal/l	Hf=Kcal/l	q=Kg/h	GCV=Kc	Efisiensi
1	37.51	378.34	4.17	217.79	7.59	4.95	37510	755.11	223.48	4950	5100	78.992
2	34.22	375.93	4.23	220.38	7.63	6.335	34220	753.42	226.31	6335	5100	55.83
3	37.29	370.93	4.65	212.25	7.67	5.86	37290	748.39	217.48	5860	5100	66.244
4	34.06	371.14	4.75	221.8	7.57	5.35	34060	748.54	227.68	5350	5100	65.019
5	32.63	375.47	4.8	227.37	7.54	0	32630	750.37	238.98	0	5100	#DIV/0!
6	38.38	371.1	4.72	227.45	7.55	5.58	38380	748.11	234.07	5580	5580	63.363
7	26.61	362.61	4.8	178.25	7.81	5.37	26610	742.57	181.41	5370	5100	54.524
8	27.5	394.02	4.82	181.47	7.74	5	27500	761.28	184.77	5000	5100	62.173
9	36.58	384.58	5.04	228.31	7.52	4.16	36580	754.67	235.02	4160	5100	89.597
10	31.38	381.9	4.77	228.31	7.61	5.29	31380	754.35	235.03	5290	5100	60.404
11	32.79	336.91	4.67	221.36	7.64	5.33	32790	727.24	227.38	5330	5100	60.297
12	32.04	371.06	4.83	222.26	7.64	4.25	32040	746.14	228.37	4250	5100	76.537
13	24.82	368.81	4.84	232.91	7.6	4.25	24820	746.14	240.13	4250	5100	57.943
14	23.25	354.09	4.7	217.28	7.65	4.5	23250	737.88	222.93	4500	5100	52.168
15	31.98	362.03	4.59	220.2	7.65	3.25	31980	743.34	226.14	3250	5100	99.789
16	32.03	362.7	4.63	227.65	7.6	4.75	32030	746.55	234.3	4750	5100	67.729
17	29.85	366.14	4.81	231.48	7.57	5.08	29850	744.67	238.54	5080	5100	58.314
18	27.07	363.63	4.79	239.43	7.59	4.08	27070	743.25	247.44	4080	5100	64.502
19	28.08	362.01	4.82	232.58	7.63	3.416	28080	742.09	239.77	3416	5100	80.964
20	23.75	357.57	4.9	232.21	7.59	4.75	23750	738.91	239.35	4750	5100	48.976
21	26.66	355.19	4.91	231.89	7.58	3.791	26660	737.37	239	3791	5100	68.721
22	27.72	355.09	4.71	240.16	7.63	3.683	27720	738.44	248.26	3683	5100	72.34
23	27.09	357.01	4.61	235.81	7.61	4.273	27090	740.17	243.37	4273	5100	61.757
24	25.46	353.56	4.91	237.91	7.6	3.978	25460	736.35	245.73	3978	5100	61.57
25	27.32	357.07	4.74	229.06	7.69	4.35	27320	739.49	235.86	4350	5100	62.02
26	26.5	356.89	5.07	232.73	7.67	4.012	26500	737.53	239.94	4012	5100	64.445
27	26.86	356.62	4.94	230.17	7.65	4.414	26860	738.1	237.09	4414	5100	59.779
28	29.39	359.02	4.83	232.19	7.61	3.352	29390	740.2	239.33	3352	5100	86.109
29	25.21	353.14	5	230.65	7.67	5.11	25210	738.08	237.62	5110	5100	48.412
30	26.3	353.51	5.06	231.72	7.62	4.194	26300	735.2	238.81	4194	5100	61.035
31	27.44	354.6	4.46	226.06	7.59	3.809	27440	739.53	232.54	3809	5100	71.615

## Perhitungan Boiler Selama Bulan November

TGI	flow steam	temperatur steam	presssure	temperatur air	presure	flue batu bara	Q=Kg/h	Hg=Kcal/l	Hf=Kcal/l	q=Kg/h	GCV=Kc	Efisiensi
1	25.89	356.05	4.86	228.47	7.65	4.964	25890	738.2	235.21	4964	5100	51.439
2	28.43	365.9	4.91	234.51	7.59	4.057	28430	746.7	241.95	4057	5100	69.355
3	27.01	365.49	4.44	241.38	7.68	6.217	27010	745.61	249.64	6217	5100	42.25
4	46.46	395.79	4.88	249	7.48	4.999	46460	762.05	258.33	4999	5100	91.794
5	29.92	401.02	4.72	229.08	7.71	4.57	29920	765.8	235.89	4570	5100	68.026
6	29.62	394.41	4.94	229.28	7.69	7.103	29620	760.98	236.1	7103	5100	42.917
7	30.03	389.25	4.62	226.12	7.62	7.199	30030	759.38	232.61	7199	5100	43.086
8	45.33	437.98	4.61	245.9	7.66	7.217	45330	787.34	254.78	7217	5100	65.588
9	49.09	465.34	4.74	244.15	7.4	6.825	49090	802.27	252.78	6825	5100	77.496
10	46.14	469.16	4.85	246.59	7.6	12	46140	739.53	232.54	12000	5100	38.223
11	47.3	480.92	4.96	248.04	7.58	8.57	47300	739.53	232.54	8570	5100	54.867
12	54.16	463.1	4.79	246.77	7.23	7.98	54160	739.53	232.54	7980	5100	67.469
13	57.25	471.6	4.8	244.12	7.05	7.49	57250	739.53	232.54	7490	5100	75.984
14	53.76	462.08	4.56	241.94	7.5	9.3	53760	739.53	232.54	9300	5100	57.465
15	55.25	482.63	5.01	244.81	7.45	7.58	55250	739.53	232.54	7580	5100	72.459
16	52.73	463.21	4.64	243.91	7.53	7.26	52730	739.53	232.54	7260	5100	72.202
17	49.66	450.51	4.88	238.99	7.48	8.96	49660	739.53	232.54	8960	5100	55.097
18	54.8	471.39	4.95	240.38	7.51	6.88	54800	739.53	232.54	6880	5100	79.181
19	57.25	470.82	4.55	240.11	7.45	7.77	57250	739.53	232.54	7770	5100	73.246
20	48.81	472.18	4.73	245.6	7.49	8.29	48810	739.53	232.54	8290	5100	58.531
21	52.93	473.72	4.82	245.32	7.52	11	52930	739.53	232.54	11000	5100	47.834
22	57.51	467.87	4.72	243.84	7.37	7.8	57510	739.53	232.54	7800	5100	73.296
23	58	472.46	4.94	244.95	7.29	7.72	58000	739.53	232.54	7720	5100	74.686
24	54.27	464.98	4.61	242.96	7.43	7.11	54270	739.53	232.54	7110	5100	75.879
25	56.72	470.66	4.67	245.68	7.46	7.25	56720	739.53	232.54	7250	5100	77.773
26	49.19	469.39	4.89	245.35	7.6	8.67	49190	739.53	232.54	8670	5100	56.401
27	51.31	473.46	4.64	247.05	7.48	8.79	51310	739.53	232.54	8790	5100	58.029
28	53.67	478.2	5.04	241.59	7.47	7.91	53670	739.53	232.54	7910	5100	67.45
29	55.33	468.59	4.79	242.23	7.38	8.78	55330	739.53	232.54	8780	5100	62.646
30	61.07	461.57	4.91	244.48	7.72	9.2	61070	739.53	232.54	9200	5100	65.989

## Perhitungan Boiler Selama Bulan Desember

TGI	flow steam	temperatur steam	presssure	temperatur air	presure	flue batu bara	Q=Kg/h	Hg=Kcal/l	Hf=Kcal/l	q=Kg/h	GCV=Kc	Efisiensi
1	59.99	467.6	4.76	242.61	7.33	9.42	59990	739.53	232.54	9420	5100	63.308
2	61.38	473.02	4.56	245.55	7.36	8.69	61380	739.53	232.54	8690	5100	70.216
3	53.66	458.76	4.8	246.61	7.43	9.01	53660	739.53	232.54	9010	5100	59.205
4	55.94	459.51	4.84	237.14	7.39	4.33	55940	739.53	232.54	4330	5100	128.43
5	50.09	459.33	4.97	248.43	7.45	8.48	50090	739.53	232.54	8480	5100	58.72
6	56.18	464.05	4.58	247.27	7.4	9	56180	739.53	232.54	9000	5100	62.054
7	53.84	471.41	4.74	246.69	7.49	9.36	53840	739.53	232.54	9360	5100	57.182
8	54.69	468.54	4.58	247.27	7.57	8.98	54690	739.53	232.54	8980	5100	60.543
9	52.6	467.59	4.61	245.04	7.43	6.27	52600	739.53	232.54	6270	5100	83.396
10	61.07	459.63	4.68	244.59	7.37	5.7	61070	739.53	232.54	5700	5100	106.51
11	61.07	424.27	4.75	231.47	7.67	8.4	61070	739.53	232.54	8400	5100	72.273
12	61.07	480.65	4.96	247.16	3.44	9.1	61070	739.53	232.54	9100	5100	66.714
13	61.07	481.27	4.92	244.77	7.41	5.4	61070	739.53	232.54	5400	5100	112.43
14	61.07	474.75	4.65	247.55	7.46	10	61070	739.53	232.54	10000	5100	60.71
15	61.07	467.13	4.79	248.07	7.42	8.1	61070	739.53	232.54	8100	5100	74.95
16	61.07	468.65	4.64	245.49	7.35	8.36	61070	739.53	232.54	8360	5100	72.619
17	61.07	473.99	5	248.86	7.49	9	61070	739.53	232.54	9000	5100	67.455
18	61.07	465.65	4.52	245.61	7.5	9.89	61070	739.53	232.54	9890	5100	61.385
19	61.07	466.53	4.67	246.41	7.43	8.34	61070	739.53	232.54	8340	5100	72.793
20	61.07	468.11	4.9	247.02	7.36	8.77	61070	739.53	232.54	8770	5100	69.224
21	61.07	456.31	4.88	245.2	7.46	4.54	61070	739.53	232.54	4540	5100	133.72
22	61.07	473.2	4.88	247.53	7.44	7.38	61070	739.53	232.54	7380	5100	82.262
23	61.07	422.4	4.83	241.08	7.63	8.53	61070	739.53	232.54	8530	5100	71.172
24	61.07	470.05	4.87	247.06	7.55	9.1	61070	739.53	232.54	9100	5100	66.714
25	61.07	467.03	4.71	247.38	7.44	8.97	61070	739.53	232.54	8970	5100	67.681
26	61.07	472.6	4.97	247.19	7.41	9.1	61070	739.53	232.54	9100	5100	66.714
27	61.07	463.66	4.57	244.64	7.46	8.81	61070	739.53	232.54	8810	5100	68.91
28	61.07	459.62	4.85	247.84	7.44	9.23	61070	739.53	232.54	9230	5100	65.774
29	61.07	458.51	4.71	244.92	7.4	8.48	61070	739.53	232.54	8480	5100	71.591
30	61.07	459.5	4.71	247.99	7.51	8.37	61070	739.53	232.54	8370	5100	72.532
31	61.07	458.23	4.75	248.36	7.34	8.71	61070	739.53	232.54	8710	5100	69.701

# Lampiran 3

## Tabel Properties Air

**TABLE A.6** Thermophysical Properties of Saturated Water<sup>a</sup>

Temperature, $T$ (K)	Pressure, $p$ (bars) <sup>b</sup>	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		Heat of Vaporization, $h_{fg}$ (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m <sup>2</sup> )		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)
		$v_f \cdot 10^3$	$v_g$		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	$Pr_f$	$Pr_g$	
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2