

**ANALISIS PENGARUH UNJUK KERJA AIR PRIHEATER  
TERHADAP EFISIENSI BOILER**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**SYAH RINAL EFENDI  
168130052**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

# **ANALISIS PENGARUH UNJUK KERJA AIR PRIHEATER TERHADAP EFISIENSI BOILER**

## **SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

**SYAH RINAL EFENDI**  
**168130052**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

**ANALISIS PENGARUH UNJUK KERJA AIR PRIHEATER  
TERHADAP EFISIENSI BOILER**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh:

**SYAH RINAL EFENDI  
168130052**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 17/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)17/12/21

## HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Proposal/TA : Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air priheater Terhadap Efisiensi Boiler  
Nama Mahasiswa : Syah Rinal Efendi  
NPM : 168130052  
Bidang Keahlian : Konversi Energi  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Medan, Oktober, 2021

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I

  
( Ir. Husin Ibrahim, M.T. )  
NIDN : 0018106107

  
( Ir. H. Amirsyam Nasution, M.T. )  
NIDN : 0025125606

Dekan

Ka. Prodi Teknik Mesin

  
  
( Dr. Qina Mutzana, M.T. )  
NIDN : 0112096601

  
  
( Muhammad Idris, S.T., M.T. )  
NIDN : 0112058104

Tanggal Lulus : 06 Oktober 2021

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 06 Oktober 2021

Hormat Saya



*Syah Rinal Efendi*  
Syah Rinal Efendi  
NPM:168130052

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**  
**TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN**  
**AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syah Rinal Efendi

NPM : 168130052

Fakultas : TEKNIK

Program Studi : TEKNIK MESIN

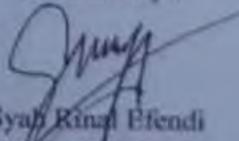
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-FreeRight*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air Priheater Terhadap Efisiensi Boiler. Dengan Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta, menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir / skripsi saya selama tetap

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 06 Oktober 2021

Hormat Saya

  
Syah Rinal Efendi  
NPM : 168130052

## ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan vital yang menentukan majunya perekonomian dan teknologi di suatu negara. Salah satu pembangkit yang menghasilkan listrik adalah PLTU. Boiler merupakan salah satu komponen utama dalam sebuah PLTU yang berperan menghasilkan uap. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam boiler maka boiler dibantu oleh satu komponen pendukung yaitu Air Pre Heater (APH). Penelitian ini akan dilakukan di salah satu PLTU PT. Socimas. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah, Bagaimana hasil analisis bahan bakar pada boiler, Berapa efisiensi pada boiler tanpa adanya alat *Air priheater*, Berapa efisiensi pada boiler dengan menggunakan alat *Air priheater*.

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung yaitu mengambil data pipa dan suhu pada *Air priheater* secara langsung. Untuk mengetahui efisiensi termal metode yang dipakai memerlukan output (udara keluaran) dan input (udara masuk). Dari data tadi diambil konsumsi bahan bakar normal untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penambahan jumlah bahan bakar yang diperlukan. Setelah melakukan analisis data maka hasil penelitian sebagai berikut ; Hasil analisis bahan bakar Batubara Nilai kalor tertinggi (HHV) = 23,240.15 kJ/kg, Nilai kalor terendah (LHV) = 21,885.66 kJ/kg, Kapasitas bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) = 2324,4183 kg/jam. Efisiensi boiler sebelum menggunakan *Air priheater* 70,92%, dan setelah menggunakan *Air priheater* efisiensi meningkat menjadi 76,36%, jadi kenaikan efisiensi sebesar 5,44%.

Kata kunci : *Air priheater*, Efisiensi Boiler, Bahan bakar

## ABSTRACT

*Electrical energy is a vital need that determines the progress of the economy and technology in a country. One of the generators that produce electricity is the PLTU. The boiler is one of the main components in a PLTU which plays a role in generating steam. To get perfect combustion in the boiler, the boiler is assisted by one supporting component, namely Air Pre Heater (APH). This research will be conducted at one of the PT. Socimas PLTU. The objectives of this study are, What are the results of the analysis of fuel on the boiler? What is the efficiency of the boiler without the Air priheater device? What is the efficiency of the boiler using the Air priheater device.*

*In this study, using the direct method, namely taking pipe data and temperature on the water heater directly. To determine the thermal efficiency, the method used requires output (air output) and input (intake air). From this data, normal fuel consumption is taken to determine its effect on the increase in the amount of fuel needed. After analyzing the data, the results of the research are as follows; Results of coal fuel analysis The highest heating value (HHV)= 23,240.15 kJ / kg, the lowest heating value (LHV)= 21,885.66 kJ / kg, Fuel capacity ( $m_f$ )= 2324,4183 kg / hour. The efficiency of the boiler before using the water heater was 70,92%, and after using the water heater the efficiency increased to 76,36%, so the efficiency increase was 5,44%.*

*Keywords: Water preheater, Boiler Efficiency, Fuel*

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Syah Rinal Efendi dilahirkan di padangsidempuan pada tanggal 18 Agustus 1998. Penulis merupakan anak ke tiga dari 4 bersaudara, pasangan dari Abdul Karim Harahap, Kesuma Dewi Pohan. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 002 padangsidempuan, dan Tamat pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama SMP Negeri 10 padangsidempuan dan Tamat pada Tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan SMK SUWASTA TERUNA Jurusan Teknik Pemesinan dan Tamat pada tahun 2016. Pada tahun yang sama, Pada tahun yang sama penulis terdaftar menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

## KATA PENGANTAR

*Assalaamu 'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh*

*Alhamdulillah*, Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayahnya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas akhir ini ialah : **“Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air priheater Terhadap Efisiensi Boiler”**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sudah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan penyusunan dengan sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa keterbatasan pengetahuan dan pengalaman masih banyak kekurangan yang terdapat di dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan petunjuk dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Selama perkuliahan sampai dengan seterusnya skripsi ini penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun materi yang tidak dapat dinilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada :

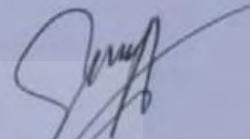
1. Bapak Prof. Dr. Ir. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

3. Bapak Ir. H. Amir Syam Nst, M.T., dan Ir. Husin Ibrahim, M.T., selaku dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, motivasi dan memberikan saran kepada penulis dalam Penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Bapak M.Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi dan bimbingannya.
5. Segenap Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik Universitas Medan Area
6. Abdul Karim Harahap, dan Kesuma Dewi Pohan selaku orang tua yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberikan perhatian, motivasi, nasehat, doa, dukungan moral dan materi sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
7. Recsi Febian Adiansya dan Zulfikar Rifaldo selaku teman kerja peraktek saya, dan yang memberikan bantuan materi, tenaga, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Mhd. Ferdinansyah Ujung, Arizal Fadli, yang ikut memberikan semangat, motivasi, dan membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2016 dari kampus Universitas Medan Area, serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang sudah banyak memberikan motivasi, masukan, dan bantuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan semua pembaca.

*Aamiin yarabbal'alamin.*

Medan, 06 Oktober, 2021



Syah Rinal Efendi  
NPM: 168130052



## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
ABSTRAK .....	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan masalah .....	2
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
A. Definisi Boiler .....	4
B. Klasifikasi Boiler .....	4
C. Komponen-komponen Boiler .....	8
D. Definisi <i>Air priheater</i> .....	15
E. Log Mean Temperature Difference (LMTD) .....	29
F. Efektifitas <i>Air priheater</i> .....	30
G. Efisiensi Boiler .....	31
H. Perpindahan Panas.....	35
I. Bahan Bakar.....	37
J. Nilai Kalor Bahan Bakar .....	39
K. Kebutuhan Bahan Bakar.....	40
L. Udara Pembakaran Ruang Bakar .....	40
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
A. Tempat Dan waktu .....	43
B. Alat Dan Bahan .....	43
C. Metode Penelitian .....	46
D. Diagram Alir.....	48
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
A. Hasil Data .....	49
B. Analisis data .....	50

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
A. Kesimpulan.....	64
B. Saran .....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	66



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ketel Pipa Api .....	5
Gambar 2.2. Ketel Pipa Air.....	6
Gambar 2.3. Ketel Tegak .....	7
Gambar 2.4. Ketel Mendatar.....	7
Gambar 2.5. Ruang Bakar.....	9
Gambar 2.6. Burner.....	9
Gambar 2.7. Economizer.....	12
Gambar 2.8. Cerobong .....	14
Gambar 2.9. Skema Arah Aliran Tubular Type.....	16
Gambar 2.10. Tubulat type <i>Air priheater</i> .....	17
Gambar 2.11. Heating Element.....	18
Gambar 2.12. Radial Seal <i>Air priheater</i> .....	19
Gambar 2.13. Axial Seal <i>Air priheater</i> .....	20
Gambar 2.14. Ljungstrom .....	21
Gambar 2.15. Motor Listrik <i>Air priheater</i> PLTU Unit 3A .....	22
Gambar 2.16. Diagram neraca energi .....	30
Gambar 3.1. Centraln Control Romm.....	44
Gambar 3.2. Unit Air priheater .....	46
Gambar 3.3. Pressure Geuge.....	47
Gambar 3.4. Diangram Alir .....	48
Gambar 4.1. Aliran LMTD .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Excess Air Required By Some Fuel Systems .....	40
Tabel 3.1. Jadwal Penelitian.....	44
Tabel 4.1. Data performance test <i>Air priheater</i> .....	50
Tabel 4.2. Hasil Analisa Proksimasi .....	51



# BAB I

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital yang menentukan majunya perekonomian dan teknologi di suatu negara. Hampir setiap aktifitas manusia membutuhkan listrik. Apalagi, dengan adanya revolusi industri dan modernisasi yang menjadikan kebutuhan manusia akan teknologi semakin tinggi. Tidak heran jika pada akhirnya industri listrik menjadi *public utility* yang cukup vital. Tidak seimbang nya pasokan energi listrik yang tersedia dengan listrik yang dibutuhkan masyarakat menjadi tantangan tersendiri bagi pemerintah untuk menjaga kestabilan energi listrik itu sendiri. Untuk menjaga kestabilan energi ke seluruh wilayah Nusantara, dibutuhkan peralatan pembangkitan yang tidak sekedar mumpuni namun juga handal sehingga dapat beroperasi secara terus menerus dan optimal.[1]

Boiler merupakan salah satu komponen utama dalam sebuah PLTU yang berperan menghasilkan uap. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam boiler maka boiler dibantu oleh satu komponen pendukung yaitu Air Pre Heater (APH). Penelitian ini akan dilakukan di salah satu PLTU PT.Socimas.

PT.Socimas dilengkapi dengan dua unit boiler pipa-pipa air dengan kapasitas uap masing-masing boiler 50 ton dan 35 ton per jam, tekanan kerja rata-rata 26 bar dan temperatur sekitar 750 °C. Boiler yang digunakan adalah 2 unit Boiler CFB yaitu (Circulated Fluidizing Bed). Penggunaan Economizer maupun *Air priheater* boiler bertujuan mengurangi jumlah kehilangan panas boiler yang akan mempengaruhi.

Efisiensi suatu alat di dalam suatu industri diharapkan dapat setinggi mungkin, begitu pula efisiensi Boiler pada stasiun Boiler keluar APH sebesar  $157^{\circ}\text{C}$ , dari data tersebut terlihat adanya penurunan unjuk kerja APH, oleh karena itu harus dilakukan evaluasi terhadap unjuk kerja dari Air priheater, meskipun APH merupakan alat bantu boiler tapi mempunyai pengaruh besar untuk meningkatkan efisiensi boiler.

Bahwa unjuk kerja Air priheater berpengaruh terhadap efisiensi boiler, hal tersebutlah yang membuat penulis mengambil judul tugas akhir “ **Analisis Pengaruh Unjuk Kerja Air priheater Terhadap Efisiensi Boiler**”.

### **Rumusan masalah**

*Air priheater* dirancang atau dibuat dengan perhitungan-perhitungan agar tujuan penambahan *Air priheater* dapat tercapai yaitu efisiensi pembakaran yang optimal pada boiler.

1. Bagaimana hasil analisis bahan bakar pada boiler?
2. Berapa efisiensi pada boiler tanpa adanya alat *Air priheater*?
3. Berapa efisiensi pada boiler dengan menggunakan alat *Air priheater*?

### **Batasan Masalah**

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan / pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan, adapun batasan masalah dalam penyelesaian Proposal Tugas Sarjana ini yaitu :

1. Nilai thermal udara pada *Air priheater* sebelum masuk boiler
2. Menghitung efisiensi boiler dengan memanfaatkan data yang ada di lapangan
3. Jenis alat Air priheater tipe tubular.

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk menganalisis bahan bakar pada boiler
2. Untuk menghitung efisiensi pada boiler tanpa *Air priheater*.
3. Untuk menghitung efisiensi pada boiler dengan adanya alat *Air priheater*.

### **Manfaat Penelitian**

Laporan tugas akhir ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Manfaat bagi penulis untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan dan pengalaman agar mampu melakukan kegiatan yang sama kelak setelah bekerja atau terjunkelapangan.
2. Sebagai pengembangan pengetahuan mahasiswa dan referensi tambahan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Definisi Boiler

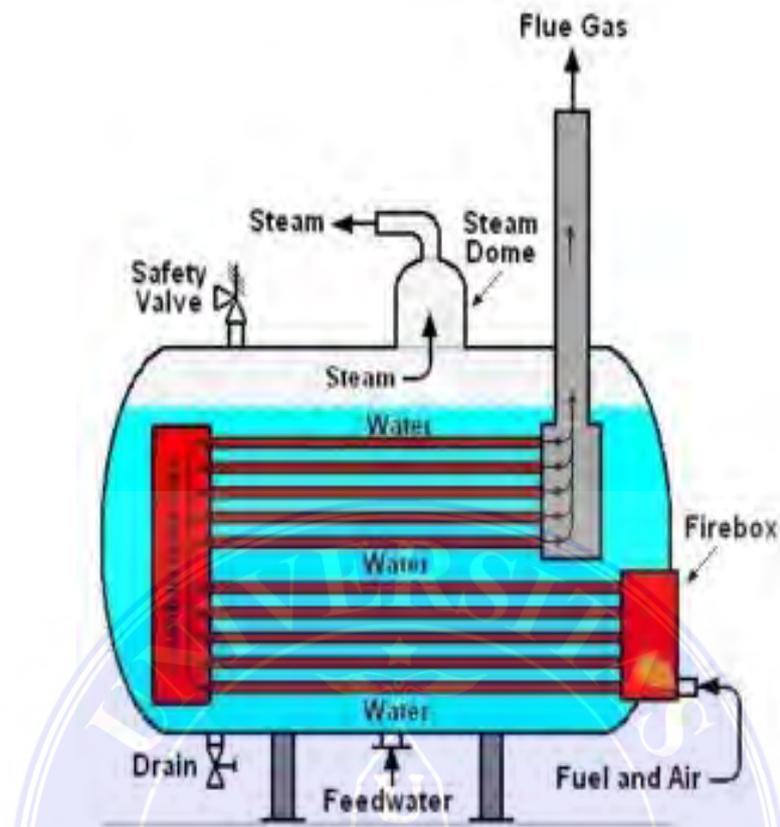
Komponen utama di dalam sistem pembangkit tenaga uap adalah *Boiler* atau yang biasanya disebut ketel uap. Alat ini merupakan alat penukar kalor, dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran diubah menjadi energi potensial yang berupa uap. Uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi inilah yang nantinya digunakan sebagai media penggerak utama turbin uap. Energi panas diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar.

#### B. Klasifikasi *Boiler*

Berikut adalah beberapa macam klasifikasi *Boiler*

1. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa
  - a. Ketel pipa api (*fire tube Boiler*)

Ketel pipa api seperti tampak pada gambar 2.1. gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada didalam shell untuk dirubah menjadi steam. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah dan sedang. Sebagai pedoman, ketel pipa api kompetitif untuk kecepatan steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm<sup>2</sup>. Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat dalam 6 operasi. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai Boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.[2]

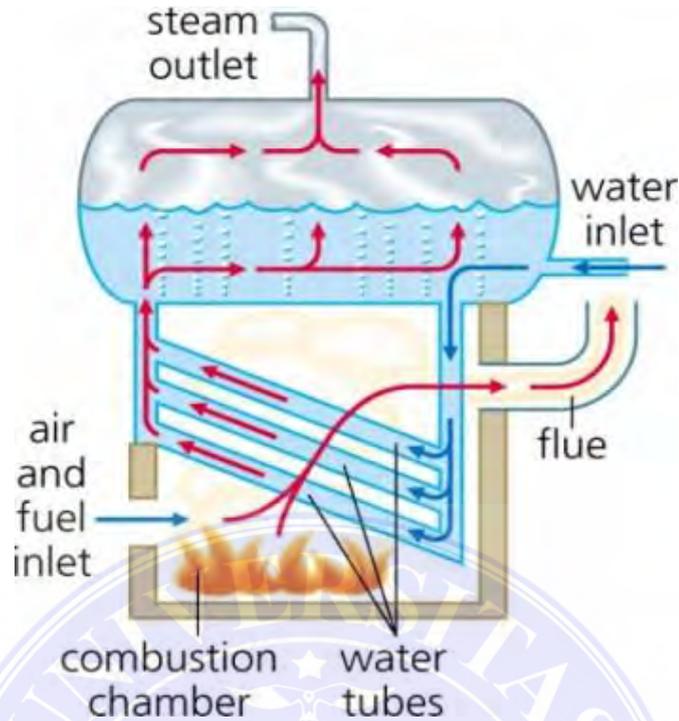


Gambar 2.1. Ketel Pipa Api

#### b. Ketel pipa air (*water tube Boiler*)

Ketel pipa air seperti tampak pada gambar 2.2. air umpan *Boiler* mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut:

- 1). *Force, induce* dan *balance draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi.
- 2). Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari pengolahan air.
- 3). Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



Gambar 2.2. Ketel Pipa Air

## 2. Berdasarkan pemakaiannya

### a. Ketel Stasioner (*Stasionary Boiler*) atau ketel tetap

Merupakan ketel-ketel yang didudukkan di atas fundasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain sebagainya.

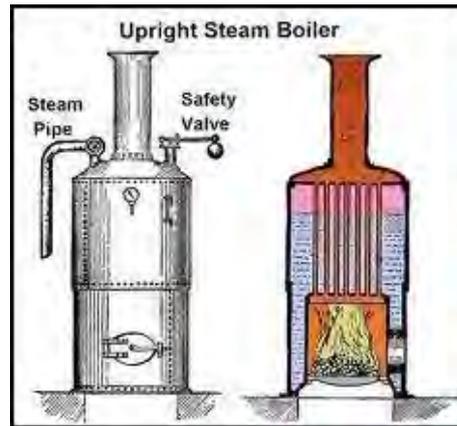
### b. Ketel pindah atau portable *Boiler*.

Merupakan ketel yang dipasang fundasi yang berpindah-pindah (mobil), seperti *Boiler* lokomotif, lokomobil, dan ketel panjang serta lain yang sebagainya termasuk ketel kapal (*marine Boiler*).

## 3. Berdasarkan pada poros tutup drum

### a. Ketel Tegak

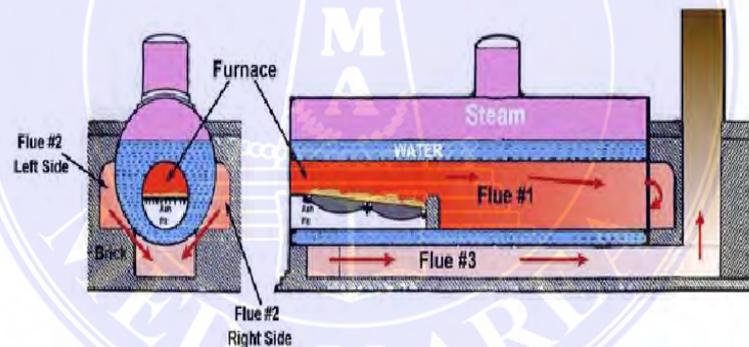
Ketel Tegak seperti tampak pada gambar 2.3. (*vertical steam Boiler*), adapun contoh ketel tegak adalah ketel Cocharn, Ketel Clarkson dan lain-lainnya.



Gambar 2.3. Ketel Tegak

b. Ketel mendatar

Adapun yang termasuk jenis ketel ini adalah ketel Cornish, Lancashire (tampak pada gambar 2.4.) Scotch dan lain-lain.



Gambar 2.4. Ketel Mendatar

Berdasarkan bentuk dan letak pipa

- a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan terlekak-lekuk (straight, bent and sinous tubuler heating surface).
  - b. Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak ( horizontal, inclined or vertical tubuler heating surface).
4. Berdasarkan tekanan kerjanya
- a. Ketel peredaran alami (natural circulation steam *Boiler*).

Merupakan *Boiler* dengan peredaran air didalam ketel terjadi secara alami yaitu air yang ringan naik, sedangkan air yang berat turun, sehingga terjadi aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel *Lancashire, Babcock & Wilcox* dan lain-lain.

b. Ketel peredaran paksa (*force circulation steam Boiler*)

Merupakan *Boiler* dengan aliran paksa, aliran paksa diperoleh dari pompa sentrifugal yang digerakan secara elektrik motor, misalnya sistem aliran paksa pada ketel-ketel bertekanan tinggi misalnya *La-mont Boiler, Benson Boiler, Loeffler Boiler dan Velcan Boiler*.

5. Berdasarkan kapasitasnya

- a. Tekanan kerja rendah :  $\leq 5$  atm
- b. Tekanan kerja sedang :  $> 5-40$  atm
- c. Tekanan kerja tinggi :  $> 40-80$  atm
- d. Tekanan kerja sangat tinggi :  $> 80$  atm

6. Berdasarkan pada sumber panasnya

- a. Ketel uap dengan bahan bakar alami.
- b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan.
- c. Ketel uap dengan dapur listrik.
- d. Ketel uap dengan energi nuklir

### C. Komponen-komponen *Boiler*

*Boiler* terdiri dari beberapa komponen yang memiliki fungsi yang berbeda, yaitu :[3]

## 1. Ruang bakar

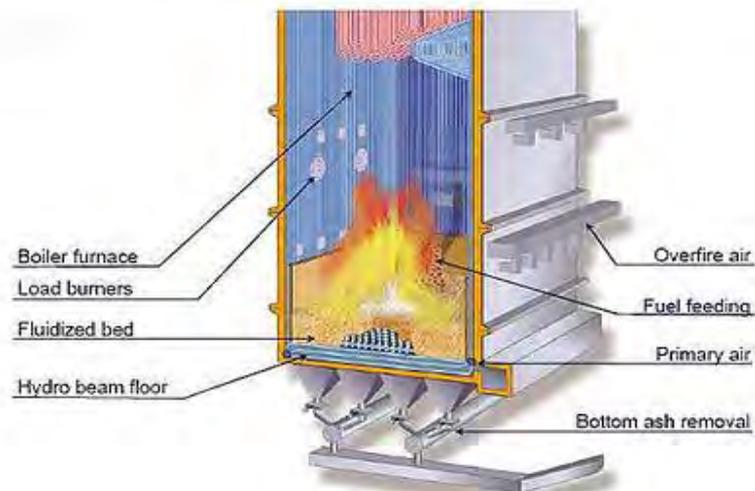
Ruang bakar seperti tampak pada gambar 2.5. adalah bagian dari *Boiler* yang berfungsi untuk tempat berlangsungnya proses pembakaran bahan bakar dan udara. Tekanan gas panas yang berada di dalam ruang bakar (*furnace*) dapat lebih besar dari pada tekanan udara luar (tekanan ruang bakar positif) dan dapat juga bertekanan lebih kecil daripada tekanan udara luar (tekanan ruang bakar negatif) atau bertekanan seimbang (*balance draft*).[1]



Gambar 2.5. Ruang Bakar

## 2. Penyala (*Burner*)

*Burner* seperti tampak pada gambar 2.6. adalah salah satu komponen dari *Boiler* yang menyediakan input panas dengan pembakaran bahan bakar fosil (solar, batubara, dll) termasuk gas alam, dengan hembusan udara atau oksigen. Bahan bakar dikabutkan melalui semprotan bertekanan melalui *nozzle*.



Gambar 2.6. Burner

### 3. Superheater

*Superheater* adalah peralatan yang berfungsi untuk menaikkan temperatur uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan *turbine*. Karena uap yang terbentuk dari pemanasan didalam pipa – pipa di ruang bakar berada dalam wujud jenuh atau basah maka uap yang demikian jika digunakan atau diekspansi dalam *turbine*, akan menimbulkan pengembunan yang cepat. Pada penelitian ini pembangkit PT. SOCIMAS menggunakan satu *Superheater*.

#### a. Temperature Superheater

Uap jenuh dari *steam drum* dialirkan ke primary *Superheater* atau *low temperature Superheater*. *Low Temperature Superheater (LTS)* menghasilkan uap dengan temperature 426<sup>0</sup>C. Uap yang keluar dari *LTS* kemudian dialirkan ke *Temperature Superheater* untuk dipanaskan kembali menjadi uap panas lanjut. Uap dari *LTS* juga digunakan untuk steam atomizing yang membantu proses pengabutan bahan bakar agar bahan bakar dapat terbakar sempurna. Besar energi

panas yang diserap oleh low temperature *Superheater* (*LTS*) untuk mengubah air menjadi uap dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini;[1]

$$QLTS = \dot{m}_s \times (h_{out} - h_{in}) \text{ kJ/jam} \dots\dots\dots(2.1.)$$

Dimana :

$QLTS$  : Panas yang diserap oleh *low temperature Superheater*(kJ/jam)

$\dot{m}_s$  : Kapasitas aliran uap (kg/s)

$h_{out}$  : Entalpi keluar *LTS*(kJ/kg)

$h_{in}$  : Entalpi masuk *LTS*(kJ/kg)

#### b. *Temperature Superheater (HTS)*

Uap hasil pemanasan *LTS* selanjutnya mengalir ke *High Temperature Superheater (HTS)* yang terletak pada bagian gas sangat panas. Sebagian dari *HTS* erletak tepat diatas ruang bakar, oleh karena itu transfer panas yang diperoleh oleh *HTS* adalah secara radiasi dan konveksi. Kemudian uap panas yang diperoleh dari *HTS* mengalir ke turbin. Besar panas yang diserap oleh *High Temperature Superheater* untuk menghasilkan uap dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$QTS = \dot{m}_s \times (h_{out} - h_{in}) \text{ kJ/jam} \dots\dots\dots(2.2.)$$

dimana :

$QTS$  : Panas yang diserap oleh *temperature Superheater* (kJ/jam)

$\dot{m}_s$  : Kapasitas aliran uap (kg/s)

$h_{out}$  : Entalpi keluar *HTS*(kJ/kg)

$h_{in}$  : Entalpi masuk *HTS*(kJ/kg)

#### 4. *Economizer*

*Economizer* merupakan salah satu peralatan yang meningkatkan efisiensi *Boiler* karena memanfaatkan kalor yang terkandung dalam *flue gas* sebelum terbang ke atmosfer melalui *stack*. Dengan adanya *ekonomizer* maka unit PLTU telah menghemat konsumsi bahan bakar. *Economizer* terdiri dari pipa-pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap sebelum meninggalkan *Boiler*. Transfer panas yang terjadi pada *economizer* adalah secara konveksi.

Besar panas yang diserap oleh *economizer* ini dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{eco} = \dot{m}_s \times C_{p_{air}} (T_{out} - T_{in}) \text{ kJ/jam} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

$Q_{eco}$  : Panas yang diserap oleh *economizer*(kJ/s)

$\dot{m}_s$  : Kapasitas aliran uap (kg/jam)

$C_{p_{air}}$  : Panas jenis air (kJ/Kg°C)

$T_{out}$  : Temperatur keluareconomizer(°C)

$T_{in}$  : Temperatur masukeconomizer(°C)



Gambar 2.7. Economizer

### 5. Boiler drum

*Boiler drum* adalah bejana tempat menampung air yang datang dari *economizer* dan uap hasil penguapan dari *tubewall*. Kira – kira setengah dari drum berisi air dan setengahnya lagi berisi uap. *Boiler drum* terbuat dari plat baja dilas dan dilengkapi diantaranya:

- a. *Man hole*
- b. Saluran menuju *Superheater*
- c. Saluran menuju *feedwater inlet*
- d. Saluran menuju *blowdown*
- e. Saluran menuju *downcomer*
- f. Saluran menuju *safety valve*
- g. Pipa injeksi bahan kimia
- h. Pipa *sample taking*
- i. Pipa menuju alat ukur dan kontrol

Pengaturan level di dalam *Boiler drum* dilakukan dengan mengatur besarnya pembukaan *flow control valve*. Apabila level air di dalam drum terlalu rendah atau tidak terkontrol akan menyebabkan terjadinya *overheating* pada pipa

– pipa *Boiler*, sedangkan bila level drum terlalu tinggi, kemungkinan butir – butir air terbawa ke turbin dan mengakibatkan kerusakan pada turbin. Untuk mengamankannya pada *Boiler* drum dipasang alarm untuk level *high* dan level *low* serta trip untuk level *very low* dan *very high*. Uap yang dihasilkan dari dalam *tube wall* terkumpul di dalam *Boiler drum*. Uap akan mengalir ke arah puncak *Boiler drum* melewati steam separator dan *screen dryer* lalu keluar dari dalam drum menuju *Superheater* dan akhirnya ke turbin. Sedangkan butir – butir air yang jatuh akan bersirkulasi kembali bersama air yang baru masuk.

#### 6. Cerobong

Cerobong / *stack* seperti tampak pada gambar 2.8 merupakan cerobong asap yang berfungsi sebagai laluan flue gas terbang ke atmosfer. Temperatur flue gas sebelum terbang ke atmosfer dijagatidak melebihi  $160^{\circ}\text{C}$ , agar tidak terjadi kerusakan lingkungan atau merusak lapisan ozon.[4]



Gambar 2.8. Cerobong

#### D. *Air priheater*

*Air priheater* adalah sebuah alat penukar kalor (*heat exchanger*) dimana udara sekitar dinaikkan temperaturnya dengan mentransferkan panas dari fluida lainnya yaitu *flue gas*. Sejak *Air priheater* dapat digunakan dengan sukses untuk memperoleh kembali panas dari *flue gas* pada level temperatur yang lebih rendah dari yang dapat dilakukan oleh economizer, panas yang dikeluarkan ke cerobong dapat diminimalisir dalam jumlah yang sangat besar hingga diperoleh efisiensi boiler yang lebih tinggi. Setiap penurunan temperatur 20°C pada sisi temperatur keluaran flue gas, efisiensi boiler meningkat berkisar 1% juga diikuti penurunan CO<sub>2</sub> pada gas buang di cerobong. Tambahan lagi selain untuk meningkatkan efisiensi boiler, keuntungan lain yang didapat bila menggunakan *Air priheater* adalah: stabilitas pembakaran meningkat dengan menggunakan udara panas, meningkatkan dan memperbaiki proses pembakaran, membakar bahan bakar dengan kualitas rendah secara efisien, nilai *heat transfer rate* tinggi di dalam boiler, oleh sebab itu kebutuhan luas perpindahan panas lebih sedikit, lebih sedikit bahan bakar yang tidak terbakar sehingga pembakaran sempurna dapat dicapai, izin pembakaran meningkat, dan variasi beban lebih cepat. Bahkan batubara kualitas rendah sekalipun dapat dibakar secara efisien dengan udara panas supply dari *Air priheater*. Besar panas yang diserap oleh *Air priheater* ini dari *flue gas* untuk memanaskan udara pembakaran dapat dihitung dengan persamaan berikut.[5]

$$Q_{AH} = (W_a)_{akt} \times C_{pudara} (T_{out} - T_{in}) \text{ kJ/s} \dots\dots\dots (2.4.)$$

dimana :

QAH : panas yang diserap oleh *Air priheater*(kJ/jam)

(W<sub>a</sub>)<sub>akt</sub> : berat udara sebenarnya (kg/jam)

C<sub>p</sub>air : panas jenis udara (kJ/Kg<sup>0</sup>C)

T<sub>out</sub> : temperatur udara keluar *Air priheater*(<sup>0</sup>C)

H<sub>in</sub> : temperatur udara masuk *Air priheater*(<sup>0</sup>C)

### 1. Tipe-tipe *Air priheater*

Jenis alat pra-pemanasan udara (*Air priheater/APH*) yang biasa digunakan dalam pembangkit tenaga uap thermal, yang pertama adalah pra-pemanasan udara regeneratif (*regenerative Air priheater*). *Regenerative Air priheater* ini dapat mengatur arah aliran secara horizontal atau vertikal melintang dari arah rotasi. Sedangkan tipe *Air priheater* tipe tubular (*tubular type*) yang dibuat ke *ducting boiler flue gas* dan yang terakhir yaitu tipe regenerator.[6]

#### a. *Regenerative Air priheater*

Sebuah *Air priheater* tipe regeneratif terdiri dari rotor sentral yang menjaga putaran tetap pada kecepatan konstan. Permukaan perpindahan panas yang mengacu pada matriks disatukan ke rotor sentral. *Air priheater* dibagi menjadi dua bagian. Udara panas *flue gas* masuk dari atas dan keluar dari bawah dalam satu bagian; udara sekitar masuk melalui bawah dan keluar melalui atas pada bagian yang lain. Selama fase pemanasan, udara panas *flue gas* melakukan kontak dengan matriks dan mentransferkan energi panasnya.

#### b. Tubular type

##### a). Konstruksi

*Air priheater* tipe tubular terdiri dari gabungan beberapa pipa yang melewati saluran outlet dari boiler dan terbuka pada setiap akhir keluaran dari saluran *ducting*. Di dalam *ducting*, gas panas melewati sekeliling pipa *Air priheater*, mentransferkan panas dari gas buang ke udara di dalam *Air priheater*. Udara sekitar dipaksa oleh sebuah kipas (*fan*) melalui saluran pada akhir akhir pipa *Air priheater* dan di sisi akhir yang satunya udara panas masuk ke dalam pipa-pipa bersatu dengan sekumpulan *ducting* yang lain, yang akhirnya masuk ke dalam tungku boiler untuk proses pembakaran.



Gambar 2.9. Skema Arah Aliran Tubular Type



Gambar 2.10. Tubular type *Air priheater*

### c. *Dew Point Corrosion*

*Dew point corrosion* terjadi untuk beberapa alasan. Tipe bahan bakar yang digunakan, kandungan sulfur dan kandungan moisture 17 adalah faktor-faktor yang berkontribusi atas terjadinya *dew point corrosion*. Bagaimanapun juga, hal paling signifikan yang menyebabkan *dew point corrosion* adalah temperatur logam dari pipa-pipa.

Jika temperatur logam di dalam pipa turun hingga dibawah temperatur *acid saturation*, biasanya antara 190oF (88oC) dan 230oF (110oC), tetapi terkadang temperatur 260oF (127oC), maka resiko kerusakan akibat *dew point corrosion* menjadi sangat besar. Sangat penting untuk tidak mendinginkan temperatur *flue gas* hingga di bawah titik *acid dew point* karena dapat berakibat kondensasi *liquid acid* dari *flue gas* menyebabkan permasalahan korosi serius untuk peralatan yang digunakan untuk mentransportasikan, mendinginkan dan mengeluarkan *flue gas*.

## 2. Komponen *Air preheater*

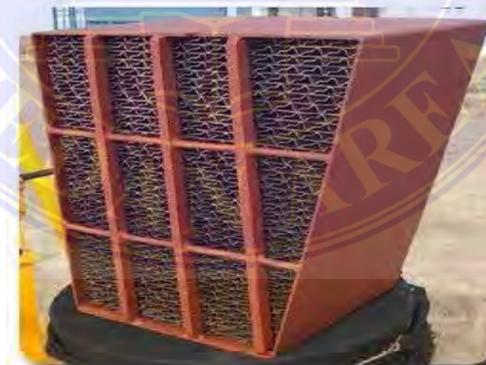
Pada dasarnya *Air preheater* terdiri dari beberapa bagian atau komponen yang mendukung kinerjanya. Komponen-komponen tersebut mempunyai peranan masing-masing dalam mendukung kinerja Air preheater yang sangat berperan penting dalam meningkatkan efisiensi boiler dan membuat sistem PLTU menjadi lebih ramah lingkungan. Berikut ini adalah komponen yang terdapat pada *Air preheater*.

### a. *Heating Elemen*

Elemen pemanas yang berupa lempengan-lempengan plat metal yang terbagi menjadi 3 bagian jika dilihat secara vertikal seperti pada gambar 2.11.

yaitu antara lain: sisi atas *Hot End layer* dan sisi bawah *Cold End layer* serta ditengah keduanya terdapat *Intermediate Layer*. Plat itu terpasang pada suatu poros yang di susun pada kompartemen silindris yang terbagi secara *radial* yang semua bagiannya disebut sebagai *rotor*. [7]

Rotor ini berputar dalam ruangan yang memiliki sambungan *duct* di kedua sisinya satu sisi di aliri gas buang, sisi lain berisi udara baik primer maupun sekunder. Saat *rotor* diputar, setengah bagiannya memasuki saluran gas buang dan menyerap energi panas yang terkandung di dalamnya sedangkan setengah bagian yang lain mentransfer panas dari elemen ke udara pada sisi saluran udara sehingga menghasilkan udara panas yang selanjutnya akan dipasok ke *furnace*. *Heat transfer element* merupakan komponen vital dari *Air priheater*. Ini sangat penting untuk memastikan data panas dan hidrodinamik dapat dihandalkan. Berikut gambar dari Heating Element sebagai berikut :



Gambar 2.11. Heating Element

#### b. *Sealing System*

*Seal* (perapat) berfungsi sebagai pencegah kebocoran fluida baik udara maupun gas buang yang melewati elemen panas pada saat operasi. Pada kondisi normal aliran udara memiliki level tekanan yang lebih tinggi dari aliran gas inilah

yang rawan akan kebocoran Biasanya udara mengalami kebocoran ke bagian sisi gas dalam *Air priheater* disebabkan oleh perbedaan tekanan. Kebocoran udara ini mengurangi temperatur *flue gas* tanpa mengekstraksi panas. Untuk mengurangi kebocoran udara maka dipasanglah sebuah seal. Seal merupakan persyaratan yang penting bahwa bagian yang berputar harus tetap memiliki *clearance* antara komponen statis untuk menghindari gangguan diantara komponen statis dan yang berputar. Berikut adalah tipe seal yang sering digunakan dalam *Air priheater* industri pembangkitan:

a). *Radial seal*

Radial seal seperti gambar 2.12. digunakan untuk mengurangi kebocoran udara langsung ke bagian sisi gas yang terjadi di potongan bagian tengah atau menyegel permukaan *Air priheater*. Radial seal dipasangkan pada setiap diafragma dari rotor untuk terjaganya jarak yang tetap dekat dengan permukaan seal yang memisahkan antara aliran sisi udara dan gas. Dengan adanya radial seal umur pakai dari *Air priheater* menjadi lebih lama.



Gambar 2.12. Radial Seal *Air priheater*

b). *Axial seal*

*Axial seal* seperti gambar 2.13 dipasang pada sisi luar dari rotor memanjang dari sisi *hot end* sampai dengan *cold end*. *Seal* bekerja sama dengan *radial seal* untuk meminimalkan *gap* antara *rotor* dengan *seal*



Gambar 2.13. Axial Seal Air priheater

c). *Bypass seal*

*Bypass seal* terletak di *Air priheater* tipe axial di bagian *hot end* dan *cold end*. *Bypass seal* ditahan oleh sudut yang tetap ke *connecting plates*. *Bypass seal* menutup terhadap “T-bar” tetap terhadap lingkaran luar rotor. (*Bypass seal* bersifat stasioner, permukaan seal berputar bersamaan dengan rotor)

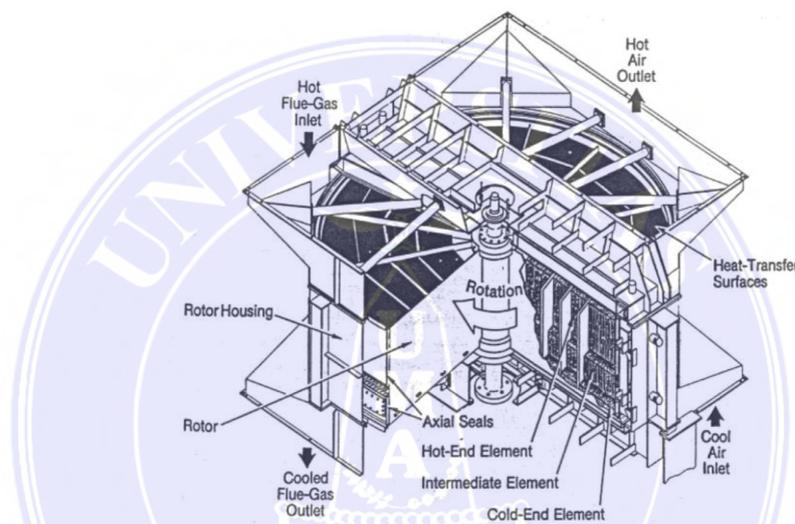
d). *Circumferential seal*

Letaknya di sekeliling dan pusat *rotor*. Fungsi utama adalah mencegah kebocoran udara atau gas buang saat berputarnya *rotor*, dalam melakukan fungsi ini di bantu *xial seal*.

### 3. Cara Kerja Air priheater

Kebutuhan pemanasan awal untuk udara pembakaran pada boiler sekarang ini menjadi suatu keharusan sebagai usaha untuk meningkatkan efisiensi boiler.pada pembakaran untuk pembangkit-pembangkit listrik khususnya

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PT. Socimas sebagai salah satu PLTU yang menggunakan alat ini untuk memanaskan udara primer sebagai komponen utama yang menunjang proses pembakaran di boiler, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Karena digunakan untuk memanaskan udara primer maka alat ini sering disebut sebagai *primary Air priheater* dan bertipe *Rotary Regenerative* seperti gambar 2.14.



Gambar 2.14. Ljungstrom

Secara umum prinsip kerja *Air priheater* adalah gas panas sisa pembakaran dari boiler keluar melewati *Air priheater* dan memanasi permukaan elemen pemanas *Air priheater*, karena *Air priheater* berputar pada porosnya, elemen pemanas letaknya berubah akibat putaran poros tersebut. Elemen pemanas yang telah berada pada sisi udara akan memanaskan udara yang masuk dari arah berlawanan sehingga temperatur udara keluar dari *Air priheater* yang akan digunakan untuk proses pembakaran di boiler menjadi meningkat.

#### 4. Komponen Pendukung *Air priheater*

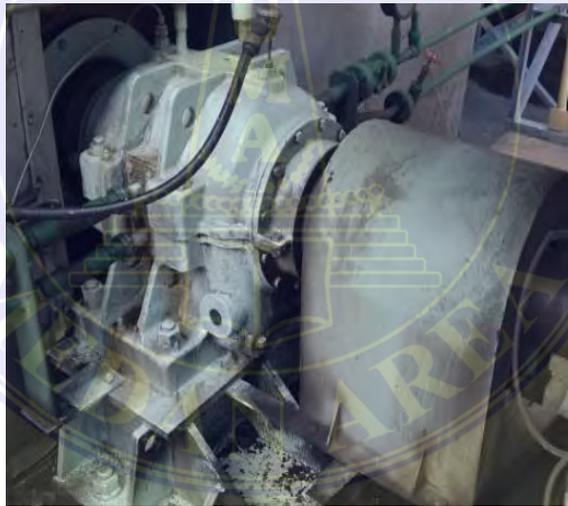
Supaya *Air priheater* dapat bekerja secara optimal, terdapat beberapa alat pendukung beroperasinya sebuah *Air priheater*.

##### a. Penggerak Rotor

Penggerak Rotor memiliki 3 komponen yang saling bersinambung dalam beroperasi menggerakkan rotor dari *Air priheater*, antara lain.

##### a). Motor Listrik

Rotor digerakan oleh motor listrik yang diletakan di luar elemen pemanas seperti gambar 2.15. Hal ini dilakukan karena motor listrik tidak memiliki ketahanan apabila diletakkan pada temperatur yang cukup tinggi.



Gambar 2.15. Motor Listrik *Air priheater* PLTU Unit 3A

##### b. *Speed Reducer* (*Gearbox*)

*Speed Reducer* berguna untuk menurunkan kecepatan yang dihasilkan motor listrik sebelum disalurkan ke *rotor*. Kecepatan diturunkan karena pada dasarnya perpindahan panas yang terjadi antara bagian bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah membutuhkan waktu yang cukup lama

a). *Bearing*

Pada sisi bagian atas dan bawah *rotor inner drum*, terdapat *roller guide bearing* yang dipasang untuk menahan beban rotor arah horizontal dan beban axial vertikal sebuah *Air priheater*.

b). Sistem Sirkulasi Pelumas

Sistem Sirkulasi Pelumas berperan penting dalam mencegah kerusakan pada Air priheater dikarenakan keausan pada bagian poros. Sistem sirkulasi oli ini mendistribusikan minyak pelumas pada bearing dengan cara menggunakan komponen-komponen sebagai berikut:

1. *Oil Pump*

*Oil Pump* berfungsi mensirkulasikan minyak pelumas ke bagian-bagian yang membutuhkan pada *Air priheater*.

2. Motor Listrik

Motor listrik berguna dalam memberikan daya kepada *Oil Pump* untuk mensirkulasikan minyak pelumas ke bagian-bagian yang membutuhkan pada *Air priheater*.

3. *Oil Cooler*

*Oil Cooler* berfungsi mendinginkan minyak pelumas setelah disirkulasikan pada bagian-bagian dari *Air priheater* dengan cara melewatkan minyak pelumas tersebut ke kisi-kisi pendingin. Pendinginan ini berlangsung secara konveksi dengan air tawar.

4. *Temperature Switch for Bearing Oil*

Berfungsi mengatur sirkulasi minyak pelumas pada *bearing* sesuai dengan temperature yang telah ditentukan.

### c. *Cleaning Device*

Perangkat ini berfungsi dalam membersihkan kotoran hasil pembakaran atau deposit atau jelaga yang terdapat pada dari *Air priheater*. Deposit yang terakumulasi secara terus-menerus dapat menyebabkan penyumbatan pada elemen pemanas dan juga bisa menyebabkan kebakaran pada *Air priheater*, maka dari itu pembersihan pada *Air priheater* sangat diperlukan untuk menjaga faktor fungsionalnya, pembersihan ini akan terjadi pada interval waktu tertentu. *Cleaning Device* pada *Air priheater* yang terdapat pada PLTU Unit 3 dan 4 menganut sistem *Single Nozzle Cleaning Device* dengan media pembersih jelaga berupa uap air. Adapun bagian dari *Cleaning Device* adalah:

- a). *Steam Condition for Blowing*
- b). Motor Listrik
- c). *Stationary Washing Device*

Perangkat ini berperan dalam melakukan *Water Washing* (Pencucian dengan Air) pada *Air priheater*. Adapun tujuan dari *Water Washing* adalah mencuci atau dengan kata lain membersihkan dengan air bagian dari elemen *Air priheater* yang pelaksanaannya tergantung pada kondisi *Boiler shutdown*, seperti lamanya *Boiler* tersebut bekerja, frekuensi dari penyalaan dan penghentian kerja *Boiler*, lamanya kerja *Boiler* dengan beban rendah, turunnya suhu lingkungan dan lain sebagainya yang mana *Boiler* tidak dirancang pada kondisi itu.

## 5. Proses Pengeoperasian *Air priheater*

### a. Memulai Proses Pengoperasian

*Air priheater* harus dinyalakan bersamaan dengan waktu menyalakan *Force Draft Fan*. Jika terdapat dua atau lebih *Air priheater*, maka rotor dari semua

unit harus dinyalakan secara bersamaan. Jika hanya satu unit yang mengalirkan udara dan gas buang, dan lainnya berhenti mengalirkan (tertutup) udara dan gas buang, maka pertama-tama buka peredam udara (*air damper*) dan kemudian diikuti membuka peredam gas. Urutan kerja ini akan mencegah rotor dari posisi panas berlebih dan tidak dapat digerakkan karena ekspansi termal yang berlebihan. [2]

Perhatikan tingkat kenaikan suhu terhadap motor penggerak. *Overheating* (panas berlebih) dapat menyebabkan semakin kecilnya *clearance* (kerenggangan) *seal rotor*. Semakin kecilnya *clearance* dari seal rotor akan menyebabkan motor penggerak mengalami *overload* (beban berlebih). Jika *overload* ini tidak terlalu besar atau tidak seberapa, dan kapasitas dari *thermal relay* atau sekering tidak berlebihan, maka diharapkan pada *seal rotor* secara bertahap akan dilakukan penyesuaian, sehingga mengurangi beban dari motor penggerak.

Penyesuaian terhadap kekerasan karet seal rotor diperlukan hanya jika terjadi kelebihan beban pada motor penggerak. Semakin kecilnya *clearance* rotor pada *Air priheater* biasanya bersamaan dengan semakin kecilnya *clearance* antara gear-gear pada *Speed Reducer*, sehingga menyebabkan gear-gear tersebut semakin sulit digerakkan. Kondisi ini juga dapat membebani secara berlebih motor penggerak, maka dari itu diperlukan penyesuaian pada *gear* dengan cara melakukan *shifting* atau pergeseran pada gigi penggerak. Periksa pelumas dan pasokan minyak *grease* (untuk *bearing*) dari semua bagian yang membutuhkan pelumasan, merujuk instruksi spesifik yang meliputi Sistem Sirkulasi Pelumas dan rekomendasi pelumasan.

### b. Proses Pengoperasian Berlangsung

Jika gas panas atau udara panas mengalami gangguan di saat berada di *Air priheater*, maka akan menyebabkan peningkatan suhu yang abnormal. Hal ini akan menyebabkan pergerakan pada *seal* menjadi lebih berat dan juga keausan pada bagian-bagian *seal*.

Bila hal ini terjadi maka proses pembakaran pada *boiler* harus dihentikan dan seal-sael dari *Air priheater* harus dalam proses perbaikan (diganti). Sebelum menyalakan kembali proses pembakaran pada *Boiler*, periksalah ulang *Air priheater* dan lakukan tindakan yang diperlukan untuk pembersihan guna memastikan bahwa tidak ada bahan yang mudah terbakar yang pada elemen pemanas.

### c. Menghentikan Proses Pengoperasian

Kegiatan ini biasanya bersamaan dengan dilakukannya proses perawatan pada *Boiler*, maka diperlukan untuk menggunakan perangkat pembersih untuk menghilangkan deposit yang mungkin telah terakumulasi pada elemen pemanas. Biarkan kipas berjalan selama proses pembersihan. Jika ada kemungkinan bahwa pada saat proses pengoperasian sebelumnya telah meninggalkan deposit yang mudah terbakar pada elemen pemanas, maka dinginkan elemen pada tingkat suhu yang stabil, yaitu di bawah 150 Oc.

Hal ini untuk menghindari memegang deposit yang mudah terbakar pada suhu yang dapat menyebabkan pembakaran atau pengapian spontan dari deposit tersebut. Biarkan *rotor* berputar sampai suhu pada inlet gas buang turun di bawah 150 Oc.

## 6. Maintenance *Air priheater*

### a. Pengecekan

Proses pengecekan pada *Air priheater* sangat diperlukan untuk mencegah kerusakan *Air priheater* dan turunnya efisiensi pada *Boiler* serta tentunya menjaga proses produksi pada PLTU Unit 3 dan 4. Ada 2 jenis proses pengecekan berdasarkan interval waktunya antara lain:

#### a). Pengecekan harian

Harus dilakukan pengecekan pada komponen perangkat pembersih (*Cleaning Device* dan *Statinary Washing Device*) dengan melihat lampu indikator atau variasi temperatur pada *Air priheater*.

Periksa kondisi pelumas pada bagian bantalan secara berkala. Tanda-tanda dari minyak pelumas yang berbusa dapat diketahui bila dilakukan proses pengecekan yang rutin.

#### b). Pengecekan Tahunan

Dilakukan pemeriksaan pada lapisan anti karat di elemen pemanas dan perangkat pembersih (*Cleaning Device* dan *Statinary Washing Device*).

### b. Cleaning

Adapun proses *cleaning* yang dilakukan pada *Air priheater* adalah

- a). Pembersihan secara berkala dengan *rotary soot blower* .*Soot blower* menggunakan fluida kerja uap untuk membersihkan *element heater*. Pembersihan ini dilakukan bersamaan dengan pembersihan jelaga di *tube-tube boiler*. Jadwalnya ditentukan berdasarkan penggunaan bahan bakar pada boiler. Apabila unit beroperasi menggunakan bahan bakar *Residual Oil*

ataupun *dual firing* maka akan dijadwalkan beberapa pembersihan dengan *soot blower*.

- b). Pengujian *lightning test* dengan menggunakan lampu untuk melihat penyumbatan pada *element heater* sambil *Air priheater* diputar (dilakukan saat *overhaul*).
- c). Pembersihan *element heater* menggunakan air yang disyaratkan pada *stationary washing device*. Pembersihan ini dilakukan saat unit *overhaul* dengan melepas *element heater*.
- d). *Balancing Element Heater*, karena *Air priheater* adalah komponen yang berputar sehingga perlu diadakan *balancing* agar dapat berputar dengan normal dan baik. Pembersihan *speed reducer*, rantai dan *gear* yang dilakukan bersamaan dengan *overhaul*.

#### **E. Log Mean Temperature Difference (LMTD)**

LMTD merupakan metode untuk menghitung kemampuan transfer panas *heat exchanger* dari segi termal jika temperatur masuk dan keluar dari sisi panas maupun dingin diketahui. Ada beberapa asumsi yang harus terpenuhi untuk menghitung performa *heat exchanger* menggunakan LMTD, yaitu:

- a. *Heat exchanger* diisolasi (tidak ada perpindahan panas dengan lingkungan sekitar, hanya bagian fluida panas dan dingin saja).
- b. Energi potensial dan energi kinetik diabaikan
- c. Fluida memiliki panas jenis (*specific heat*) konstan.
- d. Koefisien overall heat transfer konstan.
- e. Tidak terjadi perubahan fase pada fluida.

Rumus Mencari LMTD :

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \text{ atau } \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \times 100 \dots \dots \dots (2.5.)$$

Catatan : Untuk *counterflow* nilai  $T_{ao}$  boleh melampaui nilai dari  $T_{go}$ .

## F. Efektifitas *Air priheater*

Berdasarkan teori dari *heat exchanger*, efisiensi thermal dari *Air priheater* Ljungstrom tipe tipikal sebuah pembangkitan dapat dinyatakan dalam fungsi NTU dan CR dari sebuah *heat exchanger*. Jika konstruksi fisik dan material dari sebuah *heat exchanger* diketahui, maka nilai performanya dapat ditentukan. Efisiensi thermal adalah ditunjukkan sebagai fungsi Number of Transfer Unit (NTU), untuk nilai CR antara 0.60 – 0.95 (lihat gambar di bawah ini). Efisiensi thermal dari sebuah *Air priheater* meningkat ketika ukuran dari *Air priheater* meningkat pula (diikuti nilai NTU meningkat) dan CR ratio (flow rate dari udara pembakaran relatif terhadap *flue gas*) meningkat. Performa aktual dari *Air priheater* (dinyataan pada gambar di bawah), ditetapkan dari *Performance Test Air priheater*, dibandingkan dengan performa desain awal dari *Air priheater*[8]

$$C_R = C_{ar} / C_{gas} \text{ (Persamaan 1)}$$

$C_{ar}$  = Capacity of the air stream flowing through the *Air priheater*

$C_{gas}$  = Capacity of the gas stream flowing through the *air preheate*

Rumus Mencari Efektifitas *Air priheater* :

$$\varepsilon = \frac{T_{ao} - T_{ai}}{T_{gi} - T_{ai}} = \frac{T_{gi} - T_{go,NL}}{T_{gi} - T_{ai}} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.6.)$$

keterangan :

$T_{gi}$  : Perhitungan masuk flue gas temperature C°

$T_{go}$  : Perhitungan keluar flue gas temperature C°

$T_{ai}$  : Perhitungan masuk air temperature C°

$T_{ao}$  : Perhitungan keluar air temperature C°

$T_{go,NL}$  : Flue gas temperature APH outlet, kondisi tidak ada kebocoran C°

Berdasarkan American Standard ASME PTC 4.3 untuk memperoleh nilai temperature gas outlet yang diasumsikan tanpa kebocoran dan semua kebocoran terjadi pada sisi *Air priheater cold end* ( $T_{go,NL}$ ) adalah sebagai berikut.

Rumus *cold end* ( $T_{go,NL}$ ) :

$$T_{go,NL} = \frac{C_{pa}}{C_{pg}} \times (T_{go} - T_{ai}) + T_{go} \dots \dots \dots (2.7.)$$

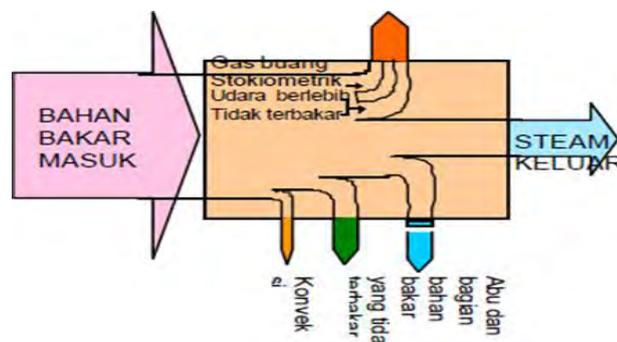
keterangan :

$C_{pa}$  : Mean specific heat of air

$C_{pg}$  : Mean specific heat of flue gas

**G. Efisiensi Boiler**

Efisiensi termis *Boiler* adalah energipanas masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan steam. Diagram neraca energi dapat dilihat seperti pada gambar 2.16 dibawah ini.[9]



Gambar 2.16. Diagram *neraca energi*

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*.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini adalah metode langsung. Secara umum skripsi ini akan membahas analisa nilai kalor bahan bakar dan perhitungan efisiensi *Boiler*. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi *Boiler* :

#### 1. Metode langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *Boiler*. Metodologi Dikenal juga sebagai, metode input-output' karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran / output (steam) dan panas masuk / input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus: (Pravitasari, 2017)

$$\text{Efisiensi Boiler, } \eta_{th} = \frac{Q_{keluar}}{Q_{masuk}} \times 100 \dots \dots \dots (2.8.)$$

dimana:

$\eta_{th}$  : Efisiensi *Boiler*

$Q_{in}$  : Energi panas yang masuk (kJ/jam)

$Q_{out}$  : Energi panas yang keluar (kJ/jam)

Energi masuk adalah energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran, dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$Q_{in} = \dot{m}_f \times \text{LHV} \times \eta_f \text{ (Kg/jam)} \dots \dots \dots (2.9.)$$

dimana :

$Q_{in}$  : Energi panas yang dihasilkan (Kg/s)

$\dot{m}_f$  : Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan (Kg/s)

LHV : Nilai kalor terendah bahan bakar (kJ/s)

$\eta_f$  : Efisiensi dapur teori berkisar 90%-97% diasumsikan 95%

Energi keluar adalah energi yang diperlukan untuk pembentukan uap saturasi pada boiler, dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Q_{sat} = \dot{m}_s \times (h_{sat} - h_a) \text{ kJ/jam} \dots \dots \dots (2.10.)$$

dimana :

$Q_{sat}$  : Energi panas yang diperlukan untuk mengubah air menjadi uap (kJ/jam)

$\dot{m}_s$  : Kapasitas aliran uap (kg/jam)

$h_{sat}$  : Entalpi uap saturasi (kJ/kg)

$h_a$  : Entalpi air pengisi ketel uap (kJ/kg)

Keuntungan metode langsung :

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi *Boiler*
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data benchmark

Kerugian metode langsung :

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

## 2. Metode tidak langsung

Efisiensi merupakan perbedaan antar kehilangan dan energi masuk. Metodologi Standar acuan untuk Uji *Boiler* di tempat dengan menggunakan metode tidak langsung adalah British Standard, BS 845:1987 dan USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units. Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangkan bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler, } \eta_{th} = 100\% - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)\% \dots \dots \dots (2.11.)$$

Dimana kehilangan yang terjadi dalam *Boiler* adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- a. Gas cerobong yang kering
- b. Penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar
- c. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- d. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- e. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ fly ash
- f. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ bottom ash
- g. Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung.

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan. Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi *Boiler* dengan menggunakan metode tidak langsung adalah:

Analisis ultimate bahan bakar (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, S, C, kadar air, kadar abu)

- a. Persentase oksigen atau CO<sub>2</sub> dalam gas buang
- b. Suhu gas buang dalam °C (Tf)

- c. Suhu awal dalam °C ( $T_a$ ) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- d. LHV bahan bakar dalam kkal/kg
- e. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- f. LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Keuntungan metode tidak langsung:

Dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi *Boiler*.

Kerugian metode tidak langsung:

1. Perlu waktu lama.
2. Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

## H. Perpindahan Panas

Menurut Hukum Termodinamika Kedua “ Bahwa tidak mungkin menukar tenaga kalor keseluruhan menjadi tenaga bersih”. Akan tetapi prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh Josep Black yang dikenal dengan sebutan Asas Black“ Bahwa panas yang diserap sama dengan panas yang dilepas”, yaitu :

$$Q_{\text{serap}} = Q_{\text{lepas}}$$

Pada alat pemanas udara, fluida yang menyerap panas adalah udara, sedangkan fluida yang melepas panas adalah gas buang. Dalam hal ini besar panas yang diserap udara dan besar panas yang dilepas gas buang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

Menurut (J.P Holman, 1997), sifat fluida dingin dievaluasi pada temperatur rata-rata adalah :

$$T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \dots\dots\dots(2.12.)$$

dimana :

$T_{ci}$  :temperatur udara masuk (°C)

$T_{co}$  :temperatur udara keluar (°C)

Sedangkan untuk sifat fluida panas :

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \dots\dots\dots(2.13.)$$

dimana :

$T_{hi}$  :temperatur gas buang masuk (°C)

$T_{ho}$  :temperatur gas buang keluar (°C)

Besar panas yang diserap fluida dingin (udara) adalah sebagai berikut :

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{serap}} = m_{\text{udara}} \times c_p \text{ udara} \times (T_{u,\text{out}} - T_{u,\text{in}}) \dots\dots\dots(2.14.)$$

dimana :

$Q_{\text{serap}}$  :besar panas yang diserap udara (°C)

$m_{\text{udara}}$  : laju aliran massa udara (kg /s)

$c_p \text{ udara}$  : panas jenis udara (kJ/kg °C)

$T_{u \text{ out}}$  : temperatur udara keluar (°C)

$T_{u \text{ in}}$  : temperatur udara masuk (°C)

Sedangkan panas yang dilepas gas buang adalah:

$$Q_{\text{lepas}} = m_{g,\text{buang}} \times c_p \text{ g.buang} \times (T_{g,\text{b.in}} - T_{g,\text{b.out}}) \dots\dots\dots(2.15.)$$

dimana :

$Q_{\text{lepas}}$  : besar panas yang dilepas gas buang (kJ/s)

$M_{g \text{ buang}}$  : laju aliran gas buang (kg/jam)

$C_p \text{ g.buang}$  : panas jenis gas buang (kJ/kg °C)

$T_{g.b.in}$  : temperatur gas buang masuk ( $^{\circ}C$ )

$T_{g.b.out}$  : temperatur gas buang keluar ( $^{\circ}C$ )

## I. Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti Fisi nuklir atau Fusi nuklir). Hidrokarbon (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif.

Berdasarkan wujudnya bahan bakar terbagi atas tiga jenis yaitu :

### a. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara. Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi.

### b. Bahan bakar cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/gasolin/premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Minyak bumi adalah campuran berbagai

hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa: parafin, naphtena, olefin, dan aromatik. Kelompok senyawa ini berbeda dari yang lain dalam kandungan hidrogennya. Minyak mentah, jika disuling akan menghasilkan beberapa macam fraksi, seperti: bensin atau premium, kerosen atau minyak tanah, minyak solar, minyak bakar, dan lain-lain. Setiap minyak petroleum mentah mengandung keempat kelompok senyawa tersebut, tetapi perbandingannya berbeda

### c. Bahan bakar gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni Compressed Natural Gas (CNG) dan Liquid Petroleum Gas (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan Bahan Bakar Gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor.

Berdasarkan materinya terbagi atas dua yaitu :

#### a). Bahan bakar tidak berkelanjutan

Bahan bakar tidak berkelanjutan bersumber pada materi yang diambil dari alam dan bersifat konsumtif. Sehingga hanya bisa sekali dipergunakan dan bisa habis keberadaannya di alam. Misalnya bahan bakar berbasis karbon seperti produk-produk olahan minyak bumi.

#### b). Bahan bakar berkelanjutan

Bahan bakar berkelanjutan bersumber pada materi yang masih bisa digunakan lagi dan tidak akan habis keberadaannya di alam. Misalnya tenaga matahari.

Dalam pemilihan bahan bakar ketel uap (*boiler*) hal yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut :

- a. Bahan bakar tersebut mudah didapat
- b. Harga bahan bakar relatif murah
- c. Nilai kalor dari bahan bakar cukup baik dan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan panas atau terbakar tidak terlalu lama
- d. Tidak mengandung logam berat
- e. Kadar abu lebih rendah
- f. Tidak rusak pada penyimpanan dalam waktu yang lama
- g. Memiliki efisiensi yang tinggi pada sistem pembakaran

#### J. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor (*heating value*) adalah banyaknya energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran 1 kg bahan bakar. Nilai kalor ini dibagi menjadi dua :

- a. Nilai kalor tertinggi atau *High Heating Value* (HHV)

Nilai kalor tertinggi atau *High Heating Value* (HHV) adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar, tanpa adanya kandungan air pada bahan bakar. Untuk menghitung nilai kalor tertinggi (HHV) digunakan persamaan Dulong dan Petit berikut.

$$\text{HHV} = (33950 \times C) + 144200 \left( \text{H}_2 - \frac{\text{O}_2}{8} \right) + (9400 \times S) \quad \text{kJ/kg} \dots\dots\dots (2.16.)$$

- b. Nilai kalor terendah atau *Low Heating Value* (LHV)

Nilai kalor terendah atau *Low Heating Value* (LHV) adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar dan sebagian dimanfaatkan untuk penguapan sehingga kandungan air pada bahan bakar akan habis. Untuk menghitung nilai kalor terendah (LHV) digunakan persamaan berikut.

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400(\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \text{ kJ/kg} \dots \dots \dots (2.17.)$$

### K. Kebutuhan Bahan Bakar

Dalam menentukan banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_s(h_{sup}-h_a)}{\text{LHV} \times \eta_k} \text{ (kg/jam)} \dots \dots \dots (2.18.)$$

Dimana :

$\dot{m}_f$  : Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan (kg b.bakar/jam)

$\dot{m}_s$  : Kapasitas uap

$h_{sup}$  : Entalpi uap keluar superheater

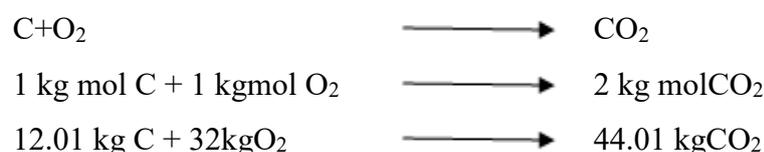
$h_a$  : Entalpi air pengisi ketel uap

LHV : Nilai kalor rendah bahan bakar (kJ/kg)

$\eta_k$  : Efisiensi thermal boiler (0.70) (John R Howell ; Richard O Buckius)

### L. Udara Pembakaran Ruang Bakar

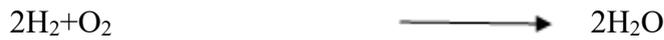
Untuk memperoleh pembakaran yang sempurna pada ruang bakar dibutuhkan perbandingan udara dan bahan bakar di dalam ruang bakar untuk menentukan udara minimum. Hal ini dapat dinyatakan dalam kg udara per kg bahan bakar atau dalam kg mol udara per kg mol bahan bakar. Komposisi kimia bahan bakar residu yang bereaksi dengan Oksigen (O<sub>2</sub>) pada proses pembakaran sempurna adalah : Karbon (C), Hidrogen (H<sub>2</sub>), dan Sulfur (S) dalam hasil reaksi sebagai berikut;





Jadi pada setiap pembakaran 1 kg C secara sempurna dibutuhkan oksigen minimum 2.66 kg dan akan menghasilkan karbon dioksida 3.66 kg.

a. Unsur Hidrogen (H<sub>2</sub>)



Jadi pada setiap pembakaran 1 kg H<sub>2</sub> secara sempurna dibutuhkan oksigen minimum 7.94 kg dan akan menghasilkan uap air 8.9365 kg.

b. Sulfur (S)



Jadi pada setiap pembakaran 1 kg S secara sempurna dibutuhkan oksigen minimum 0.998 kg dan akan menghasilkan sulfur dioksida 1.998 kg.

Dalam menentukan kebutuhan udara pembakaran pada ruang bakar dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

Kebutuhan udara teoritis adalah :

$$(W_a)_{th} = \frac{(2.66 \times C) + (7.94 \times H_2) + (0.998 \times S) - O^2}{0.232} \text{ kg udara/kg b. bakar} \dots\dots\dots (2.19.)$$

dimana:

(W<sub>a</sub>)<sub>th</sub> : Kebutuhan udara teoritis (kg<sub>udara</sub>/kg<sub>b. bakar</sub>)

Pembakaran yang sempurna membutuhkan udara berlebih. Udara berlebih ini diperlukan untuk memastikan pembakaran yang terjadi di ruang bakar sempurna atau tidak sempurna. Oleh sebab itu apabila hanya menghitung udara teoritis dikhawatirkan pembakaran di ruang bakar tidak sempurna. Jadi untuk menentukan kebutuhan udara aktual dapat diperoleh dari persamaan berikut.

Kebutuhan Udara Aktual adalah :

$$(W_a)_{act} = (W_a)_{th} + (f_a \times (W_a)_{th}) \text{ kg}_{udara} / \text{kg}_{b.bakar} \dots\dots\dots (2.20.)$$

dimana :

$(W_a)_{act}$  : Kebutuhan udara aktual ( $\text{kg}_{udara} / \text{kg}_{b.bakar}$ )

$f_a$  : faktor udara berlebih

Tabel 2.1. Excess Air Required By Some Fuel Systems

No.	Fuel	System	Excess air (%)
1.	zCoal	<i>Pulverized, completely water-cooled finance</i>	15-20
		<i>Pulverized, partially water-cooled furnace</i>	15-40
		<i>Spreader stoker</i>	30-60
		<i>Chain gate and traveling stoker</i>	15-50
		<i>Crushed, cyclone furnace</i>	10-15
2.	Fuel oil	<i>Oil burner</i>	5-10
		<i>Multifuel burner</i>	10-20
3.	Gas	<i>Gas burner</i>	5-10
		<i>Multifuel burner</i>	7-12

Banyaknya kebutuhan udara pembakaran tiap jam adalah :

$$W_{total} = \dot{m}_f \times (W_a)_{act} \text{ Kg}_{udara} / \text{s} \dots\dots\dots (2.21.)$$

dimana:

$W_{total}$  : Kebutuhan udara total ( $\text{Kg}_{udara} / \text{jam}$ )

$\dot{m}_f$  : Banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan ( $\text{kg}_{b.bakar} / \text{jam}$ )

$(W_a)_{act}$  : Kebutuhan udara aktual ( $\text{kg}_{udara} / \text{kg}_{b.bakar}$ )

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### A. Tempat Dan Waktu

#### 1. Tempat

Tempat penulis melakukan penelitian dilaksanakan di PT.SOCIMAS OLEOCHEMICAL Jl. Pulau Irian No. 2, Kawasan industri Medan, Saentis – Percut Sei Tuan, Deli Serdang – 20371, Sumatera Utara.

#### 2. Waktu

Penelitian ini dilakukan mulai 5 Agustus- 6 September 2019 pengambilan data di PT. SOCI MAS OLEOCHEMICAL pada setiap hari senin – jumat.

Tabel 3.1. Jadwal penelitian

Jadwal	2020				2021				
	Mei	Jun	Ags	Sep	Ags	Okt	Jan	Feb	Mar
Pengurusan Berkas									
Studi Literatur									
Pengambilan Judul									
Seminar Proposal									
Analisis Data									
Seminar Hasil									
Sidang Sarjana									

## B. Alat dan Bahan

### 1. Komputer Central Control Room



Gambar 3.1. Central Control Room

*Central control room (CCR)* atau sistem operasi terpusat dengan menggunakan sistem *DCS* maupun *PLC* adalah pusat kontrol, monitoring, dan informasi mengenai aktivitas pabrik secara *up-to-date* dan berlangsung terus menerus selama 24 jam, yang dikendalikan baik secara *manual* maupun *auto* oleh seorang atau beberapa operator dengan kemampuan yang baik. Dan yang paling utama dalam sistem operasi terpusat yaitu "*status permission*" dimana tidak ada seorangpun yang bisa menjalankan mesin disemua lokasi tanpa adanya "*permit*" dari operator *ccr*. Dimana pada ruangan tersebut terdapat beberapa komponen baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yaitu:

### 2. Operator station

Seperangkat *CPU* dengan spesifikasi yang tinggi setara dengan *computer server* guna menunjang *transfer data* yang tinggi dan beroperasi terus menerus selama 24 jam. Pada perangkat ini dipasang (*install*) perangkat lunak sebagai *interface* antara manusia (*human*) dan mesin (*machine*) untuk melakukan pengontrolan.

Pada perangkat inilah semua kondisi mesin ditampilkan berupa:

- a. *Start-stop sequence* yaitu indikasi bahwa mesin sementara operasi (*running*), mesin dalam kondisi berhenti operasi (*stop*).
- b. *Machine monitoring & measuring* yaitu kondisi *equipment* berupa *temperature, rotation, power, position, ready, alarm, pressure, flow, volume, dosage*, dan *open-close*.
- c. *Process control* yaitu parameter operasi yang akan dikontrol selama proses produksi dengan pilihan *mode manual* atau *auto* sesuai kebutuhan.
- d. Menampilkan grafik (*trend display*) setiap kondisi parameter operasi maupun kondisi mesin untuk setiap perubahan yang terjadi untuk memudahkan kerja operator dalam menganalisis dan mengambil keputusan.

### 3. Unit Air Prehater

Gas panas sisa pembakaran dari boiler keluar melewati *Air priheater* dan memanasi permukaan elemen *Air priheater*, karena *Air priheater* berputar pada porosnya, elemen pemanas letaknya berubah akibat putaran poros tersebut.



Gambar 3.2. Unit *Air Prehater*

#### 4. *Pressure Gauge*

Alat Ukur Tekanan digunakan untuk mengukur gaya pada fluida yang bersifat cair maupun gas. Tekanan umumnya diukur dengan satuan gaya per unit area. Instrumen yang digunakan untuk menghitung dan menunjukkan tekanan dalam satuan integral disebut dengan *Pressure Gauge* atau *Vacuum Gauge*.



Gambar 3.3. *Pressure Gauge*

### C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian analisis pengaruh unjuk kerja *Air priheater* terhadap efisiensi boiler

#### 1. Metode Studi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan.

#### 2. Metode Pengolahan dan Analisa Data

Metode ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh penulis untuk menghitung nilai-nilai yang termasuk perbandingan nilai kalor bahan bakar dan perpindahan panas .

##### a. Konsumsi Bahan Bakar

Dari data tersebut diambil konsumsi bahan bakar normal untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penambahan jumlah bahan bakar yang diperlukan.

Untuk penyusunan skripsi ini penulis menganalisa dengan metode langsung dimana penulis mengambil data langsung dilapangan meliputi :

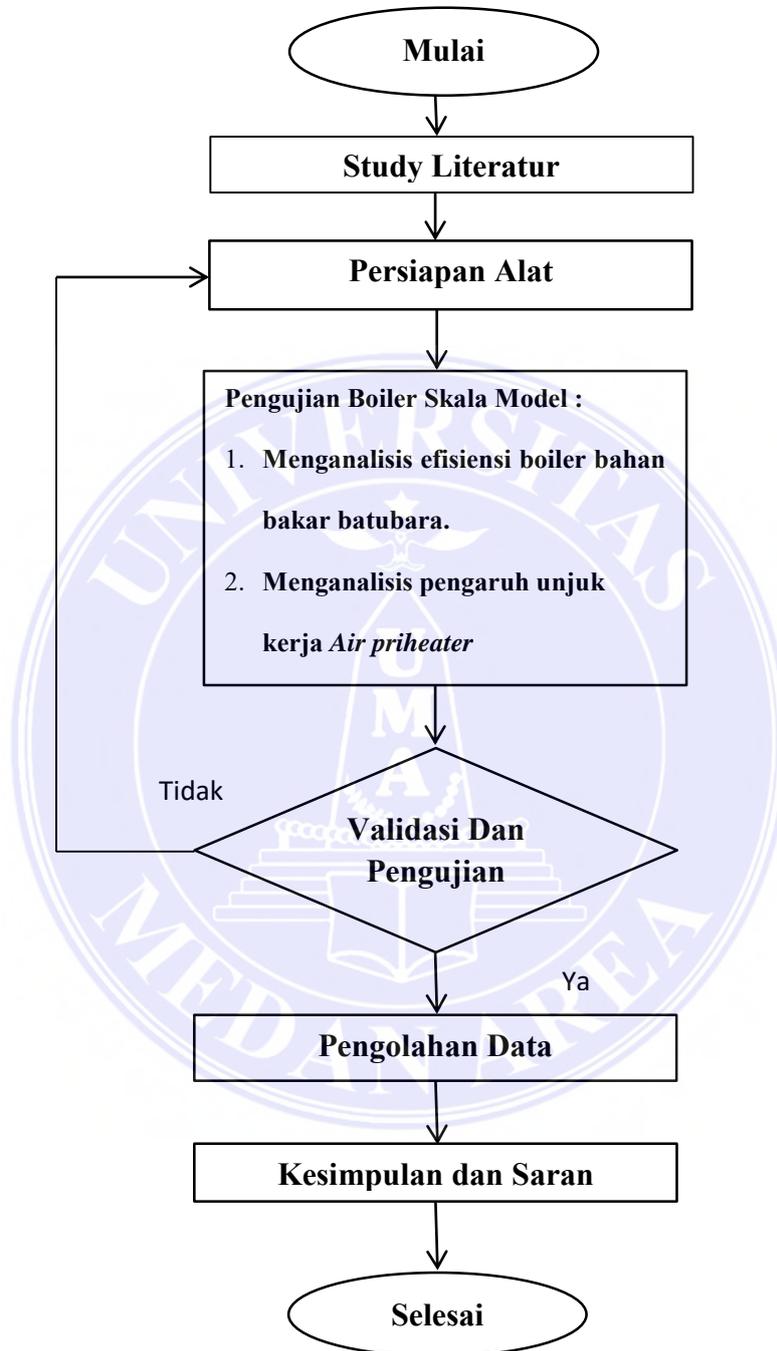
- Konduktifitas thermal pipa ( $W/m\ ^\circ C$ )
- Temperature pipa *Air priheater* ( $^\circ C$ )
- Temperature udara input ( $^\circ C$ )
- Temperature udara output ( $^\circ C$ )
- Aliran udara di dalam pipa ( $Kg/s$ )
- Diameter pipa *Air priheater* lama (Cm)
- Diameter pipa *Air priheater* baru (Cm)

b. Data pipa

Mengambil data pipa dan suhu pada *Air priheater* secara langsung. Untuk mengetahui efisiensi termal metode yang dipakai memerlukan output (udara keluaran) dan input (udara masuk).

Diagram alir dibawah ini menunjukkan langkah – langkah dalam menyelesaikan penelitian ini, sebagai berikut;

**D. Diagram Alir**



Gambar 3.4. Diagram Alir

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat penulis dari hasil penelitian dan perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisis bahan bakar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Bahan bakar : Batubara
- b. Nilai kalor tertinggi (HHV) : 23,240.15 kJ/kg
- c. Nilai kalor terendah (LHV) : 21,885.66 kJ/kg
- d. Kapasitas bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) : 2,37kg/s
- e. Kebutuhan udara pembakaran( $W_a$ ) : 25,88 Kg<sub>udara</sub>/s

2. Dari survey dan hasil perhitungan diperoleh nilai:

- a. Kapasitas boiler ( $\dot{m}_s$ ) : 13,88 kg/s
- b. Energi panas yang dihasilkan ( $Q_{in}$ ) : 49.275,56 kJ/s
- c. Energi panas yang diserap superheater : 4.419,39 kJ/s
- d. Energi panas yang diserap economizer : 2.953,664 kJ/s
- e. Energi panas yang diserap Air priheater : 16.244,6431 kJ/s
- f. Efektivitas Air priheater : 77,32 %
- g. Efisiensi boiler sebelum menggunakan Air priheater 70,92% dan setelah menggunakan Air priheater efisiensi meningkat menjadi 76,36%, jadi kenaikan efisiensi sebesar 5,44%.

## B. Saran

1. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa pengaruh *Air priheater* terhadap peningkatan efisiensi *boiler* PT.SOCIMAS ini sangat kecil yaitu sekitar 5,68% sehingga disarankan kepada pihak PT.SOCIMAS agar melakukan proses *maintenance* terhadap *Air priheater*.
2. Pentingnya melakukan pengecekan/perawatan secara rutin terhadap komponen utama maupun pendukung *boiler* seperti pada *Air priheater* sehingga setiap komponen dari *boiler* dapat bekerja dengan maksimal sesuai dengan fungsinya.
3. Bagi peneliti selanjutnya, hendaknya melakukan penelitian terkait efisiensi *boiler* dengan metode tidak langsung sehingga dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi *Boiler*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. D. S, E. I. Hardiansyah, and M. Ivanto, "Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler Kapasitas 55 Ton / Jam di PT PT . PJB ( Pembangkit Jawa Bali ) PLTU Ketapang 2X10 MW," pp. 3–7, 2017.
- [2] S. A, Pesawat- Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap), Jakarta: Edisi Pertama Penerbit CV Rajawali, 1988.
- [3] PPIPE BPPT, "Outlook Energi Indonesia 2018 : energi berkelanjutan untuk transportasi darat," 2018.
- [4] Asmudi, "Analisa Unjuk Kerja Kondensor Terhadap Penurunan Daya pada PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak," *Energi Lingkungan.*, pp. 1–15, 2009.
- [5] R. N. P. Wahyono, "Pengaruh Unjuk Kerja *Air priheater* Type Ljungstorm Terhadap Perubahan Beban Di Pltu Tanjung Jati B," vol. 9, no. 3, 2013.
- [6] M. V. NURHASAN, "Analisis Unjuk Kerja Regenerative *Air priheater* Sisi a Pltu Unit 3 Pt . Pjb Up Gresik Menggunakan Standar American Society of Mechanical Engineers Performance Analysis Regenerative *Air priheater* Side a Pltu Unit 3 Pt . Pjb Up Gresik Using American Society of Me," 2015.
- [7] "Analisis-perhitungan-efisiensi-gas-air-heater-di-pltu-cirebon-1."
- [8] P. Studi, T. Mesin, J. T. Mesin, F. Sains, D. A. N. Teknologi, and U. S. Dharma, "Boiler Pipa Pipa Air Fcb," 2007.
- [9] A. Dan, P. Efisiensi, and C. F. B. Boiler, "karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/," pp. 40–57.

- Junaidi, J., Abdirullah, A., & Prakoso, M. (2020). Implementasi Analisis Karakteristik Komposit Serat Knaf Menggunakan Metode Uji Impek Untuk Jenis Spesifikasi Ukuran Kecil. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 91-101. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.3920>
- Alfath, S., & Siswanto, B. (2020). Analisis Pengaruh Waktu Artificial Age (T6) Terhadap Struktur Kristal, Densitas Dan Kekerasan Paduan Alumunium (6061) Untuk Bahan Sirip Roket. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 102-113. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4041>
- Putri, D., Siswanto, B., & Antonius, D. (2020). Pengaruh Waktu Artificial Aging terhadap Struktur Kristal, Kerapatan Dislokasi dan Kekerasan pada Paduan Al-7075. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 114-128. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4045>
- Megantara, R., Siswanto, B., & Antonius, D. (2020). Analisis Pengaruh Suhu Artificial Age Terhadap Kekerasan, Densitas dan Struktur Kristal Paduan Alumunium (5052) Untuk Bahan Sirip Roket. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 129-143. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4040>
- Muhklisin, M. (2020). Analisa Gaya Radial Pada Proses Turning Menggunakan Sensor Strain Gauge. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 144-151. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.3992>
- Pane, M., Sebayang, M., & Siahaan, A. (2020). Perencanaan Transmisi dan Poros Bagi PLTMH dengan Head 22 Meter dan Debit Air 50 Liter Per Detik pada Air Terjun Curug Pelangi. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 152-158. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4066>
- Arifiyanto, M., Siswanto, B., & Hotsan, B. (2020). Analisa Pengaruh Temperatur dan Kelembaban Terhadap Perubahan Panjang dan Gugus Fungsi Pada Material Plastik PMMA (Polymethymethacrylate). *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 159-173. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4057>
- tampubolon, k., & Lumbanbatu, F. (2020). Analisis Penggunaan Knalpot Berbahan Komposit Untuk Mengurangi Tingkat Kebisingan Pada Motor Suzuki Satria. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 174-182. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4065>
- Elbar, W., & tampubolon, k. (2020). Pengaruh Campuran Silikon Pada Aluminium Terhadap Kekerasan Dan Tingkat Keausannya. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 183-196. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4070>
- sugihrahma, g. (2020). Pengaruh Arus Pengelasan Shield Metal Arc Welding dengan Elektroda E7018 pada Baja Karbon Rendah. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 4(2), 197-207. doi:<https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i2.4091>