

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KINERJA BOILER INDOMARINE TYPE F-20L
UNTUK PROSES PRODUKSI PADA PT. EASTERN PEARL
FLOUR MILLS**

OLEH:

MUH. RIFKY RISQULLAH RACHMAT

D021191057



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KINERJA BOILER INDOMARINE TYPE F-20L
UNTUK PROSES PRODUKSI PADA PT. EASTERN PEARL
FLOUR MILLS**

OLEH:

MUH. RIFKY RISQULLAH RACHMAT

D021191057

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS KINERJA BOILER INDOMARINE TYPE F-20L
UNTUK PROSES PRODUKSI PADA PT. EASTERN PEARL
FLOUR MILLS**

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Rifky Risqullah Rachmat
D021 19 1057

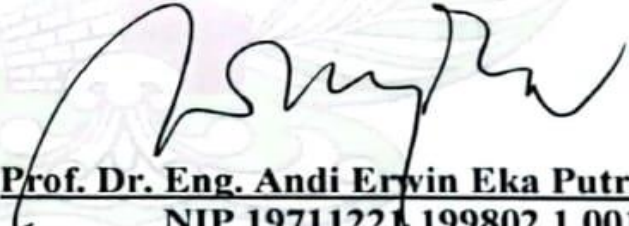
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Ir. Andi Mangkau, M.T
NIP 19611231 199002 1 003


Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST, MT
NIP 19711221 199802 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., M.T.
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Rifky Risqullah Rachmat

NIM : D021191057

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(ANALISIS KINERJA BOILER INDOMARINE TYPE F-20L UNTUK PROSES
PRODUKSI PADA PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil 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 dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi 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 karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 2 Januari 2024

Yang Menyatakan



Muh. Rifky Risqullah Rachmat

ABSTRAK

MUH. RIFKY RISQULLAH RACHMAT, *Analisis Kinerja Boiler Indomarine Type F-20l Untuk Proses Produksi Pada PT. Eastern Pearl Flour Mills* (dibimbing oleh Andi Mangkau dan Andi Erwin Eka Putra).

Tingkat efektifitas pada kinerja suatu sistem peralatan boiler perlu diketahui untuk mencegah adanya kerusakan dan kerugian material yang dapat dialami oleh perusahaan. Pengukuran efisiensi boiler melibatkan kemampuan produksi uap dengan menggunakan bahan bakar serta menjaga operasional yang baik dengan tekanan konstan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung produksi energi dan *evaporation ratio* serta menganalisis parameter kinerja dan kehilangan panas pada boiler INDOMARINE Type F-20L untuk menganalisis tindakan perbaikan. Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kinerja boiler saat proses produksi sedang berjalan pada PT. Eastern Pearl Flour Mills dengan teknik observasi, teknik dokumentasi, dan studi literatur. Berdasarkan perhitungan Metode Tidak Langsung, efisiensi boiler menurun dari 81% pada hari pertama dan kedua menjadi 80,9% pada hari ketiga, dengan perbandingan *evaporation ratio* menurun dari 10,5 kg/jam menjadi 9,5 kg/jam pada hari kedua dan ketiga. Analisis menunjukkan beberapa penyebab penurunan efisiensi, seperti jumlah udara pembakaran yang berlebihan, kehilangan energi pada gas buang kering, kehilangan energi akibat kadar H^2 pada bahan bakar, kelembaban pada udara pembakaran, dan gesekan pada sistem pipa uap. Solusinya melibatkan optimalisasi rasio *air-to-fuel*, penyingkatan jarak boiler ke *pelletizing*, penggunaan Air *Preheater* untuk pemanasan udara pembakaran, pergantian bahan bakar menjadi *Liquefied Natural Gas* (LNG), dan penggantian komponen boiler yang sudah tua atau tidak efisien.

Kata Kunci: Efisiensi, Kinerja, Boiler.

ABSTRACT

MUH. RIFKY RISQULLAH RACHMAT, *Performance Analysis of Indomarine Type F-20L Boiler for Production Processes at PT. Eastern Pearl Flour Mills* (dibimbing oleh Andi Mangkau dan Andi Erwin Eka Putra).

The effectiveness level in the performance of a boiler equipment system needs to be known to prevent damage and material losses that a company may experience. Boiler efficiency measurement involves the steam production capability using fuel and maintaining proper operation with constant pressure. This research aims to calculate energy production and evaporation ratio, as well as analyze performance parameters and heat losses in the INDOMARINE Type F-20L boiler to propose improvement actions. The study is conducted by evaluating the boiler's performance during the production process at PT. Eastern Pearl Flour Mills using observation techniques, documentation techniques, and literature studies. Based on the Indirect Method calculations, the boiler efficiency decreased from 81% on the first and second days to 80.9% on the third day, with the evaporation ratio decreasing from 10.5 kg/h to 9.5 kg/h on the second and third days. The analysis indicates several causes of efficiency decline, such as excessive combustion air, energy loss in dry flue gas, energy loss due to H₂ content in the fuel, moisture in combustion air, and friction in the steam pipe system. The solutions involve optimizing the water-to-fuel ratio, reducing the distance from the boiler to pelletizing, using an Air Preheater for combustion air heating, switching to Liquefied Natural Gas (LNG) as fuel, and replacing old or inefficient boiler components.

Kata Kunci: Efficiency, Performance, Boiler.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Definisi Boiler.....	5
B. Jenis-jenis Boiler.....	6
C. Proses Terbentuknya Uap	8
D. Water Treatment	11
E. Efisiensi Boiler.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
A. Waktu dan Lokasi Penelitian	26
B. Jenis Penelitian.....	26
C. Alat dan Bahan.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
A. Hasil	36
B. Pembahasan.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
A. Kesimpulan	67
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alur Skematik Boiler	5
Gambar 2.2 Boiler Water Tube	6
Gambar 2.3 Boiler fire tube indomarine Type f-20L	7
Gambar 2.4 Proses Uap Terbentuk	8
Gambar 2.5 Siklus Rankine.....	9
Gambar 2.6 Instalasi Boiler.....	10
Gambar 2.7 Softener	12
Gambar 2.8 Deaerator	12
Gambar 2.9 Feed Water Tank	13
Gambar 2.10 Chemical Tank	14
Gambar 2.11 Diagram Moody	23
Gambar 3.1 Boiler Indomarine type F-20L.....	27
Gambar 3.2 Feed Water Pump	28
Gambar 3.3 Pump Chemical	29
Gambar 3.4 Pump softener.....	29
Gambar 3.5 Water Test Kit	30
Gambar 3.6 Barometer	31
Gambar 3.7 Termometer.	31
Gambar 3.8 Ordometer.....	32
Gambar 3.9 Water Level Gauge.....	32
Gambar 3.10 Hygrometer.....	33
Gambar 3.11 Flow Chart Penelitian.....	35
Gambar 4.1 Instalasi Boiler ke Boiler Header	47
Gambar 4.2 Instalasi Boiler Header ke Pelletizing Header.....	48

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Kehilangan Energi Akibat Fitting pada Pipa Distribusi Uap Boiler ke Boiler Header.....	62
Grafik 4.2	Kehilangan Energi Akibat Fitting pada Pipa Distribusi Uap Boiler Header ke Pelletizing Header	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kekasaran Pipa.....	24
Tabel 2.2 Fitting pipa	25
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 4.1 Data Indirect Method.....	36
Tabel 4.2 Data Blowdown Rate	44
Tabel 4.3 Data Evaporation Ratio	45
Tabel 4.4 Data Kehilangan Energi pada Pipa Distributor Uap	46
Tabel 4.5 Data Bilangan Reynolds dan Koefisien Gesek pada Pipa Distributor Uap dari Boiler ke Boiler Header	47
Tabel 4.6 Data Kehilangan Energi pada Pipa Distributor Uap dari Boiler ke Boiler Header.....	48
Tabel 4.7 Data Bilangan Reynolds dan Koefisien Gesek pada Pipa Distributor Uap dari Boiler Header ke Pelletizing Header.....	49
Tabel 4.8 Data Bilangan Reynolds dan Koefisien Gesek pada Pipa Distributor Uap dari Boiler Header ke Pelletizing Header.....	49

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
O ₂	Oksigen	wt%
C	Karbon	wt%
H ₂	Hidrogen	wt%
S	Sulfur	wt%
N ₂	Nitrogen	wt%
EA	<i>Excess Air</i>	%
AAS	<i>Actual Air Supplied</i>	kg
m	Massa Gas Buang Kering	kg
cpf	Kalor Spesifik Gas Buang Kering	kkal/kg°C
cps	Kalor Spesifik Uap	kkal/kg°C
T _f	Temperatur Gas Buang	°C
T _a	Temperatur Ruangan	°C
GCV	<i>Gross Calorific Value</i>	kkal/kg
η	Efisiensi Boiler Metode <i>Indirect</i>	%
hl	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/s ²

Re	Bilangan Reynolds	-
ρ	Massa Jenis Fluida	kg/m ³
μ	Viskositas Dinamik Fluida	N/m ²
ϵ	Kekasaran Relatif Pipa	mm
K	Koefisien Kerugian <i>Fittings</i>	-
AFR	Rasio Udara-Bahan Bakar	-

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Master Tabel Penelitian	73
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian	74

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas kehendak-Nya saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi saya dengan judul **“Analisis Kinerja Boiler Indomarine Type F-20L Untuk Proses Produksi Pada PT. Eastern Pearl Flour Mills”** sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana. Saya berharap skripsi ini dapat berguna dalam rangka menambah wawasan serta pengetahuan mengenai teori yang digunakan. Semoga skripsi ini dapat dipahami bagi siapapun yang membacanya. Sekiranya skripsi yang telah disusun ini dapat berguna bagi saya sendiri maupun orang yang membacanya.

Bersama ini saya dengan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah banyak membantu dan mendukung saya baik secara moril maupun doa dalam penyelesaian skripsi ini, yakni kepada:

1. Ir. Andi Mangkau, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengarahkan dan membimbing saya sedari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT selaku Penguji I dan Ir. H. Baharuddin Mire, MT selaku Penguji II yang telah memberikan kritik serta saran perbaikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

4. Seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin yang telah mendukung keberlangsung perkuliahan.
5. Seluruh Pegawai PT. Eastern Pearl Flour Mills, yang telah meluangkan waktu dan membantu berlangsungnya penelitian ini.
6. Ibu (Wirselviyanti W.A.) dan Ayah (Muh. Ismail Rachmat) yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan baik secara moral maupun materi. Serta kedua Adik saya Muh. Danish Izzan dan Raisah Almira Dayana.
7. Khadijah Nur Hasanah Assegaf yang senantiasa mendengar keluh kesah, mendukung, serta memberi banyak bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Sahabat Pigi-Pigi (Dey, Iqo, Dcil, Chaw) yang telah memberi dukungan emosional selama 6 tahun ini.
9. Teman penelitian Adit yang membantu mengumpulkan data penelitian
10. Teman-Teman BRUZHLEZZ 2019.
11. Aquascape yang telah menjadi penghibur selama mengerjakan skripsi.

Terakhir, Saya juga menyadari sepenuhnya bahwa didalam mengerjakan skripsi ini terdapat kekurangan. Untuk itu, saya berharap adanya kritik, saran dan usulan demi perbaikan dimasa yang akan datang.

Gowa, 27 Desember 2023

Muh. Rifky Risqullah Rachmat

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia mempunyai salah satu pabrik produksi terbesar di dunia yaitu PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS yang bergerak di bidang ekspor dan impor. Produk utama yang dihasilkan oleh perusahaan ini adalah tepung terigu, tetapi perusahaan ini juga menghasilkan produk sampingan berupa pakan ternak yang berbentuk pelet. Pelet terbuat dari kulit gandum yang telah di proses menggunakan uap panas, uap panas dihasilkan oleh boiler. Pelet kaya akan nutrisi seperti protein dan karbohidrat yang baik untuk menggemukkan hewan ternak (Ertl P. *et al*, 2016). Pakan ternak ini kemudian kemudian di ekspor ke sejumlah Negara-negara di Asia, misalnya Vietnam, Korea, Malaysia, Thailand, Singapore dan masih banyak lagi Negara-negara lain, ada juga produk yang di distribusikan di wilayah Nusantara.

Boiler (ketel uap) adalah alat konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Panas yang dibutuhkan air untuk penguapan tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap. Uap atau energi kalor yang dihasilkan ketel uap tersebut dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap (Heselton, 2005). Tingkat efektifitas pada kinerja suatu sistem peralatan boiler perlu diketahui untuk mencegah adanya kerusakan dan kerugian material yang dapat dialami oleh perusahaan. Oleh karena itu untuk mengetahui tingkat

efektivitas kinerja boiler perlu dilakukan penelitian tentang efisiensi kinerja boiler yang mana dalam hal ini mencakup instalasi pengiriman uap dari boiler menuju mesin pelet, penggunaan bahan bakar, penggunaan listrik, konsumsi air, penghasilan daya (output), dan daya yang diterima pada mesin pelet (Heselton, 2005).

Efisiensi boiler dapat ditentukan dari energi yang diberikan oleh boiler, salah satunya adalah saat bahan bakar dan air dikonversi menjadi uap panas. efisiensi boiler diukur sebagai persentase, dan semakin tinggi efisiensinya, semakin baik kinerja boiler tersebut. (Gopalakrishnan & Makesh, 2019). Jenis bahan bakar yang digunakan dalam boiler bisa berbentuk padat, cair, atau gas. Seperti bahan bakar fosil, biomassa, dan jenis bahan bakar kombinasi lainnya (Heselton, 2005). Pada boiler PT. EPFM menggunakan jenis bahan bakar cair (biodiesel/gas oil). Selain jenis bahan bakar, jumlah hasil produksi dalam jangka waktu tertentu perlu diketahui. Lalu bandingkan dengan penggunaan bahan bakar saat proses produksi. Hal ini dilakukan agar pemborosan bahan bakar dan pengurangan efisiensi kinerja boiler bisa dicegah (Elonka & Kohan, 2008).

Pengukuran efisiensi boiler yang mencakup kemampuan menghasilkan uap (output) untuk kebutuhan produksi dan penggunaan bahan bakar (input) dalam jangka waktu tertentu. Boiler juga harus beroperasi dengan baik agar bisa menghasilkan uap pada tekanan konstan. Masalah pada boiler dapat langsung mempengaruhi hilangnya produksi, penurunan kualitas produk, dan biaya tinggi untuk memperbaiki atau

mengganti komponen yang rusak (American Boiler Manufacture Association, 2008).

Maka dari itu berdasarkan latar belakang tersebut perlu dilakukan penelitian proses kinerja mesin boiler pada PT. EPFM yakni boiler INDOMARINE Type F-20L dengan klasifikasi jenis boiler pipa api (fire tube boiler). Untuk itu saya mengambil judul **“ANALISIS EVALUASI KINERJA BOILER INDOMARINE TYPE F-20L UNTUK PROSES PRODUKSI PADA PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS”**.

B. Rumusan Masalah

Untuk meningkatkan efisiensi kinerja mesin boiler maka persoalan yang harus ditemukan mengenai pengoperasian boiler di PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS.

1. Bagaimana menghitung presentase kinerja yang dihasilkan serta *evaporation ratio* pada boiler INDOMARINE Type F-20L di PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS.
2. Bagaimana cara menghitung parameter kinerja boiler dan kehilangan panas akibat gesekan di dalam pipa, serta target area permasalahan untuk tindakan perbaikan.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang diharapkan oleh penulis pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah produksi energi serta perbandingan *evaporation ratio* pada boiler INDOMARINE Type F-20L.

2. Menganalisis parameter kinerja boiler dan kehilangan panas akibat gesekan di dalam pipa target area permasalahan agar bisa dilakukan analisis macam-macam tindakan perbaikan.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi permasalahan yang akan diteliti penulis sebagai berikut:

1. Penelitian terbatas pada operasi ketel uap dan pipa distributor uap.
2. Penelitian dilakukan selama 3 hari dalam pemanfaatan uap untuk proses produksi pelet.
3. Ketel uap yang digunakan merupakan tipe *fire tube boiler*.
4. Bahan bakar (*fuel*) yang digunakan adalah Biosolar (B30).
5. Untuk faktor kehilangan panas pada pipa distributor uap seperti kecepatan udara tidak dihitung di dalam penelitian ini karena kecepatan udara yang relatif rendah tidak akan mengganggu pergerakan partikel-partikel uap secara signifikan.

E. Manfaat Masalah

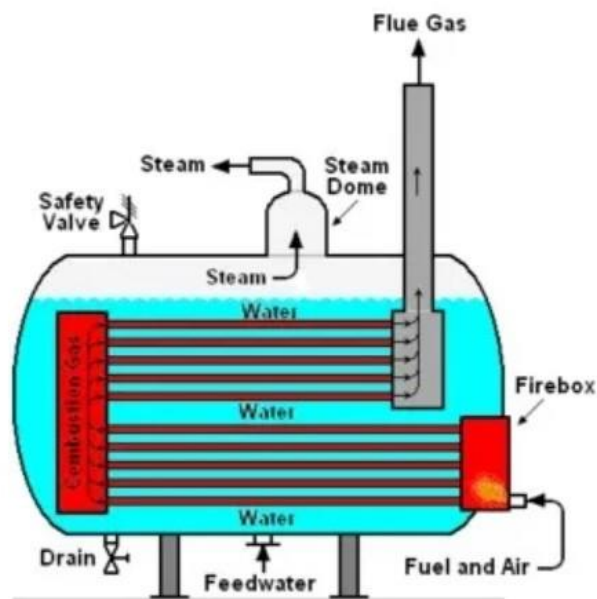
1. Perusahaan dapat meningkatkan efisiensi terhadap kinerja boiler dari hasil penelitian dan analisa penulis untuk menunjang keperluan produksi agar lebih baik lagi.
2. Penelitian ini dapat membantu penulis memperluas pengetahuan dalam ilmu teknik, termodinamika, dan energi.
3. Penelitian ini dapat membantu penulis memahami dampak efisiensi boiler pada lingkungan untuk mendukung prinsip keberlanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Boiler

Boiler adalah bejana tertutup yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan, uap digunakan sebagai pembangkit listrik, proses industri, dan pemanas air. Dalam pabrik produksi makanan biasanya mempunyai satu atau dua buah boiler, sebuah bangunan kecil juga biasanya punya boiler untuk penghangat ruangan. Boiler dapat dibedakan sesuai jenis bahan bakar yang digunakan dan jumlah uap yang dibutuhkan berdasarkan kegunaan, jenis bahan bakar yang digunakan semakin bervariasi dan membuat boiler modern jauh lebih canggih dan lebih kompleks, penemuan terbaru dalam bidang *engineering* juga membuat jenis boiler yang lebih bervariasi (Gopalakrishnan & Makesh, 2019).

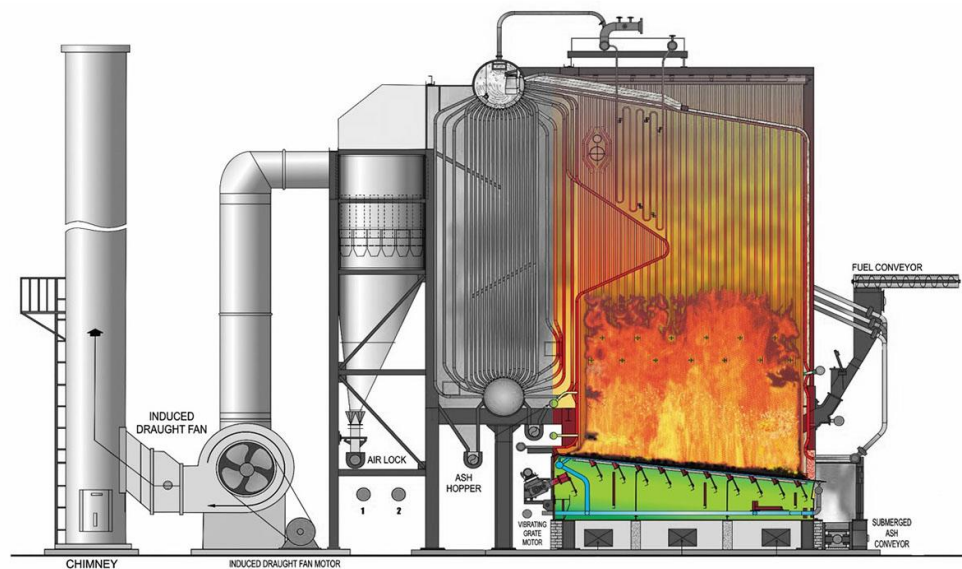


Gambar 2.1 Alur Skematik Boiler (Gopalakrishnan & Makesh, 2019).

B. Jenis-jenis Boiler

Boiler bisa digunakan sesuai dengan berbagai kebutuhan, termasuk pemanasan, pembangkit listrik, dan industri. Secara umum boiler bisa dibagi dua jenis yaitu *water-tube boiler* dan *fire-tube boiler* (Elonka & Kohan, 2008).

1. Boiler Pipa Air (*Water-Tube*)



Gambar 2.2 Boiler Water Tube (Boilermech, 2023)

Boiler *water tube* beroperasi berdasarkan prinsip memanaskan air melalui serangkaian tabung yang dikelilingi oleh panas pembakaran, proses ini mengubah air menjadi uap yang digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pembangkit listrik dan pemanas industri. Gas panas yang dihasilkan selama pembakaran mengalir melalui pipa-pipa, lalu mengubah air menjadi uap dengan suhu dan tekanan yang diinginkan. Sisa gas panas pemanasan air umpan masuk ke kondensor, dan terjadi kondensasi untuk

meningkatkan efisiensi sistem dengan memanfaatkan lebih banyak panas yang dihasilkan selama pembakaran. Prinsip ini menciptakan siklus berulang, di mana air umpan terus dipanaskan oleh gas panas, menghasilkan uap untuk memenuhi keperluan energi. Keunggulan utama *water tube* boiler adalah efisiensinya yang tinggi dan kemampuannya dalam menangani tekanan tinggi serta kapasitas produksi yang besar. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi industri berat dan pembangkit listrik tenaga uap yang membutuhkan output daya besar. Selain itu, boiler pipa air lebih aman karena sebagian besar air pada komponen kecil (pipa) berada di bagian terpanas dari tungku. Jadi jika pipa pecah, hanya volume air yang relatif kecil yang langsung terlepas menjadi uap. (Elonka & Kohan, 2008).

2. Boiler Pipa Api (Fire-Tube)

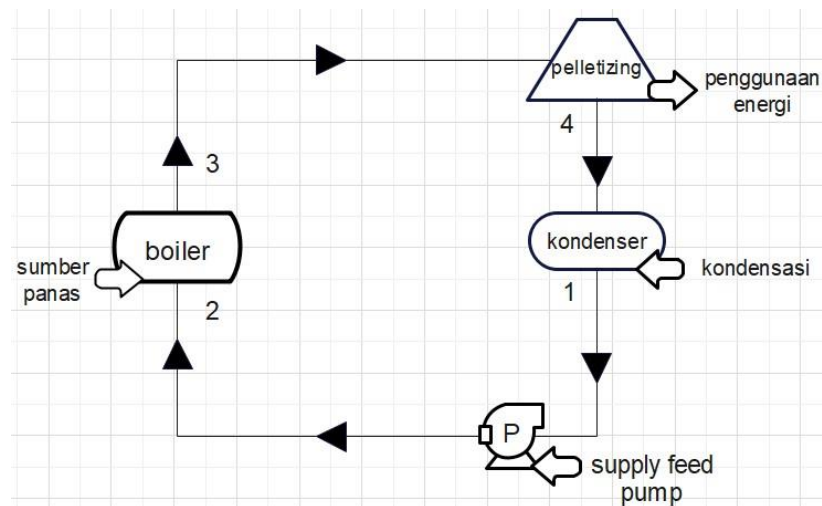


Gambar 2.3 Boiler fire tube indomarine Type f-20L

Boiler yang paling populer digunakan pada sektor industri adalah *fire tube* boiler. boiler pipa api terdiri dari api atau gas panas yang terkonduksi melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. Boiler pipa api pada dasarnya menggunakan bahan bakar bersih seperti gas dan minyak karena debu bahan bakar yang berlebih bisa menyebar ke segala komponen

dan menyebabkan kerusakan. Klasifikasi lainnya mencakup ukuran yang lebih kecil sampai dengan 35 TPH, tekanan yang dihasilkan juga lebih kecil sampai dengan $<25\text{atm}$. Boiler pipa api mempunyai beberapa kekurangan yaitu efisiensi termal yang lebih rendah, karena kebutuhan air yang banyak maka perlu waktu lebih untuk menghasilkan uap, fluktuasi tekanan juga sulit ditangani karena tingkat pembangkitan uap yang rendah. Namun, terlepas dari kekurangan yang ada. Boiler pipa api tetap digunakan pada industri yang membutuhkan uap dalam skala kecil karena biaya produksi yang lebih murah, ukuran yang kecil, lebih mudah untuk *overhaul* dan *maintenance*. Boiler pipa api dengan kapasitas kecil biasanya berbentuk horizontal dan yang berkapasitas besar berbentuk vertikal (Rayaprolu K, 2009)

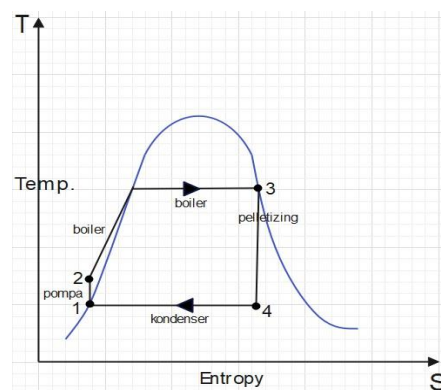
C. Proses Terbentuknya Uap



Gambar 2.4 Proses Uap Terbentuk

Dalam termodinamika dasar, suhu panas dianggap sebagai parameter proses termodinamika, seperti tekanan, suhu, dan entropi. Secara sederhana

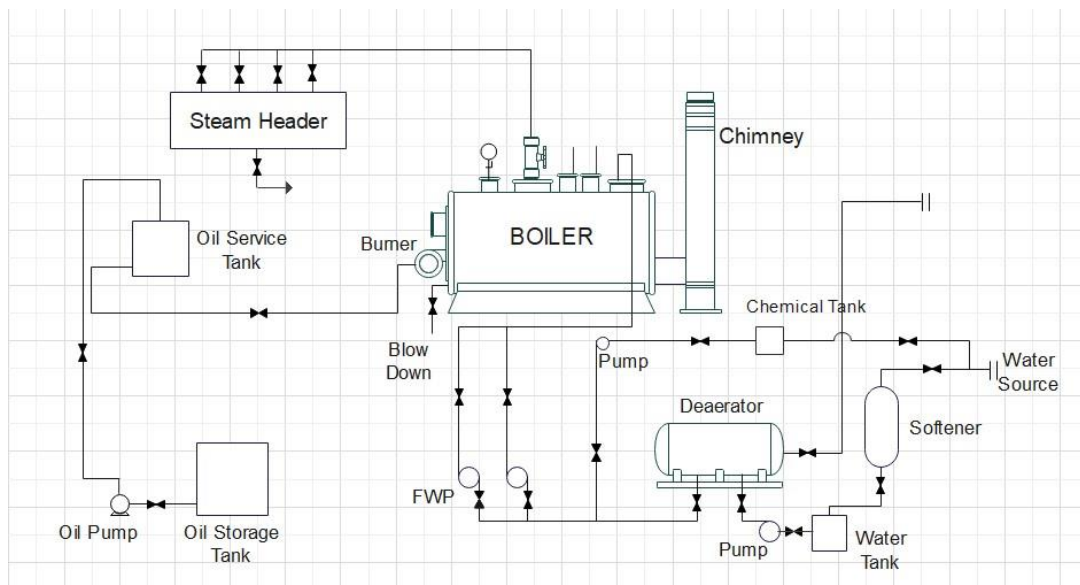
gambar dibawah adalah suatu diagram T-S yang merupakan siklus *rankine* yang digunakan untuk menggambarkan suatu proses termodinamika tanpa preheater. 1-2: fluida kerja dipompa dari tekanan rendah ke tinggi saat berfase cair sehingga pompa tidak membutuhkan tenaga yang terlalu besar, proses ini dinamakan proses kompresi-isentropik karena saat dipompa tidak ada perubahan entropi yang terjadi. 2-3: fluida bertekanan tinggi masuk ke boiler dan dipanaskan secara isobarik (tekanan konstan). Sumber panas eksternal berasal dari pembakaran bahan bakar. 3-4: Proses ini terjadi pada *pelletizing*. Uap air dari boiler masuk ke *header* lalu ke *pelletizing* untuk pemanfaatan panas. 4-1: Uap air setelah *pelletizing* mengalami proses pendinginan dengan tekanan yang tetap, tetapi suhu dan entalpi turun. Uap air kembali menjadi cair sehingga dapat digunakan kembali pada proses siklus. (Chen *et al*, 2012).



Gambar 2.5 Siklus Rankine

Pada instalasi boiler, proses pembentukan uap dimulai dengan air yang ditampung oleh tangki air mengalir ke *softener*, di dalam *softener* air lalu di saring agar terpisah dari lumpur dan kandungan-kandungan yang bisa membawa dampak buruk bagi boiler. Pada *softener* terdapat saluran *bypass* yang berfungsi untuk mengalihkan aliran air jika *softener* sedang dalam

keadaan tidak bisa beroperasi atau dalam *maintenance*. Setelah itu air bersih masuk ke dalam *deaerator*, di dalam *deaerator* terdapat *economizer* yang berfungsi sebagai pemanas air hingga suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Pada *deaerator* juga terdapat saluran pembuangan yang berfungsi untuk membuang air endapan kotoran, fungsinya menyerupai saluran *blowdown* pada boiler. Setelah itu air mengalir melalui filter yang mempunyai dua *valve* dan saluran *bypass*, air kembali di saring saat melalui filter untuk masuk ke *feed water pump*. Ada saluran dimana air mengalir langsung ke boiler dari *chemical tank* tanpa melewati *softener*, *deaerator*, dan *filter* (Heselson, 2005).



Gambar 2.6 Instalasi Boiler

Air di *chemical tank* yang sudah bercampur dengan zat kimia khusus berfungsi untuk melunakkan zat kapur, air *chemical* di pompa oleh *injection pump*, kemudian bercampur dengan air yang masuk ke dalam boiler melalui *steam inlet valve*. Air akan memenuhi boiler sampai batas tertentu, pada boiler terdapat pipa-pipa yang di dalamnya berupa api hasil pembakaran dari *burner* yang berfungsi untuk memanaskan air dalam boiler. Air di dalam

boiler akan dipanaskan sampai melebihi titik didihnya sampai terbentuk uap jenuh, Lalu dialirkan melalui saluran pipa *steam* untuk digunakan sesuai kebutuhan produksi (Heselton, 2005).

D. Water Treatment

Menurut *Water Treatment Program Manual* oleh *Alberta Infrastructure and Transportation* (2006) Ketika sistem boiler diisi dengan air kran yang tidak melalui proses *water treatment* dan dipanaskan, zat-zat *alkaline* seperti magnesium dan kalsium dapat mengendap di dalam boiler dan sistem perpipaan. Selain itu, oksigen terlarut juga dapat menyebabkan korosi. Oleh karena itu, mengontrol kadar *TDS* dibawah 3000 ppm dan kadar silika dibawah 150 ppm adalah hal penting. Komponen utama dari sistem ketel uap meliputi boiler, *deaerator*, *feed water pump*, *chemical tank*, dan *softener*.

1. Softener

Fungsi *softener* adalah untuk menyaring kotoran-kotoran berupa lumpur dan zat-zat kimia berupa kapur, kalsium, dan magnesium yang berbahaya bagi boiler. Di dalam *softener* air melewati resin yang menyaring kotoran-kotoran (*Alberta infrastructure and transportation*, 2006). *Softener* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.7 Softener

2. Deaerator

Fungsi deaerator adalah sebagai pemanas awal pada air yang akan masuk ke dalam boiler. Selain itu, deaerator juga berfungsi menghilangkan kadar oksigen yang ada pada air (*Alberta infrastructure and transportation*, 2006). Deaerator dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.8 Deaerator

3. *Feed Water Tank*

Fungsi *feed water tank* adalah tempat penampungan air pada boiler setelah disaring melalui *softener* (*Alberta infrastructure and transportation*, 2006). *Feed water tank* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.9 *Feed Water Tank*

4. *Chemical Tank*

Fungsi dari *chemical tank* adalah tempat menampung *chemical* untuk boiler yang proses kerjanya dipompa masuk bersamaan dengan air *deaerator* yang masuk ke dalam boiler. Jenis-jenis *chemical* yang digunakan berupa ALK-CHEM yang berfungsi sebagai pelunak kerak pada air, dan ADVANCE PLUS yang berfungsi untuk melindungi pipa-pipa api boiler terhadap zat-zat yang dapat menyebabkan korosi (*Alberta infrastructure and transportation*, 2006). *Chemical tank* dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.10 Chemical Tank

E. Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler mencerminkan kemampuan boiler dalam mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar menjadi energi yang bermanfaat dan seberapa sedikit energi panas yang terbuang, semakin tinggi efisiensi boiler maka semakin efisien penggunaan bahan bakar (Wohlfarth & Kohan, 2021). Oleh karena itu, menjaga efisiensi boiler adalah hal yang penting dalam aplikasi industri untuk mencapai tujuan ekonomis yang lebih baik. Data yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler mencakup pada pengukuran kehilangan panas yang terjadi selama operasi boiler, jumlah air yang dibuang saat operasi boiler, evaporation ratio, dan kehilangan energi pada sistem pipa uap. (American Boiler Manufacture Association, 2008).

1. Indirect Method (Metode Tidak Langsung)

Menurut (Sullivan *et al*, 2010) *indirect method* mengukur semua kehilangan energi panas yang terjadi selama proses operasi boiler seperti heat loss melalui *dry flue gas*, kadar H_2 di bahan bakar, atau kehilangan panas melalui pipa dan peralatan lainnya. Dibandingkan dengan efisiensi boiler *direct method*, beberapa kekurangan dari *direct method* dapat diatasi dengan metode ini seperti informasi tentang efisiensi boiler yang

terbatas karena *direct method* hanya memberikan gambaran umum tentang bagaimana energi masuk dan keluar dari boiler serta tidak memberikan informasi rinci tentang di mana kehilangan panas terjadi atau bagaimana cara mengatasinya. Selain itu, keuntungan penting dari metode ini adalah kesalahan kecil dalam pengukuran tidak membuat perubahan efisiensi yang signifikan. Berikut ini adalah proporsi oksigen dan nitrogen dalam udara pada satuan volume dan satuan massa serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi *indirect method* menurut (Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

Berdasarkan massa: Oksigen = 23,2 % ; Nitrogen = 76,8 %

Berdasarkan volume: Oksigen = 21 % ; Nitrogen = 79 %

a. Perhitungan Udara Teoritis

$$\text{Udara Teoritis} = \frac{100}{23,2} [\text{O}_2 \text{ yang diperlukan C} + \text{O}_2 \text{ yang diperlukan H}_2 + \text{O}_2 \text{ yang diperlukan S} + \text{O}_2 \text{ yang terkandung pada bahan bakar}] \quad (2.2)$$

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

b. Perhitungan *Excess Air* (EA)

$$\text{EA} = \frac{\% \text{O}_2 \cdot 100}{(21 - \% \text{O}_2)} \quad (2.3)$$

Dimana EA = Excess Air

%O₂ = Persentase oksigen pada gas buang

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

c. Perhitungan Udara Aktual (AAS)

$$AAS = \left[\frac{1+EA}{100} \right] \text{ Udara Teoritis} \quad (2.4)$$

Dimana AAS = Massa udara disuplai / kg bahan bakar

EA = Excess Air

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

- d. Perhitungan Kehilangan Panas *Dry Flue Gas* (A)

$$A = \frac{m \cdot cpf (Tf - Ta)}{GCV} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Dimana A = Heat loss karena dry flue gas

m = Massa gas buang kering

cpf = Kalor spesifik gas buang kering
(kCal/kg°C)

Tf = Temperatur gas buang °C

Ta = Temperatur ruangan °C

GCV = Gross Calorific Value

m = Massa ($CO_2 + S + N_2 + O_2$) gas buang + N_2 suplai udara (2.6)

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

Dimana m = Massa gas buang kering

C = Carbon (wt%)

S = Sulfur (wt%)

N_2 = Nitrogen (wt%)

AAS = Massa udara disuplai / kg bahan bakar

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

- e. Perhitungan *Heat Loss* karena H_2 di Bahan Bakar, (B)

$$B = \frac{9 \cdot H_2 [584 + cps (Tf - Ta)]}{GCV} \cdot 100 \quad (2.7)$$

Dimana B = Kehilangan panas karena H_2 di bahan bakar

H_2 = Hidrogen bahan bakar (kg)

cps = Kalor spesifik uap (kCal/kg°C)

Tf = Temperatur gas buang °C

Ta = Temperatur ruangan °C

GCV = *Gross Calorific Value*

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

f. Perhitungan *Heat loss* karena Kadar Air di Udara, (C)

$$C = \frac{AAS \cdot \text{Faktor kelembaban} \cdot cps (Tf - Ta)}{GCV} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Dimana C = *Heat Loss* karena kadar air dalam udara

AAS = Massa udara disuplai / kg bahan bakar

cps = Kalor spesifik uap (kCal/kg°C)

Tf = Temperatur gas buang °C

Ta = Temperatur ruangan °C

GCV = *Gross Calorific Value*

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

g. Kehilangan Panas karena Radiasi dan Konveksi, (D)

Kehilangan panas oleh radiasi dan konveksi ditentukan dari instalasi boiler sampai dengan ruang sekitar boiler. Persentase kehilangan panas ini merupakan salah satu faktor yang menentukan efisiensi boiler. Kehilangan panas radiasi dan kehilangan panas lain yang tidak terhitung, diasumsikan memiliki nilai tertentu berdasarkan

jenis dan ukuran *boiler*. *Boiler* industri (*packaged boiler*) pipa api dengan bahan bakar minyak mempunyai nilai *heat loss* radiasi dan konveksi pada angka 1,5% (Wohlfarth & Kohan, 2021).

h. Efisiensi *boiler* (η), metode *Indirect*

$$\eta = 100 \% - \text{Persentase } \textit{heat loss} (A + B + C + D) \quad (2.9)$$

Dimana η = Efisiensi *boiler* dengan metode *indirect*

A = *Heat loss Dry Flue Gas*

B = *Heat loss* Karena H_2 di Bahan Bakar

C = *Heat loss* karena kadar air dalam udara

D = *Heat loss* radiasi dan konveksi

(Wohlfarth & L. Kohan, 2021).

2. *Blowdown Rate*

Blowdown boiler adalah pembuangan air secara berkala dari boiler untuk membuang penumpukan endapan, karena air yang masuk ke dalam boiler meninggalkan zat terlarut. Jika dibiarkan, bahan kimia ini akan menyebabkan meningkatnya konsentrasi total dissolve solid (TDS). Prosedur yang tepat dari *blowdown* sangat penting untuk pengoperasian boiler, *blowdown* yang kurang baik mungkin bisa menyebabkan berkurangnya efisiensi pada bagian permukaan perpindahan panas. Tapi *blowdown* yang berlebihan bisa meningkatkan biaya operasional karena lebih boros dalam penggunaan air, energi, dan bahan kimia. Oleh karena itu, volume *blowdown* harus di analisis agar mencegah pengurangan efisiensi jika *blowdown* yang dilakukan lebih dari yang seharusnya.

Dengan menghitung waktu *Blowdown* yang sesuai, pengurangan efisiensi dapat dihindari (Sullivan *et al*, 2010).

Tabel 2.1 Tabel Durasi Blowdown

B.O. Valve		1" Pipe		1.5" Pipe		2" Pipe		2.5" Pipe		3" Pipe	
Press.	Temp.	Litre /	Kg	Litre /	Kg	Litre /	Kg	Litre /	Kg	Litre /	Kg
Kg/cm ²	°C	Minute	Coal	Minute	Coal	Minute	Coal	Minute	Coal	Minute	Coal
7.04	167.22	435.84	14.98	1089.60	37.68	1852.32	64.47	2655.90	92.16	4767.00	165.71
8.80	178.33	463.08	16.80	1198.56	43.58	2015.76	73.55	2941.92	107.60	5039.40	184.32
10.56	185.56	503.94	19.07	1307.52	49.94	2233.68	85.35	3214.32	123.03	5448.00	208.39
12.32	191.67	544.80	21.34	1416.48	55.84	2451.60	97.16	3541.20	140.29	5856.60	231.99
14.08	197.78	599.28	24.52	1525.44	62.65	2669.52	109.41	3813.60	156.18	6265.20	256.96
15.85	202.78	653.76	27.69	1634.40	69.01	2860.20	120.31	4086.00	172.07	6673.80	281.03
17.61	207.78	708.24	29.96	1743.36	75.36	3105.36	134.38	4358.40	188.41	7082.40	306.45
21.13	216.11	789.96	35.41	1906.80	85.81	3386.84	152.09	4712.52	212.02	7845.12	353.21
24.65	223.89	817.20	39.50	2070.24	97.16	3650.16	171.16	5066.64	237.44	8607.84	404.51
28.17	231.11	926.16	44.95	2233.68	108.05	3940.72	191.13	5420.76	262.87	9397.80	455.82
31.69	237.22	1007.88	49.94	2397.12	119.40	4194.96	208.84	5774.88	287.84	10187.76	507.57

Sumber: Altret Industries Private Limited, 2022

$$B = \frac{S \cdot E}{C - S} \quad (2.10)$$

$$B_a = \frac{S \cdot E}{C_a - S}$$

$$B_e = B_a - B$$

Dimana B = Volume yang seharusnya di blowdown

B_a = Volume yang sebenarnya di blowdown

B_e = Volume Blowdown berlebih

S = TDS terkandung di *feed water* (ppm)

E = Uap yang diproduksi per jam (kg/h)

C = Max. TDS yang diizinkan dalam air boiler (ppm)

C_a = Jumlah TDS sebenarnya dalam air boiler (ppm)

(Altret Industries Private Limited, 2022).

3. *Evaporation Ratio* (Laju Penguapan)

Evaporation ratio adalah perhitungan efisiensi dalam faktor *fuel-to-steam*, Metode ini adalah yang terbaik dalam mengevaluasi produksi uap. Membagi jumlah uap yang dihasilkan dan konsumsi bahan bakar dalam rentang waktu satu jam. *Evaporation rate* dapat digunakan untuk membandingkan kinerja dan beban boiler. Perubahan efisiensi pembakaran mempengaruhi *evaporation rate* suatu boiler. Menurut (K. Heselton, 2005) *evaporation ratio* berarti jumlah uap yang dihasilkan dari tiap kilogram bahan bakar yang di konsumsi. Nilai standar *evaporation ratio* boiler pipa api dengan bahan bakar minyak adalah 13 sampai 14,5 ton uap yang dihasilkan dalam 1 ton bahan bakar (Heselton, 2005).

$$\textbf{Evaporation Ratio} = \frac{\text{Uap yang diproduksi per jam(Kg/h)}}{\text{Konsumsi Bahan Bakar(Kg/h)}} \quad (2.11)$$

(Elonka & Kohan, 2008).

4. Kehilangan Energi Akibat Gesekan pada Pipa Distributor Uap

Dalam sistem boiler, *head loss* akibat gesekan pada pipa sangat berpengaruh. Alasannya adalah uap merupakan media transfer energi panas dalam lingkup industri maupun komersial, meminimalisir *head loss* dalam sistem pipa berarti memastikan tidak ada energi yang terbuang sehingga jumlah energi yang diinginkan tercapai. Generasi uap pada umumnya membutuhkan energi yang besar, *head loss* yang terjadi pada pipa meningkatkan biaya operasional akibat *input* energi yang terlalu besar dengan *output* yang sedikit. Selain itu dalam kinerja sistem boiler, *head loss* sangat berpengaruh pada sistem keamanan pipa. Karena *head*

loss yang berlebihan bisa menghasilkan air kondensasi dan dapat mengakibatkan bahaya seperti karat serta rusaknya material pipa. Oleh karena itu meminimalisir *head loss* dalam pipa sangat penting untuk efisiensi energy, biaya operasional, maupun keamanan (Al-Zgoul, 2016).

$$hl = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

Dimana hl = Kehilangan energi

f = Faktor gesekan

L = Panjang Pipa (m)

D = Diameter Pipa (m)

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

g = Gravitasi

(Douglas *et al*, 2005).

Untuk menemukan faktor gesekan pada persamaan di atas, dibutuhkan perhitungan menggunakan persamaan Darcy. Persamaan Darcy adalah persamaan dalam mekanika fluida yang menjelaskan aliran fluida melalui medium yang berpori. Persamaan ini dinamai sesuai dengan nama Henry Darcy, seorang insinyur Prancis yang memberikan kontribusi dalam bidang hidrolika pada abad ke-19. Persamaan Darcy digunakan untuk mengetahui sifat fluida laminar atau turbulen, oleh karena itu dibutuhkan nilai Reynolds (Re) (Ahmad, 2019).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (2.13)$$

Dimana Re = Bilangan Reynolds

D = Diameter Pipa (m)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m^3)

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

μ = Viskositas dinamika fluida (N/m^2)

(White, 2011)

Tabel 2.2 Viskositas

Pressure kg/cm ² (g)	Pressure kg/cm ² (abs)	Pressure Bar (abs)	Temp °K	Temp °C	Sp. Vol (Steam) m ³ / kg	Density (Steam) kg / m ³	Enthalpy of Steam 'h _g ' kcal/kg	Enthalpy of Evap 'h _{fg} ' kcal/kg	Enthalpy of Water 'h _f ' Kcal/kg	Vapour Pressure Bar (a)	Dynamic Viscosity (10) ⁻⁶ Pa s
0	1.03	1.02	373.33	100.18	1.66	0.60	639.8	539.44	100.36	1.02	12.28
0.5	1.53	1.51	384.79	111.64	1.15	0.87	643.98	532.04	111.94	1.51	12.68
1.0	2.03	2.01	393.49	120.34	0.88	1.13	647.01	526.25	120.76	2.01	12.98
2.0	3.03	2.99	406.62	133.47	0.61	1.65	651.34	517.20	134.14	2.99	13.44
2.4	3.43	3.39	410.89	137.74	0.54	1.85	652.68	514.17	138.52	3.39	13.59
3.0	4.03	3.98	416.60	143.45	0.46	2.15	654.41	510.04	144.38	3.98	13.79
4.0	5.03	4.97	424.75	151.60	0.38	2.65	656.77	503.99	152.78	4.97	14.07
5.0	6.03	5.95	431.69	158.54	0.32	3.15	658.65	498.69	159.96	5.95	14.32
6.0	7.03	6.94	437.77	164.62	0.27	3.64	660.20	493.92	166.29	6.94	14.53
7.0	8.03	7.93	443.19	170.04	0.24	4.13	661.51	489.55	171.96	7.93	14.72

Sumber: White, F. (2011) *Fluid mechanics*. McGraw-Hill Higher Education.

- $Re < 2300$ = Laminar
- $Re > 4000$ = Turbulen
- $Re 2300 - 4000$ = Transisi

Jika bilangan Reynolds menunjukkan aliran laminar, maka gunakan persamaan berikut:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.14)$$

Dimana f = Koefisien gesek

Re = Bilangan Reynolds

(Madeira, 2020):

Sedangkan jika bilangan Reynolds menunjukkan aliran turbulen

digunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.15)$$

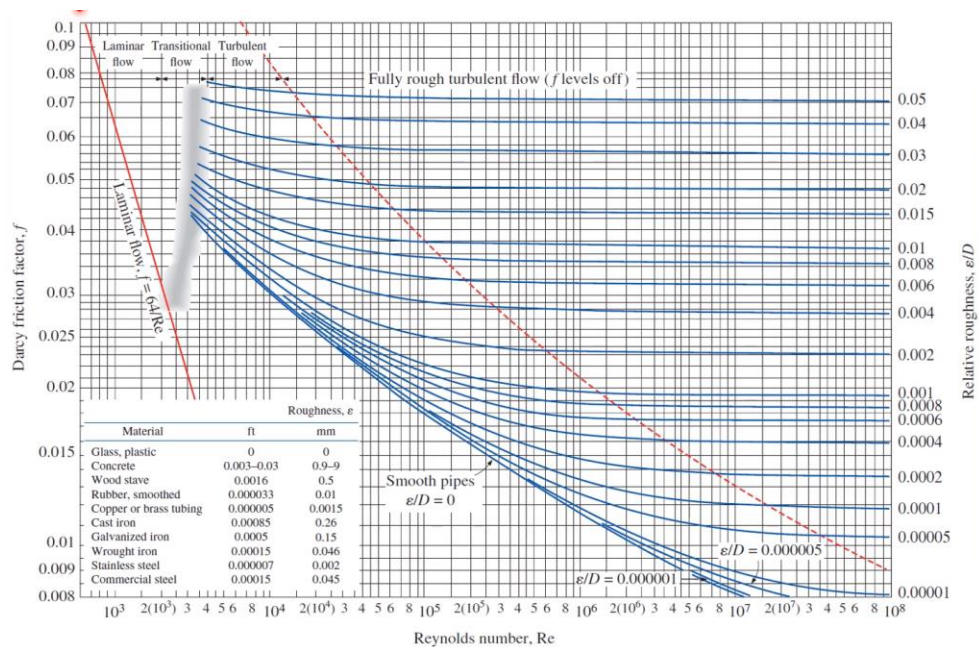
Dimana f = Koefisien gesek

Re = Bilangan Reynolds

ε = Kekasaran relatif pipa

D = Diameter pipa (m)

(Madeira, 2020):



Gambar 2.11 Diagram Moody (Madeira, 2020)

Dapat dilihat pada aliran turbulen, nilai f bergantung pada kekasaran permukaan relatif (ε/D) dan bilangan Reynolds (Re). kekasaran pipa dapat dilihat pada tabel berikut (Fox & McDonald, 1998).

Tabel 2.3 Kekasaran Pipa

New Material	ε	
	ft	mm
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Asphalted cast iron	0.0004	0.12
Commercial steel	0.00015	0.046
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Glass	"Smooth"	"Smooth"

Sumber: Fox, R. and McDonald, A. (1998) *Introduction to Fluid Mechanics*, 5th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York

7. Kehilangan energi akibat fitting pada pipa distribusi uap

Head loss akibat *fittings* terjadi karena energi yang terbuang melalui instalasi *fitting*. *Fitting* seperti *elbow*, *valve*, dan *reducer* memberikan perubahan arah aliran dan permukaan tambahan yang menyebabkan peningkatan gesekan dalam aliran fluida (Douglas dkk, 2005). Untuk menghitung *head loss* akibat *fitting* digunakan persamaan berikut menurut (White, 2011).

$$h_L = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.16)$$

Dimana h_L = Kehilangan energi

K = Koefisien kerugian pembengkokan Pipa

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

G = Gaya Gravitasi (m/s²)

(White, 2011)

Nilai koefisien kerugian dapat berbeda untuk setiap jenis dan desain fitting. Maka dari itu, penting untuk memperhitungkan koefisien

kerugian saat menganalisis sistem aliran fluida untuk memperkirakan perubahan tekanan yang terjadi dalam proses aliran (Agus dkk, 2022).

Berikut tabel koefisien kerugian akibat fitting pada sistem pipa uap:

Tabel 2.4 Fitting pipa

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	

Sumber: Agus, Ryadin, A.U. and Masakin, A. (2022) *Perancangan Reverse Flow Portable Filter Pada Aquarium*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di pabrik produksi PT. EASTERN PEARL FLOUR MILLS pada *section power house* dengan unit kerja boiler. Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Agustus 2023.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu Penelitian					
		Juni 2023	Juli 2023	Agustus 2023	September 2023	Oktober 2023	November 2023
1	Penyusunan Proposal						
2	Persiapan Alat dan Bahan						
3	Pengambilan Data						
4	Penyusunan Skripsi						
5	Seminar Hasil						
6	Seminar Tutup						

B. Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kinerja boiler saat proses produksi sedang berjalan pada PT. Eastern Pearl Flour Mills untuk mengetahui permasalahan yang ada pada boiler Indomarine Type F-20L atau aspek yang memberikan pengaruh terhadap proses produksi. Adapun proses pengambilan data sebagai berikut:

1. Teknik Observasi, mengamati objek penelitian secara langsung di lapangan, berupa data-data yang merujuk pada kalkulasi *indirect method*, *evaporation ratio*, *heat loss* pada pipa distributor uap, dan