

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA *BOILER* COCHRAN DENGAN
INDIRECT METHOD DAN PIPA DISTRIBUSI UAP
MENGUNAKAN *HEAD LOSS* DI PT. EASTERN PEARL
FLOUR MILLS**

Disusun dan diajukan oleh:

I MADE WIDHI ADITYA PRANATA

D021191073



DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA *BOILER COCHRAN* DENGAN
INDIRECT METHOD DAN PIPA DISTRIBUSI UAP
MENGUNAKAN *HEAD LOSS* DI PT. EASTERN PEARL
FLOUR MILLS**

Disusun dan diajukan oleh

I Made Widhi Aditya Pranata

D021 19 1073

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

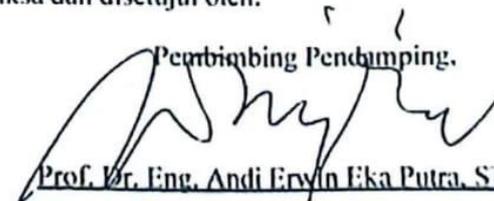
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Utama,


Ir. Andi Mangkau, MT

NIP 19611231 199002 1 003

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Eng. Andi Eryin Eka Putra, ST., MT

NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT

NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : I Made Widhi Aditya Pranata
NIM : D021 19 1073
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Analisis Kinerja *Boiler Cochran* Dengan *Inderect Method* Dan Pipa Distribusi Uap Menggunakan *Head Loss* Di PT. Eastern Pearl Flour Mills”

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 23 Januari 2024

Yang menyatakan



I Made Widhi Aditya Pranata

ABSTRAK

I MADE WIDHI ADITYA PRANATA. Analisis Kinerja Boiler Cochran Dengan Indirect Method Dan Pipa Distribusi Uap Dengan Head Loss Di PT. Eastern Pearl Flour Mills (dibimbing oleh Ir. Andi Mangkau, MT dan Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT)

Boiler merupakan sejenis bejana tertutup yang dimana panas dari hasil pembakaran ditransferkan ke air sampai air tersebut menjadi air yang bersuhu tinggi atau uap, kemudian air yang bersuhu tinggi atau uap tersebut pada tekanan tertentu digunakan untuk mentransfer panas ke sebuah proses (pellet). sehingga perlu mengkaji ulang kinerja *boiler* karena jika kinerja *boiler* terganggu maka menyebabkan produksi pellet akan mengalami penurunan dan banyak kerugian lainnya sehingga mengeluarkan *cost* lebih banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi *boiler* dan mengetahui *head loss* terhadap gesekan dan *fitting* yang terjadi pada pipa distribusi uap dari *boiler* cochran sampai ke *header* B. Metode yang digunakan untuk mengetahui efisiensi *boiler* adalah *indirect method* yaitu mengurangi kerugian atau kehilangan panas dengan energi masukan, sedangkan pada pipa distribusi uap menggunakan *head loss* yaitu besarnya nilai kerugian energi yang diakibatkan oleh gesekan dalam pipa dan *fitting* pada pipa distribusi uap. Hasil penelitian memperoleh efisiensi *boiler* paling besar terjadi pada tekanan 720 kPa dengan nilai efisiensi *boiler* sebesar 83,74%. Pada pipa distribusi uap dari *boiler* cochran ke *header* A nilai *head loss* terhadap gesekan terendah terjadi pada tekanan 700 kPa dengan nilai 1,33 m dan nilai *head loss* terhadap *fitting* terendah dengan nilai 1,13 m. Pada pipa distribusi uap dari *header* A ke *header* B nilai *head loss* terhadap gesekan terendah terjadi pada tekanan 568,8 kPa dengan nilai 9,89 m dan nilai *head loss* terhadap *fitting* terendah dengan nilai 1,54 m.

Kata kunci: efisiensi *boiler*, *indirect method*, dan *head loss*

ABSTRACT

I MADE WIDHI ADITYA PRANATA. *Performance Analysis of Cochran Boiler Using Indirect Method and Steam Distribution Pipe with Head Loss at PT. Eastern Pearl Flour Mills* (supervised by Ir. Andi Mangkau, MT and Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT)

A boiler is a type of closed vessel in which heat from combustion is transferred to water until the water becomes high temperature water or steam, then the high temperature water or steam at a certain pressure is used to transfer heat to a process (pellets). So it is necessary to review the performance of the boiler because if the performance of the boiler is disturbed it will cause pellet production to decrease and there will be many other losses resulting in more costs. This research aims to determine boiler efficiency and determine head loss due to friction and fittings that occur in the steam distribution pipe from the Cochran boiler to header B. The method used to determine boiler efficiency is the indirect method, namely reducing losses or heat loss with input energy, while the steam distribution pipe uses head loss, namely the amount of energy loss caused by friction in the pipe and fittings in the steam distribution pipe. The research results showed that the greatest boiler efficiency occurred at a pressure of 700 kPa with a boiler efficiency value of 83.74%. In the steam distribution pipe from the Cochran boiler to header A, the lowest head loss against friction occurs at a pressure of 700 kPa with a value of 1.33 m and the lowest head loss against the fittings with a value of 1.13 m. In the steam distribution pipe from header A to header B, the lowest head loss against friction occurs at a pressure of 568,8 kPa with a value of 9.89 m and the lowest head loss against fittings with a value of 1.54 m.

Key words: boiler efficiency, indirect method, and head loss

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat Rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, yang mengambil judul: “ANALISIS KINERJA *BOILER COCHRAN* DENGAN METODE *INPUT-OUTPUT* DAN PIPA DISTRIBUSI UAP MENGGUNAKAN *HEAD LOSS* DI PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi Sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa S1 diprogram studi Jurusan Mesin Program Studi Teknik Mesin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik juga saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghanturkan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dan penyusunan skripsi ini sehingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Kepada kedua orang tua penulis tercinta nan terkasih, Bapak I Nyoman Cindra dan Ibu Ni Wayan Kirin, terima kasih atas doa-doa dan segalanya yang diberikan kepada penulis yang tak pernah putus. Tak akan pernah mampu penulis sampai pada titik ini jika tanpa kehadiran beliau.
2. Kepada prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST.,MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudian yang diberikan.
3. Kepada Ir. Andi Mangkau, MT selaku pembimbing pertama yang telah memberikan kritik, saran serta arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Kepada Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST.,MT selaku pembimbing kedua yang telah memberikan kritik, saran serta arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Kepada Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME dan Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT selaku dosen penguji pada penelitian saya yang

senantiasa memberikan koreksi dan saran guna menjadikan penelitian ini lebih baik.

6. Kepada saudara saya I Wyn Apri Arta Upadana selaku saudara saya yang selalu memberikan doa, arahan dan segalanya sehingga penulis sampai pada titik ini.
7. Kepada Komang Irana Dewi selaku pujaan hati saya yang selalu ada mendoakan dan setia menemani saya sampai saya ada dititik ini
8. Kepada pak Iswan, pak Sandi, pak Sapri, pak Samsul, pak Ridho, pak Zainuddin, pak Rolles, pak Usmin, pak Agus, pak Jabbal dan yang lainnya selaku karyawan yang bekerja di PT. Eastern Pearl Flour Mills yang banyak membantu dan mengarahkan penulis pada saat proses pengambilan data serta menjadi pengalaman yang tak terlupakan bagi penulis pada saat kami ada di perusahaan.
9. Kepada saudara BRUZHLEZZ'19 yang selalu ada dan menemani penulis baik suka maupun duka. Terkhususnya Bill, Jailani, Adam, Dimaz sebagai tempat bertanya penulis ketika mengalami kendala.
10. Partner penelitian sekaligus sahabat yaitu Rifky Risqullah (Boy) sebagai teman kerja sama dan diskusi mengenai masalah penelitian.
11. Kepada teman-teman di Laboratorium *Intrnal Combustion and Plasma* yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu namanya yang telah menemani penulis, bercanda-tawa dan menjadi *mood boster* dikala suntuk dan Lelah.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia Pendidikan.

Gowa, 23 Januari 2024

Yang membuat pernyataan

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR PERSAMAAN.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Boiler</i> (Ketel Uap).....	5
2.1.1 Ketel Pipa Api (<i>Fire Tube Boiler</i>)	5
2.2 Proses Terbentuknya Uap	6
2.3 Bahan Bakar	9
2.3.1 Bahan Bakar Cair (biodiesel)	9
2.4 Pengoperasian <i>Boiler Cochran</i>	10
2.5 <i>Blowdown Rate</i>	11
2.6 Perhitungan Efisiensi Dengan <i>Indirect Method</i>	12
2.7 <i>Head Loss</i> Yang Diakibatkan oleh Gesekan Dalam Pipa Uap	16
2.8 <i>Head loss</i> Yang Diakibatkan Oleh <i>Fittings</i> (Komponen) Pada Pipa Uap ...	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2 Jenis Penelitian	21
3.3 Alat Yang Digunakan.....	22
3.4 Prosedur Kerja.....	27
3.5 Proses Aliran Uap Pada Pipa Distribusi Uap	28
3.6 Flowchart Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Perhitungan.....	30
4.1.1 Perhitungan Efisiensi Kinerja Boiler	30
4.1.2 Perhitungan <i>Head Loss</i> Terhadap faktor gesek Pada Pipa Distribusi Uap	39
4.1.3 Perhitungan <i>Head Loss</i> Terhadap <i>Fitting</i> Pada Pipa Distribusi Uap	45
4.2 Pembahasan.....	51
4.2.1 Analisis Efisiensi <i>Boiler</i>	51
4.2.2 Analisis <i>Head Loss</i> Terhadap Gesekan Dalam Pipa Distribusi Uap	57
4.2.3 Analisis <i>Head Loss</i> Terhadap <i>Fitting</i> Dalam Pipa.....	60
BAB V PENUTUP	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Boiler pipa api	6
Gambar 2. 2 Proses Terbentuknya Uap.....	8
Gambar 2. 3 Kekasaran Permukaan Berbagai Pipa	18
Gambar 2. 4 Nilai Koefisien Pada Komponen Pipa.....	19
Gambar 3. 1 <i>Boiler Cochran</i>	22
Gambar 3. 2 <i>Barometer</i>	23
Gambar 3. 3 <i>Termokopel</i>	23
Gambar 3. 4 <i>Ordometer</i>	24
Gambar 3. 5 <i>Water Level Gauge</i>	24
Gambar 3. 6 <i>Stopwatch</i>	25
Gambar 3. 7 <i>Water Test Kit</i>	25
Gambar 3. 8 <i>Hygrometer</i>	26
Gambar 3. 9 <i>Infrared Thermometer</i>	26
Gambar 3. 10 Pipa distribusi uap dari <i>boiler cochran</i> ke <i>header A</i>	28
Gambar 3. 11 Pipa distribusi uap dari <i>header A</i> ke <i>header B</i>	28
Gambar 3. 12 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4. 1 Perbandingan kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering terhadap tekanan uap.....	51
Gambar 4. 2 Perbandingan kehilangan panas karena penguapam air yang terbentuk oleh H ₂ dalam bahan bakar terhadap tekanan uap.....	53
Gambar 4. 3 Perbandingan kehilangan panas yang diakibatkan oleh kadar air dalam udara terhadap tekanan uap	54
Gambar 4. 4 Perbandingan efisiensi <i>boiler</i> terhadap tekanan uap	56
Gambar 4. 5 Perbandingan <i>head loss</i> mayor terhadap tekanan uap pada pipa distribusi uap dari <i>boiler</i> ke <i>header A</i>	57
Gambar 4. 6 Perbandingan <i>head loss</i> mayor terhadap tekanan uap pada pipa distribusi uap dari <i>header A</i> ke <i>header B</i>	58
Gambar 4. 7 Perbandingan <i>head loss</i> minor terhadap koefisien kerugian komponen (<i>fitting</i>) pipa dari <i>boiler cochran</i> ke <i>header A</i>	60

Gambar 4. 8 Perbandingan <i>head loss</i> minor terhadap tekanan pada pipa distribusi uap dari <i>boiler cochran</i> ke <i>header A</i>	61
Gambar 4. 9 Perbandingan <i>head loss</i> minor terhadap koefisien kerugian komponen (<i>fitting</i>) pipa dari <i>header A</i> ke <i>header B</i>	62
Gambar 4. 10 Perbandingan <i>head loss</i> minor terhadap tekanan pada pipa distribusi uap dari <i>header A</i> ke <i>header B</i>	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Rencana Penelitian.....	23
-----------------------------------	----

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan Perhitungan Aktual (kebutuhan udara teoritis).....	14
Persamaan % Udara Berlebih Yang Dipasok	15
Persamaan Massa Udara Yang Dipasok /kg Bahan Bakar.....	16
Persamaan Mengetahui Massa Gas Buang	16
Persamaan Kehilangan Panas Yang Diakibatkan Oleh Gas Buang Kering.....	16
Persamaan Persen Kehilangan Panas (penguapan air yang terbentuk oleh adanya H ₂ dalam bahan bakar).....	17
Persamaan Persen Kehilangan Panas Oleh Kadar Air Dalam Udara.....	17
Persamaan Efisiensi <i>Boiler</i>	18
Persamaan <i>Head Loss</i> Yang Diakibatkan oleh Gesekan Dalam Pipa Uap.....	18
Persamaan Bilangan <i>Reynolds</i>	19
Persamaan Faktor Gesek.....	20
Persamaan <i>Head Loss</i> Yang Diakibatkan oleh <i>Fitting</i> Dalam Pipa Uap.....	21

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Penelitian.....	69
Lampiran 2 Tabel Data Perhitungan.....	70
Lampiran 3 Dokumentasi Pengambilan Data.....	71

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
C	Carbon	%
O_2	Oksigen	%
H_2	Hidrogen	%
S	Sulfur	%
-	Udara Teoritis	kg/kg bahan bakar
EA	<i>Excess Air</i>	%
L_1	Kehilangan Panas Karena Gas Buang Kering	%
T_f	Temperatur gas buang	°C
T_a	Temperatur udara sekitar	°C
GCV	<i>Gross calorific Value</i>	kcal/kg
L_2	Kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk oleh H_2 dalam bahan bakar	%
AAS	<i>Actual Air Supplied</i>	kg/kg bahan bakar
m	Massa Gas Buang Kering	kg/kg bahan bakar
C_p	Kalor Spesifik	kcal/kg°C
L_3	Kehilangan Panas Karena Kadar Air Diudara	%

L_4	Kehilangan Panas karena Radiasi	%
η	Efisiensi Boiler	%
h_l	<i>Head Loss</i>	m
f	Faktor Gesek	-
L	Panjang	m
D	Diameter	m
g	Percepatan Gravitasi	m/s ²
v	Kecepatan Aliran Fluida	m/s
Re	Bilangan Reynolds	-
ρ	Densitas Fluida	kg/m ³
μ	Viskositas Dinamik Fluida	N/m ²
ε	Kekasaran Pipa	m
K	Koefisien Kerugian Komponen Sambungan Pipa	m

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. EASTERN PEARLS FLOUR MILLS adalah perusahaan industri yang berada dimakassar yang bergerak dibidang industri impor ekspor. Produk yang dihasilkan perusahaan ialah tepung dan pellet. Dalam memproduksi pellet, PT. EPFM menggunakan alat penghasil uap (*boiler*). *Boiler* pada PT. EPFM digunakan untuk proses pengolahan kulit gandum menjadi pellet yang kemudian dipasarkan di wilayah Indonesia dan juga diekspor ke Negara-negara di Asia, misalnya Korea, Vietnam, Thailand, Singapore, Malaysia dan masih banyak Negara-negara yang lain yang menjadi pasar PT. EPFM (Nur Fuada dkk, 2020).

Boiler merupakan sejenis bejana tertutup yang dimana panas dari hasil pembakaran ditransferkan ke air sampai air tersebut menjadi air yang bersuhu tinggi atau uap, kemudian air yang bersuhu tinggi atau uap tersebut pada tekanan tertentu digunakan untuk mentransfer panas ke sebuah proses (Sajath Shm dkk, 2020). Dalam penggunaan mesin *boiler* di berbagai lapangan sangat penting dan terutama di perusahaan yang menghasilkan sebuah produk, sebagai contoh untuk pembuatan produk pellet untuk meningkatkan sebuah produk, maka kinerja *boiler* harus seefisien mungkin, Konteksnya ada pada prinsip kerja dari suatu mesin *boiler* yang terkadang muncul masalah seperti masalah dibagian air dan masalah diruang bakar, khususnya masalah efisiensi pembakaran, untuk mengetahui masalah dalam kinerja boiler dapat diketahui dengan menggunakan rumus *indirect method* (Sachin M. Raut, dkk 2014)

Boiler merupakan asset yang begitu sangat penting bagi perusahaan yang dimana menghasilkan keluaran atau output yang berupa *steam* atau uap yang digunakan untuk memadatkan pakan ternak, sehingga dalam hal ini sangat diperlukan untuk mengkaji ulang kinerja dari *boiler* karena jika terjadi masalah pada sistem *boiler*, maka kelancaran uap atau steam akan terganggu sehingga dapat

menyebabkan produksi pakan ternak akan mengalami penurunan dan banyak kerugian lainnya seperti boros dibahan bakar, waktu, serta hal yang paling berat ialah terjadi kerusakan pada komponen *boiler* sehingga mengeluarkan *cost* lebih banyak. Efisiensi *boiler* merupakan sebuah besaran yang dimana menunjukkan hubungan antara suplai energi yang menuju ke dalam *boiler* dengan energi keluaran yang dihasilkan dari *boiler* (Tahdid dkk, 2022). Sedangkan kehilangan energi pada pipa distribusi uap dapat disebabkan oleh adanya gesekan dan *fittings* (komponen) dalam pipa yang dimana kehilangan energi dapat menyebabkan menurunnya hasil produksi (Harib Khan, dkk 2020).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka penulis bermaksud meneliti kinerja suatu peralatan mesin khususnya mesin boiler Cochran pada PT. EPFM. Dengan itu mengambil judul **“ANALISIS KINERJA BOILER COCHRAN MENGGUNAKAN *INDIRECT METHOD* DAN PADA DISTRIBUSI UAP MENGGUNAKAN *HEAD LOSS* DI PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil efisiensi kinerja *boiler* Cochran dengan menghitung kehilangan panas yang terjadi pada *boiler* menggunakan persamaan *indirect method*.
2. Bagaimana jumlah *head loss* terhadap gesekan yang terjadi pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler* Cochran ke *header B (header peletezing)*.
3. Bagaimana jumlah *head loss* terhadap *fitting* yang terjadi pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler* Cochran ke *header B (header peletezing)*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efisiensi kinerja *boiler* Cochran dengan menghitung kehilangan panas yang terjadi pada *boiler* menggunakan persamaan *indirect method*.
2. Menganalisis jumlah *head loss* terhadap gesekan yang terjadi pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler* Cochran ke *header B (header peletezing)*.
3. menganalisis jumlah *head loss* terhadap *fitting* yang terdapat pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler* Cochran ke *header B (header peletezing)*.

1.4 Batasan Masalah

1. Pengambilan data untuk menghitung efisiensi *boiler* Cochran dilakukan selama 3 hari dan data yang didapatkan dirata-ratakan.
2. Jenis *boiler* yang digunakan ialah *boiler* pipa api.
3. Bahan bakar yang digunakan dalam *boiler* adalah bahan bakar biodiesel (B30).
4. Pipa distribusi uap yang di hitung dari *boiler* sampai ke *header* atas (*header peletezing*).
5. Beban dinamik yaitu angin dan getaran diabaikan.
6. Jenis pipa yang digunakan pada pipa distribusi uap adalah *cast iron*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui efisiensi pada *boiler Cochran*.
2. Mengetahui jumlah *head loss* terhadap gesekan yang terjadi pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler Cochran* ke *header* atas (*header peletezing*).
3. Mengetahui jumlah *head loss* terhadap *fitting* yang terdapat pada sistem pipa distribusi uap dari *boiler Cochran* ke *header* atas (*header peletezing*).

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, Manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

BAB III : Metode Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode pengumpulan data, alat yang digunakan, diagram alir penelitian serta langkah dan proses penelitian.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian disertai dengan tabel dan grafik yang didapatkan selama melakukan pengambil data.

BAB V : Penutup

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya dan lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler (Ketel Uap)

Ketel uap merupakan sejenis bejana tertutup yang dimana panas dari hasil pembakaran ditransferkan ke air sampai air tersebut menjadi air yang memiliki suhu tinggi atau uap, kemudian air yang bersuhu tinggi atau uap tersebut pada tekanan tertentu digunakan untuk mentransfer panas ke sebuah proses (Sajath Shm dkk, 2020).

Berdasarkan fluida yang mengalir *boiler* dibagi menjadi dua jenis yaitu:

- a. ketel pipa api (*Fire Tube Boiler*) yaitu ketel uap yang didalamnya terdapat pipa-pipa api, yang dimana gas panas yang dihasilkan dari pembakaran di ruang bakar mengalir melewati pipa-pipa api tersebut (Omar Chamoro, dkk 2021).
- b. Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*) yaitu ketel uap yang dimana air umpan mengalir melalui pipa-pipa yang ada didalam *boiler*. *Steam* atau uap terbentuk yang disebabkan karena sirkulasi air yang dipanaskan dengan suhu yang tinggi oleh proses pembakaran yang berada didalam drum. Umumnya *boiler* pipa air digunakan untuk menghasilkan kapasitas dan tekanan yang tinggi (R S Jha, dkk.2022).

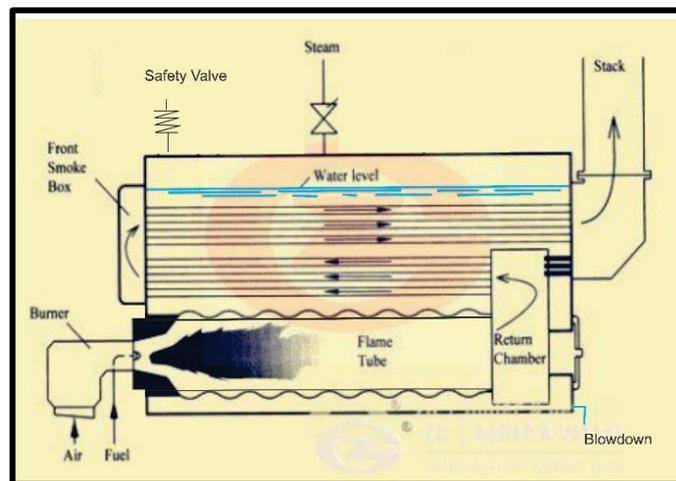
Dalam penelitian kali ini *boiler* yang digunakan adalah jenis *boiler* pipa api.

2.1.1 Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Boiler pipa api atau *fire tube boiler* yaitu ketel uap yang didalamnya terdapat pipa-pipa api, yang dimana gas panas yang dihasilkan dari pembakaran di ruang bakar mengalir melewati pipa-pipa api tersebut. Jika *boiler* mengalami tekanan dan suhu yang tinggi maka dinding *boiler* juga mengalami tekanan yang tinggi (Sidharta Sankar Padi, dkk, 2022). Ketika ketel diisi oleh air maka posisi pipa-pipa api terendam dibawah air, bahan bakar yang biasa dipakai dalam ketel pipa-pipa api ini ialah bahan bakar

cair (biodiesel), gas panas dalam tabung yang berada dibawah air menstransferkan panas air melalui dinding-dinding tabung. Karena energi yang panas tersebut, gelembung-gelembung uap terbentuk dan bermunculan dipermukaan air, pada saat jumlah uap meningkat didalam ketel tersebut maka tekanan uap didalam *boiler* meningkat yang secara signifikan juga meningkatkan suhu didih air tersebut (Harib Khan dkk, 2020).

Ciri khas dari ketel pipa api adalah sirkulasi gas pembakaran berada didalam pipa-pipa, sedangkan permukaan luar pipa-pipa dikelilingi air yang menguap. perpindahan panas terletak didalam badan *boiler*, dibentuk oleh badan silinder dengan susunan horizontal yang dimana memiliki ruang atas yang berfungsi untuk pembentukan dan akumulasi *steam* (Omar Chamoro, dkk 2021)



Gambar 2. 1 Boiler pipa api

Sumber: Harib Khan, dkk.2020 *Desaigning of a fire tube boiler*

2.2 Proses Terbentuknya Uap

Dalam *boiler* Cochran proses terbentuk uap dimulai dari air pam yang berada ditangki air, yang mengalir melewati beberapa tahap sebelum masuk kedalam boiler sampai *boiler* tersebut menghasilkan uap.

1. Tangki air

Fungsi dari tangki air adalah sebagai tempat untuk menampung air yang diambil dari air PAM. Tangki air ini harus selalu berisi karena merupakan bahan utama *boiler* untuk menghasilkan uap.

2. *Softener*

Selanjutnya air PAM yang berada ditangki air masuk kedalam *softener*. *Softener* berfungsi untuk menyaring air dari lumpur dan kandungan-kandungan seperti Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) yang bisa membawa dampak buruk seperti kerak atau karat bagi *boiler*. Pada *softener* terdapat *bypass* yang mengalirkan air jika *softener* sedang dalam *maintenance*. Jika *Resin* yang ada didalam *softener* kotor maka harus di *recharge* menggunakan air garam.

3. *Feed Water Tank*

Feed water tank berfungsi sebagai tempat penampungan air yang telah disaring oleh *softener*.

4. *Deaerator*

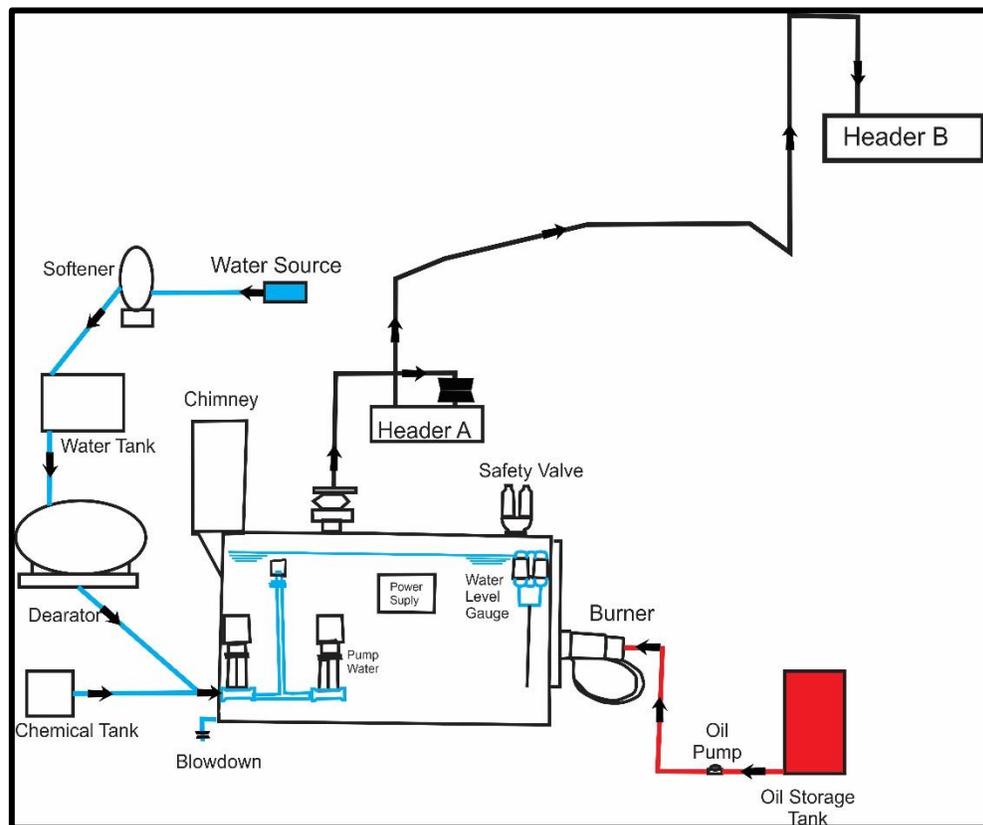
Selanjutnya air dari FWT (*Feed Water Tank*) dialirkan masuk kedalam *deaerator*. Didalam *deaerator* terdapat *economizer*, fungsi dari *deaerator* adalah untuk menghilangkan kadar oksigen pada air dan sebagai pemanas awal pada air sebelum masuk ke *boiler*. Pada *deaerator* terdapat juga saluran pembuangan ke *pit* yang berfungsi untuk membuang air yang mengandung kotoran mengendap

5. *Chemical tank*

Chemical yang digunakan dalam *boiler Cochran* adalah *Advance Plus* yang berfungsi untuk melindungi pipa dalam *boiler* dari kerak atau korosi dan *Alk-Chem* yang berfungsi melarutkan zat kimia atau kerak yang ada didalam *boiler* agar mudah dibersihkan dengan cara *blowdown*. Proses kerja *chemical* bersamaan dengan proses *deaerator*

6. Boiler Cochran

Air yang ada didalam *deaerator* yang telah bercampur dengan *chemical* dipompa dengan *injection pump* masuk kedalam *boiler* melalui *inlet valve*. Air diisi kedalam boiler sampai batas ketinggian yang telah ditentukan. Pada bagian dalam *boiler* ini terdapat pipa-pipa api pembakaran yang berfungsi untuk memanaskan air sampai menghasilkan uap jenuh. Pipa api yang berfungsi untuk memanaskan air menjadi uap jenuh berasal dari pembakaran yang terjadi pada *burner* kemudian uap jenuh tersebut dialirkan melalui pipa distributor *steam* untuk digunakan sesuai kebutuhan produksi (*Manual book Boiler Cochran, 1998*).



Gambar 2. 2 Proses Terbentuknya Uap

2.3 Bahan Bakar

Suatu benda atau suatu materi yang bisa dirubah menjadi sebuah energi disebut bahan bakar. Kandungan energi panas umumnya dimiliki oleh bahan bakar yang dimana energi panas tersebut dapat dimanipulasi atau dilepaskan dan biasanya digunakan melalui proses reaksi redoks (pembakaran) yang dimana ketika direaksikan dengan O^2 diudara maka bahan bakar akan melepaskan panas. Jenis bahan bakar yang biasanya digunakan oleh manusia adalah gas, solar, biodiesel dan pertalite. Bahan bakar berdasarkan wujudnya terbagi dalam 3 jenis yaitu:

- a. Bahan bakar gas adalah bahan bakar hidrokarbon yang terdiri dari metana (CH_4) dan etana (C_2H_6).
- b. Bahan bakar padat yaitu bahan bakar yang berbentuk padat seperti batu bara dan sebagainya.
- c. Bahan bakar cair yaitu bahan bakar yang memiliki bentuk cairan seperti biodiesel, solar, premium dan sebagainya (S Mekhilef, dkk 2011).

Boiler yang dibahas oleh penulis menggunakan bahan bakar biodiesel maka sistem pembakarannya adalah bahan bakar cair.

2.3.1 Bahan Bakar Cair (biodiesel)

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang diproduksi dengan reaksi transesterifikasi dan esterifikasi minyak tumbuhan atau lemak hewan dengan alkohol rantai pendek seperti metanol. Reaksinya membutuhkan katalis yang umumnya merupakan basa kuat, sehingga akan memproduksi senyawa kimia baru yang disebut metil ester (Van Gerpen, 2005).

Keseimbangan energi yang dimiliki biodiesel sangat menguntungkan, dapat dicampur dengan berbagai sifat pada bahan bakar solar petro leum, yang memiliki pelumasan lebih baik dan angka setana yang lebih tinggi, serta mempunyai titik nyala yang begitu tinggi (>300 F). Karena mempunyai kandungan oksigen yang begitu tinggi, maka biodiesel mempunyai potensi

dalam promosi pembakaran yang baik. Biodiesel dapat disebut netral karbon karena lebih banyak kandungan karbon dioksida yang diserap oleh produksi biodiesel dari pada karbon dioksida yang ditambahkan ke atmosfer saat dibakar sebagai bahan bakar. Keuntungan lain dari biodiesel sering dikaitkan dengan emisi gas buang yang lebih rendah dalam hal zat karbon monoksida, partikel dan hidrokarbon. (LN Komariah, dkk. 2013).

2.4 Pengoperasian *Boiler Cochran*

Dalam mengoperasikan *boiler cochran* harus dilakukan secara sistematis, hal yang paling penting sebelum melakukan start pada boiler pipa api yaitu pengontrolan ketel uap terhadap penyambungan pada sistem pembakaran. Dalam pengoperasian mesin *boiler cochran* sangat Penting dilakukan pemanasan awal atau kontrol secara seksama terhadap semua peralatan-peralatan yang ada pada *boiler cochran* untuk memastikan bahwa semua alat dan komponen *boiler* berada dalam kondisi yang siap pakai. Hal yang dilakukan sebelum pemanasan *boiler* yaitu:

1. Periksalah semua *valve* yang ada pada *boiler* dan pastikan dalam posisi tertutup.
2. Periksalah semua komponen pada *boiler* secara visual untuk memastikan komponen berfungsi dengan baik atau tidak.
3. Periksalah alat *pressure gauge*, untuk memastikan alat tersebut berfungsi dengan baik atau tidak.
4. Inspeksi didalam ruang bakar dan dinding batu secara umum agar siap digunakan.
5. Periksa *blow down valve* pastikan dalam keadaan posisi tertutup.
6. Periksalah pada tangki air umpan jika airnya kurang maka diisi terlebih dahulu, pastikan tes alarm untuk level air rendah dan level air tinggi berfungsi dengan baik pengujian dapat dilakukan dengan cara memompakan air ke level yang lebih tinggi setelah itu dibuang lagi menjadi level yang pertama dan kedua, kemudian kembalikan lagi level airnya di *boiler* kurang lebih setengahnya.

Dalam pengoperasian mesin *boiler* cochran dilakukan secara manual dan setting program telah tersedia dalam panel kontrol dan berikut ini adalah langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengoperasian mesin *boiler* cochran adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu memastikan pipa pembakaran dan pipa saluran gas kecerobong pembuangan gas hasil pembakaran bebas dari kotoran dan residu.
2. Pastikan semua instrument dalam kondisi yang siap untuk digunakan.
3. Menghidupkan *boiler* dengan menekan tombol yang bertuliskan ON pada papan *controller*, dengan mensetting pembakaran secara otomatis
4. Setelah mencapai tekanan kerja, maka pipa induk saluran penguapan dibuka secara perlahan
5. Tombol pembakaran dan pompa umpan diposisikan secara otomatis
6. Dalam 1 jam pengoperasian ketel uap, dilakukan *blow down* sebanyak 2 kali selama 10 detik untuk membuang endapan yang ada dibawah *boiler* agar tidak menumpuk yang dimana endapan tersebut dapat menyebabkan kerak pada komponen dalam *boiler*.
7. Apabila *boiler* telah mencapai kebutuhan kerja, tekan off pada papan controller untuk mematikan atau memberhentikan boiler yang sedang bekerja (*Manual book Boiler Cochran*, 1998).

2.5 Blowdown Rate

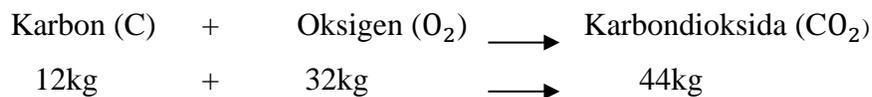
Air di dalam ketel uap tidak sepenuhnya murni karena mengandung partikel padat, oleh karena itu *feedwater* telah diolah secara kimiawi sebelum dimasukkan kedalam *boiler*. Padat terlarut didalam air *boiler* disebut TDS (*Total Dissolved Solids*). Saat penguapan berlanjut, konsentrasi TDS air meningkat maka dapat mempengaruhi efisiensi *boiler*. Bahan padat tersebut harus dihilangkan dari air, proses menghilangkan zat tersebut dari *boiler* disebut '*Blowdown*' (Ceyda Kocabay A, dkk 2021).

2.6 Perhitungan Efisiensi Dengan *Indirect Method*

Indirect method biasa juga dikenal sebagai metode pengukuran efisiensi keseimbangan panas karena metode penentuan efisiensi ini memperhitungkan semua jenis kehilangan panas yang terjadi dalam *boiler*. Adapun beberapa tahapan persamaan atau perhitungan dalam menentukan efisiensi kinerja *boiler*, di antaranya sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

a. Perhitungan aktual (kebutuhan udara teoritis)

Untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dibutuhkan pembakaran bahan bakar yang sempurna. Adapun persamaan untuk pembakaran udara teoritis adalah sebagai berikut (PT.PLN (persero), 2018):



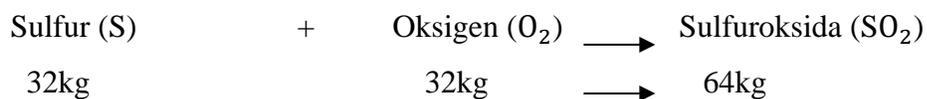
Setiap kg karbon membutuhkan 2,66 kg oksigen secara teoritis untuk membakar sempurna carbon menjadi carbondioksida.



atau,



Setiap kg hidrogen memerlukan 8 kg oksigen secara teoritis untuk membakar sempurna hidrogen menjadi air.



Atau



Setiap kg sulfur memerlukan 1 kg oksigen untuk membakar sempurna sulfur menjadi sulfuroksida

$$\text{Kebutuhan Oksigen Teoritis} \cdot \frac{100}{23,2}$$

Karena 23,2% udara mengandung oksigen. Sehingga didapatkan rumus untuk menghitung kebutuhan udara teoritis sebagai berikut;

$$\text{Udara teoritis} = \frac{100}{23,2} \cdot [2,66 C + 8 (H-O/8) + S - O] \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

C = % Karbon bahan bakar

H = % Hidrogen bahan bakar

O_2 = % Oksigen bahan bakar

S = % Sulfur bahan bakar

b. Perhitungan % *Excess Air* (EA)

Dalam prakteknya pembakaran stoikometri atau pembakaran sempurna sangat sulit untuk dicapai. Karena pada kenyataannya tidak semua oksigen dapat bereaksi atau bertemu dengan unsur-unsur yang ada dalam bahan bakar. Oleh sebab itu untuk menjamin terlaksananya proses pembakaran stoikometri atau pembakaran sempurna diberikanlah *excess air* (udara berlebih). Tetapi dikarenakan udara berlebih akan membawa panas keluar untuk kecerobong maka jumlah udara berlebih harus merupakan kompromi yang bertujuan untuk terlaksananya pembakaran stoikometri atau pembakaran sempurna serta usaha untuk mengurangi kerugian panas yang keluar kecerobong sekecil mungkin (PT.PLN (persero), 2018). Adapun persamaan untuk udara berlebih yaitu:

$$EA = \frac{O_2 \cdot 100}{21 - O_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

EA = *Excess air* (%)

O_2 = Persen oksigen dalam gas buang kering (%)

c. Perhitungan *Actual Air Supplied* / kg bahan bakar, (AAS)

Persamaan untuk mendapatkan udara sebenarnya yang dipasok adalah sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$$AAS = [1 + \frac{EA}{100}] \cdot \text{Udara Teoritis} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$AAS = Actual\ Air\ Supplied$ (kg/kg Fuel)

$EA = Excess\ air$ (%)

d. Untuk mengetahui massa gas buang (m)

Adapun persamaan untuk menghitung massa gas buang sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$m =$ Massa ($CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2$) gas buang + N_2 suplai udara

$$= \left[\frac{C}{100} \cdot \frac{44}{12} \right] + \left[\frac{S}{100} \cdot \frac{64}{32} \right] + N_2 + \left[\frac{O_2 \cdot 23}{100} \right] + \left[\frac{AAS \cdot 77}{100} \right] \dots\dots\dots 2.4)$$

Dimana:

$m =$ Massa gas buang kering (kg/kg bahan bakar)

$C =$ Karbon (%)

$S =$ Sulfur (%)

$N_2 =$ Nitrogen (%)

$O_2 =$ Oksigen (%)

$AAS = Actual\ Air\ Supplied$ (kg/kg bahan bakar)

e. Perhitungan kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering, L_1

Kerugian panas yang diakibatkan oleh gas buang kering merupakan kerugian panas yang dimana panas itu ikut terbawa oleh gas kering keluar dari cerobong asap ke udara. Dalam gas buang kering ini masih terdapat atau mengandung sejumlah panas yang tidak dapat lagi dimanfaatkan karena energi kalor atau panasnya akan ikut keluar terbawa gas buang kering tersebut keluar kecerobong dan akhirnya terbang ke udara. Adapun persamaanya sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$$L_1 = \frac{m \cdot C_{pf} \cdot (T_f - T_a)}{GCV\ Bahan\ Bakar} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$L_1 =$ Kehilangan panas karena gas buang kering (%)

$m =$ Massa gas buang kering (kg/kg bahan bakar)

$C_{pf} =$ Kalor spesifik gas buang kering (0,23 kcal/kg°C)

T_f = Temperatur gas buang (°C)

T_a = Temperatur udara sekitar (°C)

GCV = *Gross calorific Value* (kcal/kg)

- f. Perhitungan persen kehilangan panas (penguapan air yang terbentuk oleh adanya H₂ dalam bahan bakar), L_2

Pada saat proses pembakaran hidrogen akan bereaksi dengan oksigen dan reaksi pembakarannya adalah air (H₂O) yang segera menguap, yang dimana 1 kg (H₂) + 8 (O₂) = 9 (H₂O). Pada saat air (H₂O) terjadi, dibutuhkan panas untuk merubah air ini menjadi uap dan uap ini bukan uap yang dibutuhkan melainkan uap yang keluar kecerobong dan akan membawa panas pergi dalam bentuk panas latennya. Maka penguapan air yang terbentuk oleh H₂ dalam bahan bakar disebut kehilangan panas. Adapun persamaan untuk menghitung kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk oleh H₂ dalam bahan bakar sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$$L_2 = \frac{9 \cdot H_2 \cdot [584 + C_{Ps} (T_f - T_a)]}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

L_2 = Kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk oleh H₂ dalam bahan bakar (%)

T_f = Temperatur gas buang (°C)

T_a = Temperatur udara sekitar (°C)

H_2 = Hidrogen bahan bakar (kg)

C_{Ps} = Kalor spesifik uap (0,45 kcal/kg°C)

584 = Panas laten sesuai dengan tekanan parsial uap air

GCV = *Gross calorific Value Fuel* (kcal/kg)

- g. Perhitungan persen kehilangan panas oleh kadar air dalam udara, L_3

Uap yang berupa kelembaban atau uap air diudara yang masuk menjadi sangat panas saat melewati *burner*, karena panas ini melewati cerobong maka

harus dimasukkan sebagai kehilangan panas. Adapun persamaannya sebagai berikut (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$$L_3 = \frac{AAS \cdot \text{Faktor kelembaban} \cdot C_{Ps}(T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \cdot 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

L_3 = Kehilangan panas karena kadar air diudara (%)

AAS= *Actual Air Supplied* (kg/ kg bahan bakar)

T_f = Temperatur gas buang (°C)

C_{Ps} = Kalor spesifik uap (0,45 kcal/kg°C)

T_a = Temperatur udara sekitar (°C)

GCV= *Gross calorific Value Fuel* (kcal/kg)

h. Kehilangan Panas karena Radiasi, L_4

Menurut (Sachin M Raut, dkk. 2014) jumlah kehilangan panas karena radiasi dan konveksi pada *boiler fire tube* sebesar 1,5%. Radiasi dan konveksi disebut kehilangan panas karena panas dari pembakaran akan berpindah kelingkungan melalui radiasi dan konveksi.

i. Efisiensi *Boiler* (η), *Indirect Method* (Sachin M Raut, dkk. 2014):

$$\eta = 100\% - \text{Presentasi kehilangan Panas } (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \dots \dots \dots (2.8)$$

2.7 Head Loss Yang Diakibatkan oleh Gesekan Dalam Pipa Uap

Dalam praktiknya prinsip *head loss* untuk semua jenis aliran internal (aliran turbulen atau laminar) yang diakibatkan oleh gesekan dapat ditulis dalam persamaan berikut (Yunus A Cengel, dkk 2006):

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

h_L = Kehilangan energi (m)

f = Faktor gesekan

L = Panjang Pipa (m)

D = Diameter Pipa (m)

v = Kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

Faktor gesekan biasa disebut juga faktor gesekan Darcy yang dimana ditemukan oleh insinyur perancis yang bernama Henry Darcy 1803-1858 yang dimana pertama kali mempelajari secara eksperimental efek kekasaran pada resistansi tabung. Untuk mengetahui apakah aliran dalam pipa tersebut adalah aliran laminar atau turbulen maka perlu dihitung bilangan Reynolds menggunakan persamaan sebagai berikut (Yunus A Cengel, dkk 2006):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds

D = Diameter Pipa (m)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)

v = Kecepatan Aliran Fluida Dalam Pipa (m/s)

μ = Viskositas Dinamik Fluida (Pa/s)

Bilangan Reynolds ($Re < 2300$ adalah aliran laminar, $2300 < Re < 4.000$ adalah aliran transisi, $Re > 4.000$ adalah turbulen) (Yunus A Cengel, 2006).

$$f = \frac{64}{Re}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa didalam aliran laminar, faktor gesekan adalah fungsi dari bilangan Reynolds dan tidak tergantung pada kekasaran tabung. Sedangkan untuk aliran turbulen koefisien geseknya bergantung pada kekasaran permukaan relatif (ϵ/D). Dalam aliran laminar fluida mengalir secara teratur sepanjang jalur, garis aliran fluida tidak terjadi potongan, dan sifat dari aliran laminar tidak terjadi persilangan maupun percampuran aliran fluida dan tidak terjadi pusaran dalam aliran fluidanya. Sedangkan pada aliran turbulen garis alir fluidanya berpotongan dengan garis alir lainnya dan sifat alirannya biasanya terjadi

pusaran dalam aliran fluidanya. Koefisien gesek pada aliran turbulen dapat ditentukan dari persamaan Haaland (Yunus A Cengel, dkk 2006):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- f = Faktor Gesek
- ε = Kekasaran pipa (m)
- D = Diameter Pipa (m)
- Re = Bilangan Reynolds

Nilai kekasaran pipa dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini sebagai berikut:

Material	Roughness, ε	
	ft	mm
Glass, plastic	0 (smooth)	
Concrete	0.003–0.03	0.9–9
Wood stave	0.0016	0.5
Rubber, smoothed	0.000033	0.01
Copper or brass tubing	0.000005	0.0015
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Wrought iron	0.00015	0.046
Stainless steel	0.000007	0.002
Commercial steel	0.00015	0.045

Gambar 2. 3 Kekasaran Permukaan Berbagai Pipa
 Sumber: Yunus A Cengel, dkk (2006). Fundamental Mechanics. New York

2.8 Head loss Yang Diakibatkan Oleh Fittings (Komponen) Pada Pipa Uap

Fluida dalam sistem perpipaan yang melewati berbagai komponen pipa seperti belokan, *gate valve*, *reducer*, *check valve* dan sebagainya dapat mengganggu kelancaran aliran fluida. *Fittings* (komponen) pada pipa dapat menyebabkan *head loss* didalam pipa yang berpengaruh terhadap hasil produksi. Kerugian ini biasa disebut juga dengan kerugian minor. Adapun persamaan yang ditulis sebagai berikut: (Yunus A Cengel, dkk 2006).

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

h_L = Kehilangan energi (m)

K = Koefisien Kerugian Komponen Sambungan Pipa

v = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

Nilai dari koefisien komponen pada pipa berbeda yang dimana tergantung pada bentuk sambungan pipa yang digunakan. Untuk mengetahui koefisien dari pada bentuk komponen pipa dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded	0.08	
e. Valves		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Ball valve, fully open	0.05	

Gambar 2. 4 Nilai Koefisien Pada Komponen Pipa

Sumber: Adam balsiger,dkk 2014. Minor Loses in Pipe. Colorado State University