

**ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI *BOILER* DENGAN
METODE *HEAT-LOSSES* PADA SAAT AWAL OPERASI DAN
SETELAH *OVERHAUL* DI PT.POMI PAITON**

SKRIPSI



Oleh

Yosua Martua Purba

H41160166

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2020**

**ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI *BOILER* DENGAN
METODE *HEAT-LOSSES* PADA SAAT AWAL OPERASI DAN
SETELAH *OVERHAUL* DI PT.POMI PAITON**

SKRIPSI



Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik
(S.Tr.T) di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Jurusan Teknik

Oleh :

YOSUA MARTUA PURBA

NIM H41160166

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2020**

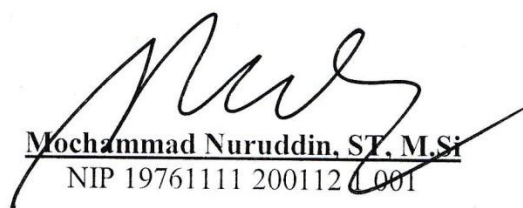
**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN
TINGGI POLITEKNIK NEGERI JEMBER**
**ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI *BOILER* DENGAN
METODE *HEAT-LOSSES* PADA SAAT AWAL OPERASI DAN
SETELAH *OVERHAUL* DI PT.POMI PAITON**

Nama : Yosua Martua Purba
NIM: H41160166


Telah diuji pada tanggal 21 September
Dan dinyatakan Memenuhi Syarat

Tim Penguji:


Ketua,


Mochammad Nuruddin, ST, M.Si
NIP 19761111 200112 001

Sekretaris,


Dr. Bayu Rudiyanto, S.T., M.Si
NIP. 197312212002121001

Anggota,


Risse Entikaria Rachmanita, S.Pd., M.Si
NIP. 19890214018032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik



Mochammad Nuruddin, ST, M.Si
NIP 197611112001121001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosua Martua Purba

NIM : H41160166

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Skripsi yang berjudul “Analisa perbandingan Efisiensi *Boiler* Dengan Metode *Heat-Losses* Pada Saat Awal Operasi dan Setelah *Overhaul* di PT.POMI Paiton” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir Laporan Skripsi.

Jember, 9 September 2020

Yosua Martua Purba

NIM H4116016



**PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Yosua Martua Purba
NIM : H41160166
Program Studi : Teknik Energi Terbarukan
Jurusan : Teknik

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non- Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah **berupa Laporan Skripsi saya yang berjudul :**

**ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI *BOILER* DENGAN
METODE *HEAT-LOSSES* PADA SAAT AWAL OPERASI DAN
SETELAH *OVERHAUL* DI PT.POMI PAITON**

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkalan Data (*Database*), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam Karya Ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Jember
Pada tanggal : 9 September 2020
Yang Menyatakan,

**Yosua Martua Purba
NIM. H41160166**

MOTTO

“Diberkatilah orang yang mengandalkan Tuhan, yang menaruh harapannya pada
Tuhan”

(Yeremia 17 : 7)

PERSEMBAHAN

Karya Tulis Ilmiah ini saya persembahkan kepada:

1. Orang tua saya tercinta Bapak Marudut Purba dan Ibu Roselli Siregar, terima kasih atas kasih sayang dan cintanya, dukungan baik moril maupun materil, serta doa yang tak henti dan pengorbanan yang tak terhingga. Putramu ini tak akan pernah bisa membalas seluruh keringat dan pengorbanan yang Bapak dan Ibu berikan.
2. Para staf pengajar Politeknik Negeri Jember khususnya Program Studi Teknik Energi Terbarukan yang telah memberika banyak ilmu dan pengetahuan serta nasehat yang sangat bermanfaat untuk penulis.
3. Almamaterku tercinta Politeknik Negeri Jember serta Negarku Indonesia

Analisa Perbandingan Efisiensi *Boiler* Dengan Metode *Heat-Losses* Pada Saat Awal Operasi Dan Setelah *Overhaul* Di PT. POMI Paiton

Mochammad Nuruddin sebagai dosen pembimbing

Yosua Martua Purba
Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik
Politeknik Negeri Jember

ABSTRAK

Nilai presentase kehilangan panas tertinggi dalam kondisi saat awal operasi dan sesudah *overhaul* didapat dari presentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya *hydrogen* dalam batubara yang nilainya pada saat awal operasi sebesar 4.207% dan sesudah *overhaul* sebesar 5.149%. Nilai presentase efisiensi *boiler* pada saat awal operasi tahun 2012 sebesar 87.257% dan pada saat sesudah *overhaul* sebesar 85.896%. kedua hasil efisiensi *boiler* ini mengalami penurunan sekitar 1.361%, penurunan efisiensi *boiler* ini diakibatkan karena pemenuhan kualitas batubara yang tidak tercapai. Upaya untuk meningkatkan efisiensi *boiler* ini adalah membersihkan kerak atau benda padat yang menempel pada dinding-dinding *boiler* ataupun yang ada di tabung-tabung *reheater* dan *superheater* serta memilih batubara dengan kualitas yang lebih baik dari batubara pada saat sesudah *overhaul*. Karena dengan kualitas batubara yang baik efisiensi *boiler* pun bisa stabil dan tetap menjaga performa kerja *boiler*.

Kata Kunci : *Overhaul*, Efisiensi, *Boiler*, *Heat Losses*.

Comparative Analysis of Boiler Efficiency With Heat – Losses Method During Initial Operation And After Overhaul At PT. POMI Paiton

Mokhammad Nuruddin *as a counselor*

Yosua Martua Purba
Renewable Energy Engineering Study Program
Engineering Departement
Politeknik Negeri Jember

ABSTRACT

The highest percentage value of heat loss in conditions during the initial operation and after the overhaul is obtained from the percentage of heat loss due to water evaporation which is formed due to the presence of hydrogen in coal which value at the beginning of operation is 4,207% and after the overhaul is 5,149%. The percentage value of boiler efficiency at the beginning of operation in 2012 was 87,257% and after the overhaul was 85,896%. The second result of this boiler efficiency has decreased by about 1,361%, the decrease in boiler efficiency is due to the unreachable fulfillment of coal quality. Efforts to increase the efficiency of this boiler are to clean the scale or solid objects attached to the boiler walls or those in the reheater and superheater tubes and choose coal with better quality than coal after the overhaul. Because with good quality coal the efficiency of the boiler can be stable and still maintain boiler work performance.

Keywords : Overhaul, Efficiency, Boiler, Heat Losses.

RINGKASAN

Analisa Perbandingan Efisiensi *Boiler* Dengan Metode *Heat-Losses* Pada Saat Awal Operasi dan Setelah *Overhaul* Di PT. POMI Paiton, Yosua Martua Purba, NIM H41160166, Tahun 2020, halaman 56, Teknik, Politeknik Negeri Jember, Mochammad Nuruddin, S.T., M.Si. (Pembimbing).

Pada prinsipnya PLTU merupakan suatu sistem konversi energi baik berupa energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar fosil maupun energi panas dari proses pembakaran yang pada akhirnya dihasilkan energi listrik dengan daya dan tegangan tertentu. Energi listrik inilah yang menjadi tujuan utama dari proses produksi di PLTU. Sedangkan proses konversi energy tersebut untuk menjadi energy listrik dilakukan secara bertahap. Dalam proses produksi listrik PLTU, peralatan utamanya adalah boiler, turbin, generator, transformator, dan alat-alat bantu (auxiliary). Energi listrik merupakan energi yang dibutuhkan masyarakat untuk menunjang kehidupan sehari – hari, selain masyarakat juga banyak perusahaan atau industri yang membutuhkan energi listrik dengan jumlah yang sangat besar. PT. Pomi (*Paiton Operations & Maintenance indonesia*) merupakan perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki tiga unit dengan kapasitas masing – masing 2 X 615 MW pada Unit 7 dan 8, serta 1 X 815 MW pada unit 3 yang berlokasi di Jl. Raya Surabaya – Situbondo Km. 141 Paiton, Kabupaten Probolinggo. PLTU PT. POMI menggunakan bahan bakar batu bara pada proses produksi listrik. Batu bara dalam PLTU mempunyai peranan yang sangatlah penting karena pada dasarnya untuk menghasilkan uap yang nanti digunakan untuk menggerakkan turbin dan gerakkan tersebut dikonversikan oleh generator untuk menghasilkan energi listrik.

Boiler adalah peralatan yang berfungsi merubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Pembangkit-pembangkit yang ada dituntut untuk andal didalam menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Keandalan tersebut dapat dicapai apabila semua komponen-komponen didalamnya mendukung dan

siap beroperasi. Salah satu peralatan atau sistem di PLTU untuk mendukung operasi tersebut adalah Boiler. Uap yang didapat dari boiler digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator.

Nilai presentase kehilangan panas tertinggi dalam kondisi saat awal operasi dan sesudah *overhaul* didapat dari presentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya *hydrogen* dalam batubara yang nilainya pada saat awal operasi sebesar 4.207% dan sesudah *overhaul* sebesar 5.149%. Nilai presentase efisiensi *boiler* pada saat awal operasi tahun 2012 sebesar 87.257% dan pada saat sesudah *overhaul* sebesar 85.896%. kedua hasil efisiensi *boiler* ini mengalami penurunan sekitar 1.361%, penurunan efisiensi *boiler* ini diakibatkan karena pemenuhan kualitas batubara yang tidak tercapai. Upaya untuk meningkatkan efisiensi *boiler* ini adalah membersihkan kerak atau benda padat yang menempel pada dinding-dinding *boiler* ataupun yang ada di tabung-tabung *reheater* dan *superheaters* serta memilih batubara dengan kualitas yang lebih baik dari batubara pada saat sesudah *overhaul*. Karena dengan kualitas batubara yang baik efisiensi *boiler* pun bisa stabil dan tetap menjaga performa kerja *boiler*.

PRAKATA

Segala puji dan syukur hanya bagi Tuhan Yesus, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi saya, dengan judul skripsi **“Analisa Perbandingan Efisiensi *Boiler* dengan metode *Heat-Losses* Pada Saat Awal Operasi dan Setelah *Overhaul* di PT.POMI Paiton”**.

Laporan skripsi ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) oleh mahasiswa Jurusan Teknik, Program Studi Teknik Energi Terbarukan. Penyusunan laporan ini banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

- a. Kedua orang tua, kakak, adik, dan keluarga besar Purba atas kasih sayang, doa dan dukungannya.
- b. Bapak Saiful Anwar, S.Tp, M.P selaku Direktur Politeknik Negeri Jember.
- c. Bapak Mochammad Nuruddin, S.T., M.Si selaku Ketua Jurusan Teknik dan
- d. Bapak Yuli Hananto, S.Tp,M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan dan Koordinator Tugas Akhir.
- e. Bapak Mochammad Nuruddin, S.T., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi bimbingan dan masukkan.
- f. Seluruh dosen maupun staf pengajar yang lain karena telah mengajarkan banyak memberikan ilmu serta membantu penulis dalam memahami materi kuliah semasa perkuliahan.
- g. Perusahaan PLTU PT.POMI Paiton Unit 3 serta Bapak Aris Prasetya selaku pembimbing lapang saya yang senantiasa membantu dalam pengambilan data skripsi saya.
- h. Teman seperjuangan mahasiswa D-IV Teknik Energi Terbarukan serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan maupun penulisan laporan ini.
- i. Squad Kontrakan Cowgan (Abidin, Arip, Awang, Fiqih, Irfandi, Riki, Rizal, Ulil, Wiko, Yosua) yang senantiasa memberikan keceriaan dan support dalam

proses pengerjaan skripsi saya. Serta Amalina yang memberi kasih sayang, dukungan, doa, dan kesabaran dengan kehidupan saya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan masukan, kritikan yang membangun dan dapat bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jember maupun bagi pembaca lainnya.

Jember, 9 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3

1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	4
2.1.1 Proses Kerja PLTU.....	6
2.1.2 Bagian – Bagian Utama PLTU.....	7
2.2 Boiler	8
2.2.1 Prinsip Kerja Boiler.....	10
2.2.2 <i>Fire Tube Boiler</i> (Katel Pipa Api).....	11
2.2.3 <i>Water Tube Boiler</i> (Katel Pipa Air)	12
2.3 Batubara	14
2.3.1 Klasifikasi Batubara.....	14
2.3.2 Karakteristik Batubara	17
2.4 Efisiensi Boiler.....	20
2.4.1 Metode Langsung.....	21
2.4.2 Metode Tidak Langsung (<i>Heat-Losses Method</i>).....	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Metode Penelitian.....	24
3.3 Pengumpulan Data.....	24
3.4 Analisis Data	25
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Deskripsi Data Kinerja Boiler PLTU PT. POMI Paiton.....	30
4.1.1 Analisa Unsur Kandungan Batubara PLTU PT. POMI Paiton	31

4.1.2	Analisa Presentase Kehilangan Panas PLTU PT. POMI Paiton	33
4.1.3	Analisis Efisiensi Boiler Sebelum dan Sesudah <i>Overhaul</i>	36
4.2	Upaya Meningkatkan Efisiensi Boiler Pada PLTU PT. POMI Paiton	38
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
	DAFTAR PUSTAKA	42
	LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Sistem Klasifikasi Batu Bara Menurut ASTM	15
4.1 Data Kinerja Boiler pada beban 100%	30
4.2 Unsur Kandungan Batubara	31
4.3 Data Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.2 Siklus T-s <i>Rankine</i> dengan pemanas lanjut dan pemanas ulang.....	5
2.3 Siklus PLTU Unit 3	6
2.4 <i>Boiler Building</i>	8
2.5 Diagram Sankey Boiler	10
2.6 Boiler Pipa Api	11
2.7 Cara Kerja <i>Fire Tube Boiler</i> (Katel Pipa Api).....	12
2.8 Boiler Pipa Air (<i>Water Tube Boiler</i>)	13
3.1 Diagram Alair Penelitian	29
4.4 Kandungan Unsur Batubara (%) PLTU PT.POMI Paiton.....	32
4.5 Unsur Kehilangan Panas <i>Boiler</i>	34
4.6 Diagram Sankey Efisiensi <i>Boiler</i> Awal Operasi	36
4.7 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Setelah <i>Overhaul</i>	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Pengolahan Data 2012.....	44
2. Pengolahan Data 2020.....	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada prinsipnya PLTU merupakan suatu sistem konversi energi baik berupa energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar fosil maupun energi panas dari proses pembakaran yang pada akhirnya dihasilkan energi listrik dengan daya dan tegangan tertentu. Energi listrik inilah yang menjadi tujuan utama dari proses produksi di PLTU. Sedangkan proses konversi energy tersebut untuk menjadi energy listrik dilakukan secara bertahap. Dalam proses produksi listrik PLTU, peralatan utamanya adalah boiler, turbin, generator, transformator, dan alat-alat bantu (*auxiliary*).

Energi listrik merupakan energi yang dibutuhkan masyarakat untuk menunjang kehidupan sehari – hari, selain masyarakat juga banyak perusahaan atau industri yang membutuhkan energi listrik dengan jumlah yang sangat besar. PT. Pomi (*Paiton Operations & Maintenance indonesia*) merupakan perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki tiga unit dengan kapasitas masing – masing 2 X 615 MW pada Unit 7 dan 8, serta 1 X 815 MW pada unit 3 yang berlokasi di Jl. Raya Surabaya – Situbondo Km. 141 Paiton, Kabupaten Probolinggo. PLTU PT. POMI menggunakan bahan bakar batu bara pada proses produksi listrik. Batu bara dalam PLTU mempunyai peranan yang sangatlah penting karena pada dasarnya untuk menghasilkan uap yang nanti digunakan untuk menggerakkan turbin dan gerakan tersebut dikonversikan oleh generator untuk menghasilkan energi listrik.

Nurhasanah dan Firdaus (2018) menyatakan boiler adalah peralatan yang berfungsi merubah air menjadi uap dengan cara dipanaskan. Pembangkit-pembangkit yang ada dituntut untuk andal didalam menyediakan energi listrik yang dibutuhkan oleh konsumen. Keandalan tersebut dapat dicapai apabila semua komponen-komponen didalamnya mendukung dan siap beroperasi. Salah satu peralatan atau sistem di PLTU untuk mendukung operasi tersebut adalah Boiler.

Uap yang didapat dari boiler digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator.

Ketel uap (boiler) terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper untuk mengubah air menjadi uap. Air dalam siklus kerja PLTU mengalami proses-proses pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi. Siklus tersebut dikenal sebagai Siklus Rankine.

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar yang menghasilkan kalor. Pembakaran yang sempurna akan dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar. Akan tetapi pada kenyataannya pembakaran sempurna dengan efisiensi 100% sangat sulit tercapai akibat kerugian (loss) pada instrumen pendukung.

Cara untuk menaikkan efisiensi adalah mengurangi kerugian-kerugian pada boiler itu sendiri, yaitu : Kerugian kalor dicerobong, kerugian kalor akibat adanya radiasi panas ke lingkungan, kerugian kalor untuk menguapkan kandungan air dalam bahan bakar dan kerugian kalor akibat pembakaran tidak sempurna (Nurhasanah dan Firdaus, 2018).

Penelitian yang dilakukan menganalisis efisiensi boiler metode heat-losses dengan sumber data diperoleh dari PLTU suatu perusahaan yang menggunakan batu bara dan mengetahui faktor penyebab menurunnya efisiensi pada boiler.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai kehilangan panas dari *boiler* disaat awal operasi dan sesudah *overhaul* pada PLTU PT. POMI Paiton unit 3 ?
2. Bagaimana nilai efisiensi dari *boiler* disaat awal operasi dan sesudah di *overhaul* pada PLTU di PT.POMI Paiton unit 3 ?
3. Bagaimana upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai efisiensi pada *boiler* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang diharapkan oleh peneliti dari penelitian ini antara lain:

1. Melakukan analisis efisiensi pada *boiler* untuk mengetahui nilai kehilangan panas yang ada pada *boiler*.
2. Melakukan analisis pada *boiler* untuk mengetahui nilai efisiensi *boiler*.
3. Memberikan saran-saran sebagai upaya atau untuk mengurangi kerugian efisiensi di *boiler* pada sistem pembangkit listrik tenaga uap.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini bagi peneliti, khalayak umum maupun mahasiswa antara lain:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai analisis efisiensi *boiler* pada sistem pembangkit listrik tenaga uap.
2. Dapat dijadikan bahan rujukan untuk peneliti selanjutnya.
3. Sebagai sumber informasi mengenai besar, letak dan penyebab terjadinya *losses* energi pada sistem PLTU serta upaya-upaya yang dapat ditempuh untuk memperbaiki sistem tersebut, sehingga diharapkan dengan perbaikan sistem ini akan meningkatkan performa sistem PLTU dan memberikan keuntungan dari aspek finansial serta mempertahankan *reliability* dari pembangkit itu sendiri.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yang merupakan asumsi umum dari keadaan PLTU PT.POMI Jawa Timur yaitu:

1. Penelitian hanya dilakukan pada salah satu unit di PLTU PT.POMI Paiton.
2. Penelitian difokuskan pada analisis efisiensi boiler dari sistem PLTU.
3. Penelitian hanya menggunakan data sheet dari perusahaan pada saat awal operasi dan setelah *overhaul* di PLTU PT.POMI.

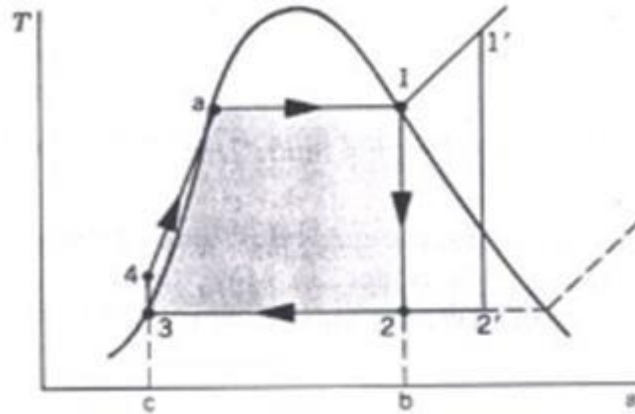
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Secara umum, pengertian pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Uap merupakan sumber energi sekunder di dalam sistem PLTU, sedangkan bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi uap tersebut merupakan sumber energi primer. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Bahan bakar yang umum digunakan pada PLTU adalah bahan bakar padat dan bahan bakar cair (Nurmalita,2012).

Sebuah pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara jika dilihat dari bahan baku untuk memproduksinya maka pembangkit listrik tenaga uap bisa dikatakan pembangkit yang berbahan baku air, karena untuk menghasilkan uap dalam jumlah tertentu diperlukan bahan dasar air. Namun PLTU sendiri sering diasosiasikan dengan pembangkit listrikberbahan batubara. Apalagi didunia dan Indonesia, batubara diputuskan sebagai bahan yang paling ekonomis untuk PLTU.

Siklus rankine adalah salah satu ilmu termodinamika yang dipakai pada PLTU. Siklus rankine nyata yang digunakan dalam pembangkitan daya lebih rumit dari pada yang asli. Adapun siklus rankine yang nyata digunakan dewasa ini sudah mengandung beberapa modifikasi dan tambahan yang sifatnya menaikkan efisiensi (Nurhasanah dan Firdaus, 2018).



Gambar 2.1 Siklus T-s Rankine dengan pemanas lanjut dan pemanas ulang (Nurhasanah dan Firdaus, 2018)

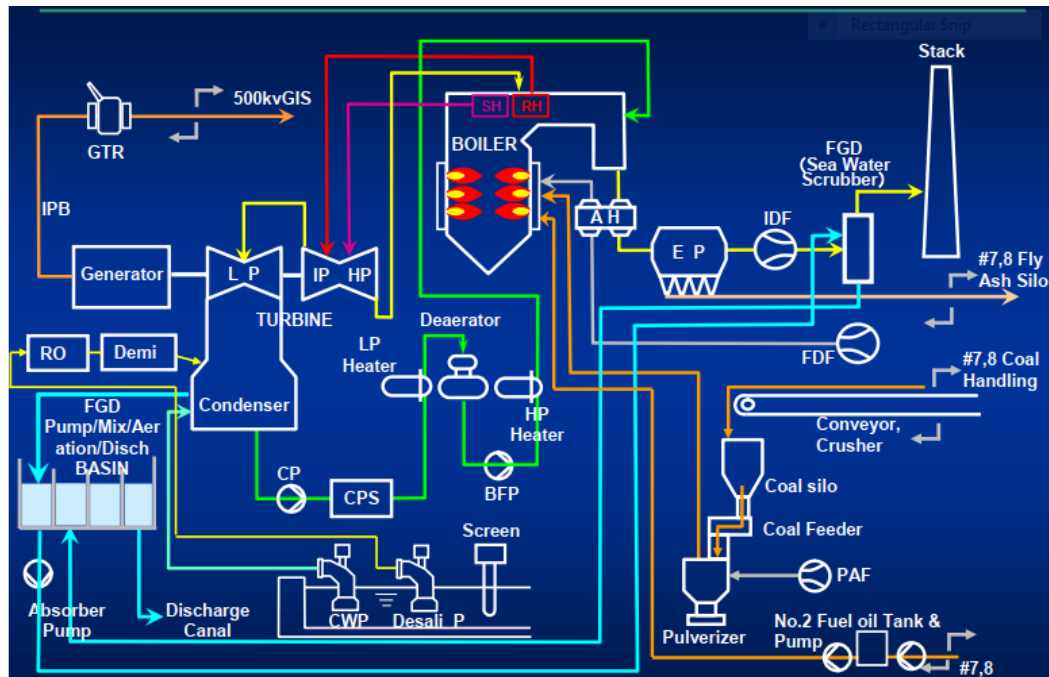
Berikut ini adalah penjelasan tentang siklus diatas :

- Proses 1-2 : ekspansi isentropik fluida kerja pada turbin dari uap jenuh pada keadaan 1 ke tekanan kondensor.
- Proses 2-3 : perpindahan kalor dari fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor dengan cairan jenuh pada keadaan 3.
- Proses 3-4 : kompresi isentropik didalam pompa ke keadaan 4 di daerah cairan terkompresi.
- Proses 4-1 : perpindahan kalor ke fluida kerja ketika mengalir pada tekanan konstan melalui boiler untuk menyelesaikan siklus.

PLTU PT.POMI Unit 3 sudah beroperasi sejak tahun 2012. Unit ini tergolong muda sehingga unjuk kerja dari unit ini masih berjalan dengan baik. Dilihat dari komponen-komponen yang ada pada unit ini masih kondisi baik hanya saja sering terjadi trip dikarenakan kegiatan *routine preventive maintenance* kurang diperhatikan. Dengan kondisi ini maka diperlukan kegiatan *overhaul* pada unit ini lebih tepatnya pada komponen *boiler*. Agar nantinya dengan kegiatan ini, unjuk kerja atau performa kerja *boiler* mengalami peningkatan. Dan kerja *boiler* pun bisa berjalan dengan baik dan stabil.

2.1.1 Proses Kerja PLTU

Adapun juga prinsip kerja PLTU adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batu Bara

Sumber : (PT. POMI, 2012)

a. Proses Menghasilkan Uap

Tangki boiler diisi dengan air atau cairan lainnya. Kemudian dilakukan proses pemanasan dengan energi primer yang dipilih, bisa batubara atau energi primer lainnya. Pemanasan dilakukan untuk menghasilkan uap yang diinginkan.

b. Proses Konversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik

Uap hasil dari proses produksi uap, dengan tekanan dan temperatur tertentu dialirkan ke turbin. Uap terus dialirkan sehingga mampu menggerakkan turbin. Disinilah terjadi proses konversi menjadi energi mekanik.

c. Proses Konversi Energi Mekanik Menjadi Energi Listrik

As turbin yang dihubungkan langsung kepada as generator berputar. Di dalam generator, perputaran medan magnet dalam kumparan dapat

menghasilkan listrik yang kemudian dialirkan ke terminal output generator.

d. Proses Kondensasi

Uap bekas penggerak turbin masuk ke pendingin atau kondensor untuk menghasilkan air yang disebut air kondensat. Pendinginan dapat menggunakan air dingin yang didapat dari air laut. Dibutuhkan air dalam jumlah besar agar proses pendinginan dapat terjadi secara efektif. Air kondensat ini kemudian digunakan lagi untuk mengisi boiler. Setelah semua proses selesai, maka prosesnya kembali ke tahap proses awal. Begitulah prinsip kerja dan siklus PLTU yang terus terjadi secara berulang (Putra, 2017).

2.1.2 Bagian-Bagian Utama PLTU

Menurut Putra (2017) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) terdiri dari beberapa sistem utama yaitu boiler yang dilengkapi tungku pembakaran, turbin, kondensor, dan generator. Berikut adalah penjelasan fungsi dari beberapa sistem utama PLTU sebagai berikut :

1. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (feed water) menjadi uap panas lanjut (superheated steam) yang akan digunakan untuk memutar turbin.

2. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar, generator juga ikut berputar.

3. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan uap bekas dari turbin (uap yang telah digunakan untuk memutar turbin).

4. Generator

Generator merupakan mesin yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator dibagi menjadi dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak – balik , sedangkan rotor adalah menghasilkan medan magnet yang menginduksi ke stator. Medan magnet rotor dihasilkan oleh kumparan yang diberikan tegangan DC atau biasa disebut dengan eksitasi.

2.2 Boiler

Menurut Pravitasari dkk (2017) boiler adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper untuk mengubah air menjadi uap.



Gambar 2.3 Boiler Building

Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan

bakar. Muzaki dan Mursadin (2019) menyatakan boiler memiliki 2 komponen utama, yaitu :

- a. Furnace (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- b. Steam Drum yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas).

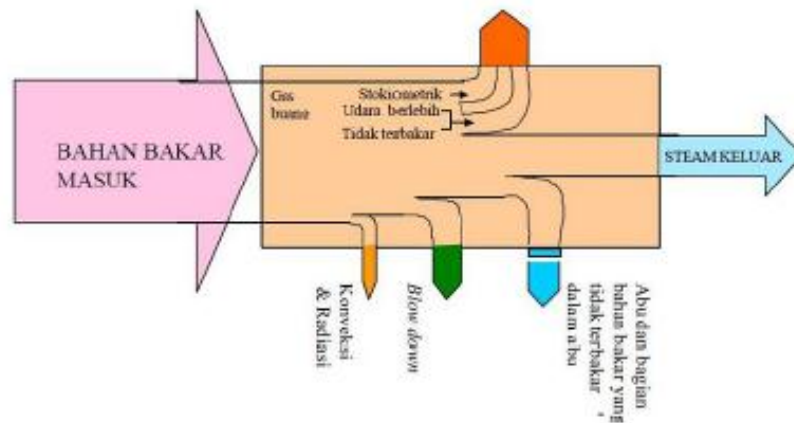
Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklarifikasikan ketel steam tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

Syarat-syarat boiler yang ideal,yaitu :

1. Dapat menghasilkan jumlah uap yang maksimum dengan jumlah bahan bakar yang minimum.
2. Kapasitas uap dan tekanan kerja harus konstan.
3. Perangkat pembakaran mampu membakar unsur-unsur bahan bakar secara sempurna sehingga didapat hasil yang optimal.
4. Sirkulasi air harus baik agar diperoleh suhu yang merata pada seluruh bagian ketel, maka penyerapan kalor oleh air lebih efektif.
5. Konstruksi ketel sederhana, sehingga biaya pembuatan, operasi dan perawatan lebih ekonomis dan hemat tempat.
6. Alat-alat perlengkapan ketel harus harus berfungsi dengan baik sehingga ketel dapat beroperasi dengan baik dan aman.

2.2.1 Prinsip Kerja Boiler

Pada Gambar 2.3 panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing serta memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi pada boiler.



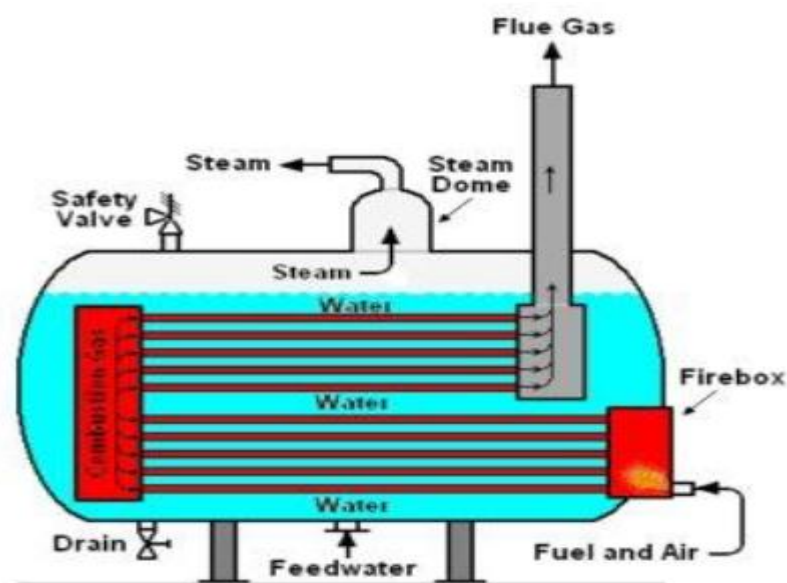
Gambar 2.4 Diagram Sankey Boiler
Sumber : (Hendri dkk, 2017)

Energi yang masuk boiler merupakan energi yang berasal dari bahan bakar, ada beberapa energi yang hilang selama proses pembakaran. Dengan diagram Sankey dapat diidentifikasi kehilangan panas karena gas buang, kehilangan panas karena uap dalam gas buang, kehilangan panas karena kandungan air dalam bahan bakar, kehilangan panas karena kandungan air dalam udara, kehilangan panas karena bahan bakar belum terbakar, kehilangan panas karena radiasi dan konveksi.

Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi boiler dengan metode tak langsung (heatlosses) dapat membantu menemukan penyimpangan inefisiensi boiler (Hendri dkk, 2017).

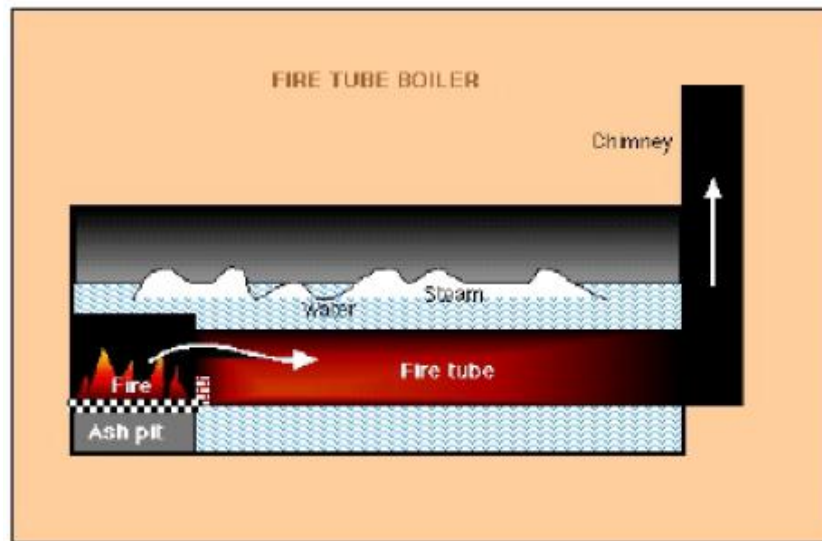
2.2.2 Fire Tube Boiler (Ketel Pipa Api)

Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa-pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa-pipa air tersebut (Muzaki dan Mursadin, 2019).



Gambar 2.5 Boiler Pipa Api
Sumber : Sugiharto, 2016

Fire tube boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Fire tube boiler kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 Kg/jam dengan tekanan sampai 18 Kg/cm². Fire tube boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar fire tube boiler dikonstruksi sebagai paket boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



Gambar 2.6 Cara Kerja *Fire Tube Boiler* (Ketel Pipa Api)
 Sumber : Nurmalita, 2012

Keuntungan boiler pipa api, yaitu :

1. Tidak membutuhkan air isian boiler dengan kualitas yang tinggi.
2. Konstruksi sederhana sehingga perawatan lebih mudah.
3. Endapan lumpur lebih mudah dibersihkan.

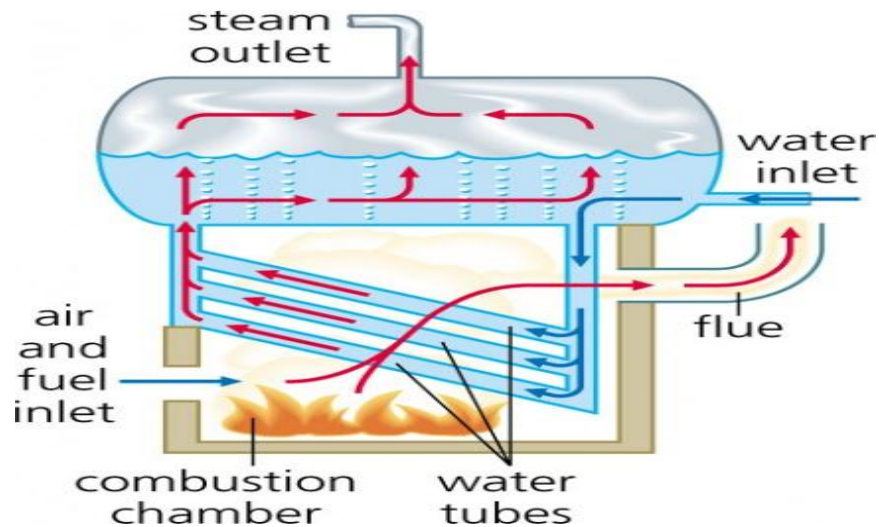
Kelemahan boiler pipa api, yaitu :

1. Pemanasan awal membutuhkan waktu lama.
2. Tekanan uap yang dihasilkan rendah.
3. Kapasitas uap yang dihasilkan kecil

2.2.3 *Water Tube Boiler* (Ketel Pipa Air)

Menurut Sugiharto (2016) boiler pipa air (*Water Tube Boiler*) adalah boiler yang biasanya menghasilkan uap dengan tekanan dan kapasitas yang besar. Boiler jenis ini adalah boiler yang peredaran airnya terjadi didalam pipa-pipa yang dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar susunan pipa. Kontruksi pipa-pipa yang dipasang didalam boiler dapat berbentuk lurus (*Straight Tube*) dan juga dapat berbentuk pengkolan/pipa bengkok (*Bend Tube*) tergantung dari jenis

boilernya. Pipa-pipa yang lurus dipasang secara paralel didalam boiler dihubungkan dengan Header, kemudian Header tersebut dihubungkan dengan bejana uap yang dipasang secara horizontal diatas susunan pipa.



Gambar 2.7 Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)
Sumber : Muzaki dan Mursadin, 2019

Pada *water tube* boiler, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. *Water tube* boiler yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500-12.000 Kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak water tube boiler yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak dan gas. Untuk water tube boiler yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket (Nurmalita, 2012).

Keuntungan boiler pipa air, yaitu :

1. Sanggup bekerja dengan tekanan tinggi.
2. Berat boiler yang relatif ringan.
3. Kapasitas yang besar.

4. Dapat dioperasikan dengan cepat, jadi dalam waktu yang singkat telah dapat memproduksi uap.

Kelemahan dari boiler pipa air, yaitu :

1. Kontruksi boiler sudah tidak sederhana lagi, sehingga perawatan lebih sulit dilakukan.
2. Menuntut air isian harus selalu bersih, agar tidak terjadi pembentukan batu ketel.
3. Perencanaan lebih sulit sehingga harganya mahal.

2.3 Batubara

Batu bara adalah sisa tumbuhan dari jaman prasejarah yang berubah bentuk yang awalnya berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Penimbunan lanau dan sedimen lainnya bersama dengan pergeseran kerak bumi (yang dikenal sebagai pergeseran tektonik) mengubur rawa dan gambut yang sering kali sampai ke kedalaman yang sangat dalam. Dengan penimbunan tersebut, material tumbuhan tersebut terkena suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang tinggi tersebut menyebabkan tumbuhan tersebut mengalami proses perubahan fisika dan kimiawi dan mengubah tumbuhan tersebut menjadi gambut dan kemudian menjadi batu bara (Sukandi dkk, 2018 dalam Sinambela, 2008).

Batubara tidak terbentuk dari campuran homogen unsur – unsur kima seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S), nitrogen (N) maupun unsur – unsur minor lainnya, namun terdiri dari maseral organik dan kristal mineral anorganik. Maseral organik yang dimiliki batu bara diantaranya adalah vitinit, lipinit dan inertinit, sedangkan untuk kristal mineral anorganik seperti kaolin, clay, pyrite dan calcie (Cahyadi, *Ed*).

2.3.1 Klasifikasi Batu Bara

Menurut Cahyadi (*Ed*) pengklasifikasian batu bara didasarkan pada umur geologi, kandungan petrografis, sifatnya terhadap pelarut atau bahan kimia tertentu, kemamouan untuk teroksidasi, sifat cooking, nilai kalor maupun

kombinasi beberapa sifat . Beberapa negara lain adalah ASTM (*American Society of Testing and Materials*), *the national Coal Board of The United Kingdom*, ISO (*International Organization for Standardization*), JIS (*Japan Industrial Standart*) dan AFNOR (*the Association Francaise de Normalisation*). Berikut merupakan contoh pengklasifikasian batu bara berdasarkan standar ASTM, pada standar ini dilakukan pengklasifikasian berdasarkan level karbon tetap dan nilai kalor.

Tabel 2.5 Sistem Klasifikasi Batu bara Menurut ASTM

Class	Group	Batas Fixed Carbon (FC) (%) (dry mineral matter free)		Batas Volatile Matter (VM) (%) (dry mineral matter free)		Batas Nilai kalor (MJ/kg) (moist, mineral matter free)	
		Sama atau lebih besar dari	Kurang dari	Lebih besar dari	Sama atau lebih besar dari	Sama atau lebih besar dari	Kurang dari
I. Antrasit	Meta Antrasit	98			2		
	Antrasit	92					
	Semi Antrasit	86					
II. Bituminus	Low Volatile Bituminus	78	86	14	22		
	Medium Volatile Bituminus	69	78	22	31		
	High Volatile A Bituminus		69	31		32,6	
	High Volatile B Bituminus					30,2	32,6
	High Volatile C Bituminus					26,7	30,2
III. Sub-Bituminus	Subbituminus A					24,4	26,7
	Subbituminus B					22,1	24,4
	Subbituminus C					19,3	22,1
IV. Lignit	Lignit A					14,7	19,3
	Lignit B						14,7

Sumber : ASTM, 2009

1. Peat/Gambut

Gambut atau Peat merupakan tahapan awal pembentukan batu bara yang memiliki kandungan air yang sangat tinggi sehingga nilai kalornya rendah. Pada fase ini batu bara yang terbentuk gambut masih berwarna kuning hingga kecoklatan yang heterogen. Hal ini dipengaruhi oleh tingkatan proses dekomposisi yang terjadi saat pembentukan gambut.

2. Lignit

Batu bara lignit merupakan batubara level rendah yang memiliki kandungan air dan zat terbang (*volatile matter*) yang tinggi, tetapi memiliki nilai kalorinya terendah. Batu bara jenis ini biasanya lunak dan mempunyai warna kecoklatan yang sering kali mengandung bagian – bagian tanaman yang mudah dikenali dari struktur selnya. Karena kandungan zat terbangnya yang lebih tinggi, lignit sangat mudah terbakar dan sering terjadi pembakaran spontan pada penyimpanan dan pengapalannya. Kandungan air yang tinggi menyebabkan transportasi jarak jauh tidaklah ekonomis.

3. Sub – bituminus

Sub – bituminus merupakan batu bara tingkat menengah, batu bara jenis ini sudah tidak memiliki sifat kayu lagi dan berwarna hitam kecoklatan sampai hitam. Batu bara ini memiliki kecenderungan merapuh bila diekspos ke udara dan terjadi pembakaran spontan seperti lignit.

4. Bituminus

Peringkat batu bara bituminus ini merupakan batu bara yang memiliki nilai kalor yang tertinggi. Batu bara jenis ini banyak digunakan sebagai bahan bakar PLTU. Batu bara bituminus memiliki karakteristik lain yaitu bila dipanaskan menjadi massa yang kohesif, mengikat dan melekat dengan warna hitam yang mengkilat dan menunjukkan sifat *caking* dan *agglomerating*, sehingga cocok untuk bahan baku pembuatan kokas bagi industri besi baja.

5. Antrasit

Batu bara antrasit adalah batu bara yang tertinggi dan memiliki kandungan zat terbang yang rendah, sebagian partikelnya berupa karbon tetap sehingga berwarna hitam kemilau. Antrasit memiliki struktur paling padat dan

homogen sehingga menjadi getas. Batu bara jenis ini digunakan untuk pemanas rumah, kokas maupun untuk memproduksi gas.

2.3.2 Karakteristik Batu Bara

Menurut Cahyadi (ed) sifat karakteristik batu bara dapat dibedakan menjadi enam, yaitu :

1. Sifat Kimia

Sifat kimia yang dimiliki oleh batu bara dapat diperoleh dengan menggunakan analisa proksimat dan analisa ultimat.

a. Analisa Proksimat

Pada analisa proksimat sifat kimia yang didapatkan batu bara berupa kandungan air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), presentase abu atau kadar abu, karbon tetapnya (*fixed carbon*) sehingga dapat digubakan untuk mengevaluasi sifat reaktivitas penyalaan dan pembakaran batu bara, basis data dalam perancangan boiler dan pengklasifikasian batu bara.

b. Analisa Ultimat

Analisa ultimat, sifat kimia batu bara yang diperoleh diantaranya adalah kadar unsur – unsur karbon, hidrogen, nitrogen dan sulfur sehingga dapat dilakukan perhitungan kebutuhan udara minimum untuk dapat terbakar sempurna, perhitungan presentase udara lebih (*percentage of exces air*), perhitungan konsentrasi gas buang termasuk polutan oksida sulfur dan nitrogen, perhitungan rasio atom oksigen dan karbon, rasio atom hidrogen dan karbon.

Selain dua metode di atas dapat dilakukan penentuan bentuk sulfur yai penentuan kandungan sulfur dalam batu bara yang terikat dalam struktur molekul organik dan non organiknya. Selain itu reaktivitas batu bara dapat diukur dengan menggunakan alat termogravimetri sehingga dapat diperoleh profil pembakaran atau *burning profile* batu bara yang dibakar.

2. Sifat Fisis

Sifat fisis yang dimiliki batu bara dapat diuraikan seperti dibawah ini :

- a. Berat jenis, pengukurannya dapat dilakukan dengan piknometer cairan atau gas helium. Berat jenis ini digunakan sebagai parameter untuk menentukan ukuran penyipanan batu bara maupun perkiraan jumlah cadangan batu bara pada tambang.
- b. Porositas, merupakan perbandingan volume pori batu bara terhadap volume total batu bara.
- c. Struktur pori atau distribusi ukuran (diameter) pori luas permukaan, yaitu luas permukaan batu bara untuk setiap satuan beratnya dengan penyerapan gas nitrogen.
- d. Reflektivitas, merupakan analisa petrografi untuk menentukan kandunganvinitrit batu bara.

3. Sifat Mekanis

Sifat mekanis yang dimiliki oleh batu bara dapat diuraikan seperti dibawah ini :

- a. *Grindability*, ditunjukkan oleh *hardgrove indeks* yaitu pengukuran empiris kerja yang dibutuhkan untuk menghancurkan batu bara yang telah dikeringkan menjadi berukuran 200 mesh pada penggiling dengan putaran 60rpm. Nilai *indeks hardgrove* yang tinggi menunjukkan kebutuhan kerja yang kecil. Data ini penting dalam persiapan penggilingan batu bara.
- b. *Friabilty*, meliputi tumbler test dan drop shatter test kekuatan, yaitu spesifikasi kekuatan kompresibilitas dalam psi.
- c. *dustiness indeks*, yaitu jumlah debu yang dihasilkan bila batu bara diperkalkukan dengan cara standart.
- d. *Hardness/abrasiveness* atau kekerasan diukur dengan *Vickers Hardness Number* dan sifat abrasi batu bara.
- e. *Elastisitas*, yaitu kualitas batu bara dalm mempertahankan bentuknya setelah terjadi deformasi.

4. Sifat Termal

Sifat termal yang dimiliki oleh batu bara dapat diuraikan seperti di bawah ini :

- a. Nilai kalor, pengukuran nilai kalor dilakukan dengan pembakaran dalam kalorimeter. Penelitian yang dilakukan *Institute of Gas Technology* terhadap berbagai jenis batu bara menghasilkan rumus empiris yang menghubungkan nilai kalor dan presentase unsur – unsur pada analisa ultimat yaitu :

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3417C + 1.3221H + 0.1232S - 0.0153A - 0.1198(O+N)$$

Dimana C, H, S, A, O, N masing – masing adalah persen berat kering dari karbon, hidrogen, sulfur, abu, oksigen dan nitrogen pada analisa ultimat. Data nilai kalor batu bara berguna untuk menghitung kebutuhan laju alir batu bara bila diinginkan pengoprasian boiler pada kapasitas panas tertentu.

- b. Kapasitas panas, berguna untuk melihat sifat penyalaan batu bara (temperatur penyalaan).
- c. Indeks swelling, untuk mengukur kecenderungan batu bara untuk membengkak akibat kebakaran. Makin tinggi indeks swelling makin cenderung pembakaran tidak sempurna terjadi. Hal ini dikarenakan pelelehan abu yang menutupi permukaan partikel batu bara, sementara pada kondisi temperatur tinggi terjadi pelepasan zat terbang pada bagian dalam partikel batu bara sehingga partikel batu bara menggelembung.
- d. Konduktivitas panas berguna untuk melihat waktu penyalaan batu bara.
- e. Plastisitas, yaitu sifat perubahan batu bara terhadap pemanasan dan sifat caking batu bara diukur.
- f. Indeks Agglomerasi atau pengumpulan didasarkan oleh sifat residu dari 1 gram sample batu bara bila dipanaskan pada 950°C yang diukur dengan Roga Indeks.

5. Sifat Elektrik

Sifat elektrik yang dimiliki oleh batu bara dapat diuraikan seperti di bawah ini :

- a. Resistivitas Elektrik, resistivitas ini di ukur dalam satuan Ohm-cm. Resistivitas abu batu bara perlu diketahui dalam mendisain dan mengevaluasi alat kontrol polusi partikulat elektrostatik presipitator (ESP).
- b. Konstranta Dielektrik, melakukan dengan pengukuran kemampuan polarisasi elektrositas batu bara.
- c. Sifat Magnetik Batu Bara, meliputi sifat diamagnetik, ferromagnetik.

6. Sifat Abu

Sifat abu yang dimiliki oleh batu bara dapat diuraikan dengan analisa abu seperti di bawah ini:

- a. Analisa oksida logam dengan elemen abu yang mayoritas terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 .
- b. Analisa Mineralogi, analisa kandungan mineral dalam bentuk senyawa Kristal.
- c. *Ash Fussibility*, temperatur leleh abu batu bara yang di unukr dengan menentukan temperatur deformasi awal (IDT), temperatur pelunakan (ST) dan temperatur fluida (FT).
- d. Karakteristik *Slagging* dan *Fouling* adalah karakteristik batu bara membentuk deposit abu dan kerak pada pipa dan dinding boiler yang di pengaruhi oleh oksida logam dan abu batu bara.

2.4 Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah prestasi kerja atau tingkat untuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar (Rizal, 2019).

Untuk menentukan efisiensi boiler terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler yaitu metode langsung (*Input-Output*) dan metode tidak langsung (*Heat-Losses*).

2.4.1 Metode Langsung

Metode langsung adalah energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler (Nurhasanah dan Firdaus, 2018). Metode ini dikenal juga sebagai metode *input-output* karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{\sum E_{out}}{\sum E_{in}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{W_s \times h_{g \text{ main steam}} - h_{f \text{ feed water}}}{W_f \times HHV} \times 100\% \dots \dots \dots 2.1$$

Keterangan :

W_s	: Kapasitas Produksi Uap	(kg/h)
$h_{main \text{ steam}}$: Entalpi uap	(kkal/kg)
$h_{feed \text{ water}}$: Entalpi feedwater	(kkal/kg)
W_f	: Konsumsi Bahan Bakar	(kg/h)
HHV	: Nilai Kalor Pembakaran	(kkal/kg)

1. Keuntungan metode langsung (Input-Output Methode)

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler.
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan.
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan.

- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*.
2. Kerugian metode langsung
- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah.
 - Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi.

2.4.2 Metode Tidak Langsung (Heat-losses Methode)

Efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk (Nurhasanah dan Firdaus, 2018). Metodologi standar acuan untuk uji boiler dengan menggunakan metode tidak langsung adalah British Standard, BS 845:1987 dan USA Standard ASME PTC-4-1 *Power Test Code Steam Generating Units* (Nurmalita, 2012).

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7) \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh :

- L1 = Gas cerobong yang kering.
- L2 = Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar.
- L3 = Penguapan kadar air dalam bahan bakar.
- L4 = Adanya kadar air dalam udara pembakaran.
- L5 = Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/*fly ash*.
- L6 = Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/*bottom ash*.
- L7 = Radiasi dan kehilangan lain yang tidak dihitung.

Metode tidak langsung juga disebut metode kehilangan panas. Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh

pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan (Nurmalita,2012).

1. Keuntungan metode tidak langsung :

Dapat diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi boiler.

2. Kerugian metode tidak langsung :

- Perlu waktu lama.
- Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di PLTU PT. *Paiton Operation and Maintenance Indonesia* (POMI) Jawa Timur Kec. Paiton, Kab. Probolinggo, Jawa Timur. Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah 3 bulan dari bulan Februari sampai dengan bulan April 2020.

3.2 Metode Penelitian

Metodologi penelitian merupakan rangkaian kegiatan ilmiah dalam rangka pemecahan suatu masalah (Simanjuntak, 2014). Fungsi penelitian ini adalah mencari penjelasan dan jawaban terhadap permasalahan serta memberikan alternatif bagi kemungkinan yang dapat digunakan untuk pemecahan masalah. Dengan demikian penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif dan pendekatan kuantitatif. Menurut Suryana (2010), metode penelitian deskriptif adalah metode yang digunakan untuk mencari karakteristik suatu fenomena, sedangkan pendekatan kuantitatif memiliki data-data berupa angka dan biasanya disajikan secara statistik.

3.3 Pengumpulan Data

Menurut Muzaki dan Mursadin (2019), pengumpulan data merupakan cara untuk mendapatkan data yang diperlukan. Proses pengumpulan data memiliki prinsip, yaitu kelengkapan data, ketetapan data (seperti jenis data, kegunaan data, waktu pengumpulan data, dan relevansi data). Data yang baik memiliki sifat, yaitu objektif, relevan, terkini dan representatif. Pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini melalui beberapa metode, antara lain :

- a. Metode wawancara (interview)

Metode wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan pertukaran informasi dan ide melalui kegiatan tanya jawab (wawancara) secara langsung dari pihak pekerja instansi/perusahaan untuk memperoleh informasi atau data yang diperlukan.

a. Metode pengamatan (observation)

Metode pengamatan adalah teknik pengumpulan data dengan cara mensurvey langsung ke lokasi dari objek yang diteliti. Sehingga mendapat data-data yang diperlukan.

b. Metode dokumentasi

Metode dokumentasi adalah teknik pengumpulan data meyelidiki dokumen tertulis melalui beberapa referensi buku diberbagai tempat dan sumber-sumber yang ada kaitannya dengan objek yang diteliti yang nantinya berguna untuk mengembangkan hasil observasi dan dan wawancara.

3.4 Analisis Data

Analisis/pengolahan data adalah teknik yang digunakan oleh peneliti untuk memproses data menjadi informasi yang dapat digunakan untuk menjawab masalah yang telah dirumuskan. Terdapat tiga tahapan utama dalam menganalisis data yaitu persiapan, penyajian, dan penerapan data.

3.4.1 Tahap Pendahuluan

Pendahuluan adalah tahap awal dimana data dipersiapkan sesuai kebutuhan analisis yang dilakukan, diperiksa kembali, dan dilakukan identifikasi awal supaya lebih mudah dianalisis. Pada tahap ini dilakukan pengelompokkan sumber data yang diperlukan seperti kondisi dan pola produksi steam pada boiler.

3.4.2 Perhitungan Data

Data yang didapat menjadi informasi melalui simulasi dan perhitungan menggunakan panduan USA Standard ASME PTC-4-1 *Power Test Code Steam Generating Units*. Metodologi ini agar mendapat data-data yang dibutuhkan dan

menentukan nilai-nilai yang diperlukan. Data yang diperlukan untuk perhitungan. Efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung (Heat-Lossess Methode) adalah :

1. Analisis ultimate bahan bakar (H₂, O₂, s, c, kadar air, kadar abu)
2. Persentase oksigen dan CO₂ dalam gas buang
3. Suhu gas buang dalam °C (T_f)
4. Suhu ambien dalam °C (T_a) dan kelembapan udara dalam Kg/Kg udara kering
5. GCV bahan bakar dalam Kkal/Kg
6. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
7. GCV abu dalam Kkal/Kg (untuk bahan bakar padat)

Setelah data yang diperlukan sudah didapat, maka perlu adanya perhitungan-perhitungan sebagai berikut :

a. Menghitung kebutuhan udara teoritis

$$Udara\ Teoritis = \frac{[(11,43 \times c) + \{34,5 \times (\frac{H_2 - O_2}{8})\}] + (4,32 \times s)}{100\ Kg/Kg\ bahan\ bakar} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

Kebutuhan udara teoritis (kg/kg).

Nilai *Carbon Ultimate* (%).

Nilai *Hydrogen Ultimate* (%).

Nilai *Oxygen Ultimate* (%).

Nilai *Sulfur Ultimate* (%).

b. Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$EA = \frac{\% O_2 \times 100}{21 - \% O_2} \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :

Kebutuhan Udara Yang Dipasok (EA) (kg/kg).

Nilai *Oxygen Ultimate* (%).

c. Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok / Kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \left(1 + \frac{EA}{100}\right) \times \text{udara teoritis} \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

Massa Udara Sebenarnya (kg/kg).

Kebutuhan Udara Yang Dipasok (EA) (kg/kg).

Kebutuhan udara teoritis (kg/kg).

d. Menghitung seluruh kehilangan panas

$$= (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7) \dots\dots\dots 3.4$$

i. Persen kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering

$$L1 = \frac{(m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100)}{(GCV_{\text{bahan bakar}})} \dots\dots\dots 3.4.1$$

Dimana : m = massa gas buang kering dalam Kg/Kg bahan bakar.

M = (massa hasil pembakaran kering / Kg bahan bakar) +
(massa N_2 dalam massa udara pasokan yang sebenarnya).

C_p = Panas jenis gas buang (0.23 Kkal/kg).

GCV = *Gross Calorific Value* (nilai kalor bahan bakar)(Kkal/Kg).

ii. Persen kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H_2 dalam bahan bakar

$$L2 = \frac{[9 \times H_2 \{584 + C_p(T_f - T_a) \times 100\}]}{GCV_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots 3.4.2$$

Dimana : H_2 = persen H_2 dalam 1 Kg bahan bakar

C_p = panas jenis superheated steam (0.45 Kkal/Kg)

584 = Latent heat corresponding to partial pressure of water vapour

iii. Persen kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar

$$L_3 = \frac{[M \{584 + C_p (T_f - T_a) \times 100\}]}{GCV_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots 3.4.3$$

Dimana : M = persen kadar air dalam 1 Kg bahan bakar

C_p = panas jenis steam lewat jenuh / superheated steam (0.45 Kkal/Kg)

iv. Persen kehilangan panas karena kadar air dalam udara

$$L_4 = \frac{[AAS \times \text{faktor kelembapan} \times C_p (T_f - T_a) \times 100]}{GCV_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots 3.4.4$$

Dimana : C_p = panas jenis steam lewat jenuh / superheated steam (0.45 Kkal/Kg)

v. Persen kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang / *fly ash*

$$L_5 = \frac{[Total \text{ abu terkumpul per Kg bahan bakar terbakar} \times GCV_{\text{abu terbang}} \times 100]}{GCV_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots 3.4.5$$

vi. Persen kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah / *bottom ash*

$$L_6 = \frac{[Total \text{ abu terkumpul per Kg bahan bakar terbakar} \times GCV_{\text{abu bawah}} \times 100]}{GCV_{\text{bahan bakar}}} \dots\dots\dots 3.4.6$$

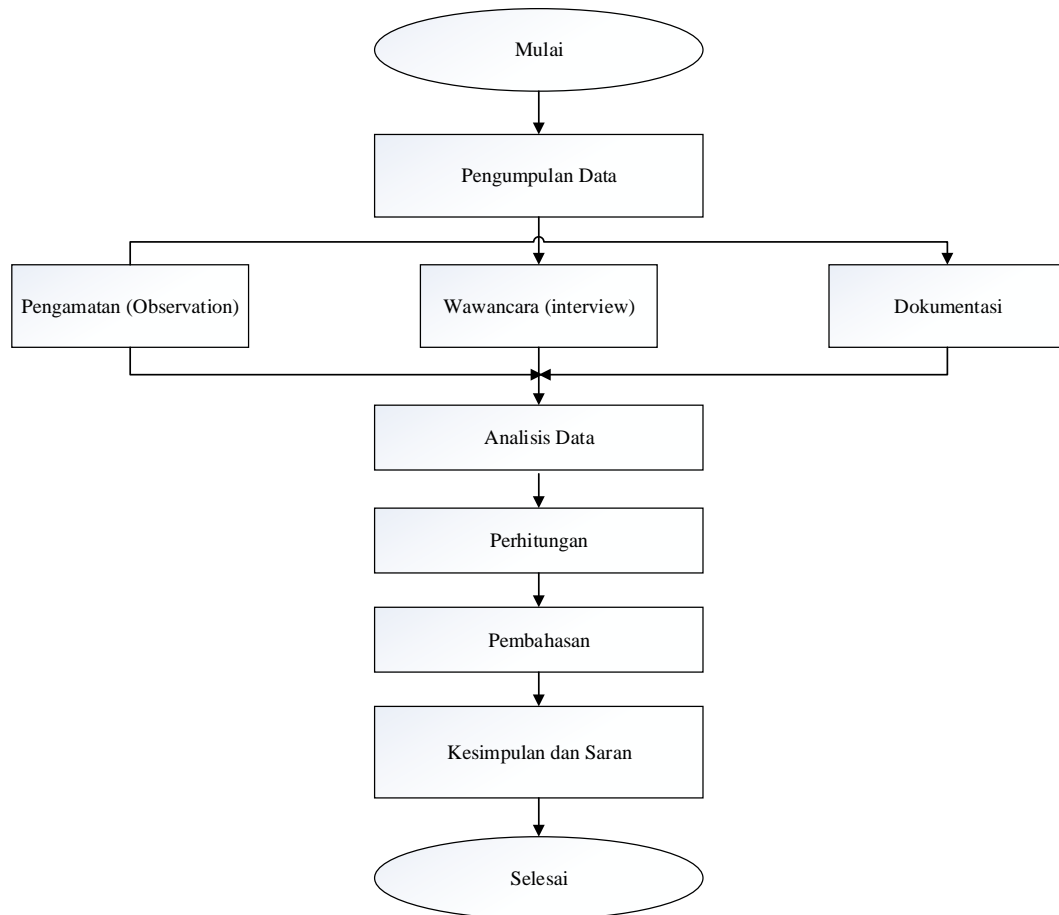
L7 Persen kehilangan panas karena radiasi

e. Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler

$$Efisiensi\ boiler\ (\%)(n) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7).....3.5$$

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun tahap-tahap penelitian yang disajikan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Kinerja Boiler PLTU PT.POMI Paiton

Sesuai metodologi berikut ini pengolahan dan analisis data didasarkan atas *Performance Test* PLTU PT.POMI Paiton Unit 3 pada beban (MCR) 100% awal operasi dan sesudah *overhaul*. Kegiatan *overhaul* dilaksanakan pada bulan Juli 2020. Pada kegiatan *overhaul boiler* yang dilakukan pada PT. POMI Paiton Unit 3 hanya pembersihan atau *cleaning* kerak yang menempel pada dinding rumah boiler.

Tabel 4.1 Data Kinerja Boiler pada beban 100%

<i>Boiler Performance</i>	Satuan	Awal Operasi	Sesudah <i>Overhaul</i>
<i>%CO₂ in Flue Gas</i>	%	14.2	14.3
<i>%O₂ in Flue Gas</i>	%	3.3	4.8
<i>Average Flue Gas Temp.</i>	C	139	177.56
<i>Ambient Temperature</i>	C	30	31
<i>Humidity in Ambient Air</i>	kg/kg dry air	0.02	0.021
Radiation Loss per PTC 4.1	%	2.5	2.5
<i>HHV of Fly Ash</i>	kCal/kg	524	754
<i>HHV of Bottom Ash</i>	kCal/kg	339	359

Sumber : PT.POMI Paiton Unit 3

4.1.1 Analisis Unsur Kandungan Batubara PLTU PT.POMI Paiton

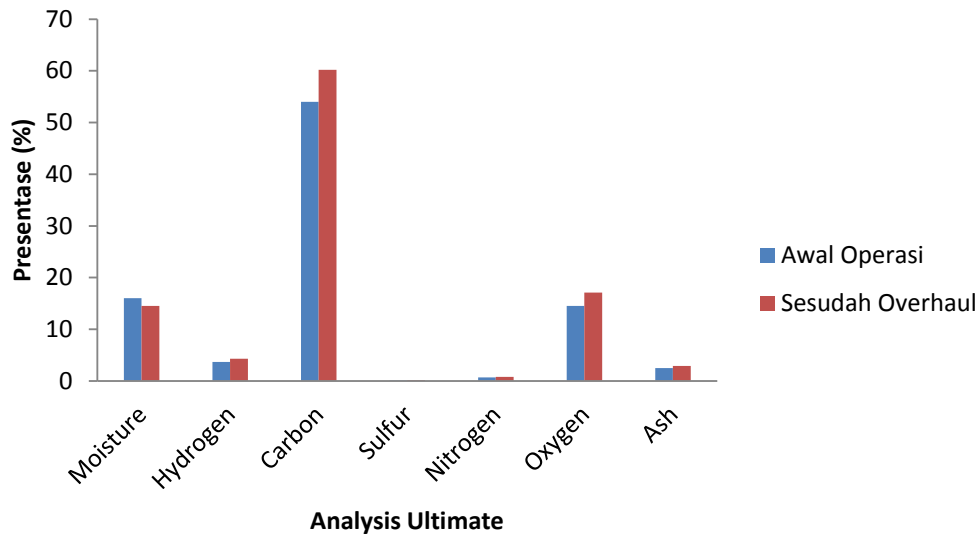
Tabel 4.2 merupakan tabel unsur kandungan batubara yang digunakan pada PT. POMI Unit 3.

Tabel 4.2 Unsur Kandungan Batubara

<i>Fuel Analysis (in%)</i>	Satuan	Awal Operasi	Sesudah Overhaul
<i>Ash Content in Fuel</i>	%	2.5	2.9
<i>Moisture in Coal</i>	%	16	14.5
<i>Carbon Content</i>	%	54	60.2
<i>Hydrogen Content</i>	%	3.7	4.29
<i>Nitrogen Content</i>	%	0.67	0.82
<i>Oxygen Content</i>	%	14.5	17.1
<i>Sulfur</i>	%	0.11	0.19
<i>HHV of Coal</i>	kCal/kg	5011	4874

Sumber : PT.POMI Paiton Unit 3

Efisiensi *boiler* sangat dipengaruhi oleh nilai *HHV* bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah PLTU PT.POMI Paiton Unit 3 adalah batubara batubara jenis *Bituminus* dimana nilai kalor *HHV* awal operasi (2012) 5.011 kCal/kg dan sesudah *overhaul* (2020) 4.874 kCal/kg. Terlihat jelas bahwa nilai kalor batubara yang digunakan pada saat awal operasi lebih tinggi dari pada nilai kalor sesudah *overhaul*. Hal ini mengindikasikan dengan nilai *HHV* lebih besar bahwa efisiensi *boiler* awal operasi akan lebih tinggi, karena presentase kehilangan panas awal operasi lebih rendah. Hal ini akan semakin jelas jika dilihat dari unsur kandungannya, yang disajikan pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Kandungan Unsur Batubara (%) PLTU PT.POMI Paiton

Dari Gambar 4.1, terdapat 3 (tiga) unsur utama presentasinya lebih dari 10% yang terkandung dalam batubara yaitu *Carbon* (54-60%), *Moisture* (14-17%), dan *Oxygen* (14-17%), unsur yang lain kurang dari 10%. Jika dibandingkan dengan desain properti batubara pada Tabel 2, kandungan *carbon*, oksigen, dan *moisture* dalam bahan bakar memenuhi standart yang ditetapkan maka panas yang dihasilkan akan lebih besar sehingga efisiensi boiler akan meningkat. Akan tetapi jika kandungan *carbon*, oksigen, *moisture* dalam bahan bakar tidak memenuhi standart, maka panas yang dihasilkan kecil sehingga efisiensi boiler akan mengalami penurunan.

Selain itu dari analisa *ultimate coal* bahwa kandungan *carbon*, *hydrogen*, *sulfur*, *oxygen*, *moisture*, dan abu didalam batubara itu sendiri sangat mempengaruhi nilai kehilangan panas di ruang bakar *boiler*. Kandungan *hydrogen* pada batubara yang digunakan awal operasi sebesar 3.7 % dan sesudah *overhaul* 4.29 %. Kandungan *hydrogen* yang lebih besar pada saat sesudah *overhaul* menyebabkan kehilangan panas karena kelembapan dari pembakaran *hydrogen* sesudah *overhaul* 5.149 % sementara awal operasi lebih kecil 4.207 %. Demikian

dengan kehilangan panas karena kelembapan dari pembakaran *hydrogen* berdampak pada turunnya efisiensi *boiler*.

4.1.2 Analisis Presentase Kehilangan Panas PLTU PT. POMI Paiton

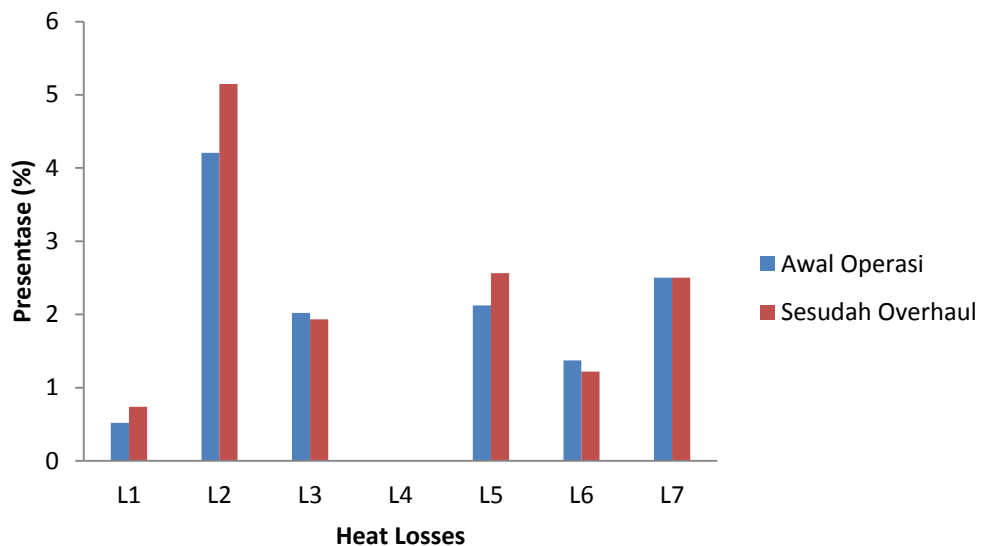
Menurut perhitungan efisiensi *Boiler* yang terdapat pada panduan *American ASME Standard : PTC 4.1 Power Test Code Steam Generations Units*, terdapat 7 elemen yang mempengaruhi hasil kehilangan panas total. Berikut adalah tabel hasil perhitungan kehilangan panas serta hasil akhir efisiensi *boiler*.

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Efisiensi *Boiler*

Parameter	Satuan	Awal Operasi	Sesudah <i>Overhaul</i>
Kebutuhan Udara Teoritis	Kg/kg of coal	5.711	6.335
EA	%	54.547	64.328
AAS	Kg/kg of coal	8.826	5.075
Massa Gas Buang Kering	Kg/kg of coal	103.67	106.52
L1	%	0.518	0.736
L2	%	4.206	5.148
L3	%	2.021	1.933
L4	%	0.001	0.001
L5	%	2.121	2.563
L6	%	1.372	1.220
L7	%	2.5	2.5
Efisiensi <i>Boiler</i>	%	88.629	85.895

Dari Gambar 4.2, bisa dilihat terdapat 3 faktor yang berpengaruh besar pada efisiensi *boiler* dimana presentase kehilangan panasnya lebih dari 1% baik dari kondisi awal operasi dan sesudah *overhaul* yaitu presentase kehilangan panas

karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H_2 dalam bahan bakar (L2), presentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar (L3), dan presentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang atau *fly ash* (L5). Tetapi sebaliknya, ketika melihat hasil presentase kehilangan panas yang sangat rendah diakibatkan dari kehilangan panas karena kadar air dalam udara. Hasil presentase panas kehilangan yang sangat rendah ini menunjukkan kecilnya kerugian panas dan tentunya tidak terlalu mempengaruhi efisiensi *boiler*.



Gambar 4.2 Unsur Kehilangan Panas *Boiler*

Presentase kehilangan panas *moisture* / kadar air (L2) ini disebabkan karena adanya kandungan air dalam bahan bakar. Kehilangan panas akibat kelembapan dari pembakaran *Hydrogen* (H_2) menghasilkan produk yaitu air. Kandungan *hydrogen* tersebut berasal dari kandungan batubara yang digunakan. Kehilangan panas ini tidak dapat dihindari, tetapi dapat diminimalisir dengan cara menentukan batubara yang harus sesuai dengan spesifikasi dan standart *boiler*. Kehilangan panas yang diakibatkan kelembapan dari pembakaran *hydrogen* pada saat awal operasi sebesar 4.207% dan ketika situasi saat sesudah *overhaul* sebesar 5.149%. Artinya terjadi kenaikan nilai kehilangan panas sebesar

0.942%, yang disebabkan karena analisa kandungan *hydrogen* pada batubara yang digunakan pada saat sesudah *overhaul* lebih besar yaitu 4.29% sedangkan pada saat awal operasi sebesar 3.7% sehingga mempengaruhi nilai kehilangan panasnya.

Presentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak bisa terbakar dalam abu terbang atau *fly ash* disebabkan karena *hydrogen* pada kandungan batubara yang terlalu berlebihan membentuk uap air dan mengikat *fly ash* yang seharusnya keluar menuju ESP (*Electro Static Precipitator*). Presentase kehilangan ini cukup tinggi yaitu pada saat awal operasi 2.932% dan pada saat setelah *overhaul* mengalami penurunan sebesar 2.563%. Akan tetapi dengan hasil kedua kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak bisa terbakar dalam *fly ash* berpengaruh terhadap nilai efisiensi *boiler*.

Kehilangan panas lainnya dari *boiler* terdiri dari hilangnya panas akibat radiasi dan konveksi pengecoran *boiler* ke dalam rumah *boiler* sekitarnya. Menurut panduan *ASME PTC 4.1 Test Code Steam Generating Units* biasanya kehilangan permukaan dan kerugian lain yang tidak terhitung diasumsikan berdasarkan jenis dan ukuran *boiler* seperti dibawah ini :

- a. *Fire tube boiler / packaged boiler* : 1.5 – 2.5%
- b. *Water tube boiler* : 2 – 3%
- c. *Power station boiler* : 0.4 – 1%

Presentase kehilangan panas yang sangat rendah berasal dari kehilangan panas yang diakibatkan karena kadar air dalam udara (L4). Panas kehilangan ini diakibatkan dari faktor kelembapan yang ada pada suhu *ambient*. Presentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara awal operasi sebesar 0.02% dan sesudah *overhaul* sekitar 0.01%. Jika melihat hasil kehilangan panas karena kadar air dalam udara, ada faktor kelembapan udara yang mempengaruhi nilai kehilangan panas tersebut. Nilai dari faktor kelembapan udara awal operasi sekitar 0.02% dan sesudah *overhaul* sekitar 0.021% dengan perbedaan yang kecil.

4.1.3 Analisis Efisiensi *Boiler* Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Berdasarkan gambar hasil efisiensi *boiler*, terdapat hasil efisiensi *boiler* pada saat awal operasi dan setelah *overhaul*. Dimana hasil efisiensi *boiler* dari awal operasi sebesar 87.26% dan hasil efisiensi *boiler* sesudah *overhaul* sebesar 85.89%, kedua hasil efisiensi *boiler* ini mengalami penurunan sekitar 1.36%. Dimana hasil penurunan ini diakibatkan dari kehilangan panas yang cukup tinggi yaitu yang dialami pada presentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk dari adanya *hydrogen* (H_2) dalam batubara. Faktor ini dimana batubara yang digunakan PLTU PT.POMI Paiton Unit 3 pada tahun 2012 hingga ke tahun 2020 menggunakan batubara yang sama. Akan tetapi, dengan penggunaan batubara yang sama nilai *GCV* atau nilai kalor pada unsur kandungan batubaranya sangatlah berbeda. Terlihat pada tabel 4.1 yaitu pada unsur kandungan batubara bahwa nilai *GCV* pada saat awal operasi (2012) sebesar 5011 kCal/kg, berbeda dengan pada saat sesudah *overhaul* (2020) nilai *GCV* nya sebesar 4874 kCal/kg.

Hydrogen yang ada pada unsur kandungan batubara pada saat awal operasi menunjukkan sebesar 3.7% dan pada saat setelah *overhaul* menunjukkan sebesar 4.29%, membuktikan bahwa unsur kandungan *hydrogen* pada saat setelah *overhaul* lebih tinggi dari pada pada saat awal operasi. Kandungan *hydrogen* inilah yang menyebabkan turunnya performa *boiler*, dikarenakan pada saat batubara dibakar kandungan *hydrogen* ini membuat banyak uap air terbentuk dan menempel pada dinding atau tembok *boiler* dimana uap air yang menempel pada tembok *boiler* mengikat *fly ash* dan *bottom ash* yang disebut kerak. Kerak-kerak inilah yang berpengaruh membuat turunnya efisiensi *boiler*.

Selain itu, akibat besarnya kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk adanya *hydrogen* dalam batubara mengakibatkan kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam *fly ash* juga besar. Presentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam *fly ash* ini pada kondisi saat awal operasi sebesar 2.56% dan pada kondisi saat setelah *overhaul* sebesar 2.93%. Hal ini diakibatkan karena *fly ash* ini tidak seluruhnya masuk ke

ESP (Electro Static Precipitator), justru terikat dengan uap air yang menempel pada dinding-dinding *boiler* yang menjadi kerak.

4.2 Upaya Meningkatkan Efisiensi *Boiler* Pada PLTU PT.POMI Paiton

Jika dilihat dari nilai presentase efisiensi *boiler* pada kondisi saat awal operasi dan sesudah *overhaul* mengalami penurunan, yang diakibatkan karena adanya kandungan *hydrogen* yang berlebihan dalam batubara serta *fly ash* yang tidak dapat ditarik menuju *ESP (Electro Static Precipitator)* karena *fly ash* yang terikat atau ikut menempel ke dinding-dinding *boiler* karena kandungan *hydrogen* yang cukup tinggi dalam batubara.

Pada kondisi seperti inilah dilakukannya pemeliharaan dan perbaikan (*overhaul*) yang dilaksanakan pada bulan juli 2020. Kegiatan ini yang dilakukan hanyalah pembersihan saluran masuk furnace, tabung-tabung pada *reheater* dan *superheater*. Kegiatan ini dilakukan dalam jangka waktu seminggu hingga dua minggu.

Selain itu, upaya untuk meningkatkan efisiensi *boiler* adalah memilih batubara dengan kualitas yang baik sesuai dengan desain performa boiler. Karena kandungan pada batubara meliputi *carbon*, *hydrogen*, *oxygen*, *nitrogen*, *sulfur*, *ash*, dan nilai kalor. Jadi kualitas batubara yang bagus dilihat dari besarnya *carbon* dan nilai kalor serta rendahnya kandungan *oxygen*. Dengan pemilihan kualitas batubara yang baik, performa kerja *boiler* bisa bekerja dengan baik dan stabil serta mengurangi nilai presentase kehilangan panas dan meningkatkan nilai presentase efisiensi *boiler*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

- a. Nilai presentase kehilangan panas tertinggi dalam kondisi saat awal operasi dan sesudah *overhaul* didapat dari presentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya *hydrogen* dalam batubara yang nilainya pada saat awal operasi sebesar 4.207% dan sesudah *overhaul* sebesar 5.149%.
- b. Nilai presentase efisiensi *boiler* pada saat awal operasi tahun 2012 sebesar 87.257% dan pada saat sesudah *overhaul* sebesar 85.896%. kedua hasil efisiensi *boiler* ini mengalami penurunan sekitar 1.361%, penurunan efisiensi *boiler* ini diakibatkan karena pemenuhan kualitas batubara yang tidak tercapai.
- c. Upaya untuk meningkatkan efisiensi *boiler* ini adalah membersihkan kerak atau benda padat yang menempel pada dinding-dinding *boiler* ataupun yang ada di tabung-tabung *reheater* dan *superheaters* serta memilih batubara dengan kualitas yang lebih baik dari batubara pada saat sesudah *overhaul*. Karena dengan kualitas batubara yang baik efisiensi *boiler* pun bisa stabil dan tetap menjaga performa kerja *boiler*.

5.2 Saran

Berdasarkan pengambilan data yang dilakukan pada PLTU PT.POMI Paiton, adapun saran dapat berikan sebagai berikut ini :

- a. Penelitian dan pengambilan data sebaiknya dilakukan secara langsung di lapangan atau PLTU PT.POMI Paiton agar tidak terhambat dengan waktu yang lama.
- b. Peneliti selanjutnya harus lebih teliti dan memahami data yang diperlukan untuk mencari nilai presentase kehilangan panas maupun presentase efisiensi *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi. 2015. PLTU Batu Bara Superkritikal Yang Efisien. Banten. Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Banten.
- Hendri, Suhengki, dan P. Ramadhan. 2017. “Analisa Efisiensi Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Powe UBP PLTU Lontar Unit 3”. Dalam *Jurnal Power Plant*, Vol. 4, No.4. Hal. 218 – 277
- Maulana, R. 2019. *Analisis Efisiensi Mesin Boiler Unit 2 PT. PJB UP Paiton secara Direct Method. Laporan PKL*. Program Studi Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember. (Belum Dipublikasi).
- Muzaki, I., A. Mursadin. 2019. “Analisa Efisiensi Boiler Dengan Metode Input – Output Di PT. Japra Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin”. Dalam *SJME Kinematika*, Vol. 4, No.1. PP 37 – 46.
- Nurhasanah, R. “Perbandingan Efisien Boiler Awal Operasi dan Setelah Overhaul Terakhir Di Unit 5 PLTU Suralaya”. Dalam *Jurnal Powe Plant*. Hal. 44 – 48.
- Nurmalita. 2012. “Analisa Efisiensi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Energi Alamraya Semesta Di Kabupaten Nagan Raya Nangroe Aceh Darussalam”. *Skripsi* <https://repository.ipb.ac.id/jspui/bitstream/123456789/62155/1/F12nur.pdf> [18 November 2019].
- Pravitasari, Y., M.B. Malino., dan M.N. tangjungpura. 2017. “Analisa Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung ”. Dalam *Prisma Fisika*, Vol. V, No. 01. Hal. 09 – 12
- PT. POMI. 2012. *Standart Laporan PT. POMI*. Probolinggo.
- Putra, A.W. 2017 ”Analisa Hubung Singkat Pada Jaringan Transmisi 150 KV Di Gi Industri – Gi Manggar Sari – Gi Karang Joang Pada Sistem Mahakam Kalimantan Timur” *Tugas Akhir* <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/11059> [25 November 2019]

Simanjuntak, O.T., dan Ir. S. Amien. 2015. “*Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuan Angin Sibolga*” . Vol. 10, No. 26.

Sugiharto, A. “*Tinjauan Teknis Pengoprasian dan Pemeliharaan Boiler*”. Dalam *Forum Teknologi*. Vol. 06, No.2.