

**ANALISIS *HEAT RATE* TERHADAP PENGARUH *DERATING*
DENGAN BAHAN BAKAR *MARINE FUEL OIL* (MFO)**

SKRIPSI

IAN PUTRA ADITA WIBISANA

15 813 0014



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

MEDAN

2018

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 13/6/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/6/23

**Judul Skripsi : ANALISIS HEAT RATE TERHADAP PENGARUH DERATING
DENGAN BAHAN BAKAR MARINE FUEL OIL (MFO)**

Nama : Ian Putra Adita Wibisana

NPM : 15.813.0014

Fakultas : Teknik

Jurusan : Mesin

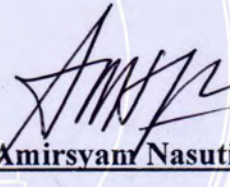
Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing



Ir. Husin Ibrahim, MT

Pembimbing I



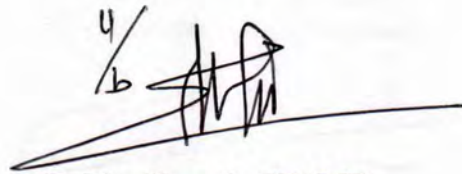
Ir. H. Amirsyah Nasution, MT

Pembimbing II



Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc

Dekan



Bobby Umroh, ST, MT

Ka. Prodi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/6/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)13/6/23

LEMBAR PERNYATAAN

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

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Februari 2018



Ian Putra Adita Wibisana
15 813 0014

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


Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ian Putra Adita Wibisana
Npm : 158130014
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : ***Analisis Heat Rate Terhadap Pengaruh Derating Dengan Bahan Bakar Marine Fuel Oil (Mfo)*** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yang menyatakan

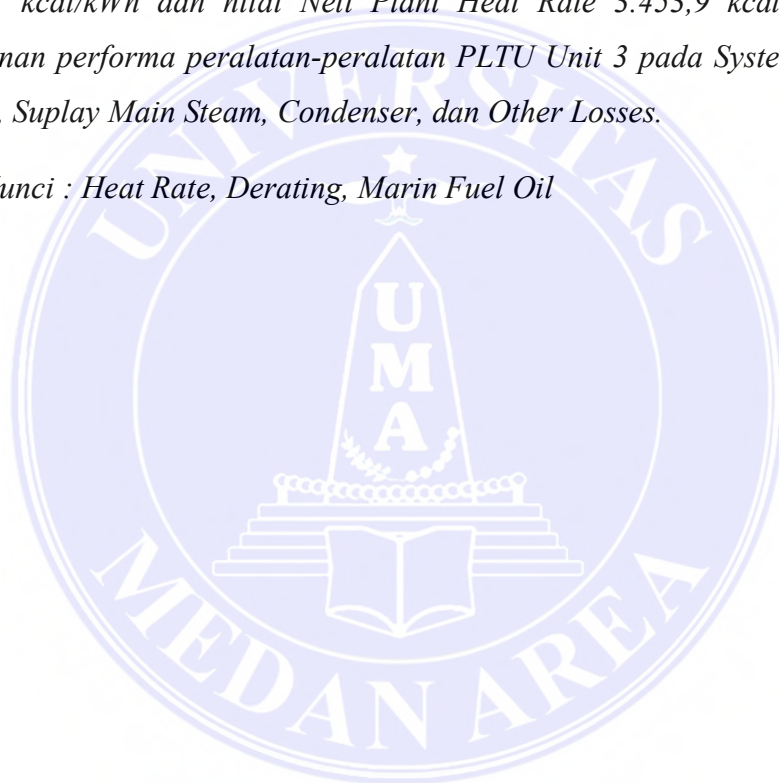


Ian Putra Adita Wibisana
158130014

ABSTRAK

PLTU Unit 3 Belawan adalah pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar Marine Fuel Oil dengan daya terpasang 65 MW, namun sekarang ini daya mampunya hanya 40 MW. Penurunan daya mampu atau derating disebabkan karena kehandalan dari masing-masing komponen PLTU telah menurun juga. Penurunan derating dapat dihitung dengan analisis heat rate. Pada commissioning PLTU Unit 3 nilai Turbin Heat Rate 2.187,4 kcal/kWh dan Nett Plant Heat Rate nilainya 2.435,26 kcal/kWh. Saat ini nilai Turbine Heat Rate 2.806,7 kcal/kWh dan nilai Nett Plant Heat Rate 3.453,9 kcal/kWh. Terjadi penurunan performa peralatan-peralatan PLTU Unit 3 pada System Feed Water Heater, Suplay Main Steam, Condenser, dan Other Losses.

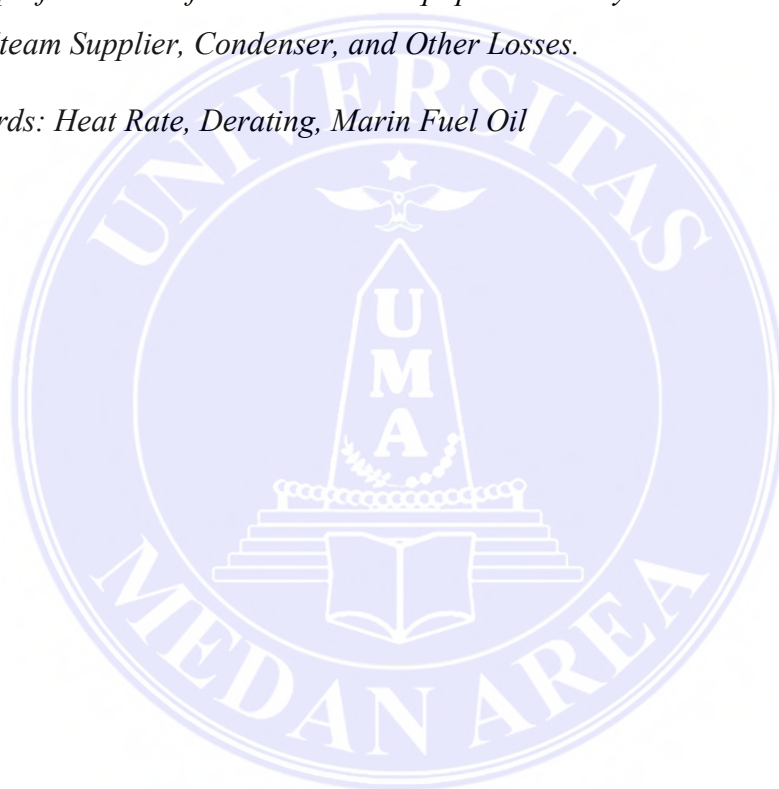
Kata Kunci : Heat Rate, Derating, Marin Fuel Oil



ABSTRAC

PLTU Unit 3 Belawan is a steam power plant that uses Marine Fuel Oil fuel with installed power of 65 MW, but now it can only power 40 MW. The decrease in power capable or derating is due to the reliability of each component of the steam power plant as well. Derating derivation can be calculated by heat rate analysis. In commissioning of PLTU Unit 3 Turbine Heat Rate 2,187.4 kcal / kWh and Nett Plant Heat Rate is 2,435,26 kcal / kWh. Currently the Turbine Heat Rate value is 2,806.7 kcal / kWh and the NPHR value is 3,453.9 kcal / kWh. There is a decrease in the performance of PLTU Unit 3 equipments in System Feed Water Heater, Main Steam Supplier, Condenser, and Other Losses.

Keywords: Heat Rate, Derating, Marin Fuel Oil



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan uap tekanan tinggi untuk memutar turbin dan generator sehingga dapat dihasilkan energi listrik. PLTU Belawan memiliki empat unit dengan daya terpasang sebesar 4×65 MW, untuk mensuplai listrik daerah Medan dan sekitarnya. PLTU Belawan menggunakan bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) dan MFO (*Marine Fuel Oil*), HSD atau solar digunakan saat *sart up* pertama kali sedangkan MFO atau residu sebagai bahan bakar utama PLTU Belawan.

Supriyo Sunarwo, (2015) menyatakan bahwa *heat rate* didefinisikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik selama waktu satu jam. Satuan Heat rate adalah kJ/kWh. Sedangkan *Turbine Heat Rate* didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh.

Nilai *heat rate* semakin kecil pada suatu pembangkitan maka semakin bagus pembangkit tersebut, namun jika nilai *heat rate* semakin besar maka pembangkit tersebut tidak bagus. *Heat Rate* ini menjadi penting karena digunakan oleh pihak PT.PLN (Persero) untuk menentukan harga jual listrik tiap satu kWh yang diproduksi PLTU Belawan.

Pada setiap bulan PLTU Belawan dilakukan *performance test* untuk mengetahui *heat rate* melalui metode *input – output*, *effisiensi boiler* dan *turbine heat rate*. Namun daya mampu PLTU Belawan Unit III saat ini hanya 40 MW dari daya terpasang sebesar 65 MW, dengan kata lain telah mengalami *derating* sebesar 25 MW atau 38,46%.

Dengan adanya permasalahan *derating* pada PLTU Belawan Unit III, penulis mencoba untuk melakukan analisa *heat rate* untuk mengindikasikan penyebab *derating* tersebut, sehingga didapat peralatan-peralatan yang mengalami penurunan performa dan menyebabkan naiknya nilai *heat rate*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan peralatan-peralatan yang telah mengalami *derating*, sehingga dapat segera dilakukan perbaikan untuk dapat mencapai daya mampu PLTU Belawan Unit 3 seperti daya terpasangnya.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini, penulis ingin menganalisa dan memperhitungkan *heat rate* berdasarkan *performance test* bulan Maret 2016 – April 2017 di PLTU Belawan Unit 3 pada beban 100% dengan bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO). Data-data *performance test* yang penulis gunakan di ambil dari *Central Contro Room (CCR)* PLTU Belawan Unit 3&4, dan di bagian Perencanaan dan Pengendalian Operasi (Rendal Operasi) PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan.

Berdasar hasil analisa dan perhitungan yang penulis lakukan, akan digunakan untuk mengidentifikasi peralatan-peralatan PLTU Belawan Unit 3 yang mengalami penurunan performa sehingga menyumbang *derating* pada PLTU Belawan Unit 3.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah ditentukan, maka analisis ini bertujuan untuk :

1. Mendapatkan nilai *actual heat rate* saat ini pada PLTU Belawan Unit 3 pada beban 100% dengan bahan bakar MFO.
2. Mendapatkan peralatan-peralatan yang menyebabkan *derating* pada PLTU Belawan Unit 3.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diambil dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui nilai *actual heat rate* PLTU Belawan Unit 3 saat ini dan perbandingannya dengan nilai *heat rate* pada saat *commissioning*.
2. Mengetahui peralatan-peralatan yang menyumbang *derating* unit, dan perusahaan mendapat rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan daya mampu PLTU Belawan Unit 3.

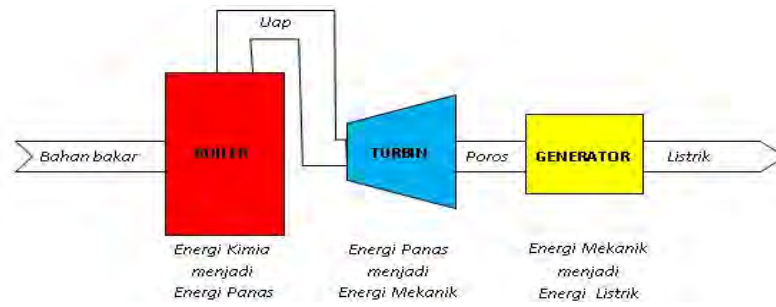
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Belawan Unit III merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar utama MFO (*Marin Feul Oil*) yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (*steam*) untuk menggerakkan turbin. Turbin ini yang bertindak sebagai penggerak rotor generator untuk menghasilkan listrik.

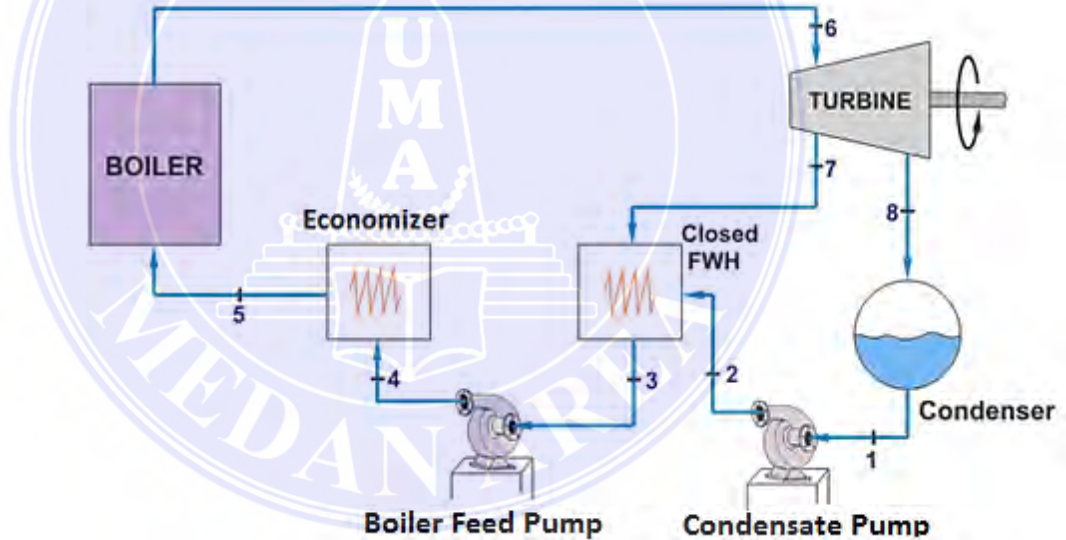
Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap, selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator.



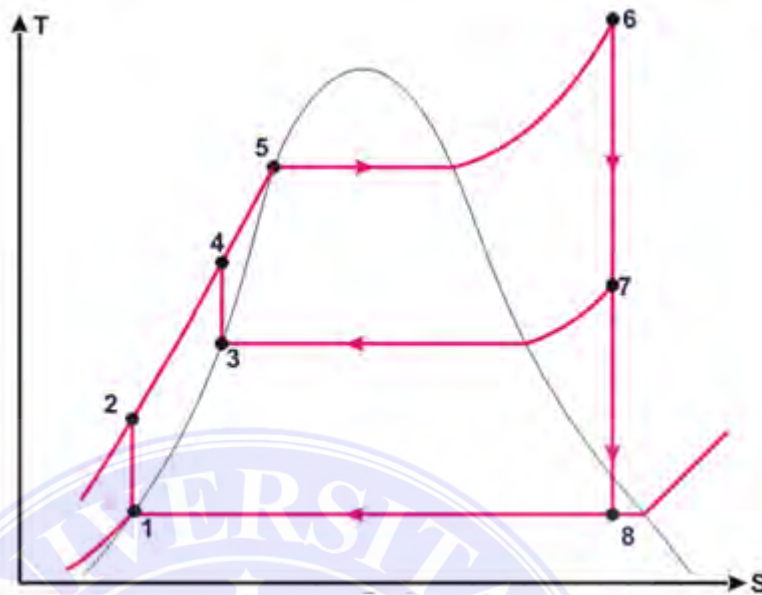
Gambar 2. 1 Proses Konversi Energi di PLTU

2.1.1 Prinsip Kerja PLTU Belawan

Prinsip kerja PLTU Belawan adalah siklus *rankine regenerative* sederhana tanpa *reheat*. Siklus ini dapat di gambarkan seperti berikut ini.



Gambar 2. 2 Prinsi Kerja pada PLTU Belawan



Gambar 2. 3 Rankine Cycle Regeneratif tanpa reheat

PLTU Belawan menggunakan fluida kerja air dan uap yang bersirkulasi secara tertutup (*regenerative*). Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan siklus rankine pada PLTU Belawan sebagai berikut :

Nomor 1 – 2 air di dalam kondensor dipompakan oleh *Condensate Pump* menuju *Feed Water Heater*, dalam pemompaan ini air mengalami kenaikan temperature sedikit karena fluidanya di tekan.

Nomor 2 – 4 air mendapatkan pemanasan awal di *Feed Water Heater* yaitu : *Gland Steam Condensor, Low Pressure Heater, Feed Water Tank, dan High Pressure Heater*. Semua pemanasan awal air ini menggunakan uap ekstraksi dari turbin yaitu nomor 7 – 3. Pada tahap ini air kemudian di pompakan menggunakan *Boiler Feed Pump (BFP)* menuju boiler.

Nomor 4 – 5 air yang dipompakan oleh BFP ke boiler akan terlebih dahulu dipanaskan awal lagi di dalam *economizer* menggunakan *flue gas* dari sisa pembakaran didalam boiler. Air yang telah mendapatkan pemanasan di *economizer* masih berupa fluida cair belum berubah menjadi uap.

Nomor 5 – 6 fluida cair yang telah masuk kedalam boiler akan mengisi seluruh pipa-pipa boiler. Di dalam boiler air akan dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar MFO dengan udara sehingga air tadi berubah menjadi uap kering dengan tekanan 90 bar dan temperature 513°C.

Nomor 6 – 8 uap kering tadi akan di ekspansikan di turbin untuk memutar turbin, yang nantinya turbin akan menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Sebagian uap di turbin akan di ekstraksi (nomor 7) untuk pemanasan air pengisi boiler di dalam *Feed Water Heater*. Uap yang telah digunakan untuk memutar turbin akan masuk kedalam kondensor untuk di kondensasikan kembali mencari air.

Nomor 8 – 1 uap yang telah digunakan untuk memutar turbin akan di kondensasikan di dalam kondensor dengan tekanan vakum atau dibawah 0 atm. Hasil kondensasi berupa air akan di tampung di *hotwell* untuk dipompakan lagi sebagai air pengisi boiler. Proses di atas akan berulang terus menerus atau disebut siklus *rankine regenerative*.

2.1.2 Bagian Utama PLTU Belawan

PLTU adalah mesin pembangkit yang terdiri dari susunan berbagai komponen dan peralatan yang kompleks dan di rangkai menjadi suatu sistem. Sekian banyak komponen dan peralatan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu komponen utama dan alat bantu. Alat bantu PLTU merupakan komponen penunjang komponen utama di PLTU agar dapat beroperasi maksimal. Alat Bantu PLTU antara lain *Water Treatment Plant (WTP)*, *Instrument & Service Air Compressor*, *Circulating Water Pump (CWP)*, *Hidrogen Plant*, *Chlorination Plant*, *Waste Water Treatment Plant (WWTP)* dan Penyediaan Bahan Bakar.

Komponen Utama antara dari PLTU Belawan ada empat, yaitu :

1. Turbin

Turbin uap berfungsi untuk merubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi mengalir melalui nosel sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin bergerak menghasilkan putaran (energi mekanik).

Uap yang telah melakukan kerja di turbin tekanan dan temperatur turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap keluar turbin ini kemudian dialirkan kedalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi

air kondensat, sedangkan tenaga putar yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator.



Gambar 2. 4 *Steam Turbine* PLTU Belawan Unit 3

Berikut adalah spesifikasi turbine pada PLTU Belawan:

<i>Type</i>	: <i>Non Reheat, single cylinder condensing steam turbin.</i>
<i>Manufacture</i>	: ABB Swiss
Tekanan Uap Masuk	: 86 Barg
Suhu Uap Masuk	: 510°C
Putaran	: 3000 rpm
Jumlah ekstraksi	: 5

2. Kondensor

Kondensor merupakan peralatan yang digunakan untuk merubah uap menjadi air. Proses perubahan uap menjadi air terjadi pada tekanan dan temperatur jenuh, dalam hal ini kondensor berada dalam kondisi vakum. Karena kondisi vakum tersebut uap akan mengalir dan

menyentuh *tube – tube* pendingin sehingga uap berubah fasa menjadi air dengan temperatur sekitar 40°C.

Laju perpindahan panas tergantung pada *flow* air pendingin, kebersihan *tube – tube condensor*, dan perbedaan temperatur uap dan air pendingin. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar, maka temperatur air kondensat maksimum akan mendekati temperatur udara luar.

Pada *condensor* unit PLTU Belawan Unit 3 media air pendingin yang mengisi *tube – tube* pendingin adalah air laut dan material *tube* yang digunakan adalah titanium.



Gambar 2. 5 Condensor PLTU Belawan Unit 3

Berikut adalah spesifikasi condensor pada PLTU Belawan:

Type : CV 30 + 44 – 2 – 99 – 2520

<i>Manufacture</i>	: Buss AG, CH, 4133 PrateIn
Temp. masuk air pendingin	: 30 °C
Temp. keluar air pendingin	: 40,1 °C
Tekanan absolute	: 0,064 mmHgabs
Kapasitas air pendingin	: 8556 m ³ /jam
<i>Cleanliness factor</i>	: 0,9
Kecepatan air dalam pipa	: 2,35 m/sec
Permukaan pipa pendingin total	: 3739 m ³
Jumlah pipa	: 5040
Ukuran dan tebal pipa	: 24 x 0,7 mm

3. Boiler

Boiler adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap dilakukan dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa – pipa dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dan udara. Pada PLTU sektor Belawan bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar minyak solar (*High Speed Dieasel*) dan minyak residu. Bahan bakar solar digunakan pada waktu start awal (*firing*). Sedangkan bahan bakar residu digunakan pada operasi dalam keadaan normal.

Boiler yang ada pada PLTU belawan merupakan *boiler* jenis pipa air (*water tube boiler*). Uap yang dihasilkan adalah uap *superheat* dengan tekanan 90 Bar dan temperatur 513 °C.



Gambar 2. 6 Boiler PLTU Belawan Unit 3

4. Generator

Generator adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan listrik dengan mengubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik dengan menerapkan prinsip induksi magnet. Generator ini dibantu oleh sistem eksitasi untuk memperkuat medan magnet pada generator.



Gambar 2. 7 Generator PLTU Belawan Unit 3

Berikut adalah spesifikasi genserator yang pada PLTU Belawan

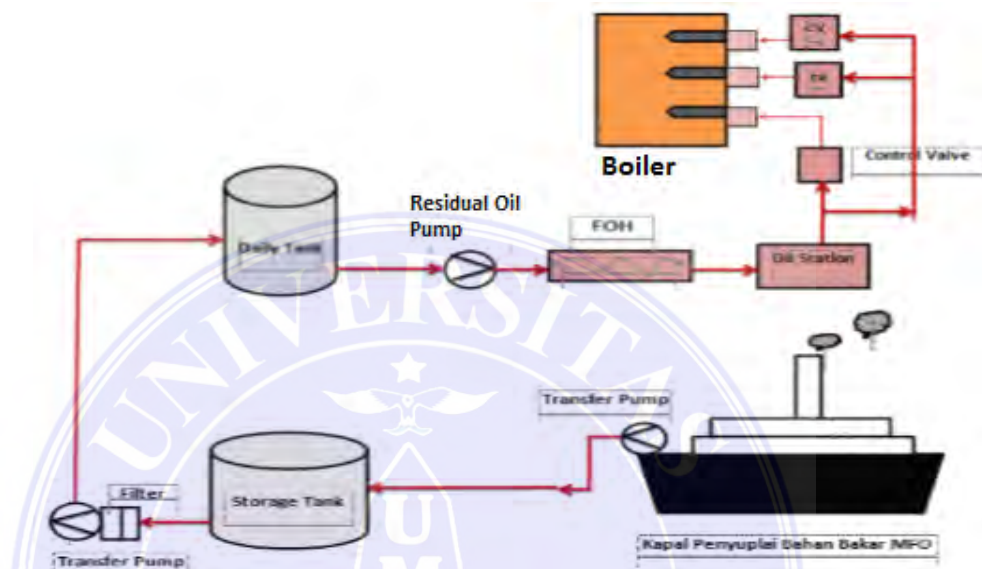
:

Type	: WX 18 L – 061 LLT
Manufacture	: ABB, France
Jenis	: <i>Indoor, totally enclosed</i>
Factor daya	: 0,8
Tegangan	: 11 Kv
Arus	: 4.265 kA
Frekuensi	: 50 Hz
Fasa	: 3
Jumlah kutub	: 2
Hubungan	: Start
Sistem pendingin	: Udara

2.1.3 Sistem Bahan Bakar (*Fuel Flow Path*)

PLTU Belawan menggunakan bahan bakar minyak untuk proses pembakarannya. Bahan Bakar Minyak yang digunakan adalah *Marine Fuel Oil (MFO)* dan *High Speed Diesel (HSD)*. Bahan bakar HSD ini hanya untuk proses *strat up* pertama kali, dan saat operasi normal bahan bakar

utamanya dalah MFO. Bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) disuplai oleh Pertamina atau Sucifindo secara berkala, yaitu 5-6 kali dalam satu bulan dengan menggunakan kapal tanker.



Gambar 2. 8 Flow Fuel Path PLTU Belawan

Mula-mula bahan bakar akan dipompakan dari kapal tanker menuju storage tank dengan menggunakan pompa yang terdapat pada kapal tanker, *storage tank* berkapasitas 15.000 kl (Kilo Liter). Bahan bakar di tanki storage ini akan ditimbun untuk persediaan jika terjadi kendala dalam pengiriman bahan bakar oleh kapal, selain sebagai tangki timbun juga berfungsi untuk mengendapkan lumpur, kotoran serta air yang terkandung di dalam MFO.

Bahan bakar dari tangki timbun yang akan digunakan, dipompakan dari menuju tanki harian (*daily tank*) secara berkala dengan menggunakan transfer pump, artinya pompa akan secara otomatis

memompakan bahan bakar jika level di tanki harian minimum, dan jika bahan bakar sudah mencapai level tertingginya maka pompa akan berhenti beroperasi, tanki harian berkapasitas 450 m³.

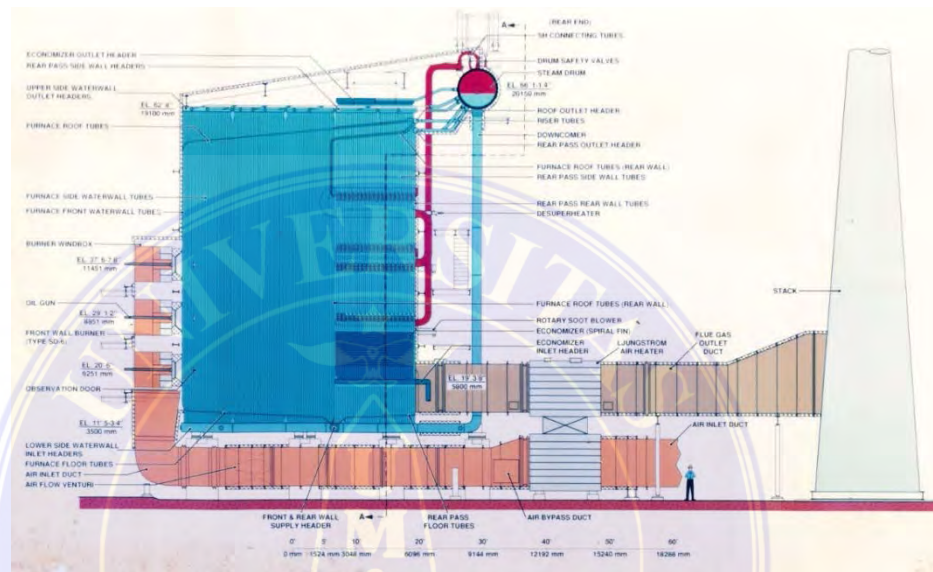
Kemudian bahan bakar dipompakan dari *daily tank* menuju *burner* dengan menggunakan *Residual Oil Pump* dengan tekanan kerja 20 bar dan temperature 33 °C. Sebelum menuju *burner* terlebih dahulu bahan bakar melewati *Fuel Oil Heater* (FOH). FOH berfungsi untuk memanaskan bahan bakar MFO sebelum masuk ke ruang bakar, pemanasan ini bertujuan untuk menurunkan kekentalan atau visikositasnya agar lebih mudah terbakar. FOH menggunakan media pemanas *steam* yang diambil dari *Auxiliary Steam Header* (ASH).

Setelah melewati FOH bahan bakar akan masuk ke *oil station* dengan suhu sekitar 117 °C dan tekanan 20 bar, untuk dibagi menuju ke masing-masing *burner* yang tersedia, di PLTU Belawan unit 3 terdapat enam *burner*. Sebelum masuk ke *gun burner* terlebih dahulu bahan bakar melalui *control valve* yang berfungsi untuk menurunkan tekanan bahan bakar hingga 4,5 barg. Bahan bakar ini akan di kabutkan (*atomizing*) menggunakan uap, dengan tujuan pembakaran di dalam *furnace* akan lebih sempurna.

Bahan bakar HSD sebagai bahan bakar *start up* pertama kali lebih mudah karena bahan bakar ini sifatnya lebih cari. HSD yang datang dari kapal, akan di simpan di tangki timbun. Kemudian HSD akan dipompakan

oleh *High Fuel Oil Pump (HFO Pump)* langsung menuju masing masing *igniter* di ruang bakar.

2.1.4 Sistem Udara Pembakaran dan Gas Buang



Gambar 2. 9 Penampang samping Boiler PLTU Belawan

Udara diambil/dihisap dari *atmosfir* dengan *Forced Draft Fan*.

Temperature udara yang masuk melalui FDF $\pm 30^{\circ}\text{C}$ dan tekanan nya ± 6 bar. Udara diteruskan melauai air *preheater*. Didalam air *preheater*, temperature udara mengalami peningkatan menjadi $\pm 70^{\circ}\text{C}$, karena proses *heat exchanger* (perpindahan panas) dengan media pemanas *main steam* yang diambil dari ASH lalu dialirkan ke *tube-tube* di Air *preheater* kemudian udara dari *air preheater* diteruskan menuju *Air Heater*. Udara masuk ke *air heater* dipanaskan oleh elemen pemanas *air heater* yang sebelumnya elemen ini telah dipanaskan oleh *flue gas*.

Temperature udara yang dihasilkan melalui *air heater* ± 265 °C. Udara dari *air heater* masuk ke *wind box*. Fungsi *wind box*, udara diteruskan ke masing-masing *burner* yang digunakan sebagai udara pembakaran (*combustion air*) diruang bakar (*furnace*). Didalam ruang bakar terjadi proses pembakaran yang menghasilkan proses *flue gas* sebagai *heat exchanger* (perpindahan panas) ke *tube-tube* didalam *boiler*. Temperature *flue gas* yang dihasilkan di ruang bakar. ± 1130 °C.

Flue gas sisa pembakaran di ruang bakar akan mengalir ke *secondary superheater*. Temperatur *flue gas* yang masuk keruang *secondary superheater* ± 800 ° C dan akan memanaskan *steam* menjadi uap kering untuk yang kedua kali, sehingga uap kering ini siap untuk memutar turbin.

Flue gas dari *secondary superheater* akan masuk ke *primary superheater* dengan temperatur ± 600 °C. Di *primary superheater*, *flue gas* akan memanaskan uap basah keluaran dari *steam drum* untuk menjadi uap kering untuk pertama kali.

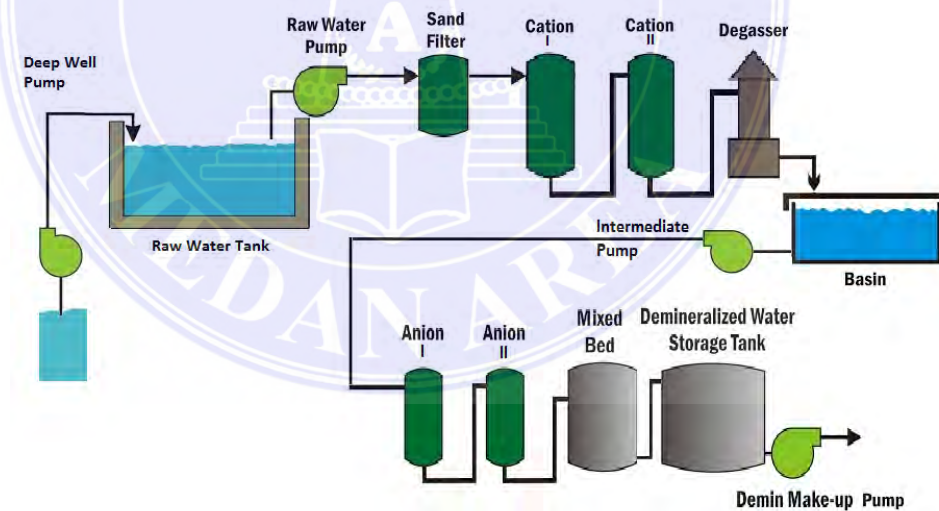
Flue gas keluaran dari *Primary Superheater* yang memiliki temperature ± 460 °C, akan melalui *economizer* untuk pemanasan awal air pengisi (*feed water*). Pemanasan awal air pengisi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi boiler.

Flue gas dari *economizer* akan memanaskan *air heater*. *Air Heater* berfungsi memanaskan awal udara pembakaran, dengan media pemanas element-element pemanas yang telah dipanaskan oleh *flue gas* sebelum di

buang melalui *stack*. Temperature *flue gas* yang keluar dari air *heater* turun menjadi $\pm 150\text{ }^{\circ}\text{C}$. kemudian *flue gas* dengan temperature ± 150 inilah yang dibuang melalui *stack*.

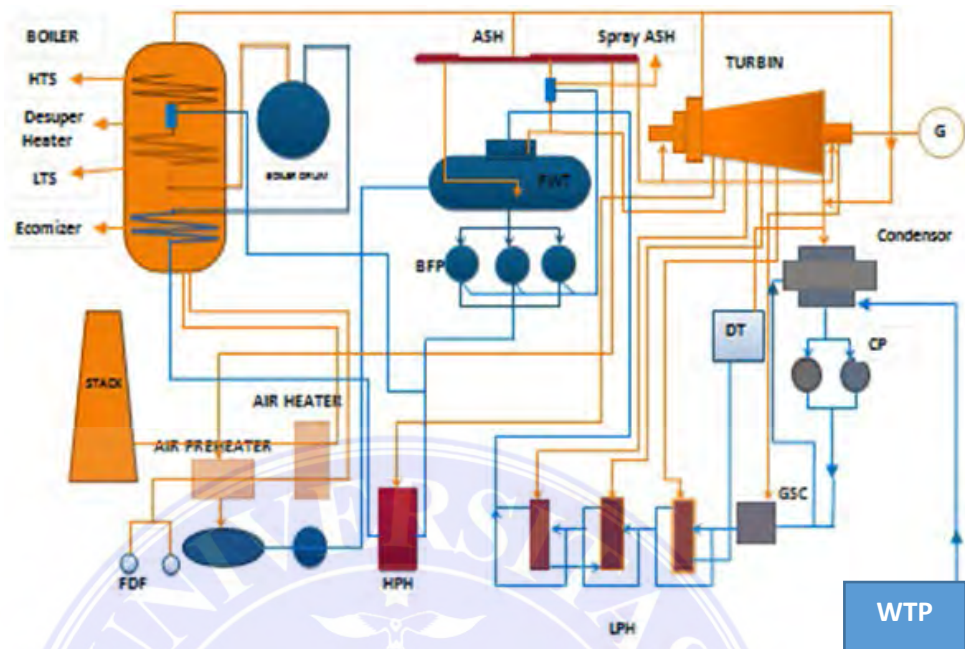
2.1.5 Water Treatment Plant

Water Treatment Plant adalah tempat pengolahan air untuk menghasilkan air pengisi boiler (*feed water*) yang terbebas dari mineral-mineral dan ion-ion positive dan negative. Pengolahan air ini juga berfungsi untuk membersihkan kadar lumpur, pasir, mineral-mineral terlarut dan terutama kadar silica yang terdapat pada air dengan cara menambahkan bahan kimia pada saat pengolahan air tersebut.



Gambar 2. 10 Sistem *Water Treatment Plant* PLTU Belawan

2.1.6 Siklus Air dan Uap (*Water and Steam Cycle*)



Gambar 2. 11 Siklus Air dan Uap

Siklus air dan uap di PLTU Belawan Unit III berawal dari *Water Treatment Plant (WTP)*, air yang dipompa dari *deep well* di *treatment* agar memenuhi persyaratan untuk air umpan boiler menggunakan sistem *Ion Anion* dan *Mixedbed*.

Air yang telah memenuhi syarat akan pompakan ke *hotwell* dibawah *condensor*. Kemudian akan di pompakan oleh *Condensate Pump* menuju *Feed Water Tank (FWT)*. Sebelum mencapai *FWT* air ini akan dipanaskan awal di *vacum ejector*, *gland steam condensor (GSC)* dan *low pressure heater (LPH)* menggunakan uap ekstraksi dari turbin.

Air didalam *FWT* dipanaskan secara *direct contact* menggunakan uap ekstraksi dari turbin, fungsinya untuk menghilangkan kadar Oksigen

yang terkandung di dalam air. Kemudian air akan di pompakan menggunakan *Boiler Feed Pump* (BFP) menuju *boiler drum*. Sebelum mencapai *boiler drum* air ini mendapatkan pemanasan awal lagi di *High Pressure Heater* (HPH) menggunakan uap ekstraksi dari turbin, dan di *economizer* menggunakan pemanas dari sisa gas buang hasil pembakaran.

Air di dalam *boiler drum* akan turun mengisi pipa-pipa *evaporator* atau *riser*. Di dalam pipa-pipa inilah air ini mendapatkan panas dari pembakaran di dalam *furnace*, air yang menjadi uap akan naik menuju *boiler drum* secara alami berdasarkan perbedaan masa jenis. Di dalam *drum* uap akan mengalir menuju *superheater* untuk mendapatkan pemanasan lanjut agar menjadi uap kering atau *superheated steam*. Pemanasan ini terjadi di *primary superheater* dan *secondary superheater*.

Uap kering bertekanan 89 bar dan temperatur 513°C di alirkan menuju turbin. Di turbin uap tersebut di ekspansikan untuk memutar turbin. Uap yang telah digunakan untuk memutar turbin akan masuk dalam *condensor* untuk di kondensasikan menjadi air lagi dan di pompakan lagi menuju boiler. Turbin yang berputar 3000 rpm di *couple* dengan generator, sehingga generator akan menghasilkan listrik.

2.2 Konsep Umum *Heat Rate Analysis*

Heat Rate merupakan parameter yang umum digunakan untuk menilai efisiensi suatu *power plant*. *Heat rate* menunjukkan jumlah kalori/panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan per kWh listrik dari generator. Semakin besar nilai *Heat Rate* maka semakin jelek efisiensi *power plant*, dan semakin kecil nilai *Heat Rate* maka semakin efisien *power plant* tersebut.

Heat Rate Improvement Reference Manual (1998,21), Menyatakan :

Heat rate is defined in units of Btu/kWh (kJ/kWh) and is simply the amount of heat input into a system divided by the amount of power generated by a system.

Berdasarkan *output* yang digunakan sebagai dasar perhitungan, perumusan *heat rate* dibagi menjadi dua macam, yaitu :

- a. *Netto Heat Rate* : yaitu perhitungan *heat rate* dengan menggunakan data kWh *netto* dari *output* generator. Yang dimaksud kWh *netto* adalah jumlah dari travo generator setelah dikurangi pemakaian sendiri.
- b. *Gross Heat Rate* : yaitu perhitungan *heat rate* dengan menggunakan data *Gross Generator Output (GGO)*. Yang dimaksud GGO adalah jumlah total *output* kWh dari travo generator

Untuk melihat perkembangan kondisi efisiensi unit, maka perlu dibandingkan antara *Heat Rate Reference* dengan kondisi *heat rate* unit saat ini. Semakin besar gap yang dihasilkan berarti semakin besar pula degradasi efisiensi

dari *power plant* tersebut. Untuk *heat rate reference*, digunakan dua sumber data, yaitu :

- a. *As Built Heat Rate* : yaitu data-data *heat rate* dari *commisioning test* atau *Best Performance test* setelah rehabilitasi. Data ini digunakan sebagai sumber data utama untuk *reference data*.
- b. *As Design Heat Rate* : yaitu data-data *heat rate* dari *Design Power Plan Document*. Data ini digunakan jika terdapat data yang tidak ditemukan pada data *As Built Heat rate*.

Perbedaan antara data *As Design* dan *As Built Heat Rate* dipengaruhi kondisi-kondisi berikut :

1. Penurunan tekanan di pipa Ekstraksi Uap turbin
2. Penurunan tekanan di *Reheater*
3. Penurunan Turbin HP, IP dan LP Efisiensi
4. Penurunan desian boiler (Aliran sprai air *Superheat & Reheat*, kebutuhan *excess air, preheater efficiency*)
5. Kualitas bahan bakar

Dalam menganalisa kontribusi tiap *equipment* dalam kenaikan *heat rate* maka perlu dipetakan besarnya sumbangan kenaikan *heat rate* tiap *equipment*. Untuk memetakanya maka dibuatlah *Pareto Heat Rate* yang digunakan sebagai dasar untuk melakukan *Heat Rate Gap Analysis*.

Setelah itu diambil beberapa *contributor* terbesar naiknya *heat rate*, kemudian dilakukan analisa *Root Cause*-nya. Dari *root cause* tersebut kemudian dilakukan penyusunan tindak lanjut (*Action Plant/idea generation*). Tindak lanjut yang dilakukan bisa berupa : perubahan Prosedur / insruksi kerja, atau strategi dalam pola operasi dan program pemeliharaan.

Dengan melakukan *Heat Rate Gap Analysis* diharapkan akan terjadi perbaikan *heat rate* yang signifikan pada *power plant*. Sebab program-program yang dilaksanakan bisa lebih tepat sasaran, sehingga akan membawa hasil yang lebih optimal.

2.3 Dasar Perhitungan *Heat Rate Analysis*

Secara umum perhitungan *heat rate* adalah energi dari bahan bakar yang di masukan kedalam boiler untuk proses pembakaran di bagi dengan energi listrik yang di dihasilkan oleh generator, secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$PHR = \frac{M_{FUEL} \times HHV}{P} \quad (Pers 2.1)$$

Energi listrik yang dihasilkan generator tidak seluruhnya ditransmisikan ke jaringan, namun sebagian daya digunakan untuk pemakaian sendiri menjalankan motor-motor dan pompa. Jadi perhitungan *heat rate* untuk itu di bagi menjadi dua, yaitu *Gross* dan *netto*.

Jika *Power Output* yang dipergunakan untuk perhitungan adalah total *output* generator tanpa di kurangi pemakaian sendiri, maka persamaan *Gross Plan Heat Rate* adalah :

$$GPHR = \frac{M_{FUEL} \times HHV}{P_G} \quad (\text{Pers 2.2})$$

Jika yang dipergunakan adalah perhitungan *netto* atau pemakaian sendiri di masukan dalam perhitungan, maka persamaan *Netto Plan Heat Rate* adalah :

$$NPHR = \frac{M_{FUEL} \times HHV}{P_G - P_S} \quad (\text{Pers 2.3})$$

Untuk pelaksanaan *Heat Rate Analysis* maka perlu dibuat *breakdown* kontribusi masing-masing *equipment* terhadap kenaikan *Heat Rate*. Metode yang digunakan dalam *Heat Rate Analysis* ini, mengacu pada dokumen *best practice* EPRI (*Heat rate reference improvement manual*). Pengelompokan *point heat loss* dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. *Operator Controllable*
 - a. Temperatur *Flue gas* masuk *Air Heater*
 - b. Temperatur Uap masuk turbin
 - c. Tekanan uap masuk turbin
 - d. *Spray* air ke *Desuperheater*
2. *Unit Controllable*
 - a. Daya Pemakaian Sendiri
 - b. Temperatur akhir *Feed water*
 - c. *Main steam flow*

2.4 Heat Rate Analysis Methods

Seperti yang dikutip dari buku *Heat Rate Improvement Reference Manual*, ada beberapa metode analisis *heat rate* antara lain adalah :

2.4.1 Metode Energi Input-Output

Metode energi *input-output* merupakan metode sederhana untuk menentukan *performance* pembangkit melalui nilai *heat rate* karena hanya melibatkan sedikit parameter yaitu dari nilai kalor bahan bakar, jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam boiler dan energi yang dibangkitkan. Metode ini secara umum digunakan oleh operator *control room* atau perencanaan dan pengendalian operasi untuk keperluan transaksi niaga pembelian energi listrik dengan kondisi normal operasi. Perhitungan *heat rate* dengan metode ini dapat di hitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Gross Plant Heat Rate} = \frac{\text{Jumlah Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalor HHV}}{\text{Generator Power Output}}$$

2.4.2 Metode Efisiensi Boiler

Efisiensi Pembakaran Boiler secara umum menjelaskan kemampuan sebuah burner untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar (*furnace*) boiler. Kerugian pada boiler perlu diketahui untuk menentukan semua kerugian yang terjadi di boiler sehingga dapat diketahui nilai efisiensi boiler, persamaanya untuk menentukan efisiensi boiler sebagai berikut :

$$\eta = 1 - (L_{Dry\ Gas} + L_{Moisture} + L_{Hidrogen} + L_{CO} + L_{Radiaton})$$

Kerugian-kerugian pada boiler yaitu :

- a. Kerugian akibat gas asap kering

Kerugian akibat gas asap kering adalah kerugian panas yang terbawa oleh gas buang kering keluar dari cerobong ketel.

- b. Kerugian akibat kandungan air di bahan bakar

Kerugian akibat kandungan air di bahan bakar diakibatkan oleh bahan bakar yang digunakan mengandung air.

- c. Kerugian akibat kandungan air dari pembakaran hidrogen

Kerugian ini akibat adanya hidrogen yang menyebabkan timbulnya air sehingga untuk setiap kg air yang terkandung dalam bahan bakar diperlukan sejumlah panas untuk mengubahnya menjadi uap dan keluar bersama gas bekas ke cerobong

- d. Kerugian akibat kandungan air didalam udara

Kerugian yang terjadi akibat besarnya kandungan air di dalam udara yang digunakan sebagai udara pembakaran. Kerugian akibat karbon monoksida digas buang (L_{co})

- e. Kerugian akibat permukaan radiasi dan konveksi (L_{β})

Kerugian berdasarkan permukaan radiasi dan konveksi yang terjadi di pipa-pipa pemanas boiler, biasanya terjadi karena pipa kotor (*slugging*).

2.4.3 Metode *Turbine Heat Rate*

Turbine Heat Rate merupakan salah satu indikator yang menunjukkan *performance* dari kerja turbin. *Turbine heat rate* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik *netto* yang dihasilkan oleh generator. Untuk menentukan besarnya energi masuk dan energi keluar turbin, maka harus ditentukan besarnya laju aliran massa uap ekstraksi dari setiap tingkatan turbin. *Turbine Heat Rate* dapat dikalkulasi dengan persamaan :

$$THR = \frac{\dot{m}(h_1 - h_f) + \dot{m}_{is}(h_1 - h_{is})}{P_g} \quad (Pers 2.4)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Tempat pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan di beberapa tempat berbeda. Kampus Universitas Medan Area. Tempat pengambilan data di laksanakan di PT.PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan, di bagian Rendal Operasi PT.PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan , serta di *Central Control Room* PLTU 3&4.

Waktu pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat seperti tabel di bawah ini :

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

N O	Tahapan Kegiatan	Bulan I (April)				Bulan II (Mei)				Bulan III(Juni)				Bulan III (Juli)			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Sem. Proposal																
2	Studi Pustaka																
4	Sudi Lapangan																
5	Perhitungan																
6	Analisa Data																
7	Bimbingan																
8	Seminar Hasil																

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan

- Bahan Bakar *Marine Fuel Oil* (MFO)
- Air Demin (*Feed Water*)
- *Superheated Steam*
- Udara Pembakaran

3.2.2 Alat

- Temperature Gauge
- Temperatur Transmitter
- Pressure Gauge
- Pressure Transmitter
- kWh Meter
- *Fleu Gas Analyzer*
- *Flow meter*
- *Flow Transmitter*

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pertama kali dengan studi literature untuk memperoleh data-data yang lengkap untuk objek yang akan dianalisis. Literature yang penulis gunakan bersumber dari Manual Book di PLTU Belawan serta dari bagian Randal Operasi.

Setelah melakukan studi literatur tahap selanjutnya adalah pemmbuatan proposal tugas akhir dan setelah itu dikonsultasi dengan dosen pembimbing. Setelah itu penulis akan melakukan pengambilan data di PT.PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan.

Data yang telah terkumpul akan dilakukan perhitungan dan analisa data *heat rate*. Hasil dari perhitungan dan analisis tersebut di konsultasikan kepada dosen pembimbing. Apabila analisis dirasa kurang maka penulis akan melakukan pengambilan data kembali dan melakukan perhitungan dan analisis kembali. Setelah

perhitungan dan analisis data maka selanjutnya adalah penyusunan laporan tugas akhir.

3.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian analisa *heat rate* untuk mengndikasika *derating* di PLTU Belawan Unit III adalah :

1. Metode Study Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku sebagai referensi yang berupa *maual book* di PLTU Belawan, Panduan Perhitungan *Heat Rate Analysis OPI* - PT PJB dan *Heat Rate Improvement Reference Manual*. Serta buku-buku penunjang lainnya mengenai Pembangkitan Listrik.

2. Metode Study Lapangan

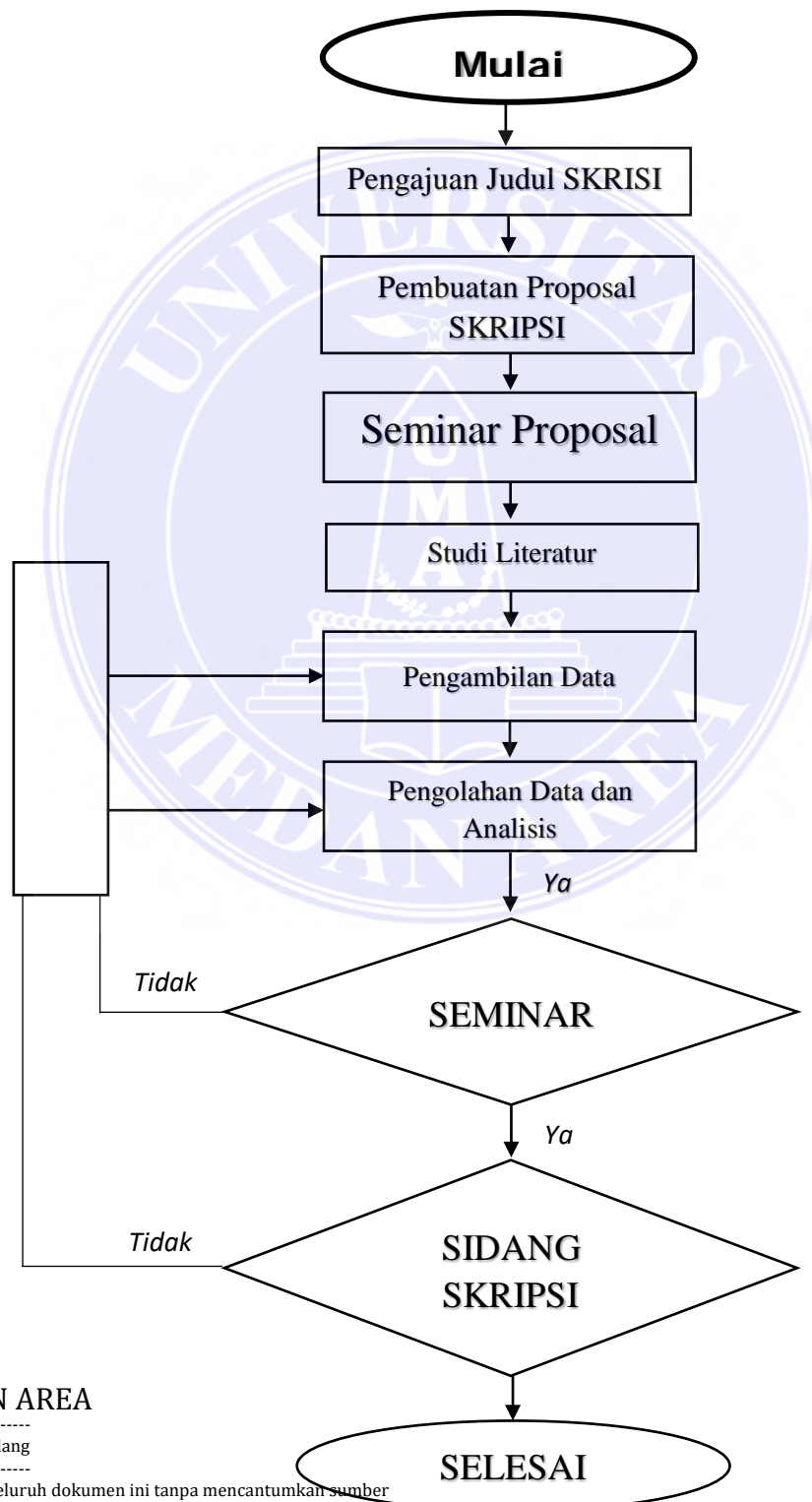
Meode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data untuk mendapatkan data yang diperlukan. Parameter data yang penulis perlukan untuk Analisa *Heat Rate* antara lain temperature, tekanan dan laju aliran masa uap utama (*main steam*), *desuperheater spray water*, air umpan (*feed water*). Nilai kandungan bahan bakar MFO (*Marin Feul Oil*), *Generator Output*. Data-data parameter diatas didapat penulis dari *Central Control Room (CCR)* PLTU Belawan Unit 3 dan dari bagian rendal operasi PT. PLN (Persero) Pembangkitan Sektor Belawan.

3. Metode Pengolahan dan Analisa Data

Metode ini dilakukan pengolahan dara yang telah didapatkan penulis untuk menghitung nilai *heat rate* di PLTU Belawan Unit III. Dengan hasil perhitungan *heat rate* tersebut penulis dapat melakukan analisa penyebab *derating* pada PLTU

Belawan Unit III dan mengetahui peralatan-peralatan yang menyumbang naiknya nilai *heat rate* PLTU Belawan Unit III.

3.5 Diagram Alir Penelitian



BAB V

KESIMPULAN & SARAN

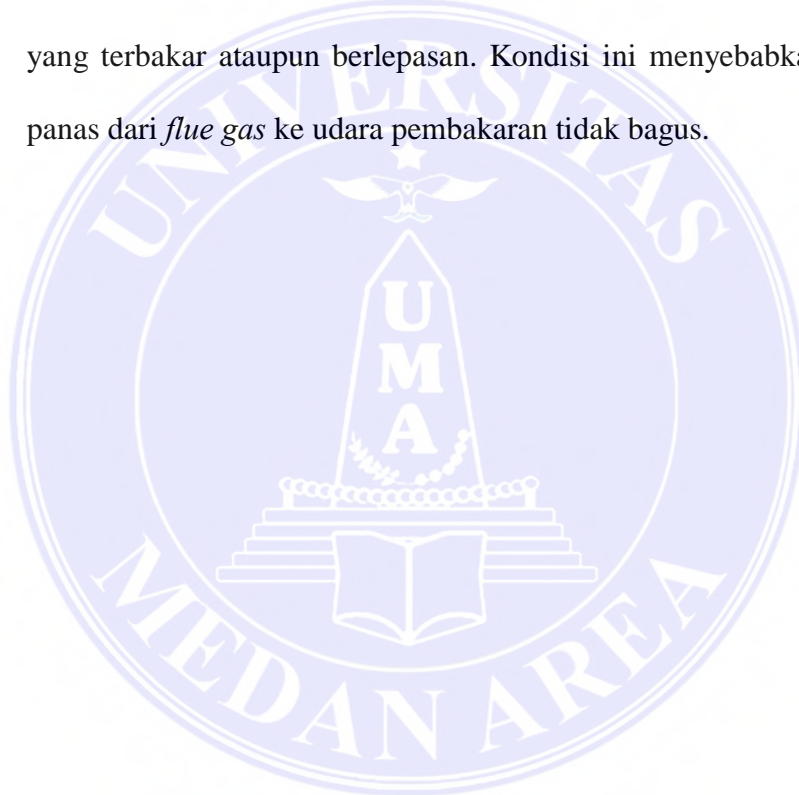
5.1 Kesimpulan

- a. Nilai *actual heat rate* pada bulan Maret 2017 berdasarkan hasil *performance test* yang dilakukan pada tanggal 9 Maret 2017 pukul 10.00-11.00 WIB memperoleh hasil *Turbine Heat Rate* (THR) sebesar **2.806,7 kcal/kWh** dan hasil *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) sebesar **3.453,9 kcal/kWh**.
- b. Peralatan yang telah mengalami *derating* ditandai dengan menyumbangkan pertambahan nilai *heat rate* besar, antara lain adalah *system feed water heater, suplay main steam, condenser, Air Heater & Air Preheater* dan *other losses* yang merupakan akumulasi dari *component* yang tidak terukur dengan instrument pengukuran seperti kebocoran gas panas boiler, bahan bakar yang tidak terbakar dalam boiler, *blowdown* pada boiler drum dan *make up water* pada *hotwell condenser*.

5.2 Saran

- a. Perbaiki pada *feed water heater* karena kemampuan transfer panasnya telah menurun, dan terutama perbaiki kebocoran *tube bundle* pada HPH 5 agar bias beroperasi kembali dan dapat meningkatkan beban PLTU Unit 3 Belawan.

- b. Melakukan perbaikan pada *condenser* karena *vacuum condenser* saat ini sangat rendah yang mengakibatkan kebutuhan uap menjadi besar. Perbaikan suplay air pendingin dari *cooling water pump (CWP)* dan pembersihan *tube condenser* untuk meningkatkan laju perpindahan panas.
- c. Perbaikan *Air Heater* pada *heating element intermediate & cold side*, dikarenakan element pemanas pada *air heater* PLTU Unit 3 sudah banyak yang terbakar ataupun berlepasan. Kondisi ini menyebabkan perpindahan panas dari *flue gas* ke udara pembakaran tidak bagus.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hadi, Windhu Nugroho, Farah Dinna Z. (2012). *Analisis Pengaruh Nilai Kalori Dan Heat Rate (Laju Kalor) Batubara Terhadap Efisiensi Termal Pltu-Embalut 2x25 MW PT Cahaya Fajar Kaltim*. Samarinda : Universitas Mulawarman
- Botkins, H. et. al. (1998). *Heat Rate Improvement Reference Manual TR-109546*. North Carolina: EPRI (Electric Power Research Institute)
- Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics fifth edition*. England : John Wiley & Sons Ltd
- P.K. Nag. (2008). *Power Plant Engineering Third Edition*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited
- PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB), *Panduan Perhitungan Heat Rate Analysis*
- Sahid, Budhi Prasetyo.(2016). *Heat Rate Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton Baru (Unit 9) Berdasarkan Performance Test Tiap Bulan Dengan Beban 100%*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang
- Sunarwo, Supriyo. (2015). *Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Tanjung Jati B Unit 3*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang
- The American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC 4.3 (1969), *Performance Test Codes : Air Heaters*
- The American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC 6 (2004), *Performance Test Codes : Steam Turbines*
- The American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC PM (2010), *Performance Monitoring Guidelines for Power Plants*