

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

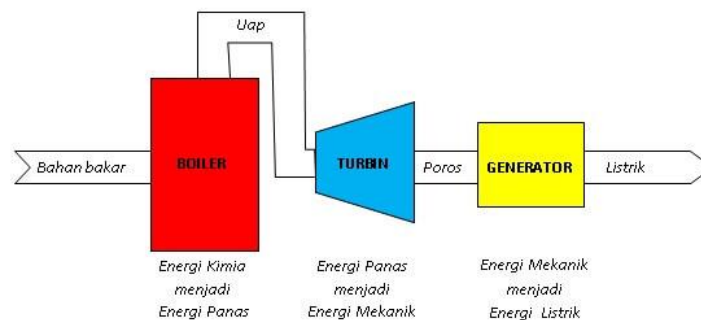
2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari uap yang digunakan untuk membangkitkan listrik melalui generator yang dikopel langsung dari turbin yang digerakkan oleh tenaga uap (Arham et al., 2015). Bentuk utama dari pembangkit listrik ini adalah generator yang seporos dengan turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO untuk *start up* awal.

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan yaitu (Rakhman, 2013) :

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Proses Konversi Energi pada PLTU
(Rakhman, 2013)

Adapun kelebihan dan kekurangan PLTU dirangkum dalam tabel dibawah ini:

Tabel 2.1 Tabel Kelebihan dan Kekurangan PLTU
(Gani, 2013)

Kelebihan	Murah, karena energi yang bersumber dari batubara harganya terjangkau dan kenaikannya tidak terlalu signifikan.
	Sifat batubara mudah terbakar sehingga cepat dalam menghasilkan energi panas untuk penguapan
	Efisiensi yang tinggi, dikarenakan batubara sebagai sumber energi awal mudah disimpan.
	Produk akhir dari batubara dapat digunakan oleh industri lain, misalnya industri semen.
	Daya yang dihasilkan besar.
	Biaya perawatan murah (penggantian suku cadang tidak terlalu sering).
	Usia mesin lebih lama.
Kekurangan	Pembakaran batubara akan menghasilkan zat berbahaya bagi kesehatan, seperti sulphur dioxide.
	PLTU dinilai tidak ramah terhadap flora dan fauna yang ada di sekitar pembangkit.
	Emisi gas buang tidak ramah lingkungan.
	Mebutuhkan air pendingin yang cukup banyak sehingga biasanya ditempatkan didaerah yang dekat dengan sumber air yang melimpah.

2.1.2 Komponen – komponen Utama Pada PLTU

1. Boiler (Ketel Uap)

Boiler merupakan bejana tertutup dimana prosesnya ialah mengubah air menjadi uap energi. Bejana ini mampu membentuk uap dengan tekanan lebih dari 0,1 MPa dengan cara memanaskan air yang ada didalamnya menggunakan gas-gas *steam* hasil pembakaran (Fadhilla, 2023).

2. Turbin

Turbin merupakan suatu mesin untuk mengubah energi thermal uap menjadi energi listrik melalui generator yang dikopel. Sistem turbin pada PLTU terdiri dari dua komponen terpisah yaitu turbin yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik serta generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Setiawan et al., 2022).

3. Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air untuk selanjutnya dilakukan pemanasan ulang oleh LP Heater (Dirmanto & Effendi, 2020).

4. Generator

Generator adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah energi gerak atau mekanik yang berasal dari putaran shaft turbin, menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator (Julisetianto, 2019).

2.1.3 Boiler

Boiler adalah mesin yang menghasilkan *steam* (uap) untuk berbagai kebutuhan. Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar atau sumber panas lainnya. Panas berpindah dari sumber panas tersebut ke air yang akan menghasilkan uap. Air yang lebih panas memiliki densitas yang lebih rendah daripada air yang lebih dingin, sehingga air yang lebih dingin turun ke dasar *boiler* (Susanti, 2020).

Dalam *boiler* sendiri proses pembakaran mengubah energi kimia bahan bakar menjadi panas. Panas yang dihasilkan sebagian besar diberikan kepada air di dalam *boiler* untuk menghasilkan uap. Peralatan khusus seperti halnya *safety valve*, *level glass*, *block valve*, *burner* pembakaran dan alat bantu lainnya yang mendukung *boiler* (Susanti, 2020). Sistem *boiler* terdiri dari tiga sistem : sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar (Susanti, 2020). Sistem air umpan memasok air ke *boiler* secara otomatis sesuai permintaan *steam*. Sistem *steam* mengumpulkan

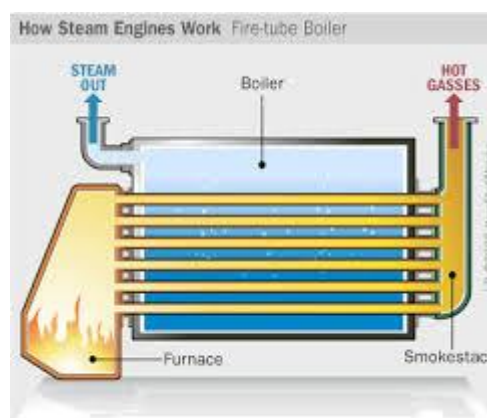
dan mengontrol produksi uap di *boiler*. Uap dialirkan melalui sistem perpipaan ke titik penggunaan. Di seluruh sistem, tekanan uap diatur oleh katup dan dipantau oleh pemantau tekanan. Semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar kemudian menghasilkan panas yang dibutuhkan disebut sistem bahan bakar. Peralatan yang diperlukan untuk sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dalam sistem.

2.1.4 Klasifikasi *Boiler*

Berdasarkan bagaimana fluida mengalir di dalam pipa, *boiler* terbagi menjadi 2 yaitu :

1. *Fire Tube Boiler*

Fire Tube Boiler juga sering disebut Boiler Pipa Api. *Fire Tube Boiler* merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa – pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa – pipa api tersebut. Pipa – pipa api berada atas terendam didalam air yang akan diuapkan. Volume air kira kira $\frac{3}{4}$ dari tangki ketel. *Boiler* ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Muzaki & Mursadin, 2019)



Gambar 2.2 *Boiler* Pipa Api
(Abdul Azis, 2015)

Adapun kelebihan dan kekurangan *boiler* pipa api terdapat didalam tabel

dibawah ini :

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan *Boiler* Pipa Api
(Muzaki & Mursadin, 2019)

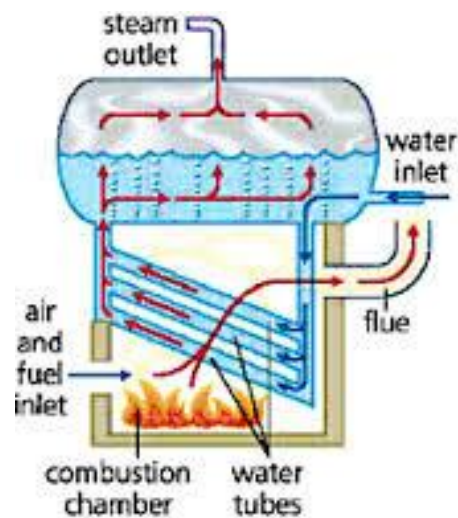
Kelebihan	Kekurangan
1. <i>Boiler</i> pipa api sangat mudah digunakan, mudah dibersihkan dan murah dalam perawatannya.	1. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi air lebih lama dari meningkatkan suhu dan tekanan.
2. Dapat digunakan dalam industri skala kecil.	2. Efisiensi perpindahan panas cukup buruk karena penukar panas tidak menggunakan radiasi termal.
3. <i>Boiler</i> pipa api relatif lebih murah daripada <i>boiler</i> pipa air.	3. <i>Fire Tube Boiler</i> tidak dapat menghasilkan uap pada tekanan yang lebih tinggi dari 1,72 Mpa.
4. Tersedia dalam ukuran dari 0,05 T/jam untuk 4166,67 T/jam.	4. Kapasitas uap yang dihasilkan terbatas.
	5. Tidak cocok untuk aplikasi tekanan tinggi 1,72 MPa dan lebih dari itu.

1. *Water Tube Boiler*

Water Tube Boiler atau *Boiler* Pipa Air. *Water tube boiler* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan *Fire tube boiler*, jika pada *Fire tube boiler* itu hanya mampu menyimpan tekanan steam rendah sedangkan pada *Water tube boiler* mampu menghasilkan kapasitas dan tekanan steam yang tinggi. Bukan hanya itu saja karakteristik dari *Water tube boiler* diantaranya kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air. *Water tube boiler* dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi (Abdul Azis, 2015).

Cara Kerja *Water Tube Boiler*, proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan

sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer, kemudian steam yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah steam-drum. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap secondary superheater dan primary superheater baru steam dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut didalam air tersebut. Hal ini merupakan faktor utama yang harus diperhatikan terhadap tipe ini (Abdul Azis, 2015).



Gambar 2.3 *Water Tube Boiler*
(Abdul Azis, 2015)

Adapun kelebihan dan kekurangan *water tube boiler* ialah :

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan *Water Tube Boiler*
(Muzaki & Mursadin, 2019)

Kelebihan	Kekurangan
1. Kapasitas <i>steam</i> besar hingga 450 T/h.	1. <i>Water tube boiler</i> memiliki proses konstruksi yang lebih detail.
2. Tekanan operasi mencapai 10 MPa.	2. Investasi awal relative lebih mahal.
3. Nilai efisiensi relatif tinggi dari <i>boiler</i> tabung api.	3. Penanganan air yang masuk ke dalam <i>boiler</i> dalam sistem ini lebih sensitif sehingga perlu dijaga dan

-
- | | |
|--|---|
| <p>4. Mudah diakses untuk melakukan pemeriksaan, pembersihan dan perbaikan tungku mudah dijangkau.</p> | <p>memerlukan komponen pendukung untuk hal ini.</p> <p>4. Konstruksinya membutuhkan area yang luas karena mampu menghasilkan kapasitas dan tekanan <i>steam</i> yang lebih besar.</p> |
|--|---|
-

2.1.5 Prinsip Kerja *Boiler*

Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar, sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air, yang mengakibatkan air tersebut menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar (Susanti, 2020).

Sistem *boiler* terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai kebutuhan uapnya. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam *boiler*. Sistem bahan bakar merupakan semua alat yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar agar menghasilkan panas yang dibutuhkan. Prinsip kerja *boiler* yaitu mengubah dan memindahkan energi yang dimiliki bahan bakar menjadi energi yang dimiliki uap air (Susanti, 2020). Berdasarkan bahan bakar yang digunakan, *boiler* dapat diklasifikasikan menjadi *boiler* bahan bakar padat, *boiler* bahan bakar cair dan *boiler* bahan bakar gas. Pemanas ruangan juga merupakan salah satu aplikasi dari *boiler*. Prinsip kerja pemanas ruangan dikembangkan berdasarkan Hukum Termodinamika I dan II.

Perpindahan panas pada kasus pemanas ruangan adalah memindahkan energi dalam bentuk panas dari suatu titik yang bersuhu tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah. Untuk mengangkat ruangan dibutuhkan suatu fluida (berupa air, udara atau uap) yang dipanaskan di dalam *boiler*, dialirkan melalui pipa, menuju radiator

yang berhubungan langsung dengan udara ruangan, fluida akan mengalir kembali lagi ke *boiler* untuk dipanaskan kembali (Susanti, 2020).

2.1.6 Unit *Boiler* di PLTU TE 3x10 MW

Unit *Boiler* yang terdapat di PLTU TE 3x10 MW ialah termasuk kedalam tipe *water tube boiler*. Dimana terdapat dari sirkulasi air pada *boiler* masuk melalui pipa *downcomer* dan *waterwall* serta panas hasil pembakaran dilewatkan melalui permukaan luar pipa tersebut. Adapun bahan bakar yang digunakan ialah batubara dan solar. *Boiler* ini nantinya akan menghasilkan *steam* yang nantinya akan digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.



Gambar 2.4 *Boiler CFB*
(PT Bukit Energi Servis Terpadu, 2018)

Adapun spesifikasi daripada *Boiler CFB* yaitu terdapat didalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.4 Spesifikasi *Boiler CFB* PLTU 3x10 MW Unit TE
(PT Bukit Energi Servis Terpadu, 2018)

No.	Nama	Keterangan
1.	Tipe	<i>Circulation Fluidized Bed</i>
2.	<i>Rated Evaporation Capacity</i>	56 T/H
3.	<i>Rated Steam Pressure</i>	5,4 Mpa
4.	<i>Rated Steam Temperature</i>	485 °C
5.	<i>Feed Water Temperature</i>	150 °C
6.	<i>Gas Exhaust Temperature</i>	140 °C
7.	<i>Continuous Blowdown Efficiency</i>	2 %

8.	<i>Cold Air Temperature</i>	30 °C
9.	<i>Hot Air Temperature</i>	150 °C
10.	<i>Boiler Desain Heat Efficiency</i>	90,27 %
11.	<i>Manufacture</i>	Jiangxi Jiangliang Energy China

2.1.7 Komponen Boiler PLTU 3x10

Adapun Komponen daripada *boiler* sendiri ialah :

a. *Furnace* (Ruang Bakar)

Furnace (ruang bakar) merupakan tempat terjadinya reaksi pembakaran pada *boiler*, dinding-dinding pada *furnace* berupa pipa-pipa *waterwall* dimana nantinya akan diisi air yang nantinya akan diubah menjadi *steam* akibat adanya pembakaran didalam *furnace*. Bagian bawah *furnace* berupa *bed* yakni tempat pasir silika dan juga distributor udara berupa *noozle* yang digunakan dalam pembakaran dengan *bubble* udara di atasnya (Aldonado, 2022).

b. *Steam Drum*

Steam Drum merupakan tangki yang digunakan untuk memisahkan air dan *steam*. Pada bagian atas dalam *steam drum* terdapat *separator* sebagai pemisah dan untuk menjaga kualitas *steam* yang dihasilkan (Aldonado, 2022).

c. *Superheater*

Superheater digunakan sebagai pemanas tingkat lanjut dari uap basah (*saturated steam*) yang keluar dari *steam drum* yang selanjutnya akan menjadi *superheated steam* yang kemudian disalurkan ke *main steam* menuju turbin (Aldonado, 2022).

g. *Economizer*

Economizer adalah alat pemindah panas berbentuk *tubular* yang digunakan untuk memanaskan air umpan *boiler* sebelum masuk ke *steam*

drum. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer (Dwi Priyantoro, 2022).

2.1.8 Bahan Bakar PLTU 3X10 MW

Bahan bakar utama yang digunakan pada PLTU 3x10 MW Unit Tanjung Enim ialah batubara dengan jenis sub-bituminus. Batubara ini memiliki kadar *moisture* antara 15-30% dengan rank nilai GCV berkisar 4614 – 6393 kkal/kg.



Gambar 2.5 Batubara Sub-Bituminus

2.1.9 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum Pertama Termodinamika adalah hukum konversi energi atau kekekalan energi. Hukum ini menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan ataupun dilenyapkan (Kusuma Dewi, 2022). Energi dari suatu sistem yang mengalami perubahan (proses) dapat bertambah atau berkurang oleh pertukaran dengan lingkungan dan diubah dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain di dalam sistem itu. Sehingga dalam hukum ini, semua perubahan energi harus diperhitungkan.

2.1.10 Hukum Kedua Termodinamika

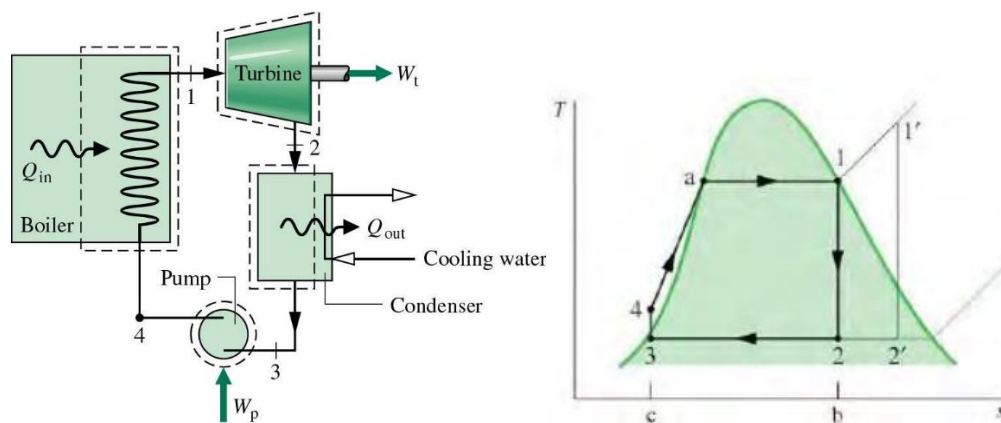
Hukum kedua termodinamika dinyatakan pembatasan perubahan energi dimana alur kalor suatu objek dengan sistem memiliki sifat alami, yaitu: “Kalor mengalir secara alami atau spontan dari benda yang panas (bersuhu tinggi) ke benda yang dingin (bersuhu rendah); dan sebaliknya kalor tidak akan mengalir secara

alami atau spontan dari benda dingin (bersuhu rendah) ke benda panas (bersuhu tinggi) tanpa dilakukan usaha” (Kusuma Dewi, 2022).

2.1.11 Siklus Rankine

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah energi termal menjadi kerja (Pratiwi & Hadi, 2022). Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida kerjanya.

Siklus rankine nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dibandingkan siklus rankine ideal yang sederhana. Siklus ini merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkit listrik, terutama pada PLTU. Siklus ini terdiri dari 4 proses yaitu :



Gambar 2.6 Siklus Rankine
(Artikel Teknologi, 2015)

- Proses 1 – 2 : Ekspansi isentropik dari fluida kerja melalui turbin, dari uap jenuh pada kondisi 1 hingga mencapai tekanan kondensor.
- Proses 2 – 3 : Pelepasan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui condenser (uap air dikondensasikan menjadi air/*saturated liquid* pada titik 3).
- Proses 3 – 4 : Kompresi isentropic dalam pompa menuju kondisi 4, yaitu dalam daerah campuran hasil kompresi.
- Proses 4 – 1 : Pemasukan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui *boiler* untuk menyelesaikan siklus

(air pada kondisi cair jenuh dipanaskan hingga kondisi uap jenuh pada titik 1).

2.1.12 Efisiensi Boiler CFB

Metode langsung atau dikenal juga dengan metode *input-output*, dilakukan dengan cara membandingkan secara langsung energi panas yang diserap oleh air sehingga perubahan fase menjadi uap air (energi *output*) dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar *boiler*.

Rumusan sederhana dari perhitungan metode langsung sebagai berikut (Çengel, 2017) :

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\% \quad \text{Pers. 2.1}$$

atau

$$\eta = \frac{m(h_{\text{steam}} - h_{\text{feed water}})}{m_{\text{batubara}} \times \text{GCV}_{\text{batubara}}} \times 100\% \quad \text{Pers. 2.2}$$

dimana :

η = efisiensi *boiler*

\dot{m}_{steam} = laju alir *steam* (T/hr)

h_{steam} = entalphy *steam* (kCal/kg)

$h_{\text{feed water}}$ = entalpi *feedwater* (kCal/kg)

GCV = nilai kalori batubara (kCal/g)

m_{batubara} = massa batubara (T/hr)

Untuk menghitung enthalpi *steam* maka dilakukan interpolasi dengan menggunakan persamaan 2.3 yaitu (Pravitasari et al., 2017) :

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} \quad \text{Pers. 2.3}$$

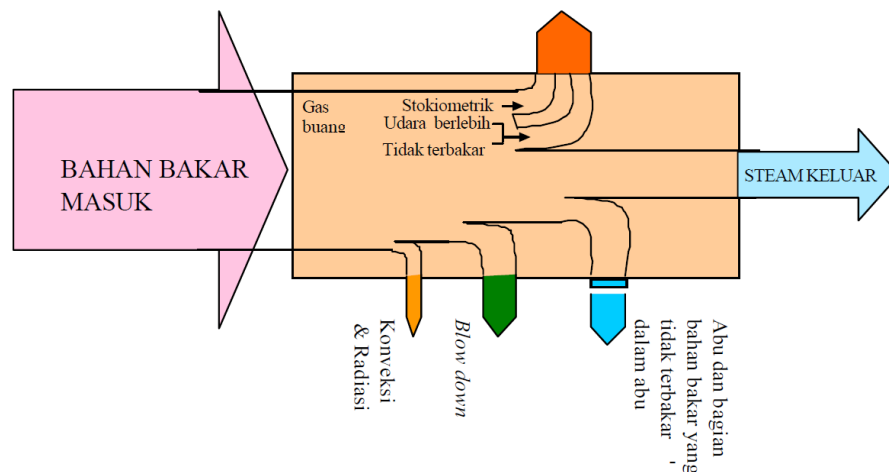
Untuk mencari enthalpi *steam* sendiri menggunakan 3 kali interpolasi untuk mendapatkan hasil akhir enthalpi aktual. Sedangkan untuk menghitung entalpi

feedwater maka dilakukan interpolasi dengan menggunakan persamaan 2.4 yaitu (Smith et al., 2018) :

$$h = \left(\frac{T_{ref.up} - T_{aktual}}{T_{ref.up} - T_{ref.down}} \right) h_{ref.down} + \left(\frac{T_{aktual} - T_{ref.down}}{T_{ref.up} - T_{ref.down}} \right) h_{ref.up} \quad \text{Pers. 2.4}$$

2.1.13 Neraca Panas

Proses pembakaran dalam *boiler* digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi (United Nations Environment Programme, 2006). Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.



Gambar 2.7 Diagram Neraca Energi *Boiler*
(United Nations Environment Programme, 2006)

Neraca panas merupakan keseimbangan energi total yang masuk *boiler* terhadap yang meninggalkan *boiler* dalam bentuk yang berbeda. Kehilangan energi dapat dibagi kedalam kehilangan yang tidak atau dapat dihindarkan. Tujuan dari produksi bersih harus mengurangi kehilangan yang dapat dihindari dengan, dengan meningkatkan efisiensi energi.

2.2 Kajian Pustaka

Pada saat melakukan sebuah penelitian dan pengamatan ilmiah, diperlukannya beberapa literasi dan sumber bacaan sebagai referensi yang berkaitan dengan judul yang diambil dalam penelitian. Judul yang diangkat ialah “Analisis Performansi *Boiler Circulating Fluidized Bed* di PT Bukit Energi Servis Terpadu Unit PLTU Tanjung Enim 3x10 MW”. Berikut adalah beberapa referensi yang diambil dalam penelitian ini ialah.

(Gumelar et al., 2022) pada tahun 2022 melakukan penelitian mengenai Efisiensi *Boiler* Berbahan Bakar Gas di PT XYZ Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung. Penelitian ini dilakukan selama 1 (satu) bulan. Adapun data yang digunakan adalah spesifikasi *fire tube boiler*, jenis bahan bakar, tekanan, suhu air umpan, jumlah pemakaian gas per jam, jumlah uap per jam dan temperature keluaran *boiler*. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwasannya nilai efisiensi menggunakan metode langsung sebesar 73,78% sedangkan nilai efisiensi metode tidak langsung sebesar 73,37%. Penurunan hasil efisiensi *boiler* dikarenakan kerak pada aliran pipa-pipa di dalam *boiler* sehingga menghambat proses perpindahan panas.

(Syahputera, 2018) pada Tahun 2018 melakukan penelitian mengenai Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Produksi Listrik. Dari penelitian ini disimpulkan bahwasannya naiknya nilai kalori batubara yang dipakai nilai efisiensi mengalami kenaikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai efisiensi thermal tertinggi senilai 35,8% saat pemakaian batubara dengan kalori 4331 dan efisiensi terendah senilai 31,68% saat pemakaian batubaran kalori 4206.

(Pravitasari et al., 2017) melakukan penelitian mengenai Efisiensi *Boiler*. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwasannya terhadap efisiensi *boiler* hasil perhitungan yakni sebesar 46%. Penurunan nilai efisiensi *boiler* dikarenakan kandungan karbon, hidrogen, belerang dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Faktor lingkungan yang mengakibatkan penurunan efisiensi *boiler* yang dikarenakan abu terbang dan abu dalam tidak terbakar sempurna.

(Aziz & Hasan, 2016) pada Tahun 2016 melakukan penelitian menggunakan perhitungan efisiensi *boiler* menggunakan metode *output-input* dan *heat loss* sesuai dengan standar ASME PTC 4.1 dan perhitungan *Net Plant Heat Rate* (NPHR) menggunakan metode *heat loss* dengan menggunakan komposisi batubara 100% LRC (*Low Rank Coal*) dan Campuran 50% LRC dan 50% MRC untuk mengetahui kinerja pembangkit didapatkan kesimpulan bahwasannya efisiensi *boiler* pada pengujian aktual 100% LRC mengalami penurunan sebesar 3,25% dan pada pengujian dengan komposisi 50%LRC dan 50%MRC mengalami penurunan sebesar 2,91%. Kehilangan panas karena gas buang kering, kandungan air dalam bahan bakar dan pembakaran hidrogen memberikan kontribusi terbesar terhadap penurunan efisiensi *boiler*.

(Sandi, 2022) pada Tahun 2022 melakukan penelitian mengenai pengaruh kualitas batubara terhadap efisiensi *boiler* tipe CFB. Batubara yang digunakan memiliki 5 variasi nilai HHV. Didapatkan kesimpulan bahwasannya pengaruh nilai HHV terhadap efisiensi *boiler* dengan hasil efisiensi terbesar yaitu 83,88% pada HHV 4.125 kcal/kg dan terendah sebesar 80,52% pada HHV 4.103 kcal/kg dengan kerugian panas terbesar karena gas buang kering, pembakaran H₂ dan *moisture* bahan bakar.

(Putra et al., 2021) pada Tahun 2021 melakukan penelitian pengaruh nilai kalor batubara dan *excess air* terhadap efisiensi *boiler* di PLTU Moramo dengan menggunakan 3 variasi nilai LHV didapatkan kesimpulan bahwasannya efisiensi *boiler* meningkat sejalan dengan kualitas batubara yang digunakan.

(Arham et al., 2015) pada Tahun 2015 melakukan penelitian mengenai Evaluasi Kinerja *Boiler* CFB di PT PLN Unit PLTU Barru. Data *boiler* yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan yang menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung. Didapatkan kesimpulan bahwasannya Efisiensi *boiler* PLTU Barru unit 1 mengalami penurunan secara signifikan dengan menggunakan metode langsung sebesar 18,75% dimana pada kondisi operasi 13 Januari 2014 efisiensi boiler sebesar 89,21%. Faktor kehilangan panas terbesar diakibatkan oleh penguapan air yang terbentuk karena adanya kandungan hidrogen dalam bahan bakar batubara.

(Hendri et al., 2018) Pada Tahun 2018 melakukan penelitian dan mendapatkan kesimpulan yaitu Efisiensi pada *Boiler* banyak dipengaruhi oleh proses perpindahan panas yang terjadi di dalamnya. Perpindahan panas pada *Boiler* dapat ditingkatkan dengan melakukan pembersihan permukaan pipa dari abu-abu yang menempel. Pada *superheater, fly ash* yang merupakan hasil dari pembakaran akan menempel pada dinding-dinding permukaan pipa.

(Sahda et al., 2022) melakukan penelitian mengenai efisiensi *boiler* dan penyebab terjadinya penurunan efisiensi *boiler* yaitu kebersihan permukaan pada pipa *boiler*, hal ini berpengaruh terhadap proses perpindahan panas kalor karena apabila adanya kotoran maupun kerak pada pipa *boiler* dapat menghambat proses perpindahan kalor sehingga laju perpindahan kalorpun menurun.

(S. & Dkk, 2017) melakukan penelitian terhadap efisiensi *boiler* dengan kapasitas 55 Ton/hr didapatkan bahwasannya penurunan efisiensi diakibatkan adanya beberapa faktor yaitu kebocoran *steam*, kebocoran line udara dan batubara yang basah pada saat digunakan.