

**ANALISIS PENGARUH UKURAN BATUBARA POWDER
TERHADAP PERFORMA PLTU 2x7 MW DENGAN JENIS
BOILER TIPE CHAIN GRATE**

SKRIPSI

**OLEH:
ANGGIH PRASETYO WIBISONO
188130132**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 17/12/21

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

**ANALISIS PENGARUH UKURAN BATUBARA POWDER
TERHADAP PERFORMA PLTU 2x7 MW DENGAN JENIS
BOILER TIPE CHAIN GRATE**

SKRIPSI

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

Oleh:
ANGGIH PRASETYO WIBISONO
188130132

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

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Ukuran Batubara *Powder*
Terhadap Performa PLTU 2x7 MW dengan Jenis
Boiler Tipe Chain Grate
Nama : Anggih Prasetyo Wibisono
NPM : 188130132
Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Pembimbing II



(Indra Hermawan, S.T., M.T.)
NIDN : 0114048001

Pembimbing I



(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIDN : 0106058104

Dekan



(Dr. Ir. Dina Maizana, M.T.)
NIDN : 0112096601

Dekan Prodi Teknik Mesin



(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIDN : 0106058104

Tanggal Lulus : 7 April 2021

HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, 7 April 2021



(Anggih Prasetyo Wibisono)
NPM: 188130132

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS

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

Nama : Anggih Prasetyo Wibisono
NPM : 188130132
Fakultas : TEKNIK
Program Studi : TEKNIK MESIN
Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non Ekklusif (*Non-exclusive Royalty-FreeRight*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Pengaruh Ukuran Batubara *Powder* Terhadap Performa PLTU 2x7 MW dengan Jenis *Boiler* Tipe *Chain Grate*. Dengan Bebas Royalti Non Ekklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan / formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir / skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 7 April 2021

Yang Menyatakan



(Anggih Prasetyo Wibisono)

NPM : 188130132

ABSTRAK

Boiler jenis stoker di Indonesia secara luas diaplikasikan pada PLTU yang memiliki kapasitas dibawah 10 MW. Salah satu PLTU yang dibangun dengan boiler berjenis stoker adalah PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau. Sesuai dengan *ASME Section VII, Part 13. Boiler Auxiliary*, ukuran batubara yang direkomendasikan agar *boiler stoker* dapat beroperasi dengan optimal adalah 32 mm dengan campuran maksimal 25% berukuran 6 mm. Pada kenyataannya batubara yang digunakan pada PLTU Tanjung Balai Karimun sebagian besar berukuran halus yaitu 58% berukuran 31,5 -2,38 mm dan 17% berukuran <2,38 mm. Terhadap penggunaan ukuran batubara non-standar ASME pada boiler stoker, penulis bertujuan mengetahui bagaimana pengaruh ukuran batubara tersebut terhadap performa pembangkit dari segi *specific fuel consumption (SFC)*, *heat rate* baik itu *turbine heat rate (THR)*, *gross plant heat rate (GPHR)* maupun *net plant heat rate (NPHR)*, serta efisiensi termal siklus. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara non-standar ASME serta sebagai pembandingan dilakukan pengambilan data operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara standar ASME yang diperoleh dari data *performance test* yang telah dilakukan pada beban 75% kapasitas pembangkit. setelah dilakukan perhitungan terhadap performa pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME maupun pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara standar ASME serta membandingkannya, diketahui bahwa untuk menghasilkan 1 kWh, pembangkit saat beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME memiliki nilai *SFCgross* dan *GPHR* 26,80% lebih tinggi serta *THR* 0,47% lebih tinggi dan juga nilai *SFCnetto* dan *NPHR* 25,87% lebih tinggi dibandingkan saat pembangkit beroperasi menggunakan ukuran batubara standar ASME. Nilai efisiensi termal siklus pembangkit saat beroperasi menggunakan batubara non-standar ASME 4,34% lebih kecil dibandingkan dengan saat beroperasi menggunakan ukuran batubara standar ASME. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk memproduksi 1 kWh pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME membutuhkan batubara serta energi lebih banyak dibandingkan dengan saat pembangkit beroperasi menggunakan batubara standar ASME.

Kata Kunci : Boiler Stoker, Ukuran Batubara, Performa Pembangkit

ABSTRACT

Stoker boiler in Indonesia widely applied in steam power plant which is have less than 10 MW in capacity. PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW is one of steam power plant that built with the stoker boiler type which is located in Riau Islands Province. Based on ASME Section VII, Part 13. Boiler Auxiliary, the recommended coal sizing to get the optimum operation of boiler stoker is 32 mm with maximum mixture of 25% in 6 mm. in the actual condition, the coal that used to PLTU Tanjung Balai Karimun is mostly in fine particle size or powder with 58% in 31,5 mm – 2,38 mm and 17% in < 2,38 mm. Regarding the use of non-standard ASME coal size on boiler stoker, author want to know about the effect of that coal to the performance of power plant in terms of specific fuel consumption, heat rate which is turbine heat rate, gross plant heat rate, net plant heat rate and also thermal efficiency. This research was conducted by taking power plant operating data when using non-standard ASME coal sizes and as a comparison, the power plant operating data when using standar ASME coal sizes are also taken which is from performance test data on 75% capacity of the plant. After calculating the performance of power plant when using non-standard ASME coal sizes and when using standard ASME coal sizes and comparing them, it is known that to produce 1 kWh, the power plant when using non-standard ASME coal size has a 26,80% higher on SFCgross and GPHR value, and 0,47% higher on THR value, and also 25,87% higher on SFCnetto and NPHR value than when operates using standard ASME coal size. Thermal efficiency value when the power plant operates using non-standard ASME coal sizes is 4,34% smaller than when using standard ASME coal size. So it can be concluded that to produce 1 kWh the power plant when using non-standard ASME coal sizes requires more both coal and energy than when the power plant operates using standar ASME coal size.

Keyword : *Stoker Boiler, Coal Sizing, Power Plant Performance.*

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Anggih Prasetyo Wibisono dilahirkan di Purworejo, Jawa Tengah pada tanggal 13 April 1988 dari ayah bernama Susyadi dan ibu bernama Sudarmiyati. Penulis merupakan bungsu dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN 02 Pondok Betung, Kota Tangerang Selatan dimana lulus pada tahun 2000, kemudian melanjutkan pendidikan ke SLTP 177 Jakarta dimana lulus pada tahun 2003. Pada tahun 2006 Penulis lulus dari SMUN 90 Jakarta dan pada tahun yang sama Penulis melanjutkan pendidikan Diploma III Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Jakarta untuk kemudian lulus pada tahun 2009. Setelah menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta, Penulis sempat bekerja di beberapa perusahaan, diantaranya adalah sebagai *Maintenance Staff* di PT. Japan Solderless Terminal, sebagai *Technical Support Staff* di PT. Isuzu Astra Motor Indonesia, dan terakhir sebagai pegawai di PT PLN (Persero). Pada tahun 2018 Penulis baru mendapat kesempatan untuk melanjutkan studi ke jenjang Sarjana dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

KATA PENGANTAR

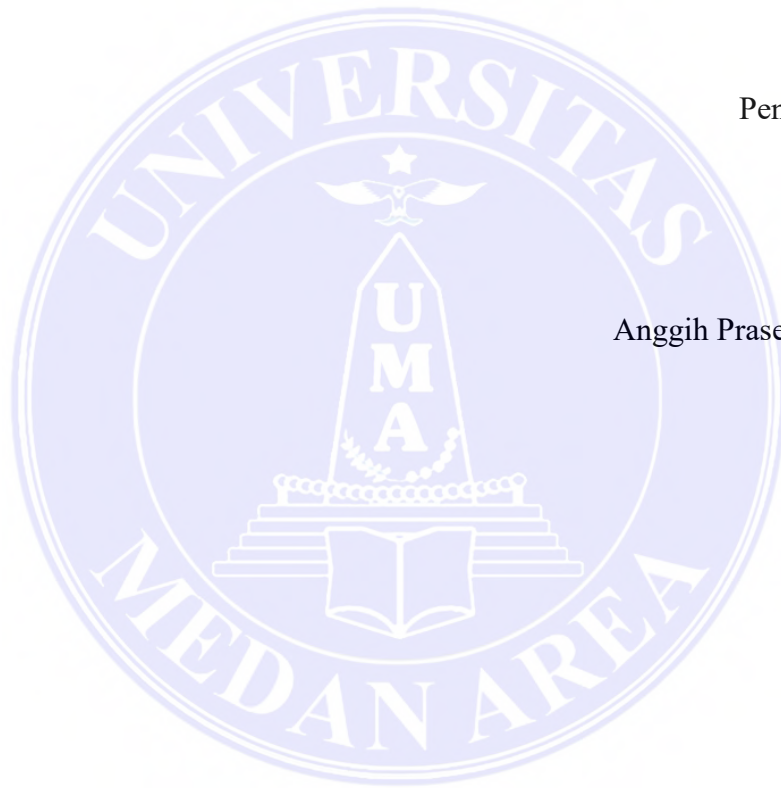
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan sebagai syarat menyelesaikan program sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Adapun judul skripsi ini adalah analisis pengaruh ukuran batubara *powder* terhadap performa PLTU 2x7 MW dengan jenis *boiler* tipe *chain grate*.

Selama penulisan skripsi ini penulis banyak menerima bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., dan Bapak Indra Hermawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bantuan, saran, dan masukan.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin serta Bagian Administrasi Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
6. Kedua orang tua saya, kepada ayah, ibu dan seluruh keluarga atas dukungan serta do'a yang tidak henti-hentinya.

7. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Medan Area yang solid, khususnya Sandi Saputra yang telah banyak membantu dalam pengurusan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.



Penulis

Anggih Prasetyo Wibisono

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
ABSTRAK	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Batasan Masalah	2
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Batubara	4
1. Klasifikasi Batubara Menurut ASTM	5
2. Klasifikasi Batubara Menurut ISO.....	6
B. Boiler	8
1. Boiler Berjenis Pulverized Coal (PC)	8
2. Boiler Berjenis <i>CFB (Circulating Fluidized Bed)</i>	9
3. Boiler Berjenis <i>Stoker</i>	10
C. Specific Fuel Consumption (SFC).....	12
D. Heat Rate.....	13
1. Turbine Heat Rate (THR).....	14
2. Gross Plant Heat Rate (GPHR).....	15
3. Net Plant Heat Rate (NPHR).....	16
E. Siklus Rankine	16
1. Turbin.....	18
2. Kondensor	19
3. Pompa.....	19
4. Boiler.....	20
5. Efisiensi Termal Siklus	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
A. Tempat dan Waktu.....	22
1. Tempat.....	22
2. Waktu	22
B. Peralatan dan Bahan.....	23
1. Peralatan.....	23
2. Bahan.....	25
C. Metode Penelitian	26

1. Sistematika Penelitian	26
2. Parameter Pengukuran	27
3. Prosedur Penelitian.....	29
4. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	29
D. Diagram Alir Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
A. Hasil Pengambilan Data Operasi Pembangkit	32
1. Data Operasi Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME.....	34
2. Data Operasi Menggunakan Batubara Standar ASME	36
B. Nilai SFC (Specific Fuel Consumption).....	36
1. Perhitungan Nilai SFC Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	37
2. Perhitungan Nilai SFC Saat Menggunakan Batubara Standar ASME.....	38
3. Perbandingan Nilai SFC.....	38
C. Nilai THR (Turbine Heat Rate)	40
1. Perhitungan Nilai THR Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	40
2. Perhitungan Nilai THR Saat Menggunakan Batubara Standar ASME.....	41
3. Perbandingan Nilai THR.....	42
D. Nilai GPHR (Gross Plant Heat Rate).....	44
1. Perhitungan Nilai GPHR Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	44
2. Perhitungan Nilai GPHR Saat Menggunakan Batubara Standar ASME.....	44
3. Perbandingan Nilai GPHR	44
E. Nilai NPHR (Nett Plant Heat Rate)	46
1. Perhitungan Nilai NPHR Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	46
2. Perhitungan Nilai NPHR Saat Menggunakan Batubara Standar ASME	46
3. Perbandingan Nilai NPHR	46
F. Nilai Efisiensi Thermal	47
1. Perhitungan Efisiensi Termal Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	47
2. Perhitungan Nilai Efisiensi Thermal Saat Menggunakan Batubara Standar ASME	51
3. Perbandingan Nilai Efisiensi Thermal	55
G. Analisis Data.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
A. Kesimpulan	58
B. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Foto Sampel Batubara Jenis Antrasit, Bituminus, Sub-bituminus, dan Lignit.	4
Gambar 2.2.	Contoh Susunan Peralatan Pada Boiler Pulverized Coal	9
Gambar 2.3.	Skema Aliran Batubara Pada Boiler CFB.....	10
Gambar 2.4.	Contoh Gambar Boiler Stoker.....	11
Gambar 2.5.	Titik Pengukuran Turbine Heat Rate (THR), Gross Plant Heat Rate (GPHR) dan Net Plant Heat Rate (NPHR) pada PLTU	14
Gambar 2.6.	Prinsip Kerja dan Perpindahan Panas Siklus Rankine	17
Gambar 2.7.	T-S Digaram Siklus Rankine Ideal.....	18
Gambar 3.1.	Overview PLTU Tanjung Balai Karimun (2x7 MW)	23
Gambar 3.2.	Turbin dan Generator PLTU Tanjung Balai Karimun	24
Gambar 3.3.	Pressure Gauge.....	24
Gambar 3.4.	Temperatur Indikator.....	25
Gambar 3.5.	Batubara di Dalam Coal Yard	25
Gambar 3.6.	Sampel Air.....	26
Gambar 3.7.	Lokasi Titik Pengambilan Data.....	28
Gambar 3.8.	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1.	Batubara Berukuran non Standar ASME	33
Gambar 4.2.	Batubara Hasil Ayakan.....	34
Gambar 4.3.	Perbandingan Nilai SFC Operasi Pembangkit menggunakan batubara non-standar ASME dengan batubara standar ASME.....	37
Gambar 4.4.	Nilai SFC _{gross} dan SFC _{netto} Berdasarkan Penggunaan Jenis Ukuran Batubara	39
Gambar 4.5.	Nilai THR Pembangkit Saat Operasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda	43
Gambar 4.6.	Nilai GPHR Pembangkit Saat Beroperasi Dengan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda.	45
Gambar 4.7.	Nilai NPHR Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda.	47
Gambar 4.8.	Bagan Siklus Operasi Pembangkit Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	48
Gambar 4.9.	Bagan Siklus Operasi Pembangkit Saat Menggunakan Batubara Sesuai Standar ASME.....	52
Gambar 4.10.	Nilai Efisiensi Termal Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi batubara sesuai dengan ASTM D-338	5
Tabel 3.1.	Jadwal Tugas Akhir	22
Tabel 4.1.	Data Operasi Saat Menggunakan Batubara non-Standar ASME	35
Tabel 4.2.	Konversi Nilai Rata-Rata Data Operasi Saat Menggunakan Batubara Non-Standar ASME ke Dalam Standar SI	35
Tabel 4.3.	Konversi Nilai Rata-Rata Data Operasi Saat Menggunakan Batubara Standar ASME ke Dalam Standar SI	36
Tabel 4.4.	Selisih Nilai SFC Pembangkit Saat Operasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda.	39
Tabel 4.5.	Nilai Enthalpy Pada Kondisi Uap Masuk Turbin	40
Tabel 4.6.	Nilai Enthalpy Air Pengumpan	41
Tabel 4.7.	Nilai Enthalpy Pada Kondisi Uap Masuk Turbin	41
Tabel 4.8.	Nilai Enthalpy Air Pengumpan	42
Tabel 4.9.	Selisih Nilai THR Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda.	43
Tabel 4.10.	Selisih Nilai GPHR Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda	45
Tabel 4.11.	Selisih nilai NPHR Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda	47
Tabel 4.12.	Nilai Enthalpy dan Entropy Uap Masuk Turbin	49
Tabel 4.13.	Nilai Enthalpy dan Entropy Uap Masuk Kondenser	49
Tabel 4.14.	Nilai Volume Spesifik Air Masuk Pompa	50
Tabel 4.15.	Nilai Enthalpy dan Entropy Uap Masuk Turbin	52
Tabel 4.16.	Nilai Enthalpy dan Entropy Uap Masuk Kondenser	53
Tabel 4.17.	Nilai Volume Spesifik Air Masuk Pompa	54
Tabel 4.18.	Selisih Nilai Efisiensi Termal Pembangkit Saat Beroperasi Menggunakan Jenis Ukuran Batubara yang Berbeda.	56
Tabel 4.19.	Perbandingan Parameter Performa Operasi Pembangkit	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pemerintah Indonesia mencanangkan program percepatan pembangunan pembangkit 10.000 MW melalui Peraturan Presiden RI (Perpres) Nomor 71 Tahun 2006, sebagai upaya untuk meningkatkan rasio elektrifikasi serta mempercepat diversifikasi energi pembangkit listrik dari bahan bakar minyak (BBM) ke non BBM. Perpres tersebut menjadi dasar bagi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebanyak 10 unit di pulau Jawa serta 25 unit di luar Jawa Bali. PLTU tersebut dibangun dengan jenis *boiler* yang bermacam-macam dari mulai *boiler* jenis *pulverized* hingga berjenis *stoker* dengan memanfaatkan batubara berkalori rendah.

Batubara berkalori rendah yang digunakan sebagai bahan bakar PLTU tersebut adalah dari jenis lignit yang memiliki kandungan kalori antara 3513 kcal/kg – 4613 kcal/kg. karakteristik batubara berkalori rendah ini yaitu rapuh sehingga sangat mudah hancur dan membentuk partikel halus dan debu ketika dipindahkan ataupun terkena perubahan cuaca.

Pembangunan PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW merupakan salah satu bagian dari program FTP I yang memanfaatkan batubara berkalori rendah yang terletak di Kabupaten Karimun, Provinsi Kepulauan Riau. PLTU Tanjung Balai Karimun dibangun dengan *boiler* berjenis *stoker* bertipe *chain grate* dimana ukuran batubara yang direkomendasikan agar *boiler* bertipe *stoker* dapat bekerja dengan optimal adalah 32 mm dengan campuran maksimal sebanyak 25% yang berukuran

6 mm [1]. pada kenyataannya batubara yang disuplai untuk operasi PLTU Tanjung Balai Karimun mayoritas berukuran halus (*powder*) karena batubara tersebut merupakan batubara berkalori rendah yang mudah hancur saat dilakukan handling batubara dari tambang menuju *coal yard* PLTU Tanjung Balai Karimun. Meskipun demikian PLTU Tanjung Balai Karimun harus tetap beroperasi seoptimal mungkin untuk menjaga agar pasokan listrik di Kabupaten Tanjung Balai Karimun tetap tersedia sesuai kebutuhan. Atas dasar hal tersebut penulis ingin mengetahui bagaimana pengaruh batubara *powder* terhadap performa *boiler stoker* bertipe *chain grate*.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah terhadap penggunaan batubara yang berukuran halus (*powder*) yang tidak sesuai dengan yang direkomendasikan untuk *boiler stoker* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruhnya terhadap *specific fuel consumption (sfc)* pembangkit?
2. Bagaimana pengaruhnya terhadap *heat rate* baik itu *Turbine Heat Rate*, *Gross Plant Heat Rate* dan *Net Plant Heat Rate* pembangkit?
3. Bagaimana pengaruhnya terhadap efisiensi termal siklus pembangkit?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian analisis pengaruh ukuran batubara *powder* terhadap performa PLTU 2x7 MW dengan jenis boiler tipe *chain grate* adalah sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini penulis hanya akan melakukan analisa terhadap ukuran batubara saja sehingga karakteristik lain batubara dianggap sama.
2. Boiler yang digunakan adalah boiler *stoker* bertipe *chain grate* dengan laju aliran massa uap secara desain adalah 11,1111 kg/s.
3. Untuk mendapatkan ukuran batubara yang sesuai dengan ASME maka akan dilakukan pengayakan batubara.
4. Pengambilan data akan dilakukan pada >75% kapasitas pembangkit.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian analisis pengaruh ukuran batubara *powder* terhadap performa PLTU 2x7 MW dengan jenis boiler tipe *chain grate* adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh ukuran batubara terhadap konsumsi bahan bakar spesifik dan membandingkan dengan batubara terekomendasi ASME.
2. Menganalisis pengaruh ukuran batubara terhadap nilai *Heat Rate* pada *Turbine Heat Rate (THR)*, *Gross Plant Heat Rate (GPHR)*, dan *Net Plant Heat Rate (NPHR)*
3. Menganalisis pengaruh ukuran bahan bakar batubara terhadap efisiensi termal pembangkit dengan jenis *boiler stoker* tipe *chain grate*.

E. Manfaat Penelitian

Diperoleh acuan performa pembangkit yang memiliki jenis *boiler stoker* bertipe *chain grate* saat diberi batubara halus (*powder*) untuk bahan bakarnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Batubara

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil berupa sedimen batuan yang dapat terbakar yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan purba yang mengendap dan mengalami proses biokimia dan geokimia. Jika proses biokimia mengubah sisa tanaman menjadi gambut maka proses geokimia mengubah gambut menjadi batubara muda dan seterusnya menjadi batubara paling tua. Unsur utama batubara adalah karbon, hidrogen, dan oksigen.

Proses pembentukan batubara yang dikontrol oleh tekanan, panas, dan waktu sangat mempengaruhi kualitas dari batubara itu sendiri. Berdasarkan kualitasnya, lebih lanjut batubara diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu Antrasit, Bituminus, Sub-bituminus, dan Lignit dengan tampilan fisik untuk setiap jenis batubara tersebut seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Foto Sampel Batubara Jenis Antrasit, Bituminus, Sub-bituminus, dan Lignit.

American Society for Testing and Materials (ASTM) menggambarkan klasifikasi batubara sesuai dengan tabel 2.1 [2] sebagai berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi batubara sesuai dengan ASTM D-338

Kelas/Grup	Fixed Carbon Limit		Volatile Matter Limit		Gross Caloric Value Limit		Karakter Penggumpalan
	(Dry.Mineral-Matter-Free Basis). %		(Dry.Mineral-Matter-Free Basis). %		(Moist.Mineral-Matter-Free Basis). MJ/kg		
	≥	<	>	≤	≥	<	
Antrasit							
Meta-Antrasit	98	2	Tidak Menggumpal
Antrasit	92	98	2	8	...	...
Semi-Antrasit	86	92	8	14	...	...
Bituminus							
Low Volatile	78	86	14	22	Biasanya Menggumpal
Medium Volatile	69	78	22	31	...	...
High Volatile A	...	69	31	...	32,6	...	
High Volatile B	...	...	...	...	30,2	32,6
High Volatile C	...	...	...	...	26,7	30,2
					24,4	26,7	Menggumpal
Sub-bituminus							
Sub-bituminus A	24,4	26,7	Tidak Menggumpal
Sub-bituminus B	...	...	...	...	22,1	24,4
Sub-bituminus C	...	...	...	...	19,3	22,1
Lignit							
Lignit A	14,7	19,3	Tidak Menggumpal
Lignit B	...	...	...	...	...	14,7

1. Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

a. Antrasit

Merupakan jenis batubara keras yang berwarna hitam mengkilat, dengan tekstur yang lebih padat, sedikit debu, serta memiliki kandungan karbon paling tinggi dibanding jenis batubara lainnya.

b. Bituminus

Batubara jenis ini berwarna hitam dengan kandungan karbon mencapai 80% dari total beratnya. Batubara jenis ini terbentuk dari jenis sub-bituminus yang semakin dalam dan semakin lama tertimbun, sehingga tekstur batubaranya menjadi lebih keras dan warnanya menjadi lebih hitam.

c. Sub-bituminus

Batubara jenis ini sedikit lebih tua dari lignit dan tidak terlalu keras, dengan kadar air yang tinggi namun masih lebih rendah dibandingkan lignit. Jenis batubara ini hanya mengandung 40-60% karbon.

d. Lignit

Lignit merupakan batubara muda yang baru terbentuk berwarna coklat, serta memiliki kadar air yang tinggi. Batubara jenis ini merupakan batubara yang kualitasnya paling rendah dibandingkan dengan jenis batubara yang lain.

Batubara menurut ISO (*International Standard Organization*) dapat dikelompokkan lagi menjadi 3 peringkat, yaitu batubara peringkat rendah (*Low Rank Coal*), batubara peringkat menengah (*Medium Rank Coal*), dan batubara peringkat tinggi (*High Rank Coal*).

2. Klasifikasi Batubara Menurut ISO

Batubara menurut ISO (*International Standard Organization*) dapat dikelompokkan lagi menjadi 3 peringkat, yaitu batubara peringkat rendah (*Low Rank Coal*), batubara peringkat menengah (*Medium Rank Coal*), dan batubara peringkat tinggi (*High Rank Coal*).

a. Batubara Peringkat Rendah (*Low Rank Coal*)

Termasuk dalam peringkat ini adalah batubara jenis sub-bituminus dan lignit dengan sifat fisik yang umum yaitu berwarna agak kecoklatan, kekerasannya rendah (lunak), rapuh, mudah hancur jika terkena perubahan cuaca, mudah hancur dan membentuk partikel halus dan debu ketika dipindahkan, mudah menyerap air sehingga saat musim hujan kadar airnya tinggi.

b. Batubara Peringkat Menengah (*Medium Rank Coal*)

Termasuk dalam peringkat ini adalah batubara jenis bituminus, dimana memiliki sifat fisik yang umum yaitu kekerasannya lebih tinggi serta memiliki nilai HGI yang rendah, tidak mudah hancur jika terkena perubahan cuaca, membentuk partikel debu yang lebih sedikit ketika proses transportasi, tidak mudah menyerap air selama musim hujan, kadar air rendah.

c. Batubara Peringkat Tinggi (*High Rank Coal*)

Termasuk kedalam peringkat ini adalah batubara jenis antrasit dengan sifat fisik yang umum yaitu kekerasannya paling tinggi, dan tidak mudah hancur jika terkena perubahan cuaca, hampir tidak membentuk partikel debu saat proses transportasi, hampir tidak menyerap air selama musim hujan.

Batubara peringkat rendah paling banyak digunakan sebagai sumber bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap di Indonesia dibandingkan dengan batubara peringkat tinggi maupun peringkat batubara menengah. Hal ini dikarenakan ketersediaan batubara kelas rendah yang melimpah di Indonesia. Khusus untuk boiler stoker yang menggunakan batubara kelas rendah sebagai bahan bakarnya, ukuran partikel batubara memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap

distribusi temperature dan karakteristik reaksi panas dibandingkan dengan nilai HHV-nya [3].

B. Boiler

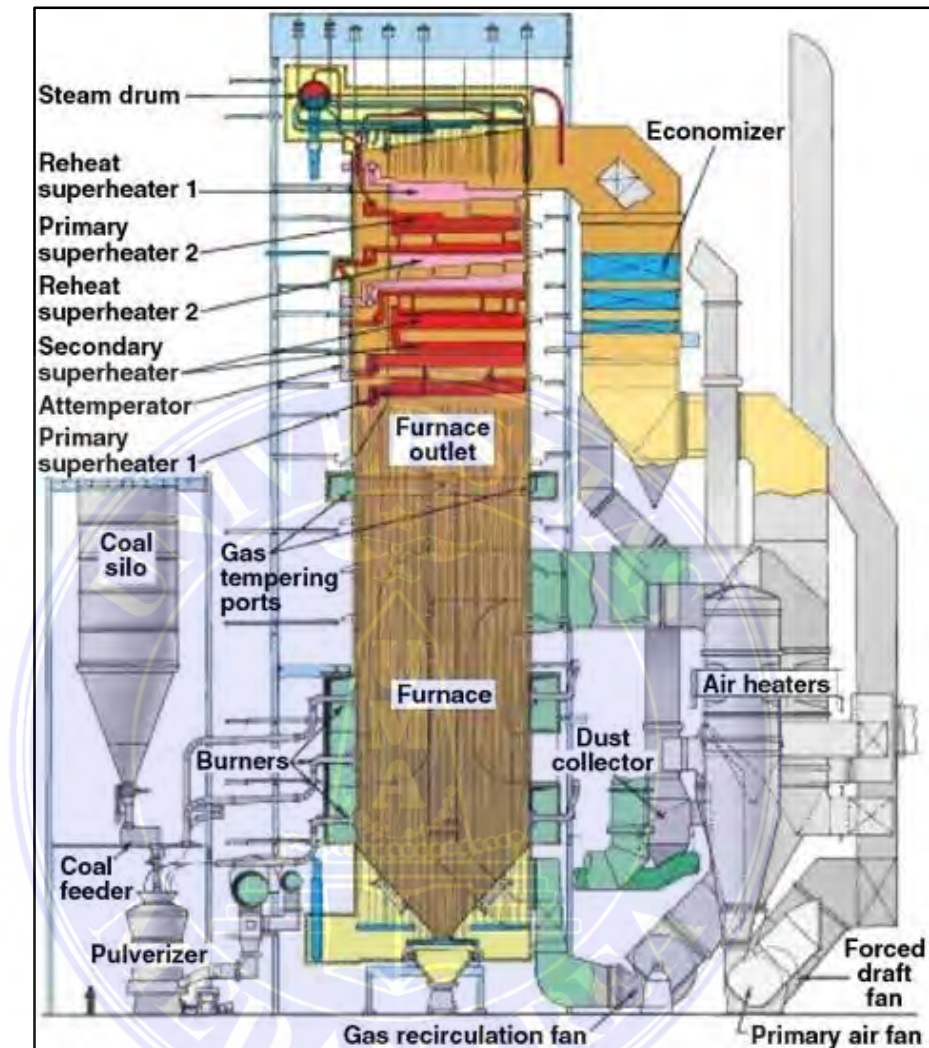
Boiler atau ketel uap merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap/steam untuk berbagai keperluan [4]. Didalam boiler air dipanaskan hingga berubah menjadi uap yang memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi dengan pemanas hasil dari pembakaran bahan bakar. Berdasarkan teknologi proses pembakarannya secara umum boiler dibagi mejadi tiga jenis yaitu *Pulverized Coal (PC)*, *CFB (Circulating Fluidized Bed)*, dan *Stoker*.

1. Boiler Berjenis Pulverized Coal (PC)

Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar boiler jenis PC berukuran sekitar 30 – 40 μm . Efisiensi pembakaran pada boiler PC sangat tinggi dan biasanya diaplikasikan pada PLTU yang memiliki kapasitas pembangkit diatas 100 MW. Karakteristik boiler PC seperti terlihat pada gambar 2.2 [5] adalah adanya peralatan yang bernama *pulverizer*. *Pulverizer* ini berfungsi untuk menghaluskan batubara menjadi berukuran halus atau serbuk sebelum diinjeksikan bersamaan dengan udara ke ruang bakar melalui *burners*. Umumnya posisi *burners* berada di keempat sudut dari boiler sehingga pembakaran di dalam ruang bakar berbentuk turbulen. Penginjeksian serbuk batubara dilakukan dengan menggunakan udara panas yang biasa disebut *primary air*. *Primary air* ini memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Mentransportasikan serbuk batubara dari *pulverizer* ke ruang bakar
- b. Mengurangi kadar air dari serbuk batubara sehingga pembakaran di dalam *furnance* boiler menjadi lebih optimal

- c. Mensirkulasi batubara didalam pulverizer guna membantu memisahkan batubara dari benda-benda asing

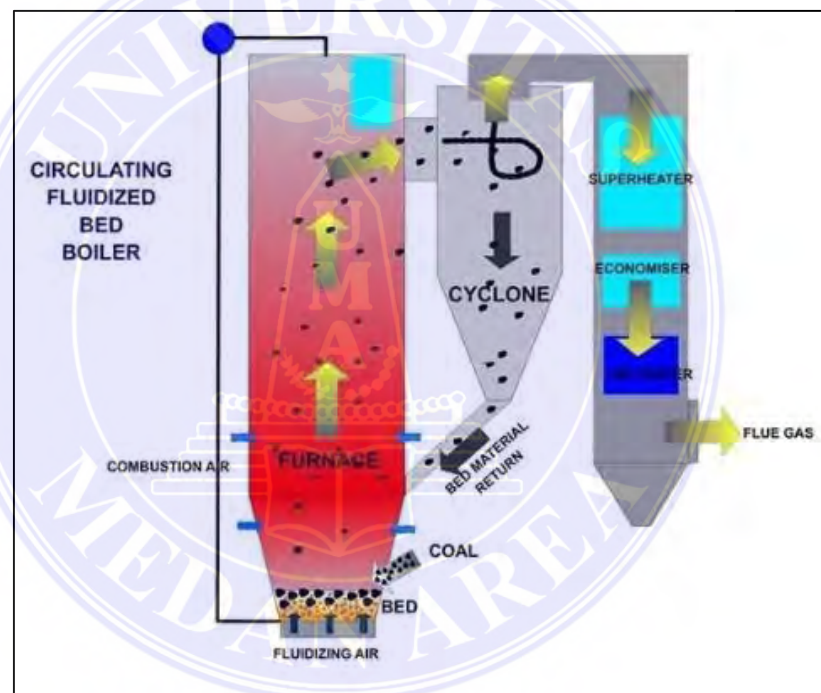


Gambar 2.2. Contoh Susunan Peralatan Pada *Boiler Pulverized Coal*

2. Boiler Berjenis *CFB* (*Circulating Fluidized Bed*)

Batubara yang digunakan pada boiler jenis *CFB* berukuran lebih besar dari boiler *PC* yaitu sekitar ± 10 mm. Karakteristik aliran batubara dalam boiler *CFB* seperti terlihat pada gambar 2.3 [6] yaitu batubara dimasukan kedalam ruang bakar dan diletakan diatas material *bed* yang berada di bagian bawah ruang bakar boiler. Material *bed* ini biasanya berupa partikel pasir kuarsa yang merupakan media untuk memanaskan udara dan ruang bakar secara keseluruhan. Udara dengan tekanan dan

kecepatan tinggi dihembuskan dari dasar tungku melalui *nozzle* sehingga batubara yang berada di atas pasir tersebut ikut melayang bersama pasir dan terbakar di dalam ruang bakar. Material *bed* yang disirkulasikan menyerap panas dari hasil pembakaran batubara yang kemudian panas tersebut ditransfer menuju dinding *water wall boiler* untuk memanaskan air pengumpan. Pada boiler CFB terdapat alat pemisah yang umumnya berupa *cyclone* yang bekerja memanfaatkan gaya sentrifugal sehingga material *bed* akan terpisah dengan *fly ash* dan jatuh kembali menuju ruang bakar boiler.

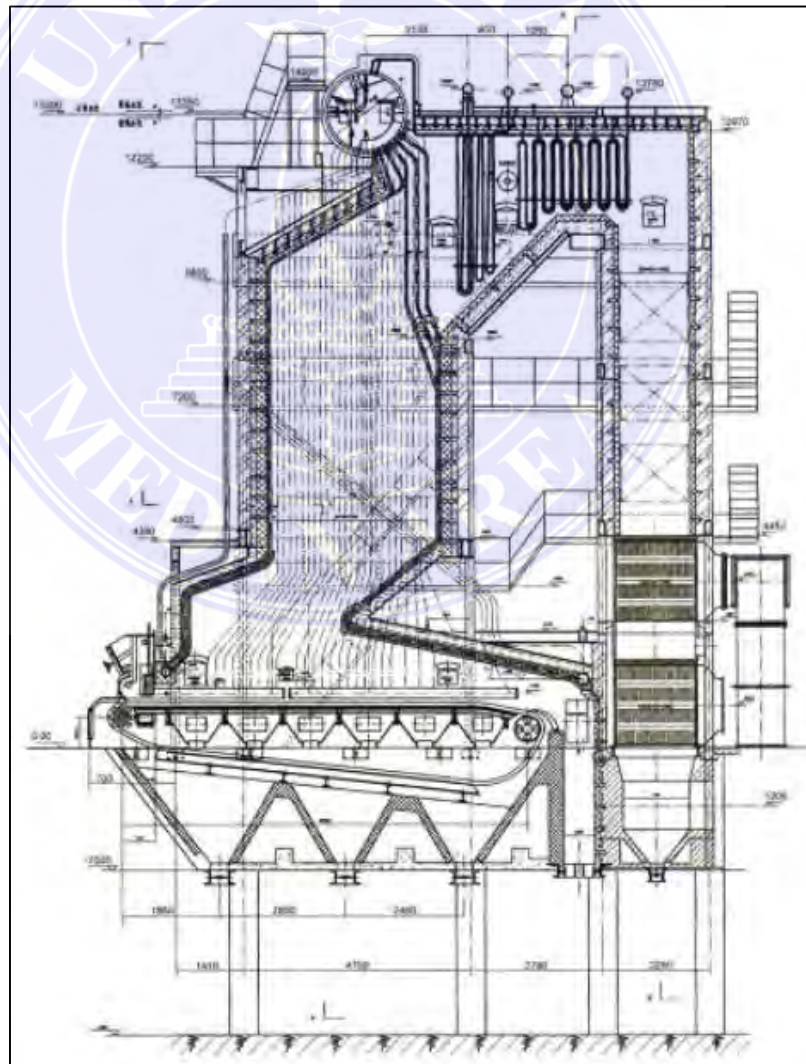


Gambar 2.3. Skema Aliran Batubara Pada *Boiler* CFB

3. Boiler Berjenis *Stoker*

Batubara pada *boiler stoker* dibakar diatas rantai besi yang berjalan sangat lambat. Sesuai dengan *ASME Section VII, Part 13. Boiler Auxiliary*, ukuran batubara yang direkomendasikan agar *boiler stoker* dapat beroperasi dengan optimal adalah 32 mm dengan campuran maksimal 25% berukuran 6 mm. *boiler* jenis ini memiliki efisiensi pembakaran yang paling rendah diantara jenis *boiler* lainnya.

Biasanya *boiler stoker* diaplikasikan untuk pembangkit yang memiliki daya < 10 MW. Karakteristik *boiler stoker* seperti terlihat pada gambar 2.4 [7] yaitu batubara dimasukan ke ruang bakar dan diletakan di atas *traveling grate*. Batubara dibakar diatas *traveling grate* yang berjalan dengan sangat lambat dimana abu sisa pembakaran yang berupa *bottom ash* akan jatuh keluar ruang bakar di posisi ujung perjalanan dari *traveling grate*. Udara untuk pembakaran dihembuskan oleh fan dari bawah ruang bakar menembus celah-celah pada *traveling grate* sehingga abu sisa pembakaran yang berbentuk *fly ash* akan terbang menuju ke cerobong untuk dilepaskan keudara bebas.



Gambar 2.4. Contoh Gambar *Boiler Stoker*

C. Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel Consumption (SFC) merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar (dalam hal ini adalah batubara) terhadap daya listrik yang dibangkitkan. Secara sederhana SFC pada PLTU adalah jumlah konsumsi batubara yang dibutuhkan PLTU untuk menghasilkan daya 1 kW selama satu jam. SFC akan semakin menurun dengan bertambahnya beban pembangkit [8]. Semakin rendah nilai SFC sebuah PLTU maka semakin baik pula kinerja dari pembangkit tersebut. Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara No.80 tahun 1989 [9], SFC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SFC_{gross} = \frac{Q_f}{kW_{gross}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$SFC_{netto} = \frac{Q_f}{kW_{netto}} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

SFC_{gross} = Konsumsi bahan bakar spesifik terhadap daya yang dihasilkan generator (kg/kWh)

SFC_{netto} = Konsumsi bahan bakar spesifik terhadap daya netto (kg/kWh)

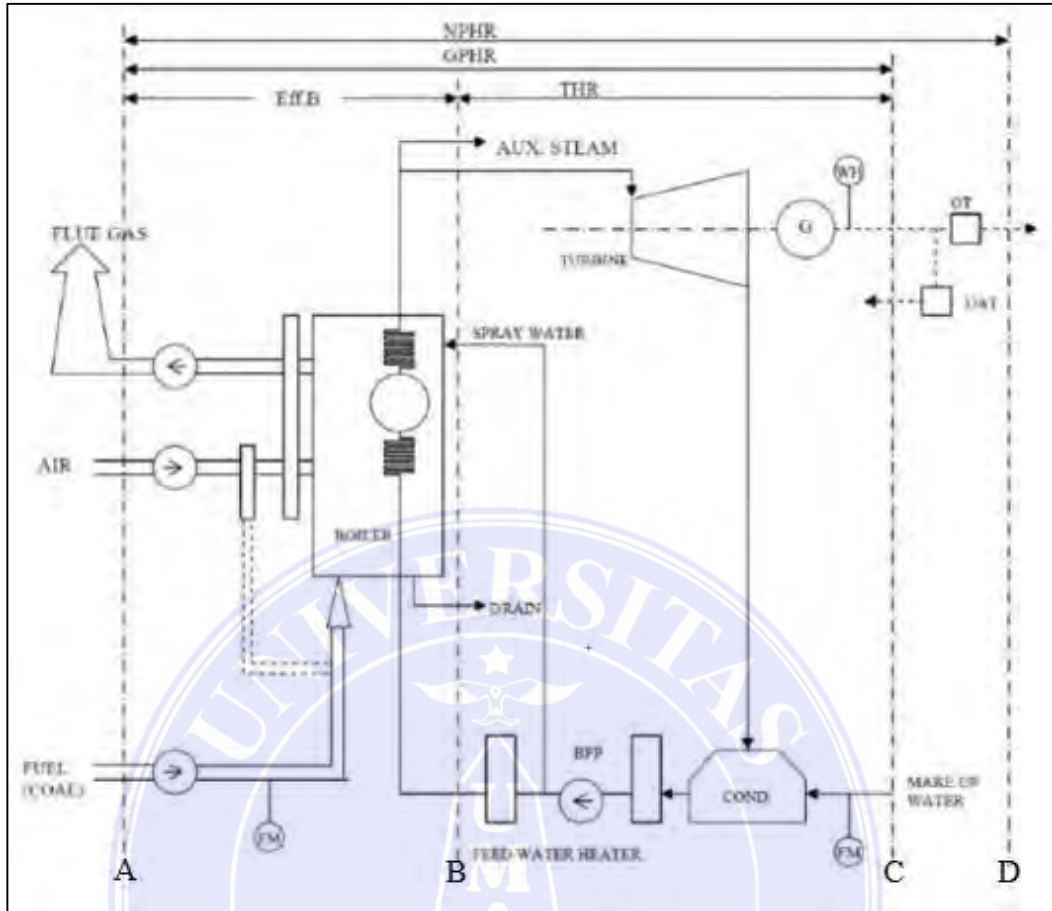
Q_f = Jumlah bahan bakar yang digunakan persatuan waktu (kg/s)

kW_{gross} = Jumlah daya yang dihasilkan generator (kW)

kW_{netto} = Jumlah daya yang dihasilkan generator dikurangi daya pemakaian sendiri (*auxiliary system*) (kW)

D. Heat Rate

Heat rate merupakan metode perhitungan performa suatu pembangkit yang melibatkan parameter data dari sisi boiler, turbin dan generator. Nilai *heat rate* akan memberikan gambaran tentang seberapa besar efisiensi dari suatu pembangkit secara keseluruhan. Parameter tersebut merepresentasikan nilai energi input dibandingkan dengan energi yang dihasilkan. Satuan yang biasa dipakai oleh industri pembangkit listrik di Indonesia adalah kcal/kWh namun dalam penelitian ini satuan yang digunakan untuk *heat rate* yaitu kJ/kWh. Terdapat 3 jenis *heat rate* pada PLTU berdasarkan pengambilan titik pengukurannya gambar 2.5 [10], diantaranya adalah *Turbine Heat Rate (THR)*, *Gross Plant Heat Rate (GPHR)*, dan *Net Plant Heat Rate (NPHR)*. Spesifikasi batubara berpengaruh terhadap nilai *heat rate* [11]. Oleh karena itu apabila spesifikasi batubaranya berbeda terutama nilai kalorinya maka *heat rate* pembangkit tersebut akan berbeda. Semakin kecil nilai *heat rate* maka semakin baik efisiensi pembangkit tersebut [12]. Nilai *heat rate* yang lebih besar pada keluaran daya pembangkit yang sama menandakan bahwa pembangkit tersebut membutuhkan energi yang lebih besar. Pada gambar 2.5 terlihat bahwa titik pengukuran THR diambil diposisi B-C dimana variabel yang diperhitungkan meliputi kondisi uap masuk turbin, *output* generator, kondisi uap masuk *boiler*. Kemudian titik pengukuran GPHR berada disposisi A-C dimana variabel yang diperhitungkan meliputi kondisi bahan bakar masuk boiler dan *output* generator. Selanjutnya untuk titik pengukuran NPHR berada di posisi A-D dimana pada pengukuran NPHR, *auxiliary power* atau daya pemakaian sendiri dimasukan kedalam variabel perhitungan sebagai pengurang dari *output* generator. *Auxiliary power* merupakan daya listrik yang digunakan untuk operasi peralatan pembangkit.



Gambar 2.5. Titik Pengukuran *Turbine Heat Rate (THR)*, *Gross Plant Heat Rate (GPHR)* dan *Net Plant Heat Rate (NPHR)* pada PLTU

1. Turbine Heat Rate (THR)

Turbine Heat Rate (THR) merupakan perbandingan laju panas yang masuk ke siklus uap terhadap output generator. Secara lebih sederhana THR adalah jumlah kalor yang dibutuhkan siklus untuk menghasilkan satu kWh bruto. THR dapat dihitung dengan persamaan yang mengacu pada ASME PTC 6-2004 [13] sebagai berikut:

$$THR = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}})}{\text{Gen. Output}} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

THR = Turbine Heat Rate (kJ/kWh)

\dot{m}_{steam} = Laju aliran uap masuk turbin (kg/s)

h_{out} = Enthalpy uap masuk turbin (kJ/kg)

h_{in} = Enthalpy air masuk boiler (kJ/kg)

Gen. Output = Jumlah daya yang dihasilkan generator (kW)

2. Gross Plant Heat Rate (GPHR)

Gross Plant Heat Rate (GPHR) merupakan perbandingan dari laju panas dari bahan bakar yang masuk ke boiler terhadap output generator. GPHR dapat dihitung menggunakan persamaan yang mengacu pada ASME PTC 6-2004 [13] sebagai berikut:

$$GPHR = \frac{CV_{\text{fuel}} \times \dot{m}_{\text{fuel}}}{\text{Gen. Output}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

GPHR = Gross Plant Heat Rate (kJ/kWh)

CV_{fuel} = Nilai kalori bahan bakar (kJ/kg)

\dot{m}_{fuel} = Laju aliran bahan bakar (kg/s)

Gen. Output = Jumlah daya yang dihasilkan generator (kW)

Selain persamaan diatas, GPHR juga dapat dihitung dengan persamaan:

$$GPHR = \frac{THR}{\eta_{\text{boiler}}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\text{Energi Keluar}}{\text{Energi Masuk}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}})}{\dot{m}_{\text{fuel}} \times CV} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

η_{boiler} = Efisiensi Boiler

- \dot{m}_{fuel} = Laju aliran bahan bakar (kg/s)
- \dot{m}_{steam} = Laju aliran uap (kg/s)
- h_{out} = Enthalpy uap keluar boiler (kJ/kg)
- h_{in} = Enthalpy air masuk boiler (kJ/kg)
- CV = Nilai kalori bahan bakar (kJ/kg)

3. Net Plant Heat Rate (NPHR)

Net Plant Heat Rate (NPHR) merupakan perbandingan dari laju panas dari bahan bakar yang masuk ke boiler terhadap net power output dimana *net power output* adalah daya *output generator* dikurangi dengan pemakaian sendiri atau *Auxiliary Power*. *NPHR* dapat dihitung dengan persamaan yang mengacu pada ASME PTC 6-2004 [13] sebagai berikut:

$$NPHR = \frac{CV_{fuel} \times \dot{m}_{fuel}}{Gen. Output - Aux. Power} \dots\dots\dots(2.8)$$

atau

$$NPHR = GPHR \times \left(\frac{Gen. Output}{Gen. Output - Aux. Power} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

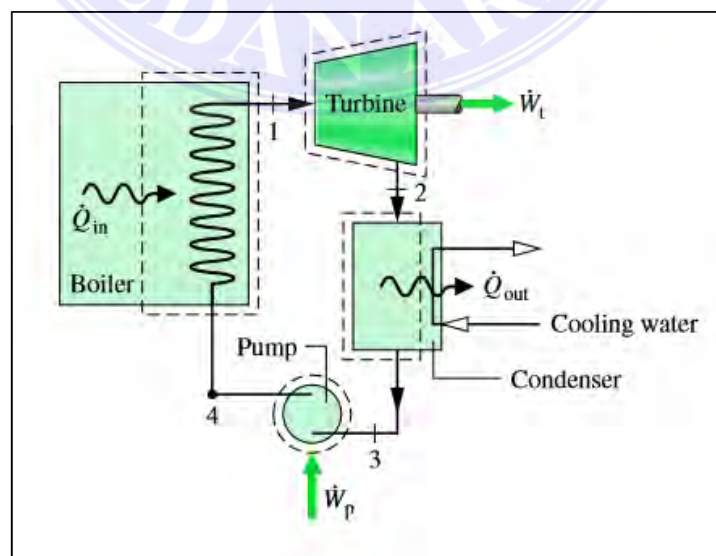
dimana :

- NPHR = *Net Plant Heat Rate* (kJ/kWh)
- GPHR = *Gross Plant Heat Rate* (kJ/kWh)
- Gen. Output = Jumlah daya yang dihasilkan generator (kW)
- Aux. Power = Jumlah pemakaian sendiri (kW)

E. Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan sebuah siklus yang mengkonversi energi panas menjadi kerja/energi gerak. Dikembangkan oleh William John Macquorn Rankine

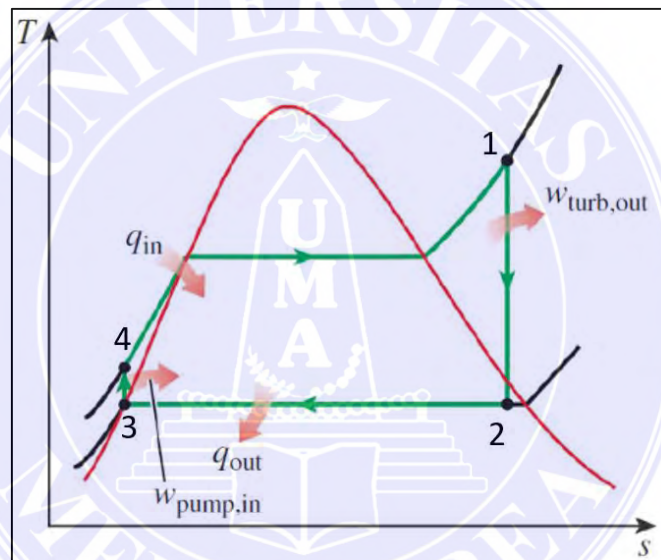
pada abad ke-19 dan sejak saat itu banyak diaplikasikan pada mesin-mesin uap. Prinsip kerja dan perpindahan panas siklus *rankine* seperti pada gambar 2.6 [14]. yaitu uap jenuh yang bertemperatur dan bertekanan tinggi pada keadaan 1 masuk kedalam turbin dan berekspansi memutar turbin sehingga tekanannya berkurang dan akhirnya keluar menuju kondensor pada keadaan 2. Antara keadaan 1 dan keadaan 2 terjadi kerja keluar sistem. Didalam kondensor fluida kerja mengalami pelepasan kalor akibat pendinginan dari air pendingin sehingga terjadi proses kondensasi kemudian fluida kerja keluar kondenser pada keadaan 3 dalam bentuk fasa cair. Antara keadaan 2 dan keadaan 3 terjadi pelepasan energi keluar sistem. Pada keadaan 3 fluida kerja masuk menuju pompa dan mengalami peningkatan tekanan oleh pompa sehingga keluar pada keadaan 4 dimana tekanan dari fluida kerja sudah jauh meningkat. Anantara keadaan 3 dan keadaan 4 terjadi kerja masuk sistem. Pada keadaan 4 fluida kerja masuk kedalam boiler dan menerima panas dari pembakaran batubara sehingga temperaturnya meningkat kemudian fluida kerja keluar boiler menuju turbin pada keadaan 1 dalam bentuk fasa gas. Antara keadaan 4 dan keadaan 1 terjadi energi masuk sistem.



Gambar 2.6. Prinsip Kerja dan Perpindahan Panas Siklus *Rankine*

Fluida kerja pada siklus *rankine* ideal seperti pada gambar 2.7 mengalami serangkaian proses sebagai berikut:

1. Proses 1-2: ekspansi isentropis dari fluida kerja didalam turbin pada keadaan 1 menuju ke kondensor.
2. Proses 2-3: fluida kerja mengalami proses kondensasi di dalam kondensor.
3. Proses 3-4: fluida kerja mengalami proses penekanan secara isentropis oleh pompa.
4. Proses 4-1: fluida kerja mengalami proses pemanasan di dalam boiler.



Gambar 2.7. T-S Digaram Siklus *Rankine* Ideal

Evaluasi prinsip kerja dan perpindahan panas terhadap siklus *rankine* pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Turbin

Uap jenuh keluar boiler pada keadaan 1, yang telah mengalami peningkatan suhu dan tekanan, berekspansi di dalam turbin untuk memutar turbin dan kemudian keluar menuju ke kondensor pada keadaan 2 yang tekanannya relatif lebih rendah.

Dengan demikian kerja turbin (W_t) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

$$\frac{W_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

- W_t = Kerja turbin (kJ/kg)
- \dot{m} = Laju aliran fluida kerja (kg/s)
- h_1 = Enthalpy uap masuk turbin (kJ/kg)
- h_2 = Enthalpy uap keluar turbin (kJ/kg)

2. Kondensor

Fluida kerja di dalam kondenser mengalami perpindahan panas ke air pendingin yang mengalir sehingga terjadi proses kondensasi uap. Energi panas yang ditransfer dari uap ke air pendingin atau dengan kata lain energi yang keluar siklus (Q_{out}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

$$\frac{Q_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3 \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

- Q_{out} = Energi Keluar (kJ/kg)
- \dot{m} = Laju aliran fluida kerja (kg/s)
- h_2 = Enthalpy uap masuk kondenser (kJ/kg)
- h_3 = Enthalpy air keluar kondenser (kJ/kg)

3. Pompa

Air yang keluar dari kondensor pada keadaan 3 dipompa dari kondensor menuju ke boiler pada keadaan 4 sehingga tekanannya meningkat. Dengan demikian kerja pompa (W_p) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

$$\frac{W_p}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana :

- W_p = Kerja pompa (kJ/kg)
- \dot{m} = Laju aliran fluida kerja (kg/s)
- h_3 = Enthalpy air masuk pompa (kJ/kg)
- h_4 = Enthalpy air keluar pompa (kJ/kg)

Selain rumus diatas, kerja pompa juga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [15]:

$$W_p = v (P_{out} - P_{in}) \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana :

- W_p = Kerja pompa (kJ/kg)
- v = Volume spesifik air pada tekanan kondensor tertentu (m³/kg)
- P_{in} = Tekanan air masuk pompa (N/m²)
- P_{out} = Tekanan air keluar pompa (N/m²)

4. Boiler

Fluida kerja dipanaskan di dalam boiler sehingga mengalami perubahan fasa dari air menjadi uap jenuh. Energi panas yang diberikan ke fluida kerja atau dapat juga disebut energi masuk (Q_{in}) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

$$\frac{Q_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

- Q_{in} = Energi masuk (kJ/kg)
- \dot{m} = Laju aliran fluida kerja (kg/s)

h_1 = Enthalpy uap keluar boiler (kJ/kg)

h_4 = Enthalpy air masuk boiler (kJ/kg)

5. Efisiensi Termal Siklus

Efisiensi termal siklus menggambarkan sejauh mana masukan energi yang diberikan ke fluida kerja yang melewati boiler diubah menjadi kerja netto. Efisiensi termal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [14]:

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{\text{Kerja turbin-kerja pompa}}{\text{Energi masuk}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{\frac{W_t}{\dot{m}} - \frac{W_p}{\dot{m}}}{\frac{Q_{\text{in}}}{\dot{m}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

- η_{termal} = Efisiensi termal (%)
- h_1 = Enthalpy uap masuk turbin (kJ/kg)
- h_2 = Enthalpy uap keluar turbin (kJ/kg)
- h_3 = Enthalpy air masuk pompa (kJ/kg)
- h_4 = Enthalpy air masuk boiler (kJ/kg)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

1. Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW yang terletak di Desa Tanjung Sebatok, Kecamatan Tebing, Kabupaten Tanjung Balai Karimun, Povinsi Kepulauan Riau.

2. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2020, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

Aktifitas	2020												2021											
	Mar.			Apr.			Jul.			Agu.			Sep.		Okt.		Des.		Jan.		Apr.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■																							
Penyelesaian Proposal				■																				
Seminar Proposal					■																			
Pengumpulan Data						■																		
Analisis data							■																	
Penyelesaian Laporan								■																
Seminar Hasil Sidang Sarjana										■														

B. Peralatan dan Bahan

1. Peralatan

a. Boiler

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini salah satunya adalah boiler yang digunakan sebagai penghasil uap dari proses pemanasan air menggunakan batubara. Pada gambar 3.1 merupakan *overview* dari PLTU Tanjung Balai Karimun (2x7 MW) dimana PLTU tersebut memiliki boiler berjenis *stoker* dengan tipe *chain grate*. Secara desain boiler tersebut memiliki kapasitas uap maksimal 40 T/h, tekanan kerja yang diizinkan adalah 52 kg/cm², serta temperatur *superheater* pada 490°C.



Gambar 3.1. *Overview* PLTU Tanjung Balai Karimun (2x7 MW)

b. Turbin dan Generator

Uap air dari boiler akan masuk ke turbin sehingga berputar. Selanjutnya seiring dengan berputarnya turbin generator pun akan berputar sehingga menghasilkan listrik. Turbin dan generator PLTU Tanjung Balai Karimun 2x7 MW seperti terlihat pada gambar 3.2 dimana turbin pada PLTU Tanjung Balai Karimun merupakan turbin *single stage* dengan *rated speed* 3000 rpm, tekanan maksimum

main steam yang diizinkan adalah 52 bar serta temperatur *main steam* 490°C. sedangkan generator pada PLTU Tanjung Balai Karimun secara desain memiliki *rate power* sebesar 8,1 MW, tegangan sebesar 6,3 kV, Arus sebesar 928 A, serta *power factor* diangka 0,8.



Gambar 3.2. Turbin dan Generator PLTU Tanjung Balai Karimun

c. Pressure Gauge

Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan uap air. Gambar 3.3 merupakan salah satu *pressure gauge* yang terpasang pada PLTU Tanjung Balai Karimun dimana *pressure gauge* tersebut merupakan *pressure gauge coil tipe bourdon* dengan *liquid filled case* yang memiliki rentang antara 0 – 100 kg/cm².



Gambar 3.3. *Pressure Gauge*

d. Temperatur Indikator

Temperatur indikator digunakan untuk mengukur suhu dari uap air. Gambar 3.4 merupakan salah satu temperatur indikator yang terpasang pada PLTU Tanjung Balai Karimun dimana temperatur indikator tersebut merupakan tipe bi-metal yang memiliki rentang 0 - 400 °C atau 50 – 750 °F.



Gambar 3.4. Temperatur Indikator

2. Bahan

a. Batubara

Batubara merupakan bahan bakar yang akan digunakan untuk operasi pembangkit listrik tenaga uap. Gambar 3.5 merupakan area *coal yard* PLTU Tanjung Balai Karimun dimana dalam *coal yard* berisi batubara kelas rendah (*low rank coal*).



Gambar 3.5. Batubara di Dalam *Coal Yard*

b. Air

Air demin merupakan bahan yang digunakan untuk memproduksi uap. Gambar 3.6 merupakan sample air laut dan air demin yang digunakan untuk operasi PLTU Tanjung Balai Karimun dimana air demin tersebut dihasilkan dari air laut yang mengalami proses *reverse osmosis*.



Gambar 3.6. Sampel Air

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini secara garis besar yaitu observasi langsung dilapangan, namun lebih lanjut metode penelitian yang digunakan dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Sistematika Penelitian

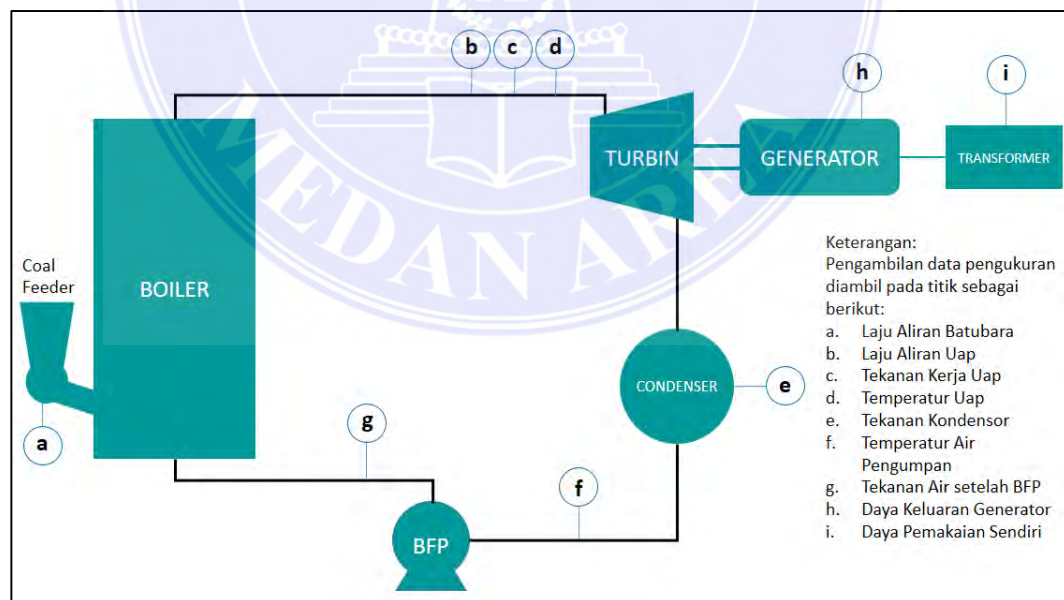
Sistematika pada analisis pengaruh ukuran batubara *powder* terhadap performa PLTU 2x7 MW dengan jenis boiler tipe *chain grate* adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur
 - b. Observasi lapangan guna mendapatkan data-data operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara non-standar ASME serta data operasi pembangkit saat menggunakan ukuran batubara standar ASME.
 - c. Melakukan perhitungan terhadap nilai *specific fuel consumption* (SFC), *heat rate*, dan nilai efisiensi termal pembangkit
 - d. Menganalisa dan membandingkan nilai SFC, *heat rate*, dan nilai efisiensi termal pembangkit saat beroperasi menggunakan batubara standar ASME dengan saat pembangkit beroperasi menggunakan batubara standar ASME
 - e. Menarik kesimpulan
2. Parameter Pengukuran

Parameter yang diukur dalam analisis pengaruh ukuran batubara *powder* terhadap performa PLTU 2x7 MW dengan jenis boiler tipe *chain grate* adalah sebagai berikut:

- a. Laju aliran batubara (kg/s)
- b. Laju aliran uap (*main steam*) (kg/s)
- c. Tekanan kerja *main steam* (N/m²)
- d. Temperatur *main steam* (°C)
- e. Tekanan kondensor (N/m²)
- f. Temperatur air pengumpan (°C)
- g. Tekanan air pengumpan setelah melewati pompa (N/m²)
- h. Daya keluaran generator (kW)
- i. *Auxiliary power* (kW) atau dapat dikatakan sebagai pemakain sendiri pembangkit

Gambar 3.7 memperlihatkan lokasi titik pengambilan data dari parameter pengukuran yang digunakan pada penelitian ini, dimana pada titik “a” merupakan lokasi titik pengukuran laju aliran batubara yang berlokasi di *coal feeder boiler*. Titik “b,c,d” secara berurutan adalah lokasi titik pengukuran laju aliran uap, tekanan kerja uap, dan temperatur kerja uap dimana pengukuran ini dilakukan pada jalur utama pipa dari boiler menuju ke turbin. Titik “e” merupakan lokasi titik pengukuran tekanan kondensor. Titik “f” merupakan lokasi pengukuran temperatur air pengumpan yang berlokasi di jalur pipa *feedwater* dari kondensor menuju ke *boiler feed pump*. Titik “g” merupakan lokasi titik pengukuran tekanan air pengumpan yang berlokasi di jalur pipa *feed water* setelah *discharge boiler feed pump*. Titik “h” merupakan lokasi titik pengukuran daya keluaran generator sedangkan titik “i” adalah lokasi titik pengukuran daya pemakaian sendiri yang lokasinya berada di bagian *unit auxiliary transformer*.



Gambar 3.7. Lokasi Titik Pengambilan Data

3. Prosedur Penelitian

Langkah – langkah prosedur pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan peralatan dan bahan
 - b. Menyiapkan lembar *checklist* parameter yang akan diukur
 - c. Memeriksa dan memastikan pembacaan alat ukur dapat berfungsi dengan baik
 - d. Memastikan pembangkit dalam kondisi beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME
 - e. Mencatat semua parameter pengukuran yang dibutuhkan bila pembangkit mencapai beban $>75\%$ kapasitas pembangkit.
 - f. Menyiapkan parameter operasi pembangkit saat dilakukanya *performance test* beban 75% kapasitas pembangkit dengan menggunakan batubara standar ASME
 - g. Menghitung nilai *SFC*, *heat rate*, serta nilai efisiensi termal pembangkit
 - h. Membandingkan nilai *SFC*, *heat rate*, dan efisiensi termal antara pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dengan pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara standar ASME
- ### 4. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara observasi langsung dilapangan dimana data-data yang dibutuhkan untuk setiap parameter diukur menggunakan berbagai alat ukur yang terpasang baik di lapangan maupun pada monitor di *control room* PLTU Tanjung balai Karimun 2x7 MW. Pencatatan data

dilakukan dengan terlebih dahulu memperhatikan pola operasi pembangkit. Bila daya keluaran pembangkit sudah stabil mencapai kapasitas $>75\%$, barulah pencatatan semua parameter dilaksanakan dengan frekuensi pencatatan setiap satu jam.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data penunjang lainnya yang diperoleh dari pihak Instansi seperti data nilai kalori batubara yang digunakan serta data-data *performance test* pembangkit pada beban 75% kapasitas pembangkit yang telah dilaksanakan oleh pihak instansi dengan menggunakan ukuran batubara sesuai standar ASME.

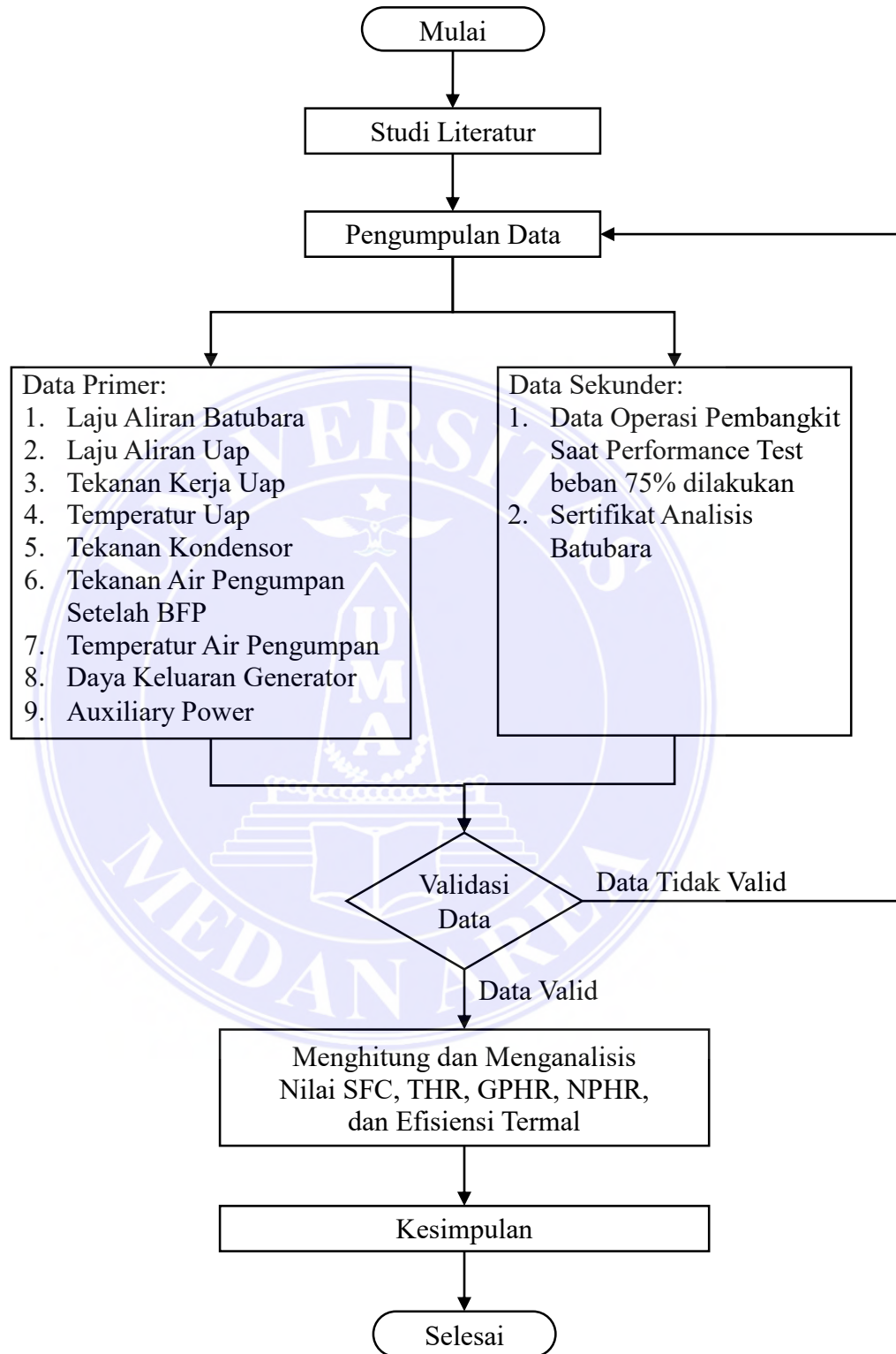
c. Analisis Data

Analisis data setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul adalah melakukan perhitungan terhadap parameter sebagai berikut:

- 1) *Specific Fuel Consumption (SFC)* menggunakan persamaan (2.1)
- 2) *Turbine Heat Rate (THR)* menggunakan persamaan (2.3)
- 3) *Gross Plant Heat Rate (GPHR)* menggunakan persamaan (2.4)
- 4) *Net Plant Heat Rate (NPHR)* menggunakan persamaan (2.9)
- 5) Efisiensi Termal Siklus dengan menggunakan persamaan (2.17)

Setelah semua perhitungan dilaksanakan selanjutnya dilakukan analisis dengan membandingkan hasil perhitungan data antara operasi PLTU dengan menggunakan ukuran batubara non-standar ASME dengan operasi pembangkit yang menggunakan ukuran batubara standar ASME, kemudian barulah ditarik kesimpulan.

D. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8. Diagram Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Untuk memproduksi daya sebesar 1 kW selama 1 jam, pembangkit saat beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME memiliki nilai SFC_{gross} dan SFC_{netto} secara berurut sebesar 26,80% dan 25,87% lebih tinggi dibandingkan dengan saat beroperasi menggunakan ukuran batubara sesuai ASME. Sehingga untuk memproduksi daya sebesar 1kWh pembangkit saat beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME membutuhkan batubara lebih banyak dibandingkan dengan saat beroperasi menggunakan ukuran batubara sesuai standar ASME.
2. Pembangkit saat beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME untuk memproduksi daya 1 kW selama 1 jam memiliki nilai THR , $GPHR$ dan $NPHR$ secara berurut sebesar 0,47%, 26,80% dan 25,87% lebih tinggi dibandingkan saat beroperasi menggunakan ukuran batubara sesuai standar ASME. Sehingga untuk memproduksi daya 1 kWh pembangkit yang beroperasi menggunakan ukuran batubara non-standar ASME menghabiskan energi lebih banyak dibandingkan dengan saat pembangkit beroperasi menggunakan batubara sesuai standar ASME.
3. Efisiensi thermal PLTU Tanjung Balai Karimun saat beroperasi menggunakan batubara non-standar ASME 4,34 % lebih kecil dibandingkan dengan saat pembangkit beroperasi dengan menggunakan batubara sesuai standar ASME.

B. Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik pembakaran antara operasi pembangkit saat menggunakan batubara non-standar ASME dengan operasi pembangkit saat menggunakan batubara sesuai standar ASME.
2. Pengambilan data operasi kedepannya dilakukan pada beban yang persis sama.
3. Dilakukan penelitian mengenai performa pembangkit terhadap beberapa variasi pembebanan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Mechanical Engineers, Recommended Guidelines for the Care of Power Boiler, New York: ASME, 2001.
- [2] ASTM D-388, Classification Coal by Rank, West Conshohocken: ASTM International, 2005.
- [3] A. Choiron, "CFD Modeling of Particle Size Effect on Stoker Coal Fired Boilers Combustion," Eastern European Journal of Enterprise Technologies, pp. 73-78, 2018.
- [4] I. M. Djokosetyardjo, Ketel Uap, Jakarta: Pradya Paramita, 1990.
- [5] Feriyanto, "Macam-Macam Boiler," 19 Maret 2015. [Online]. Available: <https://www.caesaevery.com/2015/03/macam-macam-boiler.html?m=1>. [Accessed 10 April 2020].
- [6] Thermodyne Engineering System, "What is the difference between a PC boiler and a CFB boiler," 21 Februari 2017. [Online]. Available: <https://www.brighthubengineering.com/power-plants/26547-how-does-a-circulating-fluidized-bed-boiler-work/>. [Accessed 10 April 2020].
- [7] H. Yudisaputro, "Jenis-jenis boiler," 18 Maret 2017. [Online]. Available: <https://berbagienergi.com/2017/03/18/jenis-jenis-boiler/>. [Accessed 10 April 2020].
- [8] M. I. Syahputera, D. M. Kamal and A. Ekayuliana, "Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Produksi Listrik," Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, no. ISSN 2085-2762, pp. 474-483, 2018.
- [9] Perusahaan Listrik Negara, Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas, Jakarta: PT PLN (Persero), 1989.
- [10] A. Aziz and A. R. Hasan, "Evaluasi Heat Rate dan Efisiensi Suatu PLTU Dengan Menggunakan Batubara Yang Berbeda Dari Spesifikasi Desain," Jurnal Energi dan Lingkungan, vol. 11, pp. 1-6, 2015.
- [11] Jamaludin and R. Pangestu, "Analisis Perhitungan Heat Rate Pada Turbin UAP Berdasarkan Performance Test Unit 1 di PT Indonesia Power Uboh UJP Banten 3 Lontar," Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang, vol. 2 No.1, no. P-ISSN : 259-5038, E-ISSN : 2580-4979, pp. 45-50, 2018.

- [12] N. A. Said, "Menghitung Plant Heat Rate PLTU," 12 Juni 2017. [Online]. Available: <https://www.pembangkitlistrik.com/menghitung-plant-heat-rate-pltu/>. [Accessed 4 April 2020].
- [13] ASME PTC 6-2004, Steam Turbine Performance Test Codes, 2004.
- [14] M. J. Moran and H. N. Shapiro, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 5th ed., West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [15] Y. A. Cengel and M. A. Boles, Thermodynamics An Engineering Approach, 4th ed., New York: Mc Graw-Hill, 2002.

Ridwan, M. (2018). Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 63-69. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1660>

Rizqi, R., & Hermanto, E. (2018). Analisa Dampak Lalu Lintas Rumah Hunian Distric-9 Apartemen Terhadap Kemacetan Lalu Lintas di Kota Medan. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 70-79. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1661>

Zahara, Z., & Lubis, M. (2018). Analisa Pemilihan Moda Transportasi Umum Rute Medan-Rantau Prapat dengan Metode Analytic Hierarchy Process. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 80-86. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1662>

Purba, R., Irwan, I., & Nurmaidah, N. (2018). Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Substitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 87-95. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1679>

Simanjuntak, M., Lubis, K., & Rangkuti, N. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Campuran Pasir Pantai terhadap Nilai CBR. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 96-104. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1680>

Rini, R., & Ardan, M. (2018). Analisa Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Arang Kayu. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION, 1(2), 105-111. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v1i2.1681>