



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

INSTITUT TEKNOLOGI PLN

**ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI *BOILER* DI UNIT 1 PLTU
OMBILIN**

PT. PLN UPK OMBILIN

SKRIPSI

MUHAMMAD ILHAM DIRGANTARA

2016-12-016

PROGRAM STUDI SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN BISNIS ENERGI

TEKNIK MESIN

JAKARTA, 2021



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

INSTITUT TEKNOLOGI – PLN

**ANALYSIS THE EFFECT CALORIC VALUE AND SPECIFIC
COAL CONSUMPTION ON BOILER EFFICIENCY UNIT 1 AT
PLTU OMBILIN**

PT. PLN UPK OMBILIN

SKRIPSI

MUHAMMAD ILHAM DIRGANTARA

2016-12-016

BACHELOR STUDY PROGRAM

FACULTY OF TECHNOLOGY AND ENERGY BUSINESS

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM JAKARTA,
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul

ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI *BOILER* DI UNIT 1 PLTU OMBILIN

PT. PLN UPK OMBILIN

Disusun oleh :

MUHAMMAD ILHAM DIRGANTARA

NIM : 2016 – 12 – 016

Diajukan untuk memenuhi

Persyaratan

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI DAN BISNIS ENERGI
INSTITUT TEKNOLOGI – PLN

Jakarta, 21 Februari 2021

Mengetahui,

Kepala Program Studi

(Roswati Nurhasanah S.T., M.T.)

Disetujui,

Dosen Pembimbing

Andika

Widya

Pramono

Digitally signed
by Andika Widya
Pramono

Date: 2021.03.05
14:39:37 +07'00'

(Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S)

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Muhammad Ilham Dirgantara
NIM : 2016 – 12 – 016
Fakultas/Program Studi : FTBE/S1 Teknik Mesin
Judul : Analisis Pengaruh *Caloric Value* dan *Specific Coal Consumption* Terhadap Efisiensi *Boiler* di Unit 1 PLTU Ombilin
PT. PLN UPK Ombilin

Telah disidangkan dan dinyatakan Lulus Sidang Skripsi pada Program Sarjana Strata 1, Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi PLN pada tanggal 21 Februari 2021.

Nama Penguji	Jabatan	Tanda Tangan
1. Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S	Dosen Pembimbing	Andika Widya Pramono  Digitally signed by Andika Widya Pramono Date: 2021.03.05 14:40:02 +07'00'
2. Martin Choirul Fatah, S.T, M.Sc, PhD	Ketua Tim Penguji	 Digitally signed by Martin Fatah Date: 2021.03.03 13:14:30 +07'00'
3. Arif Suardi Nur Chairat, S.T, M.T	Sekretaris Tim Penguji	Arief Suardi Nur Chairat  Digitally signed by Arief Suardi Nur Chairat DN: c=ID, OU=Institut Teknologi PLN, O=Pusat Jaminan Mutu, CN=Arief Suardi Nur Chairat, E=arief.suardi@stpln.ac.id Reason: I am approving this document Location: your signing location here Date: 2021-03-06 05:34:37 Foxit Reader Version: 10.0.0
4. Roswati Nurhasanah, S.T, M.T	Anggota Tim Penguji	

Mengetahui :

Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin

(Roswati Nurhasanah S.T., M.T.)

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Muhammad Ilham Dirgantara
NIM : 201612016
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknologi Bisnis Energi
Judul Skripsi : **ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI BOILER UNIT 1 DI PLTU OMBILIN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat Karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya/Sarjana/Magister baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan di sebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia memikul segala resiko jika pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 21 Februari 2021



Muhammad Ilham Dirgantara

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Sekolah Institut Teknologi PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ilham Dirgantara
NIM : 2016-12-016
Progran Studi : Sarjana Teknik Mesin
Fakultas : Teknologi Bisnis Dan Energi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Insitut Teknologi PLN **Hak Bebas Royalti Non eksklusif** (*Non- exclusive Royalti Free Right*) atas karya imliah saya yang berjudul :

ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI *BOILER* DI UNIT 1 PLTU OMBILIN

PT. PLN UPK OMBILIN

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 21 Februari 2021

Yang menyatakan
Muhammad Ilham Dirgantara
Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
E=egadilgantara@gmail.com
Reason: I am the author of this document
Location: Jakarta
Date: 2021.03.03 12:20:31+07'00'
Foxit Reader Version: 10.1.0
(Muhammad Ilham Dirgantara)

ABSTRAK

“ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI *BOILER* UNIT 1 DI PLTU OMBILIN”

PT. PLN UPK OMBILIN

Muhammad Ilham Dirgantara

2016 – 12 – 016

E-mail : egadirgantara@gmail.com

S1-Teknik Mesin Institut Teknologi PLN

Dibawah Bimbingan Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S

Pembakaran di boiler pada PLTU dipengaruhi oleh nilai kalori batu bara dan pasokan batu bara spesifik yang mencukupi agar dapat mencapai pembakaran yang sempurna dan menghasilkan efisiensi yang tinggi saat beroperasi. Pada penelitian kali ini terdapat perbedaan efisiensi berdasarkan nilai kalori batu bara dan pasokan batu bara spesifik yang berbeda pada PLTU Ombilin. Jumlah nilai kalori batu bara dan pasokan batu bara spesifik mempengaruhi efisiensi dari boiler, semakin besar nilai kalor batu bara semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan pada saat pembakaran terjadi di boiler, sedangkan pasokan batu bara spesifik dipengaruhi oleh *coal flow*. Dilakukan perbandingan efisiensi nilai kalor batu bara yang berbeda, dimana nilai O₂ yang berbeda dapat mempengaruhi efisiensi boiler. Berdasarkan hasil penelitian bahwa efisiensi *boiler* yang didapat dari pembakaran dengan nilai kalor yang berbeda berpengaruh pada efisiensi boiler, pada nilai kalor 5587,33 kcal/kg didapat efisiensi sebesar 94,088% dan pada nilai kalor 6062,67 kcal/kg efisiensi boiler adalah 95,211%. Dan pasokan batu bara yang terkonsumsi spesifik terhadap efisiensi *boiler* pada nilai kalor 5838,86 kcal/kg dengan konsumsi bahan bakar 0,5007 kcal/kg nilai efisiensi 95,08%, konsumsi batu bara terendah pada 6062,57 kcal/kg dengan konsumsi batu bara 0,3725 kg/kWh efisiensi yang didapatkan 95,21 %.

Kata kunci : PLTU, boiler, nilai kalor, konsumsi batu bara spesifik, efisiensi boiler

ABSTRACT

“ANALYSIS THE EFFECT CALORIC VALUE AND SPECIFIC COAL CONSUMPTION ON BOILER EFFICIENCY UNIT 1 AT PLTU OMBILIN”

PT. PLN UPK OMBILIN

Muhammad Ilham Dirgantara

2016 – 12 – 016

E-mail : egadirgantara@gmail.com

Under Guidance Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S

Combustion in boilers power plants is influenced by the caloric value of coal and the supply of specific coal is sufficient in order to achieve perfect combustion and produce high efficiency while operating. In this study there was a difference in efficiency based on the caloric value of coal and the supply of specific coal that differed in the Ombilin Power Plant. The amount of caloric value of coal and the specific supply of coal affects the efficiency of the boiler, the greater the calorific value of coal the greater the efficiency produced at the time of combustion occurs in the boiler, while the specific coal supply is influenced by coal flow. Comparison of the efficiency of different coal calorific values, where different O₂ values can affect boiler efficiency. Based on the results of the study that boiler efficiency obtained from combustion with different calorific values influenced on boiler efficiency, at a calorific value of 5587.33 kcal/kg obtained efficiency of 94.088% and at a calorific value of 6062.67 kcal/kg boiler efficiency is 95.211%. And the supply of consumpible coal specific to boiler efficiency at a calorific value of 5838.86 kcal/kg with a fuel consumption of 0.5007 kcal/kg efficiency value of 95.08%, the lowest coal consumption at 6062.57 kcal/kg with coal consumption of 0.3725 kg/kWh of efficiency obtained 95.21%.

Keywords: power plant, boiler, calorific value, specific coal consumption, boiler efficiency

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia-nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul

“ANALISIS PENGARUH *CALORIC VALUE* DAN *SPECIFIC COAL CONSUMPTION* TERHADAP EFISIENSI *BOILER* DI UNIT 1 PLTU OMBILIN”

PT. PLN UPK OMBILIN

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana pada Fakultas Teknologi Dan Bisnis Energi Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi PLN.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Kepada Ibu dan Ayah saya yang selalu memberikan doa dan semangat dalam proses pembuatan skripsi ini
2. Bapak Drs. Prayudi, M.M, M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Dan Bisnis Energi Institut Teknologi PLN
3. Ibu Roswati Nurhasanah S.T,M.T. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi PLN
4. Bapak Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S selaku Dosen Pembimbing
5. Bapak Daryanto, Selaku Manager PT.PLN UPK PLTU Ombilin
6. Bapak Sudarmanto, Selaku PLT Manager Bagian Manager Operasi PT.PLN UPK PLTU Ombilin
7. Bapak Safri Darnisko, Selaku Rendal Operasi PT.PLN UPK PLTU Ombilin

8. Serta sahabat dan teman – teman saya beserta beberapa pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dalam rangka kesempurnaan Skripsi ini. Semoga dapat bermanfaat bagi penulis maupun yang membacanya.

Jakarta, 21 Februari 2021

Muhammad Ilham Dirgantara
Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
E=egadirgantara@gmail.com
Reason: I am the author of this document
Location: Jakarta
Date: 2021.03.03 12:19:56+07'00'
Foxit Reader Version: 10.1.0
(Muhammad Ilham Dirgantara)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan Penelitian	3
1.2.1 Identifikasi Masalah.....	3
1.2.2 Ruang Lingkup Masalah	3
1.2.3 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.3.1 Tujuan Penelitian	4
1.3.2 Manfaat Penelitian	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN.....	6
2.1 Teori Pendukung.....	6
2.2 Tinjauan Pustaka	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	7
2.2.2 Siklus Rankine	8
2.2.3 Komponen Utama PLTU	9
2.2.4 Komponen Alat Bantu PLTU	11
2.2.5 Klasifikasi <i>Boiler</i>	12
2.2.6 Peralatan Utama Pada <i>Boiler</i>	15
2.2.7 Peralatan Pada Sistem Pembakaran Udara dan Gas Buang	21

2.2.8 Kebutuhan Pembakaran	23
2.2.9 Pembakaran Sempurna.....	24
2.2.10 Bahan Bakar Batu bara	25
2.2.11 Kualitas Batubara.....	27
2.2.12 Perhitungan Efisiensi <i>Boiler</i>	33
2.2.13 Indirect Method / Heat Loss Method	34
2.2.14 Menghitung <i>Specific Coal Consumption</i> (SCC)	38
2.3 Hipotesis.....	39
BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Perancangan Penelitian	40
3.1.1 Kerangka Pemecahan Masalah	41
3.1.2 Teknik Pengumpulan Data.....	42
3.1.3 Teknik Pengolahan Data	43
3.2 Teknik Analisis.....	44
3.3 Spesifikasi <i>Boiler</i> dan Batu Bara Unit 1 PLTU Ombilin	44
3.3.1. Spesifikasi <i>Boiler</i>	44
3.3.2 Spesifikasi Batu Bara	45
3.4 Tempat dan Jadwal Penelitian	46
3.4.1 Lokasi Penelitian.....	46
3.4.2 Jadwal Penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Pengumpulan Data.....	48
4.2 Pengolahan Data	51
1. Kelebihan udara teoritis.....	51
g. Menghitung kerugian panas Fly ash	55
4.3 Hasil Perhitungan Masing – Masing Waktu Efisiensi <i>Boiler</i>	55
4.3.1 Menghitung Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	57
4.4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.4.1 Analisa <i>Proximate</i> kandungan Batubara	58
4.4.2 Analisa <i>Ultimate</i> Kandungan Batubara	63
4.4.3 Analisa <i>heatloss</i> Karena Gas Buang Kering	70
4.4.4 Analisa <i>Heatloss</i> Karena <i>Moisture</i> Pembakaran Hidrogen L2.....	71
4.4.5 Analisa <i>heatloss</i> Karena <i>Moisture</i> dibatubara	73
4.4.6 Analisa <i>Heatloss</i> Karena <i>Moisture</i> di Udara.....	74

4.4.7	Analisa <i>Heatloss</i> Karena Pembakaran yang tidak sempurna	75
4.4.8	Analisa <i>Heatloss</i> Karena Radiasi dan Konveksi	75
4.4.9	Analisa Efisiensi Boiler Metode <i>Indirect</i> Berdasarkan Nilai Kalor Batubara	75
4.4.10	Analisa Pengaruh Konsumsi Batubara Spesifik Terhadap Efisiensi Boiler	76
4.4.11	Analisa Diagram <i>Sankey</i> Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara dan Nilai AAS Terhadap Efisiensi Boiler	77
4.4.12	Identifikasi Masalah Dengan Menggunakan Diagram Fishbone.....	85
BAB V.....		94
KESIMPULAN DAN SARAN.....		94
5.1	Kesimpulan.....	94
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		95
Daftar Riwayat Hidup.....		96
a. Data Personal		96
b. Pendidikan		96
LAMPIRAN.....		97
.....		97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penggolongan Batubara	26
Tabel 2. 2 Perbandingan metode langsung dan tidak langsung	34
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	47
Tabel 4. 1 Data Performance Test Boiler Unit 1 Bulan Mei.....	48
Tabel 4. 2 Data Performance Test Boiler Unit 1 Bulan Juni	49
Tabel 4. 3 Data Performance Test Boiler Unit 1 Bulan Juli	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Konversi Energi di PLTU	7
Gambar 2. 2 Diagram T-S Siklus Rankine	8
Gambar 2. 3 Diagram Proses PLTU Banten 3 Ombilin	9
Gambar 2. 4 Skema PLTU	10
Gambar 2. 5 Boiler Pipa Api	13
Gambar 2. 6 Boiler Pipa Air	14
Gambar 2. 7 Superheater	15
Gambar 2. 8 Air preheater	16
Gambar 2. 9 Economizer	16
Gambar 2. 10 Pulverizer	17
Gambar 2. 11 Reheater	18
Gambar 2. 12 Furnace	18
Gambar 2. 13 Soot Blower	19
Gambar 2. 14 Safety Valve	19
Gambar 2. 15 Steam Drum	20
Gambar 2. 16 Forced Draft fan	20
Gambar 2. 17 Primary Air Fan	21
Gambar 2. 18 Induced Draft Fan	21
Gambar 2. 19 Electrostatic Precipitator (ESP)	23
Gambar 2. 20 Piramida Pembakaran	23
Gambar 2. 21 Efek Pengaruh Kualitas Batubara Pada Komponen Boiler	27
Gambar 3. 1 Flow Chart	41
Gambar 3. 2 Lokasi PLTU Ombilin	46
Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh <i>excess air</i> Terhadap AAS	68
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Udara Teoritis	69
Gambar 4. 3 Grafik Nilai AAS Terhadap Massa Gas Buang Kering	70
Gambar 4. 4 Grafik <i>Losses</i> Berdasarkan Nilai Kalor	71
Gambar 4. 5 Grafik <i>Losses Hydrogen (L2)</i>	72
Gambar 4. 6 Grafik <i>Losses 3</i>	73
Gambar 4. 7 Grafik <i>Losses 4</i>	74
Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Metode Tidak Langsung	75
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Konsumsi Batubara Spesifik Terhadap Efisiensi	76
Gambar 4. 10 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 02.00 PM	78
Gambar 4. 11 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 04.00 PM	79
Gambar 4. 12 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 17 Juni 2020 Pukul 10.00 AM	80
Gambar 4. 13 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Juni 2020 Pukul 12.00 PM	81
Gambar 4. 14 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 10.00 AM	82
Gambar 4. 15 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 12.00 PM	83
Gambar 4. 16 Diagram <i>Fishbone</i> Terhadap Massa Udara Aktual Tinggi	85
Gambar 4. 17 Diagram <i>Fishbone</i> Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Naik	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan Skripsi.....	97
Lampiran 2 Lembar Pengesahan Data	99
Lampiran 3 Data Boiler.....	100
Lampiran 4 Data Content Batubara.....	101
Lampiran 5 Data Boiler.....	102
Lampiran 6 Data Content Batubara.....	103
Lampiran 7 Data Boiler.....	104
Lampiran 8 Data Content Batubara.....	105
Lampiran 9 Tabel Saturated	106
Lampiran 10 Perhitungan Dengan Steam Property.....	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan tiap individu dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan pada tiap aspek, terutama di bidang energi. Seiring dengan perkembangan teknologi, energi listrik diyakini menjadi kebutuhan dasar dari penggunaan energi di dunia. Kebutuhan listrik tiap tahun nya akan terus meningkat terutama pada negara-negara berkembang, salah satu nya Indonesia. Menurut Kementrian ESDM tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) tahun 2019 sampai dengan tahun 2038, kebutuhan energi listrik nasional diproyeksikan akan bertumbuh sekitar 6,9% per tahun nya. RUKN juga memproyeksikan rata-rata kebutuhan tambahan kapasitas pembangkit listrik sekitar 8,5 gigawatt (GW) per tahun nya, sehingga pada tahun 2038 diperkirakan mencapai 170GW untuk total kebutuhan tambahan kapasitas pembangkit.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu pembangkit listrik di mana energi listrik dihasilkan oleh generator yang di putar oleh turbin uap yang memanfaatkan tekanan uap hasil dari penguapan air yang di panaskan oleh bahan bakar di dalam ruang bakar (*furnace*). Salah satu jenis PLTU adalah PLTU berbahan bakar batubara. PLTU berbahan bakar batubara sangat vital penggunaan nya di Indonesia maupun di dunia. PLTU batubara merupakan sumber utama energi di dunia. Di mana pasokan listrik dunia masih bertumpu pada PLTU berbahan bakar batubara (Karyadi & Rangkuti, 2016).

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah sebuah pembangkit yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya untuk menghasilkan panas. Energi panas yang tercipta dari pembakaran digunakan untuk memanaskan air sehingga menjadi uap bertekanan dan mempunyai suhu tinggi. Uap bertekanan tersebut digunakan untuk memutar turbin yang seporos dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Dimana proses pembakaran terjadi di *boiler*.

UPK (Unit Pelaksana Pembangkitan) Ombilin merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara dengan dua unit pembangkit, dan masing masing pembangkit mempunyai daya 100 MW. PLTU Ombilin termasuk pembangkit interkoneksi Sumatera dengan suplai maksimal daya 180 MW dan tegangan 150 kV.

PLTU ini terletak di Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. Unit Pelaksana Pembangunan Ombilin menggunakan *boiler* sebagai alat yang digunakan untuk menghasilkan uap panas (*steam*) selain itu pada *boiler* juga terjadi proses pembakaran yang melibatkan bahan bakar berupa batubara, udara dan tiga faktor yaitu waktu, suhu, turbulensi. Sistem kerja pada *boiler* terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam* (uap) dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk proses pada *boiler* sesuai dengan kebutuhan *steam* yang diinginkan. Sistem *steam* mengumpulkan serta mengontrol produksi *steam* yang terjadi di dalam *boiler*. Sistem bahan bakar adalah peralatan yang menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas pada proses *boiler*.

Seperti yang kita ketahui pada umumnya pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit yang menghasilkan energi kinetik berupa uap dari *boiler* untuk menghasilkan energi listrik. Komponen utamanya yaitu generator yang dipasangkan ke turbin untuk memutar turbin menggunakan energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap biasanya menggunakan *main fuel oil* (MFO) untuk start awal. Konsumsi energi pada peralatan PLTU bersumber dari putaran turbin uap. Uap diperoleh dari pemanasan air di *boiler* melalui proses pembakaran.

Boiler merupakan sebuah alat untuk menghasilkan energi termal dengan memanaskan air yang ada di dalam pipa-pipa. Panas yang bersumber dari *furnace* (ruang bakar) merupakan komponen dalam *boiler* yang berfungsi sebagai penghasil kalor melalui proses pembakaran. Dalam keadaan ideal, proses pembakaran dapat terjadi jika jumlah bahan bakar dan udara berada pada proporsi tertentu, sesuai dengan prinsip kimia (stoikiometri). (Sivakumar, Investigation and Analysis of Heat Losses Due to Excess Air in Fluidized Bed Fuel Combustion of Boiler, 2017).

Boiler memiliki efisiensi yang merupakan sebuah besaran untuk mengetahui perbandingan antara energi yang dipasok ke *boiler* dan energi yang dihasilkan oleh *boiler* tersebut. Efisiensi ini memiliki beberapa faktor, salah satunya adalah nilai kalor yang terkandung dalam batubara yang digunakan dan jumlah udara aktual yang dipasok. Nilai kalor batubara menunjukkan banyaknya panas yang dihasilkan dalam setiap kilogram batubara tersebut. Dalam pembakaran batu bara dibutuhkan pembakaran yang sempurna, yaitu jumlah udara yang sesuai dengan kebutuhan. Nilai kalor dan pengaruh nilai kalor terhadap konsumsi batu bara dalam pembakaran *boiler* juga berpengaruh terhadap

efisiensi *boiler*. Hal ini yang membuat peneliti membahas tentang analisa pengaruh nilai kalor terhadap efisiensi *boiler* dan konsumsi batu bara spesifik pada beban optimum.

1.2 Permasalahan Penelitian

1.2.1 Identifikasi Masalah

Pada PLTU Ombilin terjadi penurunan dan kenaikan terhadap efisiensi dari *boiler*, di mana pembakaran untuk mengubah air menjadi uap dilakukan oleh *boiler*. Hal yang berperan penting dalam pembakaran *boiler* yaitu nilai kalor dari batu bara dan konsumsi batu bara spesifik. Diduga nilai kalor batu bara dapat meningkatkan efisiensi dari boiler dan mempengaruhi konsumsi batu bara spesifik pada penelitian ini menggunakan data *performance test* pada bulan Mei, Juni dan Juli pada beban optimum 92 MW.

1.2.2 Ruang Lingkup Masalah

Mengingat bahwa luasnya permasalahan pada penelitian ini, maka diperlukan pembatasan penelitian agar penulis dapat lebih spesifik dan terarah sehingga memudahkan dalam pemahaman. Penulisan skripsi nantinya akan mencakup hal – hal sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada *boiler* unit 1 PLTU Ombilin
2. Penulis menggunakan data-data yang diperoleh dari *Boiler, Fan & Mill*, dan Efisiensi.
3. Perhitungan efisiensi *boiler* menggunakan *indirect method/heat loss*.
4. Perhitungan *heat loss* di L1 sampai L8 kecuali pada L5
5. Perhitungan nilai efisiensi *boiler*, konsumsi bahan bakar, dan menganalisis efisiensi *boiler* dengan metode *heat loss* untuk perbandingan nilai kalori batu bara pada beban 92 MW, adakah pengaruh pada konsumsi bahan bakar pada perbedaan nilai kalori batu bara pada HRC.

1.2.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas perumusan masalah yang didapat adalah sebagai berikut :

1. Apakah nilai kalor dari batu bara dapat menaikkan efisiensi *boiler* pada beban 92 MW?
2. Apakah nilai kalor batu bara mempengaruhi konsumsi batu bara *boiler* pada PLTU Ombilin?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian antara lain:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh nilai kalor batu bara terhadap efisiensi *boiler*.
2. Mengetahui kerugian-kerugian panas pada efisiensi *boiler* dari nilai kalor batu bara.
3. Mengetahui nilai konsumsi batubara spesifik dari pengaruh nilai kalor yang berbeda.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui efisiensi boiler berdasarkan nilai kalor pada beban 92 MW.
2. Mengetahui konsumsi batu bara yang spesifik dari nilai kalor yang berbeda.

1.4 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Dalam bab ini akan dikemukakan penjelasan secara umum, ringkas dan padat yang menggambarkan tepat isi usulan penelitian yang meliputi: latar belakang masalah, permasalahan penelitian (identifikasi masalah, ruang lingkup masalah, rumusan masalah), tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Dalam bab ini akan dikemukakan beberapa sub-bab yang menjelaskan teori secara menyeluruh yang sesuai/relevan dengan judul pembahasan pada skripsi ini. Landasan teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai landasan dalam memecahkan dan menganalisis permasalahan diperoleh melalui buku-buku relevan

dan kerangka berpikir. Teori dasar untuk menganalisis pengaruh nilai kalor dan massa udara aktual terhadap efisiensi boiler juga dijelaskan.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dikemukakan metodologi penelitian perancangan serta langkah untuk mengidentifikasi permasalahan. BAB III berisi tentang perancangan penelitian (teknik pengumpulan data, teknik pengolahan data, teknik perhitungan data), teknik analisis dan kerangka pemecahan masalah dan juga jadwal penelitian.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Dalam bab ini akan dikemukakan tentang hasil dan pembahasan skripsi mengenai perhitungan efisiensi boiler unit 1 Ombilin dengan menggunakan data nilai kalor dan massa udara aktual yang berbeda.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini akan dikemukakan kesimpulan dan saran dari permasalahan pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

Daftar pustaka berisi tentang referensi ataupun sumber teori yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.

Lampiran

Berisi sebuah lampiran berbentuk gambar maupun data untuk mendukung penelitian dan penyusunan laporan in

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

2.1 Teori Pendukung

Literatur yang penulis ambil adalah teori yang telah dikemukakan beberapa peneliti yang ada di seluruh dunia melalui penelitian-penelitian yang telah dipublikasikan dan bukan merupakan sebuah duplikasi:

1. Sachin M. Raut (2014) dalam jurnal yang berjudul *“Energy Performance Assessment of Boiler at P.S.S.K. Ltd, Basmathnagar, Maharashtra State”* menjelaskan bahwa *boiler* adalah wadah tekanan tertutup di mana air dapat diberi volume dan dengan menerapkan panas terus menerus. Fungsi *boiler* adalah untuk menghasilkan uap di kondisi yang diinginkan secara efisien dan dengan biaya pengoperasian yang rendah. Uap tekanan rendah digunakan dalam proses aplikasi, sedangkan uap super panas tekanan tinggi digunakan untuk menghasilkan daya melalui turbin uap. *Boiler* terdiri dari beberapa tabung untuk transfer panas maksimum. Tabung ini terletak memanjang di antara drum distribusi uap di bagian atas boiler dan drum pengumpul air di bagian bawah boiler. Uap mengalir dari drum uap ke super pemanas sebelum memasuki sistem distribusi uap / *indirect method*. (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)
2. Dengan menggunakan perhitungan dari Sachin (2014) dalam jurnal *“Energy Performance Assessment of Boiler at P.S.S.K. Ltd, Basmathnagar, Maharashtra State”* penulis menggunakan rumus-rumus yang ada dalam jurnal tersebut untuk menghitung efisiensi *boiler* menggunakan metode tidak langsung / *indirect method*. (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)
3. Wiharjo, Danu. *“Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler Pada Load Rate 641.15 MW di PLTU PAITON Unit 7”*. Tugas Akhir FT Politeknik Negeri Malang. 2011. Peneliti mendapatkan hasil bahwa *excess* air yang berlebihan akan membuat energi kalor hasil pembakaran terbawa keluar oleh gas buang pembakaran.

2.2 Tinjauan Pustaka

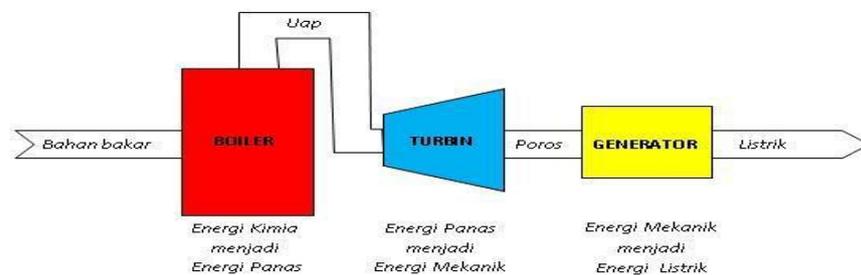
Untuk melengkapi suatu pembahasan dibutuhkan dasar-dasar dari suatu topik permasalahan untuk suatu penelitian, sehingga penulis menggunakan beberapa teori yang relevan baik dari buku, artikel, jurnal ilmiah yang berkaitan dengan *air mass* dan *coal value*.

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU menjadi salah satu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan uap dan menjadi titik pusat proses produksi kegiatan industri. Hampir semua energi listrik yang dibangkitkan dalam skala besar di dunia ini dihasilkan melalui siklus uap. Uap dihasilkan dari pemanasan air di dalam *boiler* yang selanjutnya akan dipakai untuk memutar turbin dan dikopel dengan generator sehingga menghasilkan listrik melalui proses eksitasi.

Ada tiga tahapan proses mengkonversi energi pada PLTU yaitu:

1. Energi kimia diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap ketika proses pembakaran terjadi sehingga akan bertekanan dan temperatur tinggi (proses terjadi di dalam boiler)
2. Energi panas (uap) berubah menjadi putaran pada poros putaran turbin yang biasa disebut energi mekanik
3. Energi mekanik menghasilkan energi listrik ketika turbin yang berputar dikopel oleh generator.

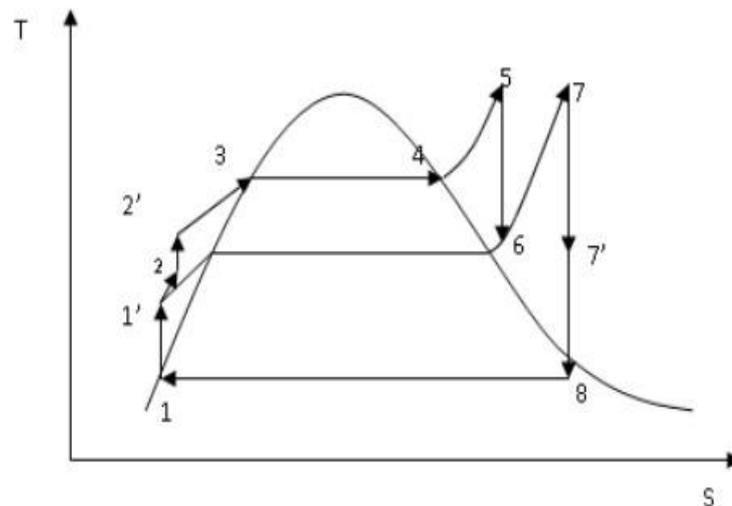


Gambar 2. 1 Proses Konversi Energi di PLTU

sumber: (Rakhman, 2013)

2.2.2 Siklus Rankine

Siklus yang mengubah panas menjadi energi mekanik, di mana siklus ini menggunakan uap sebagai medianya atau biasa disebut siklus termodinamika. Dimana panas diubah menjadi energi mekanik. Panas yang disuplai secara eksternal menggunakan fluida penggerak pada aliran tertutup akan membuat proses pemanasan *reversible* bertekanan konstan, lalu proses ideal *turbine* diubah menjadi *reversible* ekspansi adiabatik dari uap. Pada kondenser akan diubah menjadi *reversible* bertekanan konstan dari panas uap kondensasi yang masih berupa *saturated liquid* dan pada proses ideal dari pompa akan terjadi *reversible* kompresi adiabatik pada cairan akhir dengan mengetahui tekanannya. PLTU Ombilin menggunakan siklus rankine berikut:



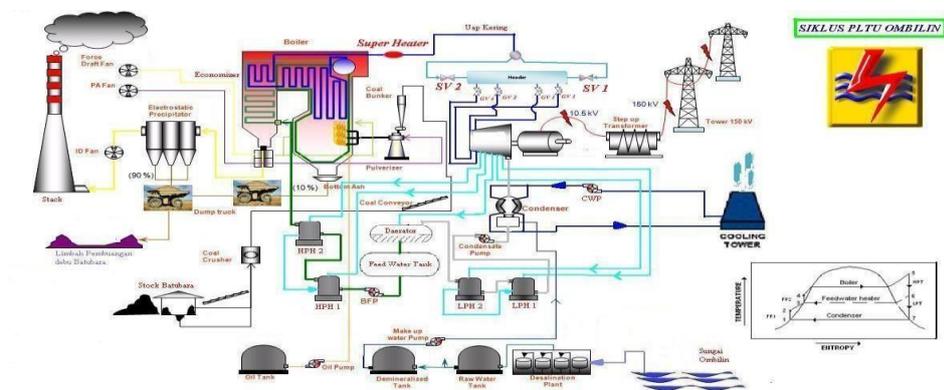
Gambar 2. 2 Diagram T-S Siklus Rankine

Sumber: (Jamaludin, 2016)

Berikut ini adalah penjelasan tentang proses siklus tersebut:

- 1-1'**: Adalah proses penaikan tekanan air menggunakan *condensate extraction pump*.
- 1'-2**: Adalah pemanasan air di *low pressure heater dan Deaerator*.
- 2-2'**: Adalah proses *boiler feed pump* ketika menaikan air.
- 2'-3**: Pemanasan air pada *high pressure heater dan economizer*.
- 3-4**: Ketika air dipanaskan menjadi uap air terjadi *downcomer dan wall tube*.
- 4-5**: Adalah uap panas lanjut yang telah dipanaskan kembali (*superheated steam*) pada *superheater*.

- g) **5-6**: Ekspansi uap di dalam *high pressure turbine*.
- h) **6-7**: Proses pemanasan kembali uap yang keluar dari *high pressure turbine* di dalam *reheater*.
- i) **7-7'**: Ekspansi uap yang keluar dari *reheater* di dalam *intermediate pressure turbine*.
- j) **7'-8**: Ekspansi uap yang keluar dari *intermediate pressure turbine* di dalam *low pressure turbine*.
- k) **8-1**: Pendinginan uap menjadi air di dalam kondensor.



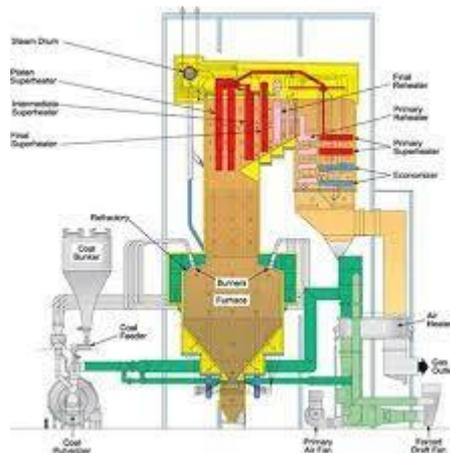
Gambar 2. 3 Diagram Proses PLTU Banten 3 Ombilin

Sumber: (Afrianto, 2012)

2.2.3 Komponen Utama PLTU

1. Boiler

Boiler adalah sebuah bejana tertutup di mana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap atau *steam*. Uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses pada turbin dan komponen lainnya. *Boiler* berfungsi untuk merubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi panas pada uap. Ada tiga bagian utama di dalam boiler yaitu *economiser* sebagai pemanas awal air sampai pada titik perpindahan fase, *evaporator* (*downcomer* dan *walltube*) untuk merubah fasa air menjadi uap (dalam kondisi ini uap masih terdiri dari uap basah dan kering) dan *superheater* sebagai pemanas lanjut uap kering tersebut sampai pada suhu tertentu. (Monteral Engineering Company. Limited, 1985)



Gambar 2. 4 Skema PLTU

Sumber: (Achmad, 2018)

2. Turbin

Turbin uap adalah turbin yang berfungsi untuk konversi energi panas dalam uap menjadi energi putar (energi mekanik) ketika dikopel dengan generator. Pada saat turbin berputar generator juga berputar. Sistem kerja turbin uap yaitu uap panas kering masuk ke turbin menabrak sudu-sudu turbin sehingga menggerakkan rotor atau *shaft* dari turbin dikarenakan adanya perbedaan tekanan yang terjadi.

3. Kondensor

Kondensor terdiri dari susunan pipa-pipa spiral kecil yang berisi *cooling water* yang termasuk sebagai alat penukar kalor atau *heat exchanger*. Fungsi kondensor sendiri adalah mengondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air. Air hasil kondensasi ini dipompa oleh CEP (Condensate Extraction Pump) menuju *boiler* dan akan digunakan kembali untuk proses pemanasan ulang. Kondensor yang ada pada PLTU Ombilin ini termasuk jenis *heat exchanger* pipa cangkang. Di mana *heat exchanger* ini memiliki dua sisi, yaitu sisi *shell* dan sisi *tube*. Sisi *shell* di sini merupakan wadah *steam* yang akan dikondensasikan sedangkan sisi *tube* di sini merupakan sisi *cooling water* sebagai pendingin yang berasal dari air laut.

4. Generator

Merupakan komponen utama yang menghasilkan listrik dari turbin pada PLTU, ketika menggerakkan/memutar poros yang menyebabkan induksi elektromagnetik. Komponen utama generator ada dua yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Pengaturan output yang dihasilkan/dibutuhkan dari generator mempengaruhi kerja dari semua system dalam PLTU.

2.2.4 Komponen Alat Bantu PLTU

Adapun komponen-komponen yang membantu kerja dari sebuah PLTU yang sangat penting seperti berikut ini:

1. *Economizer*

Economizer merupakan susunan pipa-pipa kecil yang diklasifikasikan sebagai alat penukar kalor yang disusun berlapis-lapis, di mana air yang melewati pipa-pipa tersebut mendapatkan panas yang berasal dari gas panas sisa pembakaran yang berada pada boiler.

2. *Steam Drum*

Tempat penampungan air dan uap dari *economiser* dan *wall tube*. Volume yang ada pada *steam drum* diperkirakan setengah bagian dari bejana tersebut. Pengaturan level di dalam steam drum menggunakan *flow control valve* dimana akan terkontrolnya air dan uap. Apabila level air terlalu rendah akan mengakibatkan *overheating* dan jika level air di *steam drum* sangat tinggi maka memungkinkan kerusakan pada turbin dikarenakan butir-butir air yang masuk ke dalam turbin dan menyebabkan turbin rusak.

3. *Air Pre-heater*

Salah satu alat yang digunakan untuk memanaskan udara yang di *supply* menuju *boiler*, dimana mendapatkan panas dari gas panas sisa pembakaran dengan perantara element dengan metode *cross flow*.

4. *Deaerator*

Alat untuk menghilangkan kandungan O₂ di air dan memanaskan air kondensat dengan menggunakan uap ekstraksi *intermediate pressure turbine*.

5. *Low pressure heater*

Adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air kondensat, dimana LPH satu, dua dan tiga menggunakan uap ekstraksi dari *low pressure turbine* sebagai pemanas.

6. *High pressure heater*

Setelah dipompa dari *boiler feed pump (BFP)*, HPH adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air kondensat, dimana HPH lima, enam dan tujuh menggunakan uap ekstraksi dari *high pressure turbine*.

7. *Mill*

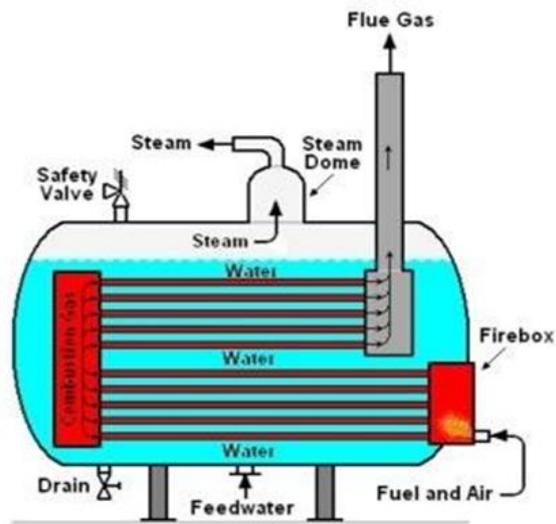
Alat yang digunakan untuk penggilingan batu bara agar batu bara dapat berukuran 200 mesh yang akan meningkatkan proses pembakaran dalam *boiler*.

2.2.5 Klasifikasi *Boiler*

Pada umumnya *boiler* dibagi dua menjadi *boiler* pipa api dan *boiler* pipa air. *Boiler* pipa api memerlukan tekanan uap yang relatif rendah sehingga biasa digunakan oleh industri menengah dan ke bawah seperti pabrik pembuatan gula dan untuk jenis *boiler* pipa air umumnya ada pada industri dan PLTU. (PT. PLN (PERSERO), 2006)

1. *Boiler* pipa api

Susunan pada *boiler* pipa api, gas panas dari hasil pembakaran mengalir di pipa-pipa yang terendam di dalam/bawah permukaan air. Sehingga perpindahan panas terjadi dari gas panas di pipa menyentuh air yang ada di luar pipa.



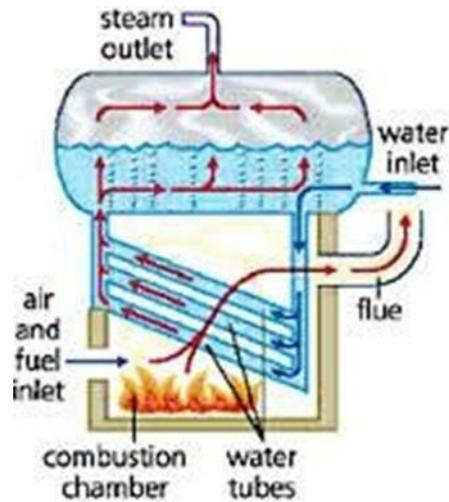
Gambar 2. 5 Boiler Pipa Api

Sumber: (Gilman, 2012)

Namun adanya keterbatasan dari *boiler* model ini yaitu tekanan uap tidak boleh melebihi dari ketebalan drum *boiler* karena bisa menyebabkan dinding *boiler* bocor.

2. *Boiler* pipa air

Air mengalir di dalam pipa-pipa yang akan mengalami pemanasan sampai menjadi uap, ketika energi panas api dari pembakaran menyentuh dinding luar bagian pipa-pipa. Pemanasan awal yang terjadi di *economizer* terlebih dahulu, lalu ketika fasa uap telah terbentuk maka akan dipisahkan di dalam *steam drum* antara uap dan air. Lalu dapat diteruskan menuju *superheater* agar uap atau *steam* menjadi kering dan tekanan uap meningkat agar dapat di distribusikan. Di dalam pipa air akan terus diperhatikan kualitas mineral dan berbagai kandungan yang terlarut agar tidak merusak sistem dari *boiler*.



Gambar 2. 6 Boiler Pipa Air

Sumber: (Gilman, 2012)

Keuntungannya ialah kapasitas yang tersedia pada *steam* besar, tekanan *boiler* saat beroperasi bisa mencapai diatas 100 bar sehingga nilai efisiensi yang didapatkan lebih tinggi. Kerugiannya yaitu biaya investasi diawal realtif mahal, perlunya penanganan kualitas air yang digunakan lebih teliti serta konstruksinya lebih rumit dan mendetail. (PT. PLN (PERSERO), 2006)

Adapun spesifikasi boiler pada PT PLN UPK Ombilin diuraikan dalam bentuk tabel 2 sebagai berikut:

Data Spesifikasi Boiler	
Pabrik Pembuat	GEC ALSTHOM Stein Industrie France
Tipe Boiler	<i>Balance Draft , Natural Circulation, Single Drum</i>
<i>Main Steam Flow</i>	420 ton/hari
<i>Main steam Pressure</i>	110 bar abs
<i>Main Steam Temperature</i>	513 °C
Bahan Bakar <i>Start up</i>	HSD (<i>High Speed Diesel</i>)
Bahan Bakar Utama	Batubara

2.2.6 Peralatan Utama Pada *Boiler*

1. *Super Heater*

Super heater berfungsi untuk memanaskan uap basah yang dihasilkan oleh boiler menjadi uap kering yang digunakan untuk mendorong turbin dengan tekanan dan suhu yang tinggi. *Super heater* memiliki peran penting terhadap komponen selanjutnya, karena apabila *super heater* tidak bekerja dengan baik dan uap yang dihasilkan jenuh maka akan merusak sudu – sudu dari turbin yang akan membuat efisiensi menurun.

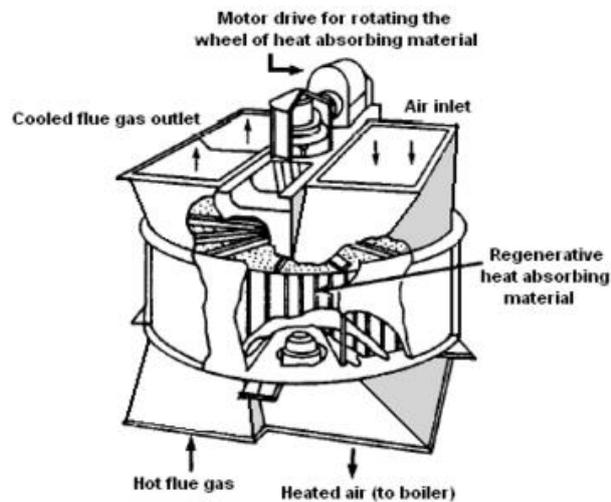


Gambar 2. 7 Superheater

Sumber: www.thermodyneboilers.com

2. *Air Preheater*

Air Preheatere berfungsi untuk memanaskan kembali udara yang berasal dari FDF dan PAF dengan memanfaatkan panas gas buang yang didistribusi melalui damper sebagai kebutuhan pembakaran pada *furnace*.

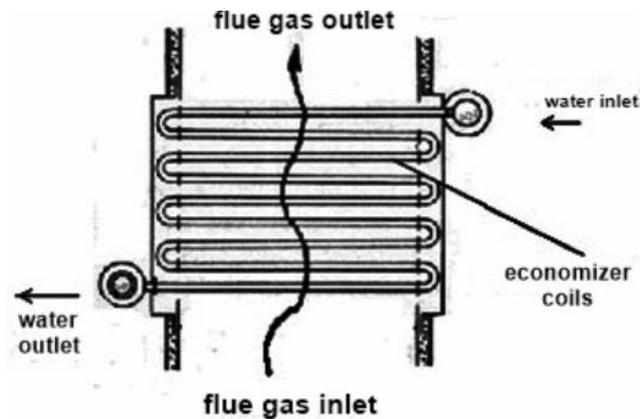


Gambar 2. 8 Air preheater

Sumber: (U.S. Environmental Protection Agency)

3. Economizer

Economizer berfungsi sebagai pemanas pada tahapan awal untuk air boiler sebelum menuju boiler *economizer* memanaskan dengan gas panas hasil sisa pembakaran dari boiler dan menghasilkan panas yang diperlukan oleh boiler untuk mengubah air menjadi uap tidak terlalu banyak dan efisiensi dapat meningkat.

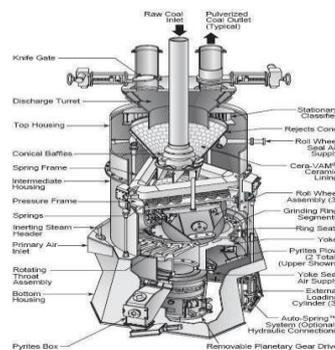


Gambar 2. 9 Economizer

Sumber: (Thermodyne Boilers, 2016)

4. Pulverizer

Pulverizer berfungsi untuk menghaluskan atau menggiling batu bara pada PLTU. Kehalusan batu bara ini sangat penting untuk *boiler* dimana bisa membuat pembakaran sempurna dan dapat menaikkan efisiensi dari *boiler* tersebut. Proses kerja yaitu batu bara yang di *supply* dari *electrical coal feeder* dan masuk ke *pulverizer* melalui *raw coal pipe* atau *coal pipe orifices* dan digiling oleh *tyre* dalam *mill* hingga halus. Batu bara yang halus akan melewati *classifier* di dalam *mill*, bila tersaring maka akan jatuh untuk di giling lagi. Benda asing yang terbawa batu bara akan jatuh dari *bowl* dan di sapu oleh *scrapper* menuju *pyrite box*.

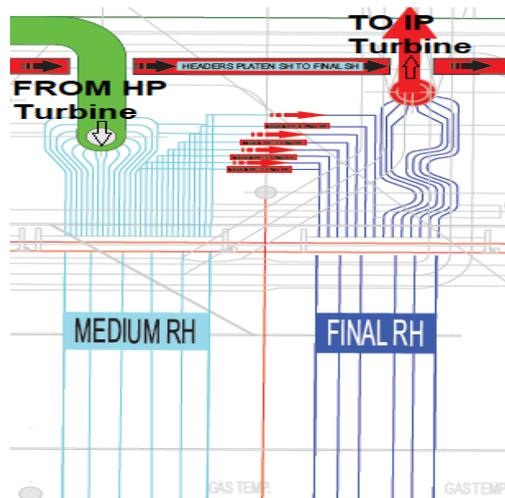


Gambar 2. 10 Pulverizer

Sumber: (Pramana, 2020)

5. Reheater

Reheater digunakan untuk memanaskan kembali uap buang yang berasal dari *high pressure turbine* yang menjadi uap panas lanjut untuk dapat mendorong sudu *intermediet turbine*, agar efisiensi naik.

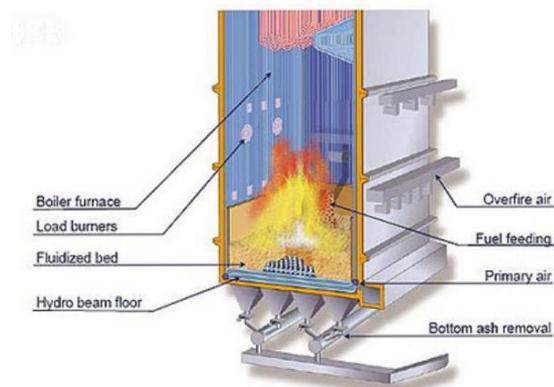


Gambar 2. 11 Reheater

Sumber: (Aziz, 2020)

6. Furnace

Furnace digunakan untuk tempat pembakaran, dimana api hasil pembakaran akan memanasi seluruh isi *boiler* untuk menghasilkan uap.

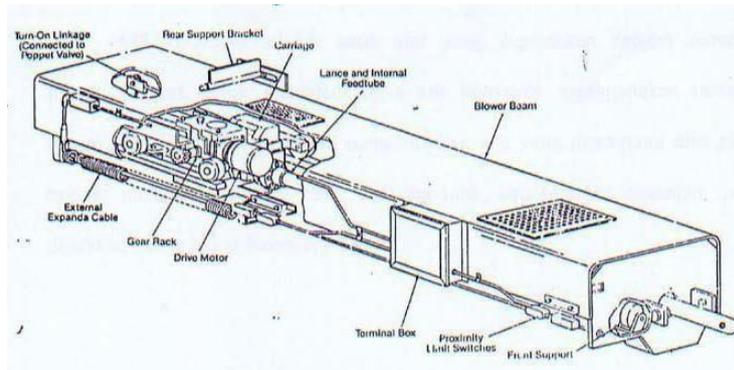


Gambar 2. 12 Furnace

Sumber: (Tarmizi, 2013)

7. Soot Blower

Soot blower berfungsi untuk membersihkan elemen pada *air heater* dan pipa – pipa pada *superheater*, *economizer*, dan *reheater*. Pembersihan berguna untuk mencegah penurunan konduksi panas pada api dan pipa yang di sebabkan oleh abu, debu atau jelaga yang dihasilkan dari pembakaran.



Gambar 2. 13 Soot Blower

Sumber: (Aziz, 2020)

8. *Safety Valve*

Safety valve merupakan alat untuk menjaga tekanan uap pada boiler, apabila tekanan boiler melebihi batas maka *safety valve* akan membuka dan membuat tekanan pada boiler normal.

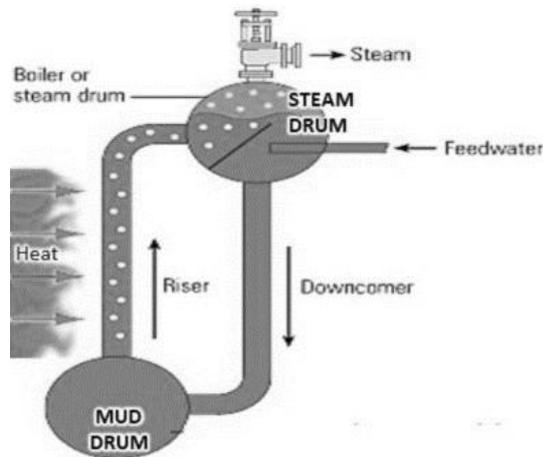


Gambar 2. 14 Safety Valve

Sumber: (Daud, 2020)

9. *Steam drum*

Steam drum pada PLTU digunakan sebagai penampung air yang akan dipanaskan dan penampung uap dihasilkan dari pipa di *boiler* sampai uap sesuai dengan yang diinginkan.

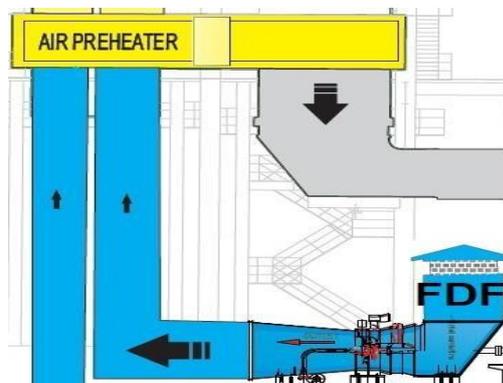


Gambar 2. 15 Steam Drum

Sumber: (Gilman, 2012)

10. *Forced Draft Fan (FDF)*

Forced Draft Fan berfungsi menghasilkan udara sekunder untuk di alurkan menuju boiler guna untuk mencampur bahan bakar dan udara serta menjadi udara pembakaran di furnace.

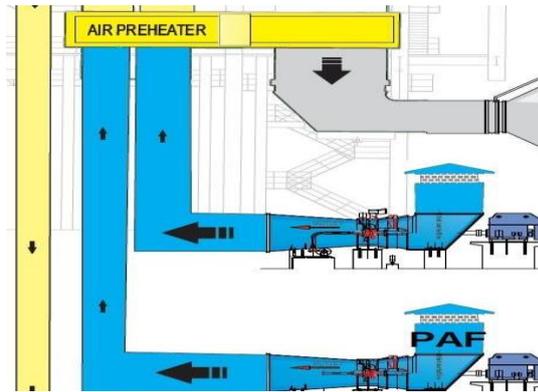


Gambar 2. 16 Forced Draft fan

Sumber: (Aziz, 2020)

11. *Primary Air Fan (PAF)*

Primary Air Fan berfungsi untuk menghasilkan udara untuk pengangkut batu bara halus keluaran *Pulverizer* menuju *burner* untuk dibakar di *Furnace*.

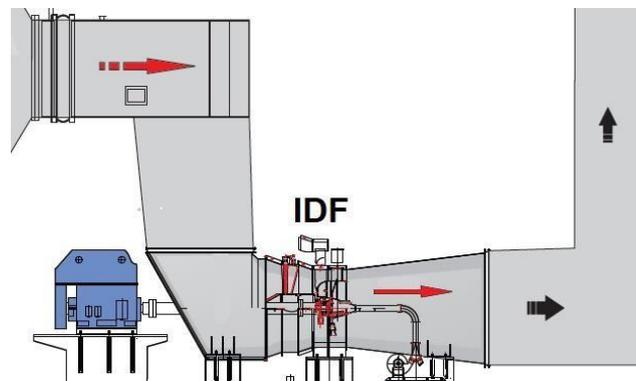


Gambar 2. 17 Primary Air Fan

Sumber: (Aziz, 2020)

12. *Induced Draft Fan (IDF)*

Induced Draft Fan berfungsi untuk menghasilkan udara untuk mendorong gas buang pembakaran ke stack dan menyedot gas dan abu jenis *fly ash* untuk melalui *electrostatic precipitator*.



Gambar 2. 18 Induced Draft Fan

Sumber: (Aziz, 2020)

2.2.7 Peralatan Pada Sistem Pembakaran Udara dan Gas Buang

Adapun peralatan-peralatan yang membantu kerja dalam pembakaran udara dan gas buang PLTU yang sangat penting seperti berikut ini (Mulud & Wahyono, 2015):

1. *Air Heater*

Air Heater adalah salah satu peralatan bantu pada sistem *boiler*, di mana alat ini berfungsi sebagai penukar kalor untuk memanaskan udara primer oleh *Mill Air Heater* dan udara sekunder oleh *Main Air Heater*. *Boiler* dapat terbantu dengan adanya kedua *Air Heater* tersebut dikarenakan kerja *boiler* tidak terlalu berat dalam melakukan pemanasan sehingga dapat menghemat bahan bakar. Sebagai pemanasnya, *Air heater* menggunakan gas buang (*Flue Gas*).

2. *Wind Box*

Wind box berfungsi sebagai jalur udara dari *secondary air* yang di dalamnya terdapat damper untuk pengaturan jumlah aliran udara pembakaran yang dibutuhkan pada setiap tingkatan burner serta sebagai wadah atau kotak penampung dari udara pembakaran yang di suplai oleh FDF.

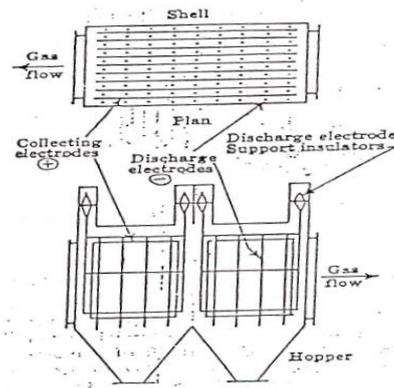
3. Kipas (*fan*)

Ada tiga jenis Fan yang biasa digunakan pada PLTU, yaitu *Induced Draught fan (ID fan)* berfungsi menarik atau mempertahankan tekanan di ruang bakar (Pengendali tekanan ruang bakar) juga berfungsi untuk menarik sisa gas hasil pembakaran menuju cerobong dan keluar ke lingkungan, *Forced Draught fan (FD fan)* yang berfungsi sebagai suplai udara pembakaran kedalam ruang bakar, *Primary Air fan (PA fan)* berfungsi sebagai suplai udara untuk sarana transportasi serbuk batubara serta untuk mengeringkan batubara didalam pulverizer. Namun dan ada pula PLTU yang dilengkapi dengan *Gas Recirculating fan (GR fan)* yang berfungsi menarik kembali sisa gas panas yang dikembalikan ke ruang bakar, yang bertujuan meningkatkan efisiensi *boiler*.

4. *Electrostatic Precipitator (ESP)*

Abu yang dihasilkan ketika proses produksi pembakaran ada dua jenis yaitu abu *fly ash* dan *bottom ash*. Abu *fly ash* adalah abu yang sangat halus dan ringan terbang dan terbawa menuju cerobong dan keluar ke udara luar yang biasanya menyebabkan polusi, sedangkan abu *bottom ash* adalah abu yang

berat dan akan tertinggal di bawah *boiler*. Untuk mengatur dan menangkap abu agar mengurangi polusi digunakan alat yang disebut *Electrostatic Precipitator*, dengan cara kerjanya menggunakan sepasang electrode arus DC disetiap unit boiler akan menangkap partikel ion-ion debu dari gas buang yang lewat mencapai 99%.

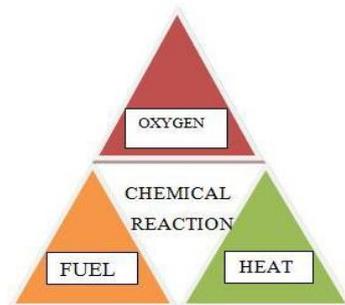


Gambar 2. 19 Electrostatic Precipitator (ESP)

Sumber: Modul Boiler dan Alat Bantunya PT. PLN Pusdiklat

2.2.8 Kebutuhan Pembakaran

Suatu reaksi yang terjadi secara kimiawi dimana pemantik, bahan bakar, oksigen bercampur dengan suatu reaksi akan menghasilkan energi panas/kalor yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Namun jika ada yang hilang dari salah satu empat bagian tersebut maka tidak akan terjadi proses pembakaran atau ketika proses pembakaran terjadi dan salah satu bagian tersebut hilang maka pembakaran akan terhenti.



Gambar 2. 20 Piramida Pembakaran

Sumber: <https://www.academia.edu/8429259>

Pada pembangkit listrik tenaga uap, oksigen dipasok melalui suatu mekanisme alat pengaturan udara, yaitu melalui yang pertama *Primary Air Fan* (PA Fan) untuk mengeringkan batu bara ketika proses penggilingan batu bara sampai 200 mesh agar mudah terbakar, biasanya batu bara berada dalam kondisi lembab sehingga mudah terbakar dan juga PA Fan berfungsi menyalurkan serbuk batubara menuju ke ruang bakar boiler. Kedua adalah *Force Draught Fan* (FD Fan) untuk memasok udara primer yang dibutuhkan ketika pembakaran di boiler tepatnya pada *furnace* (ruang bakar). (Wiharjo, 2011)

2.2.9 Pembakaran Sempurna

Pembakaran yang sempurna dapat dilakukan dengan pengontrolan “Tiga T” agar seluruh energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar dapat terlepas yaitu:

1. Waktu (*Time*)

Dalam pembakaran ketepatan waktu sangat diperlukan untuk mencapai reaksi pembakaran yang sempurna. Agar serbuk batu bara dapat terbakar secara keseluruhan dan tidak meninggalkan kerugian dari kalori yang dihasilkan sehingga tidak menghambat proses pembakaran pada bagian atas *furnace* dan jalur gas panas.

2. Temperatur (*Temperature*)

Pengaturan temperatur perlu diperlukan untuk menciptakan kesempurnaan pembakaran sehingga dihasilkan nilai kalori yang diinginkan pada saat proses pembakaran. Kegagalan dalam pengaturan temperature pembakaran dapat menimbulkan kerugian panas.

3. Turbulensi (*Turbulence*)

Penggunaan turbulensi dalam proses pembakaran yaitu dengan membuat laju aliran udara membentuk pusaran sehingga serbuk batu bara (pf) mengalami gesekan dengan udara dimana hal tersebut dilakukan untuk mencegah serbuk batu bara yang berat akan mengendap dibagian dalam pipa aliran ke burner.

Dengan memerhatikan tiga hal tersebut pembakaran yang disertai kondisi dan waktu yang tepat akan menghasilkan pembakaran sempurna dari udara dan bahan

bakar yang bereaksi. Hal tersebut tentu juga mengurangi dampak dari kerugian seperti asap hitam atau polusi dan menghasilkan biaya konsumsi bahan bakar yang lebih ekonomis.

Reaksi kimia dalam proses pembakaran terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen dan sulfur yang ada dalam bahan bakar untuk menghasilkan api. Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan *excess air*, yaitu:

1. *Neutral combustion*, yaitu pembakaran tanpa *excess air* atau pasokan udara lebih dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar.
2. *Oxidizing combustion*, yaitu pembakaran dengan *excess air*. Pembakaran yang sempurna bukan berdasarkan pasokan udara yang berlebihan.

2.2.10 Bahan Bakar Batu bara

Batu bara atau *coal* adalah fosil dimana menjadi salah satu sumber energi yang paling banyak di bumi. Komposisi pada batu bara terbilang kompleks tersusun dari zat kimia organik yang mengandung karbon, oksigen dan hidrogen di dalam rantai karbin serta mengandung sedikit nitrogen dan sulfur, ada juga mineral dan kandungan air didalamnya.

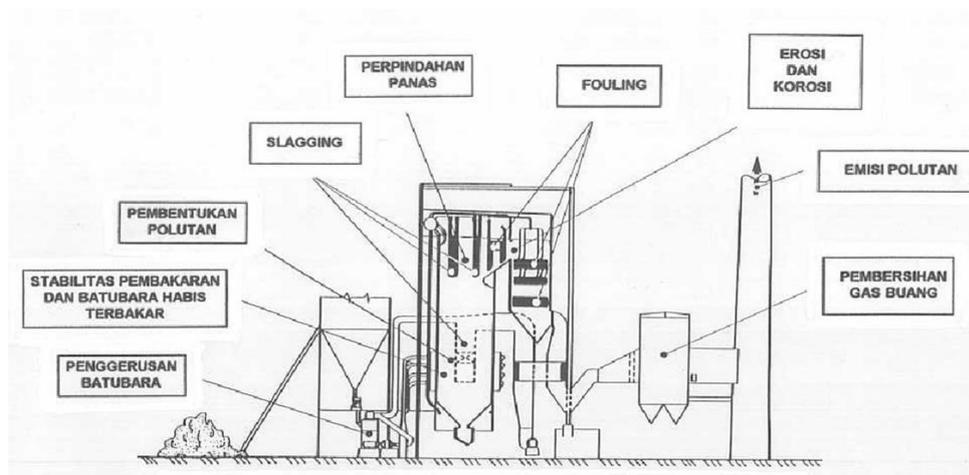
Lapisan sedimen dari batubara dapat mempengaruhi penggolongan batubara dapat dilihat dari temperature dan tekanannya dan dinyatakan melalui sifat – sifat fisik dan kimianya. Pada standar penggolongan yang dibuat American Society for Testing and Material (ASTM) untuk membedakan kualitas batubara berdasarkan tingkat metamorfosis yang paling rendah (perubahan bentuk dan struktur di bawah pengaruh suhu, tekanan, dan air).

Dalam ASTM D 388 batubara mulai di golongan dari keadaan metamorfosis yang paling rendah, yaitu lignit sampai yang tertinggi yaitu antrasit dapat dilihat dalam tabel 2.1 berikut:

Tabel 2. 1 Penggolongan Batubara

KELAS	GOLONGAN	% KARBON	% VOLATILE MATTER	SPECIFIC ENERGY Btu	SIFAT FISIK
Antrasit	1. Meta-antrasit	> 98	< 2		Non Aglomerat
	2. Antrasit	92 – 98	2– 8		
	3. Semi -antrasit	86 – 92	8 – 14		
Bituminous	1. Bituminous	78 – 86	14 – 22	> 14000	Biasa ditemui non aglomerat
	2. Low volatile	69 – 78	22 – 31	13000 – 14000	
	3. Bituminous	< 69	> 31	11500 – 13000	
	4. Medium volatile	-	-		
	5. High volatile bituminous A	-	-		
	6. High volatile bituminous B	-	-		
	7. High volatile bituminous C	-	-		
Sub bituminous	1. Sub bituminous A	-	-	10500 – 11500	Non aglomerat
	2. Sub bituminous B	-	-	9500 – 10500	
	3. Sub bituminous C	-	-	8300 – 9500	
Lignit	1. Lignit A	-	-	6300 – 8300	
	2. Lignit B	-	-	< 6300	

Akibat dari kualitas batubara yang kurang baik juga akan menyebabkan kualitas pembakaran yang kurang bagus sehingga memberikan dampak-dampak kerugian pada kesatuan system boiler. Berikut ini tempat-tempat kerugian pada boiler akibat kurangnya kualitas dari sebuah batubara



Gambar 2. 21 Efek Pengaruh Kualitas Batubara Pada Komponen Boiler

Sumber: <https://www.academia.edu/8429259>

2.2.11 Kualitas Batu bara

Batu bara yang diperoleh dari hasil penambangan pasti mengandung bahan pengotor (*impurities*). Pada saat terbentuknya, batu bara selalu bercampur dengan mineral penyusun batuan yang selalu terdapat bersamaan selama proses sedimentasi, baik sebagai mineral anorganik ataupun sebagai bahan organik.

Di samping itu selama berlangsung proses *coalification* terbentuk unsur yang tidak dapat dihindarkan. Keberadaan pengotor dalam batubara hasil penambangan diperparah lagi dengan adanya kenyataan bahwa tidak mungkin membersihkan/memilih/mengambil batubara yang bebas dari mineral. Hal tersebut disebabkan antara lain, penambangan batubara dalam jumlah besar selalu mempergunakan alat-alat berat antara lain bulldoser, backhoe, truck, belt conveyor, ponton, yang selalu bergelimang dengan tanah. Dikenal dua jenis *impurities* yaitu:

1. *Inherent impurities*

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat dalam batubara. Batubara yang sudah dicuci (*washing*) dan dikecilkan ukuran butirnya/diremuk (*crushing*) sehingga dihasilkan ukuran tertentu, ketika dibakar habis masih memberikan sisa abu. Pengotor bawaan ini terjadi bersama-sama pada waktu proses pembentukan batubara (ketika masih berupa gelly). Pengotor tersebut dapat berupa gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), pirit (FeS_2), silika (SiO_2), dapat juga

berbentuk tulang-tulang binatang (diketahui adanya senyawa fosfor dari hasil analisis abu) selain mineral lainnya. Pengotor bawaan ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan. Proses ini dikenal sebagai teknologi batubara bersih.

2. *External impurities*

Merupakan pengotor yang berasal dari luar, timbul pada saat proses penambangan antara lain terbawanya tanah yang berasal dari lapisan penutup (*overburden*). Kejadian ini sangat umum dan tidak dapat dihindari, khususnya pada penambangan batubara dengan metode tambang terbuka (*open pit*). Batubara merupakan endapan organik yang mutunya sangat ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain tempat terdapatnya sekungan batubara, umur, banyaknya pengotor/ kontaminasi. Sebagai bahan baku pembangkit energi yang dimanfaatkan dalam industri, mutu batubara mempunyai peranan sangat penting dalam memilih peralatan yang akan dipergunakan dan pemeliharaan alat. Dalam menentukan mutu/ kualitas batubara perlu diperhatikan beberapa hal antara lain:

a. *Heating Value* (HV) (Nilai kalor)

Dinyatakan dalam kkal/kg, banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan oleh batubara tiap satuan berat (dalam kilogram). Dikenal nilai kalor *net* (*net calorific value* atau *low heating calorific value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air (H₂O) dihitung dalam keadaan gas, dan nilai kalor *gross* (*grosses calorific value* atau *high heating value*, yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air (H₂O) dihitung dalam keadaan wujud cair. Semakin tinggi nilai HV, makin lambat jalannya batubara yang diumpankan sebagai bahan bakar setiap jamnya, sehingga kecepatan umpan batubara (*coal feeder*) perlu disesuaikan. Hal ini perlu diperhatikan agar panas yang ditimbulkan tidak melebihi panas yang diperlukan dalam proses industri. Akibat selanjutnya akan memperpanjang masa pakai *burner*, *wid box*, *pulperizer* (penghancur/pembubuk), dan peralatan lainnya.

Anthracite menunjukkan ciri antara lain, memperlihatkan

struktur kompak, berat jenis tinggi, berwarna hitam metalik, kandungan *volatile matter* rendah, kandungan abu dan kandungan air rendah, dan mudah dipecah. Apabila dibakar, hampir seluruhnya habis terbakar, tanpa timbul nyala, nilai kalor antara 7000-8000 kkal/kg.

Batubara yang berwarna hitam (jenis *anthracite* dan *bittuminous coal*) bersifat tidak higroskopis. *Lignite* apabila dibakar menghasilkan nilai kalor 1500-4500 kkal/kg, sedang peat apabila dibakar menghasilkan nilai kalor 1700-3000 kkal/kg. Oleh sebab itu, apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar industri dipilih jenis *anthracite* atau *bittuminous coal*, dihindarkan penggunaan peat dan lignite. Pada table di bawah ini merupakan kualitas batu bara berdasarkan jenis dan nilai kalornya

Umur	Cekungan	CV (kal/gr)	Peringkat
Eosen	Ombilin	6600-7000	Bituminus
	Sumatera Tengah	6300-6800	Bituminus
	Asam-Asam	6300-6800	Bituminus
	Pasir	6100-6790	Bituminus
	Barito (NC)	6000-7000	Bituminus
	Barito (SH/HA)	7100-8000	Bituminus-Semiantrasit
	Ketungau	6300-6900	Bituminus
Miosen	Sumatera Selatan (NC)	4000-5500	Subbituminus
	Sumatera Selatan (HA)	6000-8000	Bituminus-Antrasit
	Bengkulu	6200-6500	Bituminus
	Meulaboh	5100-5500	Subbituminus
	Kutei (NC)	4950-5500	Subbituminus
	Kutei (SH)	6000-7650	Bituminus
	Tarakan	4800-5500	Subbituminus
	Barito	4500-5500	Subbituminus
	Asam-Asam	4300-4690	Subbituminus

Nilai kalor yang di gunakan pada PLTU Pmbil jenis subbituminous dan

bituminous dengan *range* nilai kalor 5500 – 7650 Kcal/Kg

b. *Moisture Content* (kandungan lengas).

Jumlah lengas dalam batubara akan mempengaruhi penggunaan udara primer. Batubara dengan kandungan dengan lengas tinggi, akan memerlukan lebih banyak udara primer untuk mengerik batubara tersebut agar suhu batubara pada saat keluar dari gilingan (*mill*) tetap, sehingga hasil produksi industri dapat dijamin kualitasnya. Lengas batubara ditentukan oleh jumlah kandungan air yang terdapat dalam batubara. Kandungan air dalam batubara dapat berbentuk kandungan air internal (air/senyawa unsur), yaitu air yang terikat secara kimiawi. Jenis air ini sulit untuk dilepaskan tetapi dapat dikurangi, dengan cara memperkecil butiran batubara.

Jenis air yang kedua adalah air *external* (air mekanikal), yaitu air yang menempel pada permukaan batubara (Wahyudiono, 2002). Makin halus butir batubara, makin luas jumlah permukaan butir secara keseluruhan, sehingga makin banyak pula air yang menempel.

Satu hal yang menguntungkan bahwa batubara mempunyai sifat *hidrophobic*, artinya apabila batubara telah dikeringkan, maka batubara tersebut sulit menyerap air, sehingga tidak akan menambah jumlah air internal.

Selama proses penimbunan *di stock pile* akan timbul panas yang mampu menguapkan air mekanikal yang menempel pada permukaan butir.

c. *Ash Content* (kandungan abu)

Komposisi batubara bersifat heterogen, terdiri dari unsur organik (berasal dari tumbuh-tumbuhan) dan senyawa anorganik, yang merupakan hasil rombakan batuan yang ada disekitarnya, bercampur selama proses transportasi, sedimentasi, dan proses pembatubaraan (*coalification*). Apabila batubara dibakar, senyawa anorganik yang ada diubah menjadi senyawa oksida yang

berukuran butir halus dalam bentuk abu. Abu hasil pembakaran batubara ini, yang dikenal sebagai *ash content* (kandungan abu).

Abu ini merupakan kumpulan dari bahan-bahan pembentuk batubara yang tidak terbakar (*non combustible materials*), atau yang dioksidasi oleh oksigen. Bahan sisa dalam bentuk padatan ini antara lain senyawa SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Mn₃O₄, CaO, Fe₂O₃, MgO, K₂O, Na₂O, P₂O, SO₃ dan oksida unsur lain. Disamping itu terdapat pula abu dari bahan organik yang terbakar (*combustible material*).

Impurities yang terdapat dalam batubara berperan sangat penting pada kandungan abu batubara. Apabila kandungan ini dipakai untuk PLTU, abu yang ada akan terpisah menjadi abu dasar (20%) yang terkumpul didasar tungku dan abu terbang (80%) yang akan “keluar” melalui cerobong asap. Sedangkan apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar dalam industri semen, abu (dalam bentuk padatan) bercampur dengan klinker dan mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan.

Semakin tinggi kandungan abu dan tergantung pada komposisinya akan mempengaruhi tingkat pengotoran udara apabila abu sampai terlepas ke atmosfer, menyebabkan pula terjadi keausan dan korosi terhadap pada peralatan yang dilaluinya.

d. *Sulfur content* (kandungan belerang)

Belerang yang terdapat dalam batubara dibedakan menjadi 2 yaitu dalam bentuk senyawa anorganik dan senyawa organik. Belerang dalam bentuk senyawa anorganik dapat dijumpai dalam bentuk mineral pirit (FeS₂ bentuk kristal kubus), markasit (FeS₂ bentuk kristal orthorombik) atau dalam bentuk sulfat. Mineral pirit dan markasit sangat umum terbentuk pada kondisi sedimentasi rawa (reduktif). Belerang organik terbentuk selama terjadinya proses *coalification*. Horton and randall (vide krevelen, 1993).

Belerang organik yang terdapat dalam batubara dapat dioksidasi membentuk sulfat. Keberadaan sulfur dalam batubara

akan berpengaruh terhadap tingkat korosi sisi dingin (sisi luar) yang terjadi pada elemen pemanas udara (terutama pada suhu kerja lebih rendah dari letak embun sulfur), juga berpengaruh terhadap efektivitas peralatan penangkapan abu (*electrostatic precipitator*). Adanya kandungan sulfur, baik dalam bentuk senyawa anorganik maupun organik di atmosfer dipicu oleh keberadaan air hujan, mengakibatkan terbentuk air asam (dalam dunia pertambangan batubara dikenal sebagai air asam tambang, dengan $\text{pH} < 7$)

e. *Volatile matter* (bahan mudah menguap)

Kandungan *volatile matter*, berkaitan dengan proses pembatubaraan. Akibat adanya *overburden pressure*, kandungan air dalam batubara akan berkurang, sebaliknya semakin mengecilnya kandungan air, *calorific value* akan meningkat. Pada saat yang bersamaan batubara akan mengalami *proses devolatilisation*. Semua sisa oksigen, hidrogen, sulfur, nitrogen berkurang sehingga kandungan *volatile matter* mengecil. Kandungan *volatile matter* mempengaruhi kesempurnaan pembakaran ditentukan oleh nilai *Fixed carbon*. Semakin tinggi nilai *Fuel Ratio*, maka karbon yang tidak terbakar semakin banyak. Sebagai catatan, anthracite merupakan batubara kualitas tinggi mempunyai struktur kompak, berat jenis, berwarna hitam metalik, kandungan *volatile matter* rendah, mudah digiling apabila dibakar hampir seluruhnya habis terbakar, timbul nyala biru, dengan nilai kalor lebih besar atau sama dengan 8300 kcal/kg.

f. *Fixed Carbon*

Didefinisikan sebagai material yang tersisa, setelah berkurangnya *moisture*, *volatile matter* dan *ash*.

g. *Hardgrove Grindability Index* (HGI)

Suatu bilangan yang menunjukkan mudah atau sukarnya batubara digiling/digerus menjadi bahan bakar serbuk. Didalam praktek sebelum batubara dipergunakan sebagai bahan bakar, ukuran butirnya dibuat seragam dengan rentang halus sampai

kasar. Butir halus dengan ukuran < 3 mm sedangkan ukuran paling kasar sampai 50 mm. Butir paling halus perlu dibatasi dengan sifat dustness (ukuran terkecil agar tidak diterbangkan oleh angin, dengan harapan tidak mengotori lingkungan).

Sedangkan *dustness* dan tingkat kemudahan untuk diterbangkan angin dipengaruhi pula oleh kandungan lengas (*moisture content*). Makin kecil nilai HGI, maka makin keras keadaan batubaranya.

Sebagai catatan, *Hargrove Grindability Index* (HGI) batubara Indonesia berkisar antara 35-60.

h. Ash Fusion character of coal

Batu bara apabila dipanaskan bersama-sama terutama anorganik impurities akan melebur/meleleh. Apabila hal ini terjadi akan berpengaruh pada tingkat pengotoran (*fouling*), pembentukan terak (*slagging*) dan akan berakibat terjadinya gangguan pada blower.

2.2.12 Perhitungan Efisiensi *Boiler*

Efisiensi *boiler* adalah tingkat kemampuan kerja boiler dengan perbandingan antara energi yang masuk untuk diproses oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar dengan hasil energi panas yang dihasilkan berupa uap.

ASME Standard PTC 4 – 2008 merupakan standar untuk melakukan performance test boiler (fuel fired steam generator). Tingkat akurasi tes tertentu dipengaruhi oleh factor bahan bakar yang digunakan dan faktor operasi. Berdasarkan ASME PTC 4. 1998, ada dua metode yang biasa digunakan untuk perhitungan efisiensi boiler, yaitu:

a. *Direct Method / Input – Output Method*

b. *Indirect Method / Heat Loss Method*

Tabel 2. 2 Perbandingan metode langsung dan tidak langsung

Kelebihan	Kekurangan
<p>Metode Langsung (input – output)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Parameter utama dari efisiensi (input –output) didapatkan dari pengukuran langsung 2. Membutuhkan perhitungan yang lebih sedikit 3. Tidak memerlukan estimasi dari losses yang tidak terhitung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flow bahan bakar dan heating value bahan bakar, flow uap dan properties uap harus diukur secara akurat untuk meminimalkan error 2. Tidak bisa menentukan sumber inefisiensi 3. Membutuhkan metodologi perhitungan energy balance untuk mengkoreksi hasil tes
<p>Metode Tak Langsung</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pengukuran utama (analisis gas buang dan suhu gas buang) dapat dilakukan dengan sangat akurat 2. Memungkinkan melakukan koreksi hasil pengujian 3. Efisiensi hasil pengujian mempunyai tingkat ketidakpastian yang lebih rendah karena jumlah kerugian yang terukur hanya mewakili sebagian kecil dari total energy 4. Efek dari kesalahan pada pengukuran sekunder dan nilai estimasi sangatlah kecil 5. Sumber dari losses dapat diketahui 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membutuhkan pengukuran yang lebih banyak 2. Tidak secara otomatis menghasilkan kapasitas dan data output 3. Beberapa losses tidak dapat dihitung dan nilainya harus diestimasi

2.2.13 Indirect Method / Heat Loss Method

Dengan perhitungan dari *indirect method* atau metode kerugian panas, hasil yang didapat akan lebih teliti namun memerlukan data-data variable kerugian. Parameter dari variabel kerugian ini kadang sulit diperoleh karena tidak terpasang secara permanen sehingga perlu tambahan pemasangan instrumen ukur untuk variabel tersebut, penelitian yang dilakukan menggunakan metode *indirect* karena dengan metode ini hasil yang didapatkan lebih teliti, karena setiap perhitungannya dipengaruhi oleh nilai kalor.

Dengan menggunakan metode ini kerugian-kerugian efisiensi yang terjadi dapat diidentifikasi. Persamaan berikut ini adalah tahapan perhitungan efisiensi boiler dengan metode *indirect method / heat loss method* (kerugian panas) :

$$\text{Efisiensi Boiler} = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9) \dots (2.1)$$

Total *heat loss* atau kerugian – kerugian pada proses pembakaran, meliputi kerugian panas yang disebabkan oleh:

L1 = Stack atau 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 = Pembakaran tidak sempurna

L6 = Radiasi dari kehilangan lain yang tidak terhitung

L7 = Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang (*Fly Ash*)

L8 = Karbon yang tidak terbakar dalam abu bawah (*Bottom Ash*)

L9 = Kerugian Blowdown

Data-data dalam metode *heat loss* atau metode tidak langsung yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler adalah sebagai berikut:

1. Analisis ultimate bahan bakar (batubara) yaitu: H₂, O₂, S, C, Kadar air, dan kadar abu.
2. Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang.
3. Suhu gas buang dalam °C (T_f).
4. Suhu awal atau suhu ambien dalam °C (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering.
5. HHV bahan bakar dalam kcal/kg.
6. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat).
7. HHV abu dalam kcal/kg (untuk bahan bakar padat).
8. Entalpi blowdown water
9. Entalpi feed water

Tahapan yang harus dilakukan untuk melakukan perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode heat loss adalah sebagai berikut:

1. Menghitung udara kebutuhan teoritis (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)
 $(O_2)_t = (11,6C) + (34,8(H_2 - O_2/8)) + (4,35S) \dots \dots \dots (2.2)$

Dimana:

C = % karbon / kg bahan bakar

H₂ = % hydrogen / kg bahan bakar

O₂ = % oksigen / kg bahan bakar

S = % sulfur / kg bahan bakar

2. Menghitung CO₂ teoritis (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)

$$\%CO_2 = \frac{mol\ C}{mol\ N_2 + mol\ C} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$$mol\ C = \frac{wt\ of\ C\ in\ fuel}{mol\ wt\ of\ C}$$

$$mol\ N_2 = \frac{wt\ of\ N_2\ in\ theoretical\ air}{mol\ wt\ of\ N_2} + \frac{wt\ of\ N_2\ in\ fuel}{mol\ wt\ of\ N_2}$$

3. Menghitung persentase kelebihan udara yang dipasok / *Excess air* (EA) (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)

$$EA = \frac{O_2\%}{21 - O_2\%} \times 100 \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika ukuran O₂ tidak ada maka menggunakan rumus berikut:

$$EA = \frac{7900 \times (\%CO_2)t - (\%CO_2)a}{(\%CO_2)a \times (100 - (\%CO_2)t)} \dots\dots\dots(2.5)$$

4. Menghitung massa udara yang sebenarnya yang dipasok / kg bahan bakar (AAS) (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)

$$ASS = \left(1 + \frac{EA}{100}\right) \times theoretical\ air \dots\dots\dots(2.6)$$

5. Menghitung massa gas buang (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)

$$m = massa\ CO_2 + massa\ N_2\ fuel + massa\ N_2\ udara\ pembakaran + massa\ O_2\ gas\ buang \dots\dots\dots(2.7)$$

6. Menghitung kerugian – kerugian panas (*heat loss*) (Sachin, Sanjay B, & Krishna C, 2014)

- a. Menghitung kerugian panas karena gas buang kering (L1)

$$L1 = \frac{m \times Cp \times (Tf - Ta)}{HHV\ batubara} \times 100 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- m = massa dry flue gas (kg/kg batubara)
- Cp = panas spesifik flue gas (kcal/kg °C)
- Tf = Temperature flue gas (°C)
- Ta = Temperature ambient (°C)
- HHV = Higher Heating Value / nilai kalor atas (kcal/kg)

b. Menghitung kerugian panas karena moisture dari pembakaran H₂ (*hydrogen*), (L2)

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \times (584 + Cp(Tf - Ta))}{HHV \text{ batubara}} \times 100 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

- H₂ = Massa hydrogen dalam 1 kg batubara
- Cp = Panas spesifik superheated steam (kcal/kg. °C)
- HHV = Higher Heating Value / nilai kalor atas (kcal/kg)
- Tf = Temperature flue gas (°C)
- Ta = Temperature ambient (°C)
- 9 = Konstanta
- 584 = Konstanta

c. Menghitung kerugian panas karena moisture di batubara (L3)[11]

$$L3 = \frac{m \times (584 + Cp(Tf - Ta))}{HHV \text{ batubara}} \times 100 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

- m = Massa moisture dalam 1 kg batubara
- Cp = Panas spesifik superheated steam (kcal/kg. °C)
- HHV = Higher Heating Value / nilai kalor atas (kcal/kg)
- Tf = Temperature flue gas (°C)
- Ta = Temperature ambient (°C)
- 584 = Konstanta

d. Menghitung kerugian panas karena moisture di udara (L4)[11]

$$L4 = \frac{AAS \times Humidity \times Cp(Tf - Ta)}{HHV \text{ batubara}} \times 100 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

AAS = Massa udara aktual yang disuplai dalam 1 kg batubara

Humidity (Rasio kelembaban) = massa air yang terkandung dalam setiap kg udara kering.

Cp = Panas spesifik superheated steam (kcal/kg. °C)

HHV = Higher Heating Value / nilai kalor atas (kcal/kg)

Tf = Temperature flue gas (°C)

Ta = Temperature ambient (°C)

e. Menghitung kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L5)

$$L5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV \text{ batubara}} \times 100 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

CO = Volume CO di *flue gas*

CO₂ = Volume CO₂ aktual di *flue gas*

C = Kandungan carbon (kg/kg batubara)

HHV = higher heating value / nilai kalor atas (kcal/kg)

5744 = konstanta

f. Menghitung kerugian panas karena radiasi dan konveksi (L6) [11]

$$L6 = \frac{ABMA \times (HHV \text{ batubara} + \beta)}{100} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

ABMA = Total rad and convection from American Boiler Manufactures Association Chart

β = Heat credit specifikaation (0%)

g. Menghitung kerugian panas karena karbon yang tidak terbakar

• *Fly ash* yang tidak terbakar (L7)

$$L7 = \frac{\text{ash fly HHV} \times \text{terbakar bb kg per abu jumlah}}{\text{batubara GCV}} \times 100 \dots\dots(2.14)$$

• *Bottom ash* yang tidak terbakar (L8)

$$L8 = \frac{\text{ash bottom HHV} \times \text{terbakar bb kg per abu jmlh}}{\text{batubara GCV}} \times 100 \dots\dots(2.15)$$

h. Menghitung kerugian panas di Blowdown

$$\% \text{ blowdown} = \frac{Mbw \times (hbw - hfw)}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \dots\dots(2.16)$$

2.2.14 Menghitung *Specific Coal Consumption* (SCC)

Konsumsi batubara spesifik adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk upaya menghasilkan sejumlah energi (kWh) dan sebagai parameter unjuk kerja mesin yang berkaitan dengan nilai ekonomi suatu mesin, semakin kecil nilainya semakin baik kinerja suatu mesin disebabkan kinerja besar tapi penggunaan bahan bakar sedikit (Wahyono & Teguh, 2015)

$$SCC = \frac{m^{\text{batubara}} \times 3600}{\text{generator output (kW)}} \dots\dots\dots(2.17)$$

2.3 Hipotesis

Adapun dalam hipotesis atau pernyataan sementara ini penulis memberikan hipotesis yang mana digunakan sebagai jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Diduga efisiensi *boiler* di Unit 1 PLTU Ombilin dipengaruhi oleh nilai kalor.
2. Diduga konsumsi bahan bakar batu bara di Unit 1 PLTU Ombilin dipengaruhi oleh nilai kalor.

BAB III

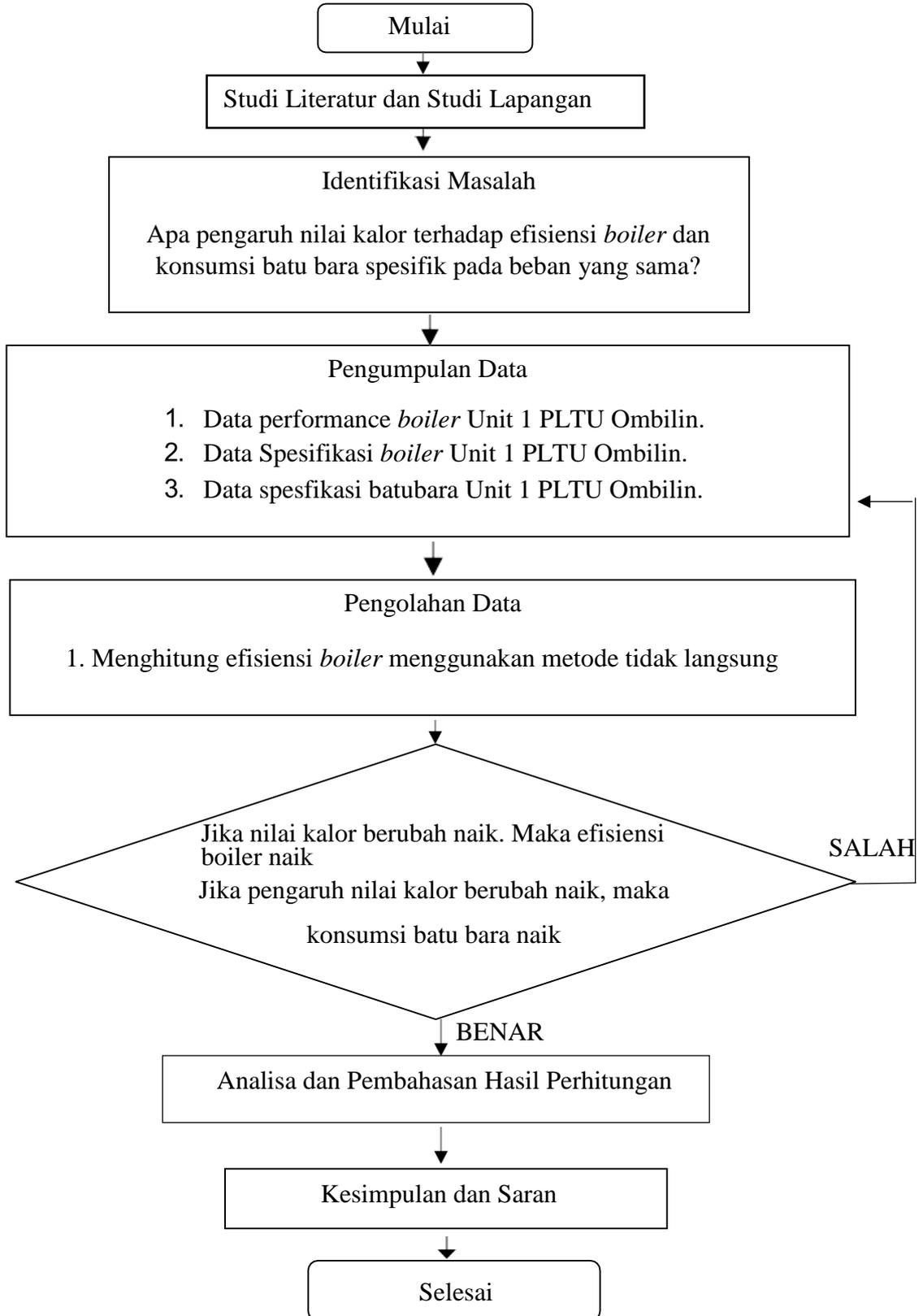
METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian penulis dapat mendeskripsikan efisiensi *boiler*, bagaimana tahap – tahap untuk mengetahui, menganalisa dan menghitung efisiensi *boiler* dengan metode heat loss serta dapat menganalisa hubungan pengaruh excess air terhadap efisiensi boiler. Dimana gambaran tersebut merupakan data – data yang diperoleh dari PT PLN UPK OMBILIN yang bersumber dari data aktual unit. Dimana data – data tersebut juga berasal dari informasi yang didapat penulis dari buku, modul atau diktat – diktat, dan internet yang akan disesuaikan dari data atas pengamatan yang didapatkan dari PLTU Ombilin.

3.1 Perancangan Penelitian

Dengan menggunakan metode deskriptif, penulis mengambil studi kasus lapangan pada sistem pembakaran dalam boiler di Unit 1 PLTU Banten Ombilin, dengan mengumpulkan data-data dan berbagai variabel penelitian yang didapatkan dari beberapa pihak terkait yaitu dari bagian Pemeliharaan *boiler* dan bagian *engineering*, terkait dengan topik permasalahan yang akan dibahas dan kemudian melakukan perhitungan. Ketika persentasi *caloric value* yang diatur sedemikian akan mempengaruhi efisiensi boiler namun tidak melupakan berbagai kerugian yang terjadi di boiler, sehingga dalam proposal skripsi ini penulis memiliki judul “*Analisis Caloric Value dan Specific Coal Consumption Terhadap Efisiensi Boiler di Unit 1 PLTU Ombilin PT.PLN UPK Ombilin*”.

3.1.1 Kerangka Pemecahan Masalah



Gambar 3. 1 Flow Chart

3.1.2 Teknik Pengumpulan Data

Sampel data yang akan diambil penulis untuk diteliti yaitu pada beban optimum pada bulan Mei, Juni dan Juli 2020 dari unit 1, dengan kondisi semua peralatan pada unit 1 bekerja tanpa adanya yang berhenti beroperasi, semua dilakukan untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih akurat.

1. Data Secara Langsung (*Primer*)

Data primer merupakan data yang dapat dibaca secara langsung atau visual pada alat ukur sebagai parameter perhitungan. Data tersebut antara lain, nilai kalori batu bara, massa udara, data temperatur gas buang, *temperature main steam*, temperatur udara ambien, *Excess air* (%O₂), % CO₂ di gas buang, daya *output* generator. Data ini diambil dari parameter pengukuran oleh efisiensi pada nilai pembebanan yang sama.

2. Data Secara Tidak Langsung (Sekunder)

Pengambilan data secara tidak langsung berdasarkan data tetap variabel yang ada seperti data spesifikasi *boiler*. Data spesifikasi boiler antara lain yaitu jenis boiler yang digunakan, bahan bakar, dan design *boiler efficiency*. Data pencampuran batubara berdasarkan dari supplier untuk nilai kalor, sedangkan untuk perhitungan campuran berdasarkan persentase massa. Nilai kualitas bahan bakar, kadar NO_x, kadar SO_x, dan kandungan abu data ini didapat dari hasil analisa laboratorium.

Pada skripsi ini, penulis melakukan beberapa langkah dalam melakukan pengumpulan data dikarenakan dibutuhkan data-data dengan variable bebas sebagai dasar acuan penelitian sebagai berikut:

a. Pengarahan

Penulis mengikuti penjelasan materi mengenai PLTU secara umum dengan dosen pembimbing dan pembimbing di lapangan sebelum melakukan penelitian dan pada saat melakukan penelitian. Sehingga penulis mendapatkan gambaran mengenai sistem pembangkit tenaga

listrik, seperti siklus pembangkit, peralatan utama, peralatan pendukung dan skema produksi.

b. Pengamatan

Penulis melakukan pengamatan secara langsung di PT. PLN UPK OMBILIN. Penulis melakukan pengamatan sistem di boiler PLTU Ombilin Unit 1.

c. Wawancara

Penulis melakukan wawancara langsung dengan teknisi/operator *boiler* PLTU Ombilin dan bidang enjinereng untuk bidang efisiensi.

d. Studi Literatur

Penulis mempelajari literatur – literatur yang berhubungan dengan topik skripsi yang diteliti penulis, antara lain manual book *boiler* PLTU Ombilin, buku – buku perpustakaan, jurnal-jurnal terkait dari penelitian penelitian sebelumnya, catatan perkuliahan dan bahan tambahan lainnya seperti bahan dari media internet.

3.1.3 Teknik Pengolahan Data

Pada pengolahan data akan dilakukan perhitungan yang dibutuhkan untuk menghitung efisiensi *boiler* dengan menggunakan data-data yang telah dikumpulkan. Dengan menggunakan data boiler setiap bulannya pada 3 bulan dengan beban optimum.

1. Mengolah data yang berkaitan dengan Efisiensi boiler seperti *fuel analysis* dan *performance boiler*.
2. Menghitung Efisiensi Boiler dengan metode tidak langsung langkah – langkah sebagai berikut :
 - a. Menghitung keperluan udara secara teori pada persamaan (2.2)
 - b. Menghitung banyaknya *Excess Air* (EA) pada persamaan (2.3)
 - c. Menghitung massa udara aktual (AAS) kg/kg bahan bakar pada persamaan (2.4)
 - d. Menghitung massa gas buang kering pada persamaan (2.5)

- e. Menghitung kehilangan kalor karena gas buang kering (L1) pada persamaan (2.6)
- f. Menghitung kehilangan kalor karena *moisture* dari pembakaran H₂ (L2) pada persamaan (2.7)
- g. Menghitung kehilangan kalor karena *moisture* di batubara (L3) pada persamaan (2.8)
- h. Menghitung kehilangan kalor karena *moisture* diudara (L4) pada persamaan (2.9)
- i. Menghitung kehilangan kalor karena pembakaran yang tidak sempurna (L5) pada persamaan (2.10)
- j. Menghitung kehilangan kalor karena radiasi (L6) dengan menggunakan tabel DIN 1942
- k. Menghitung kehilangan kalor karena *Fly ash* yang tidak terbakar (L7)
- l. Menghitung kehilangan kalor karena *Bottom ash* yang tidak terbakar (L8)
- m. Menghitung efisiensi *boiler* dengan menggunakan persamaan rumus (2.1)

3.2 Teknik Analisis

Dalam teknik analisis data, penulis menjelaskan tentang analisis hasil perhitungan pengaruh nilai *excess air ratio* terhadap efisiensi *boiler*, yaitu meliputi:

1. Analisis pengaruh *coal caloric value* terhadap efisiensi boiler
2. Analisis pengaruh *coal caloric value* terhadap konsumsi bahan bakar batu bara boiler.
3. Menghitung efisiensi *boiler* menggunakan metode *indirect*.

3.3 Spesifikasi Boiler dan Batu Bara Unit 1 PLTU Ombilin

3.3.1. Spesifikasi Boiler

Tabel 3. 1 Spesifikasi Boiler PLTU Ombilin

Data Spesifikasi Boiler	
Pabrik Pembuat	GEC ALSTHOM Stein Industrie France

Type Boiler	<i>Balance Draft , Natural Circulation, Single Drum</i>
Main Steam Flow	420 ton/hari
Main steam Pressure	110 bar abs
Main Steam Temperature	513 °C
Bahan Bakar Start up	HSD (<i>High Speed Diesel</i>)
Bahan Bakar Utama	Batubara

3.3.2 Spesifikasi Batu Bara

Tabel 3. 2 Spesifikasi Batu Bara PLTU Ombilin

No	Parameter	Unit	Design
1	<i>Carbon dioxide CO2 of dry flue gas</i>	% vol	13.510
2	<i>Oxygen O2 of dry flue gas</i>	% vol	3.340
3	<i>Carbon monoxide (CO) of dry flue gas</i>	% vol	0.060
4	<i>Nitrogen (N2)</i>	% vol	73.330
5	<i>Carbon (C) of fuel</i>	% wt	68.030
6	<i>Hydrogen (H) of fuel</i>	% wt	4.910
7	<i>Sulfur (S) of fuel</i>	% wt	0.910
8	<i>Nitrogen (N) of fuel</i>	% wt	1.180
9	<i>Oxygen (O2) of fuel</i>	% wt	9.390
10	<i>Moisture content of fuel (mf)</i>	% wt	4.610
11	<i>Ash (A) of fuel</i>	% wt	10.970
12	<i>High Heating Value (HHV)</i>	kcal/kg	6876.000

13	<i>Low Heating Value (LHV)</i>	kcal/kg	6598.000
----	--------------------------------	---------	----------

3.4 Tempat dan Jadwal Penelitian

3.4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Indonesia Power PLTU Ombilin. Pada penelitian ini membahas tentang jumlah *Excess Air Ratio* yang diperlukan dalam menjaga efisiensi pada beban 100 MW Ketika dilakukan pemeliharaan rutin di Boiler. Pemeliharaan ini dilakukan untuk menjaga performa boiler ketika faktor dari bahan bakar yaitu batubara dan pembakaran pada ruang bakar kekurangan pasokan udara.



Gambar 3. 2 Lokasi PLTU Ombilin

3.4.2 Jadwal Penelitian

Tabel 3. 3 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2020				Tahun 2021	
		Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1	Studi Literatur						
2	Studi Lapangan						
3	Pengumpulan Data						
4	Pengambilan dan Pengecekan Data						
5	Analisis Data						
6	Penyusunan Skripsi						

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pada perhitungan efisiensi boiler pada penelitian kali ini menggunakan metode *indirect metode*. Pada penelitian kali ini perhitungan efisiensi yang dilakukan berdasarkan pada analisa *Proximate* dan *Ultimate* batu bara berdasarkan data kandungan batu bara serta data *performance test* pada PLTU Ombilin Unit 1. Dimana data yang digunakan adalah data *performance test* setiap bulan selama 3 bulan (Mei, Juni, dan Juli). Oleh karena itu perhitungan yang dilakukan kali ini dengan cara membandingkan dari massa udara aktual dan nilai kalor pada efisiensi *boiler* unit 1.

Berikut merupakan data – data *performance test* setiap bulan dengan perbandingan udara aktual setiap 2 jam dan nilai kalor yang berbeda pada *boiler* unit 1 yang digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler* :

Tabel 4. 1 Data Performance Test Boiler Unit 1 13 Bulan Mei 2020

No	<i>Parameter Boiler Performance Test</i>	Satuan	13 Mei 2020 (02.00 PM)	13 Mei 2020 (04.00 PM)
1	<i>Main Steam Flow</i>	T/h	331,99	337,60
2	<i>Coal Firing Rate</i>	T/h	45,36	45,31
3	<i>Steam Pressure</i>	Bar G	88,72	90,22
4	<i>Steam Temperature</i>	°C	512.40	512.15
5	<i>Feed Water Temperature</i>	°C	181,93	182,66
6	<i>Average Flue gas Temp</i>	°C	183,50	183,44
7	<i>Ambient Temperature</i>	°C	31,40	31,60
8	<i>Humidity in Ambient Air</i>	kg/kg dry air	0,01	0,01
9	<i>%O₂ in flue gas</i>	%	3,61	3,68
10	<i>Fly Ash Split</i>	%	0,90	0,90
11	<i>Bottom Ash Split</i>	%	0,10	0,10
<i>Fuel Analysis</i>				
12	<i>Ash content in Fuel</i>	%wt	22,513	22,513
<i>Fuel Analysis</i>				

13	<i>Volatile Matter</i>	%wt	32,333	32,333
14	<i>Fixed Carbon</i>	%wt	36.760	36.760
15	<i>Moisture in Coal</i>	%wt	8,397	8,397
16	<i>Karbon Content</i>	%wt	34,536	34,536
17	<i>Hidrogen Content</i>	%wt	1.866	1.866
18	<i>Nitrogen Content</i>	%wt	1,712	1,712
19	<i>Oksigen Content</i>	%wt	30,566	30,566
20	<i>Sulfur</i>	%wt	0,410	0,410
21	<i>GCV Bahan Bakar</i>	kcal/kg	5,587,33	5587,33

Tabel 4. 2 Data Performance Test Boiler Unit 1 Bulan 17 Juni 2020

No	<i>Parameter Boiler Performance Test</i>	Satuan	17 Juni 2020 (10.00 AM)	17 Juni 2020 (12.00 PM)
1	<i>Main Steam Flow</i>	T/h	265,17	261,51
2	<i>Coal Firing Rate</i>	T/h	34,27	34,27
3	<i>Steam Pressure</i>	Bar G	70,55	69,96
4	<i>Steam Temperature</i>	°C	508.84	510,45
5	<i>Feed Water Temperature</i>	°C	174,29	174,08
6	<i>Average Flue gas Temp</i>	°C	150,45	151,77
7	<i>Ambient Temperature</i>	°C	31,20	31,60
8	<i>Humidity in Ambient Air</i>	kg/kg dry air	0,01	0,01
9	<i>%O₂ in flue gas</i>	%	5,24	4,86
10	<i>Fly Ash Split</i>	%	0,90	0,90
11	<i>Bottom Ash Split</i>	%	0,10	0,10
<i>Fuel Analysis</i>				
12	<i>Ash content in Fuel</i>	%wt	20,330	20,330
13	<i>Moisture in Coal</i>	%wt	6,280	6,280
14	<i>Volatile Matter</i>	%wt	33,877	33,877
15	<i>Fixed Carbon</i>	%wt	39,510	39,510
16	<i>Karbon Content</i>	%wt	37,025	37,025

17	<i>Hydrogen Content</i>	%wt	1,967	1,967
18	<i>Nitrogen Content</i>	%wt	1,693	1,693
19	<i>Oksigen Content</i>	%wt	32,295	32,295
20	<i>Sulfur</i>	%wt	0,410	0,410
21	<i>GCV Bahan Bakar</i>	kcal/kg	6062,67	6062,67

Tabel 4. 3 Data Performance Test Boiler Unit 1 Bulan 22 Juli 2020

No	<i>Parameter Boiler Performance Test</i>	Satuan	22 Juli 2020 (10.00 AM)	22 Juli 2020 (12.00 PM)
1	<i>Main Steam Flow</i>	T/h	336,12	351,55
2	<i>Coal Firing Rate</i>	T/h	46,07	46,07
3	<i>Steam Pressure</i>	Bar G	90,33	92,17
4	<i>Steam Temperature</i>	°C	513,93	505,86
5	<i>Feed Water Temperature</i>	°C	176,91	177,44
6	<i>Average Flue gas Temp</i>	°C	150,74	152,30
7	<i>Ambient Temperature</i>	°C	31,40	31,60
8	<i>Humidity in Ambient Air</i>	kg/kg dry air	0,01	0,01
9	<i>%O₂ in flue gas</i>	%	3,46	3,50
10	<i>Fly Ash Split</i>	%	0,90	0,90
11	<i>Bottom Ash Split</i>	%	0,10	0,10
<i>Fuel Analysis</i>				
12	<i>Ash content in Fuel</i>	%wt	21,70	21,70
13	<i>Moisture in Coal</i>	%wt	6,813	6,813
14	<i>Volatile Matter</i>	%wt	32,643	32,643
15	<i>Fixed Carbon</i>	%wt	38,753	38,753
16	<i>Karbon Content</i>	%wt	35,992	35,992
17	<i>Hydrogen Content</i>	%wt	1,888	1,888
18	<i>Nitrogen Content</i>	%wt	1,708	1,708
19	<i>Oksigen Content</i>	%wt	31,398	31,398
20	<i>Sulfur</i>	%wt	0,410	0,410

21	GCV Bahan Bakar	kcal/kg	5838,86	5838,86
----	-----------------	---------	---------	---------

4.2 Pengolahan Data

Berdasarkan data – data yang diperoleh pada tabel di atas tentang performa boiler dan batubara pada boiler Unit 1 PLTU Ombilin, maka perhitungan efisiensi boiler sengan mengkalkulasikan kerugian panas yang terjadi adalah sebagai berikut :

Perhitungan efisiensi *boiler* unit 1 pada Tanggal 13 Mei 2020 (02.00)

1. Kelebihan udara teoritis

Menggunakan persamaan rumus (2.2)

$$\begin{aligned} (O_2) &= (11.6 \times C) + \left\{ 34,8 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right\} + (4.35S) \\ &= (11.6 \times 34.536) + \left\{ 34,8 \left(1.866 - \frac{30.566}{8} \right) \right\} + (4.35 \times 0.41) \\ &= 3.34 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

2. Kelebihan udara yang dipasok / Excess Air (EA)

Menggunakan persamaan (2.3)

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

$$EA = \frac{3.61}{21 - 3.61} \times 100$$

$$= 20.75\%$$

3. Kelebihan udara yang dipasok / kg bahan bakar (AAS)

Menggunakan persamaan (2.6)

Di mana :

$$AAS = \left(1 + \frac{EA}{100} \right) \times \textit{theoretical air}$$

$$AAS = \left(1 + \frac{20.75}{100} \right) \times 3.343 \text{ kg/kg bb}$$

$$AAS = 1.2075 \times 3.343 \text{ kg/kg bb}$$

$$AAS = 3.3506 \text{ kg/kg bb}$$

4. Massa gas buang kering

Menggunakan persamaan (2.7)

Di mana:

$$\begin{aligned} \text{Massa CO}_2 &= \frac{(\%c)}{12} \times 44 \\ &= \frac{(0.345)}{12} \times 44 \\ &= 1.266 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N}_2 \text{ udara pembakaran} &= \frac{AAS \times 77}{100} \\ &= \frac{3.35 \times 77}{100} \\ &= 2.58 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Masa O}_2 \text{ gas buang} &= \frac{AAS - (O_2)t \times 23}{100} \\ &= \frac{(3.35 - (3.343) \times 23)}{100} \\ &= 0.00159 \text{ /kg bb} \end{aligned}$$

$$\text{Massa SO}_2 \text{ gas buang} = S \times 64 : 32$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Massa gas buang kering} &= 1.266 + 2.58 + 0.00159 + 0.018 \\ &= 3.865 \text{ kg/kg bb} \end{aligned}$$

5. Menghitung kerugian – kerugian panas (*Heat Loss*)

a. Menghitung kerugian panas karena gas buang kering

Menghitung kerugian – kerugian panas dengan persamaan rumus (2.8)

$$LI = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$L1 = \frac{3.865 \times 0.243 \times (456.65 - 304.55)}{5587.33} \times 100$$

$$= 2.566\%$$

Dimana :

m = Massa dry flue gas (kg/kg batubara) Cp

= Panas spesifik flue gas (kal/kg.K)

- Nilai Cp didapat dari tabel tekanan gas buang/udara

Diketahui : Average flue gas temperature = 403 K

Mencari Cp dengan interpolasi :

$$\frac{(500 - 456.65)}{500 - 450} = \frac{1.029 \frac{kJ}{kg} k - Cp}{1.029 \frac{kJ}{kg} k - 1.020 \frac{kJ}{kg} k}$$

$$\frac{43.35}{50} = \frac{1.029 \frac{kJ}{kg} k - Cp}{0.009 \frac{kJ}{kg} k}$$

$$0.39096 \text{ kJ/kg.k} = 51.45 - 50Cp \text{ kJ/kg.k}$$

$$Cp = 0.599 \text{ kcal/kg}$$

b. Menghitung kerugian panas karena *moisture* dari pembakaran H2 (Hidrogen)

Menghitung dengan persamaan rumus (2.9)

$$L2 = \frac{9 \times H2 \times (584 + Cp (Tf - Ta))}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$L2 = \frac{9 \times 1.866 \times (584 + 0.599 (456.65 - 304.55))}{5587.33} \times 100$$

$$L2 = 2.0292\%$$

Dimana :

Cp = Panas spesifik *superheated steam* (Kcal/Kg.K)

- Nilai Cp *superheated steam* diperoleh dari *software steam property* terdapat pada lampiran.

- Diketahui : *Main steam temperature* = 512.40 °C

$$\text{Main steam pressure} = 88.72 \text{ Bar G}$$

Maka didapatkan nilai $C_p = 0.685 \text{ kcal/kg}$

- c. Menghitung kerugian panas akibat *moisture* pada batu bara (L_3)

Menghitung dengan persamaan rumus (2.10)

$$L_3 = \frac{m \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$L_3 = \frac{4.037 \times (584 + 0.599 (456.65 - 304.55))}{5587.33} \times 100$$

$$= 1.014 \%$$

- d. Menghitung kerugian panas akibat *moisture* pada udara (L_4)

Menghitung dengan persamaan rumus (2.11)

$$L_4 = \frac{AAS \times Humidity \times C_p(T_f - T_a)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$L_4 = \frac{4.037 \times 0.01 \times 0.599 (456.65 - 304.55)}{5587.33} \times 100$$

$$L_4 = 0.0546\%$$

- e. Menghitung kerugian panas karena pembakaran yang tidak sempurna

Menghitung dengan persamaan (2.12)

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{HHV \text{ batu bara}} \times 100$$

$$L_5 = \frac{0 \times 0.04967}{0 + 16.53} \times \frac{5744}{4565} \times 100$$

$$L_5 = 0\%$$

- f. Menghitung kerugian panas akibat konveksi dan radiasi (L_6)

Menghitung dengan persamaan rumus (2.13)

$$L_6 = \frac{ABMA \cdot (GCV \text{ Batu bara} + \beta)}{(GCV \text{ Batu bara})}$$

$$L_6 = \frac{0.18 \cdot (5587.33 + 0)}{5587.3}$$

$$L_6 = 0.18\%$$

Dimana :

ABMA = *Total rad and conversion from American Boiler Manufactures Assosiation chart*

β = *Heat Credit Spescification (0%)*

g. Menghitung kerugian panas Fly ash

Fly ash yang tidak terbakar

$$= \frac{\text{jumlah abu terkumpul per kg bb terbakar} \times \text{GCV fly ash}}{\text{GCV batubara}} \times 100$$

$$= \frac{0.00225 \times 37.44}{5587.33} \times 100$$

$$= 0,0015086\%$$

Dimana :

$$\% \text{ ash content in fuel} = 0.022513$$

$$\text{Ratio bottom ash to fly ash} = 0.1 : 0.9$$

$$\text{Jumlah fly ash per kg batubara} = 0.9 \times 0.00225 = 0.0022513$$

h. Menghitung kerugian panas bottom ash

Bottom ash yang tidak terbakar

$$= \frac{\text{jumlah abu terkumpul per kg bb terbakar} \times \text{CGV bottom ash}}{\text{CGV batu bara}} \times 100$$

$$= \frac{0.02026 \times 179.825}{5587.33} \times 100$$

$$= 0.0652111\%$$

Dimana :

$$\% \text{ ash content in fuel} = 0,022513$$

$$\text{Ratio bottom ash to fly ash} = 0.1 : 0.9$$

$$\text{Jumlah bottom ash per kg batu bara} = 0.9 \times 0,022513 = 0.0202617$$

4.3 Hasil Perhitungan Masing – Masing Waktu Efisiensi Boiler

Setelah melakukan perhitungan nilai dari efisiensi boiler unit 1 menggunakan metode (indirect) *heatloss* dan telah diperoleh nilai – nilai seperti pada tabel di bawah :

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Udara Teoritis, AAS, *Excess Air* dan Massa *Flue Gas*

Variabel	Satuan	13 Mei 2020 02.00 AM	13 Mei 2020 04.00 PM	17 Juni 2020 10.00 AM	17 Juni 2020 12.00 PM	22 Juli 2020 10.00 AM	22 Juli 2020 12.00 PM
O ₂ teoritis	kg/kg bb	3.34375 8	3.34375 8	3.59241 8	3.59241 8	3.48411 8	3.48411 8
excess air	%	20.759	21.247	33.249	30.112	19.726	20.000
AAS	kg/kg bb	3.35069 9	3.35086 2	3.60436 2	3.60323 5	3.49099 0	3.49108 6
Masa Gas Buang	kg/kg bb	3.86507 4	3.86523 8	4.15261 1	4.15149 2	4.02643 0	4.02652 5
masa CO ₂	kg/kg bb	1.26632	1.26632	1.35758 3	1.35758 3	1.31970 6	1.31970 6
masa N ₂ udara pembakara n	kg/kg bb	2.58003 8	2.58016 4	2.77535 9	2.77449 1	2.68806 2	2.68813 6
masa O ₂ in fuel	kg/kg bb	0.00159 6	0.00163 4	0.00274 7	0.00248 7	0.00158 0	0.00160 2
Massa SO ₂	kg/kg bb	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Metode *Heatloss Efisiensi Boiler Unit 1*

Heat loss	Satuan	13 Mei 2020 02.00 PM	13 Mei 2020 04.00 PM	17 Juni 2020 10.00 AM	17 Juni 2020 12.00 PM	22 Juli 2020 10.00 AM	22 Juli 2020 12.00 PM
L ₁	%	2.5660	2.5619	1.9827	1.9976	1.9976	2.0210
L ₂	%	2.0292	2.0296	1.9072	1.9084	1.9079	1.9124

L3	%	1.0146	1.0148	0.6766	0.6770	0.7650	0.7668
L4	%	0.0546	0.0547	0.0411	0.0414	0.0428	0.0437
L5	%	0	0	0	0	0	0
L6	%	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800	0.1800
L7	%	0.0015 086	0.0000 151	0.0000 301	0.0000 301	0.0000 118	0.0001 18
L8	%	0.0652 111	0.0006 521	0.0011 142	0.0011 142	0.0007 433	0.0007 433
Total Heat Loss	%	5.9112	5.8418	4.7888	4.8056	4.8940	4.9246
Efisiensi Boiler	%	94.088 8	94.158 2	95.211 2	95.194 4	95.106 0	95.075 4

4.3.1 Menghitung Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Perhitungan berikut untuk mengetahui jumlah batubara yang di konsumsi oleh pembangkit untuk menghasilkan daya 1 Kwh (selama satu jam) dengan menggunakan rumus (2.17)

$$SCC = \frac{m_{\text{batubara}} \times 100}{\text{Generator Output (kW)}}$$

$$SCC = \frac{43.36 \text{ kg/s} \times 100}{9200 \text{ (kW)}}$$

$$SCC = \frac{129000 \text{ kg/h}}{9200 \text{ (kW)}}$$

$$SCC = 0.493 \text{ kg/kWh}$$

Dimana :

m_b = massa laju batubara (kg/s)

generator output = (kW)

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan Konsumsi batubara spesifik

Parameter	satuan	Nilai kalor Batubara					
		5587,33	5587,33	6062,67	6062,67	5838,86	5838,38
<i>Coal Flow</i>	Kg/s	45,36	45.31	34.27	34.27	46.07	46.07
<i>Generator output</i>	Mw	92	92	92	92	92	92
<i>Spesific Coal Consumption</i>	Kg/kw h	0.493043	0.4925	0.3725	0.3752	0.50076	0.50076

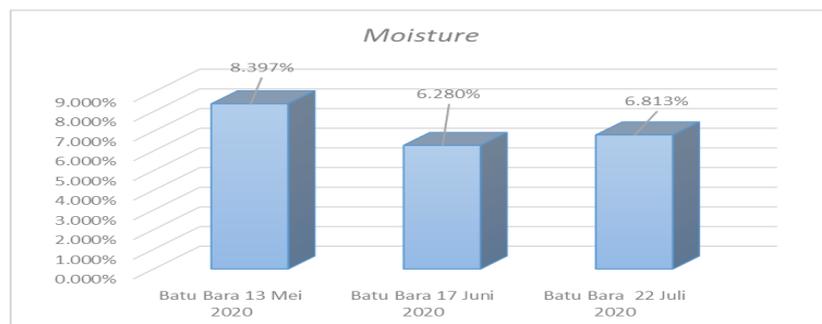
4.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.4.1 Analisa *Proximate* kandungan Batubara

Tujuan dari analisa *proximate* upaya dalam mengetahui kadar *moisture* (air dalam batubara) kadar *moisture* ini melingkupi nilai *free moisture* maupun *volatile matters, fixed carbon, ash* (abu), *moisture*, dan Nilai Kalor. parameter tersebut berfungsi dapat mengetahui *rank* batubara, rasio pembakaran (*fuel ratio*), dan dapat dipergunakan sebagai konversi basis analisa untuk parameter uji. Setiap parameter *Proximate* mempunyai prosuder masing masing dalam pengujianya, berikut penjelasan dari setiap parameter yang ada didalam analisa *proximate*

a. Analisa Kadar *Moisture*

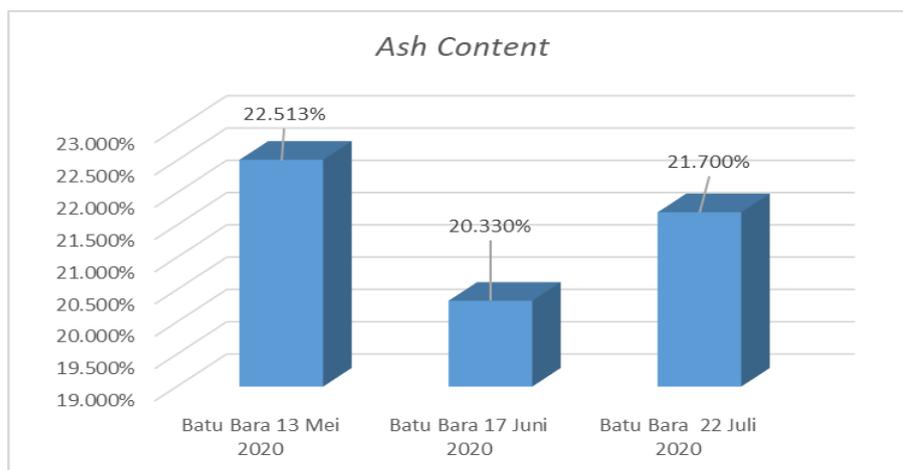
Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap *moisture* di dapat gambar grafik pada kadar *moisture* dari setiap batubara



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar *moisture* dari setiap batu bara, *Moisture* dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 13 Mei 2020 dengan nilai 8,397 % dan yang terendah dengan nilai 6,280 % pada Bulan 17 Juni 2020, *moisture* merupakan kadar seluruh jumlah air pada batubara, nilai ini dapat mempengaruhi proses pembakaran pada batubara. Kadar *moisture* merupakan nilai batubara , kadar ini setelah batubara dilakukan *air drying* pada temperatur 30⁰C sampai 40⁰C , panas perkg batubara dapat diturunkan dengan kadar air. Dan dari kadar *moisture* ini dapat mengetahui tingkatan rank batubaranya Semakin tinggi nilai *moisture* semakin membuat proses pembakaran pada batubara lebih lama dibandingkan dengan batubara yang memiliki *moisture* yang rendah, rendahnya nilai *moisture* dalam batubara membuat proses pembakarannya lebih cepat.

b. Analisa Ash Content Pada Batu Bara

Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap *Ash content* di dapat gambar grafik pada kadar *Ash content* dari setiap batubara.

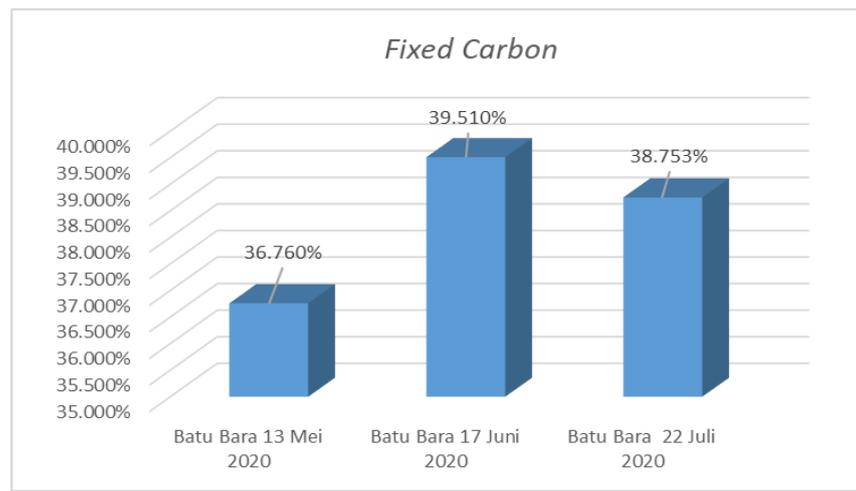


Pada gambar di atas merupakan grafik kadar *Ash Content* dari setiap batu bara, *Ash Content* dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 13 Mei 2020 dengan nilai 22,513 % dan yang terendah dengan nilai 20,330 % pada Bulan 17 Juni 2020, *Ash Content* adalah residu mineral dari pembakaran batubara yang tidak ikut terbakar. kadar abu ini dapat menyebabkan suatu permasalahan, permasalahan tersebut berupa pengotoran yang berbentuk *fouling*. hal ini sangat baik sebagai pengurangan pembentukan deposi abu pada material abu batubara dari hasil pembakaran yang tidak sempurna terhadap material anorganik yang berada dalam batubara , kadungan abu akan

terbawa bersama gas pembakaran melalui ruang bakar dan daerah aliran dalam bentuk abu terbang diudara maupun abu yang jatuh ke dasar, pengaruh tingkat abu ini pada tingkat pengotoran dan korosi pada alat yang dilalui oleh abu.

c. *Fixed Carbon* Pada Batu Bara

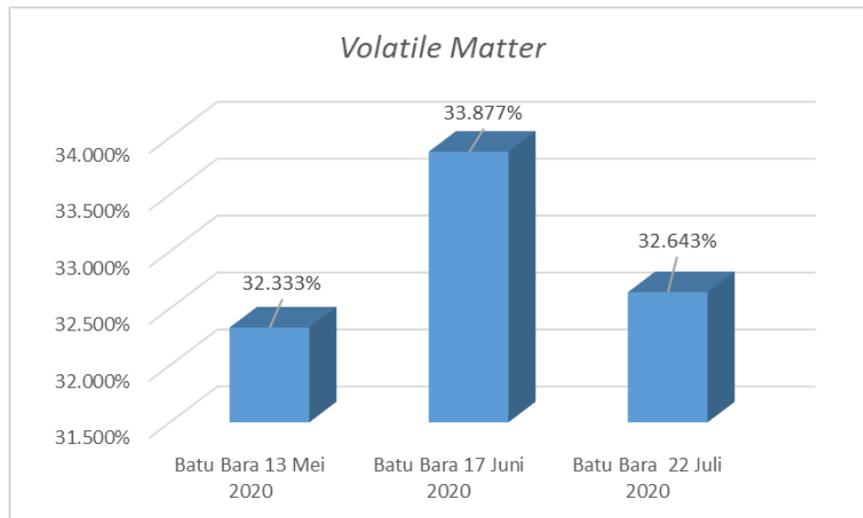
Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap *Fixed carbon* di dapat gambar grafik pada kadar *Fixed Carbon* dari batubara.



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar *Fixed Carbon* dari setiap batu bara, *Fixed Carbon* dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dengan nilai 39,510 % dan yang terendah dengan nilai 36,760 % pada Bulan 13 Mei 2020, Istilah dari *fixed carbon* suatu keadaan karbon dalam kondisi bebas tidak terikat dengan elemen lain. Untuk mengetahui gambaran kasar atas nilai kalor batubara dapat dilihat dari kandungan *fixed carbon*.

d. *Volatile Matter* Pada Batu Bara

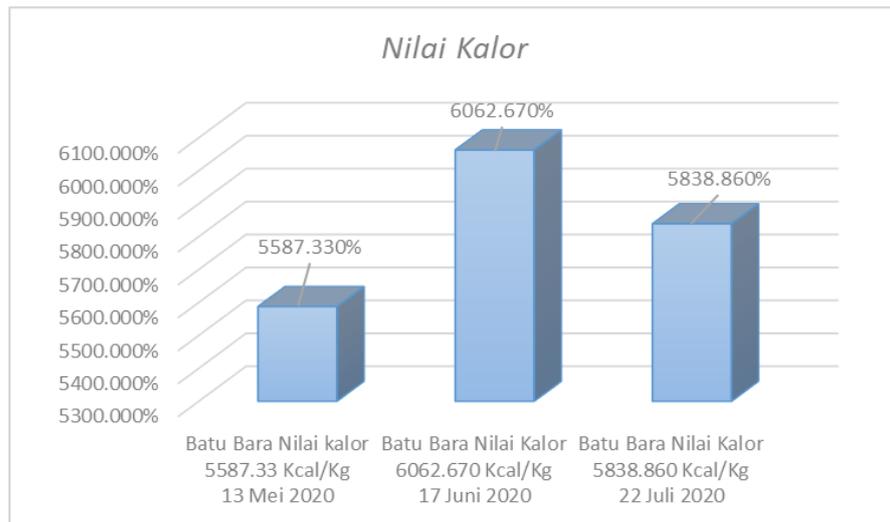
Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap *Volatile Matter* di dapat gambar grafik pada kadar *Volatile Matter* dari setiap batubara.



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar *Volatile Matter* dari setiap batu bara, *Volatile Matter* dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dengan nilai 33,877 % dan yang terendah dengan nilai 32,333 % pada Bulan 13 Mei 2020, *Volatile Matter* ialah banyaknya zat yang hilang jika batubara dipanaskan pada temperature dan waktu yang telah ditentukan. Penyebab yang berpengaruh untuk penentuan hasil *Volatile Matter* yaitu temperature, penyebaran butir, kecepatan, pemanasan, waktu dan bentuk partikelnya, dari hal tersebut kita mengetahui banyaknya zat yang hilang dan mengetahui tingkatan dari batubara tersebut. Kandungan *volatile matter*, berkaitan dengan proses pembakaran, semakin kecil nilai *volatile matter* pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Sedangkan makin besar nilai itu dapat mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna.

e. Analisa Nilai Kalor Pada Batu bara

Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap Nilai Kalor di dapat gambar grafik pada kadar Nilai Kalor dari setiap batu bara.



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar nilai Kalor dari setiap batu bara, Nilai Kalor dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dengan nilai 6062,670 Kcal/Kg dan yang terendah dengan nilai 5587,330 Kcal/Kg pada Bulan 13 Mei 2020, Dinyatakan dalam kkal/kg, banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan oleh batubara tiap satuan berat (dalam kilogram). Dikenal nilai kalor *net* (*net calorific value* atau *low heating calorific value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air (H₂O) dihitung dalam keadaan gas, dan nilai kalor gross (*grosses calorific value* atau *high heating value*, yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air (H₂O) dihitung dalam keadaan wujud cair. Semakin tinggi nilai HV, makan lambat jalannya batubara yang diumpankan sebagai bahan bakar setiap jamnya, sehingga kecepatan umpan batubara (*coal feeder*) perlu disesuaikan. Hal ini perlu diperhatikan agar panas yang ditimbulkan tidak melebihi panas yang diperlukan dalam proses industri. Akibat selanjutnya akan memerpanjang masa pakai *burner*, *wid box*, *pulperizer* (penghancur/pembubuk), dan peralatan lainnya. nilai kalor sangat berpengaruh dalam menentukan suatu kuliatas dari batubara, nilai kalor ialah suatu nilai perbandingan jumlah energi panas yang didapat batubara terbakar per Kg batubara, dari hal tersebut kita mengetahui kuliatas batubara yang digunakan. nilai kalori merupakan parameter utama sebagai peran penting pada proses pembakaran di dalam boiler, semakin tinggi nilai kalori batubara maka akan semakin dikit *Losses* yang terjadi pada proses pembakaran sehingga akan meningkatnya efisiensi boiler yang dihasilkan, jika menggunakan batubara dengan nilai kalor yang cukup rendah maka akan membutuhkan banyak batubara yang digunakan, pada penelitian

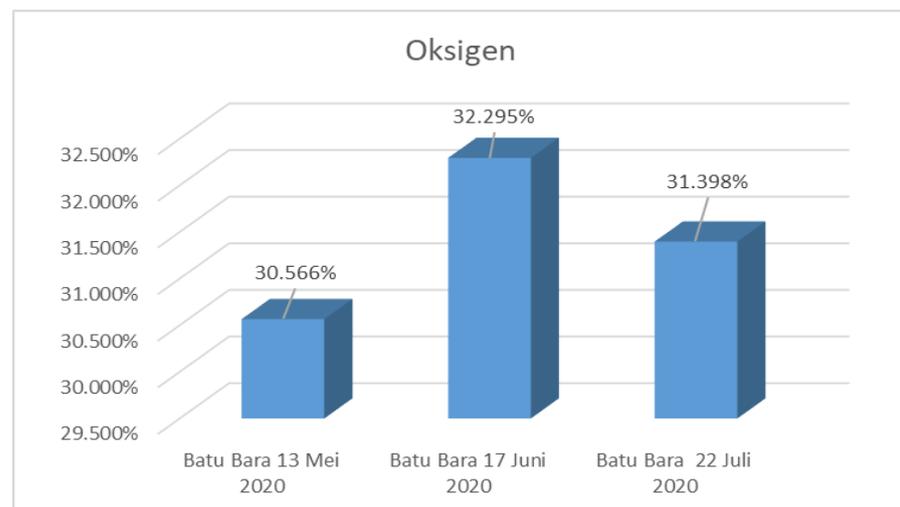
ini membandingkan jumlah nilai kalor dari data yang di dapat untuk mengetahui bagaimana efisiensi yang di dapat dari berbagai macam nilai kalor dari tiga bulan.

4.4.2 Analisa *Ultimate* Kandungan Batubara

Analisa ini untuk menentukan kadar berbagai jenis kandungan kimia yang terdapat pada batubara, seperti oksigen, nitrogen, karbon, hidrogen, Dan Sulfur dari analisa ini kita dapat mengetahui tingkatan batubara baik dari segi kualitas dan nilai kalori. pengujian analisis ultimat ini lebih ringkas, setelah sampel batubara dimasukan kedalam alat maka hasilnya dapat dilihat dilayar computer, kandungan kimia tersebut berpengaruh terhadap proses pembakaran Batu bara yang terjadi pada *Boiler*, *Berikut* Analisa tiap kandungan kimia

a. Analisa Oksigen Pada Batu Bara

Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap Oksigen di dapat gambar grafik pada kadar Nilai Oksigen dari setiap batu bara.

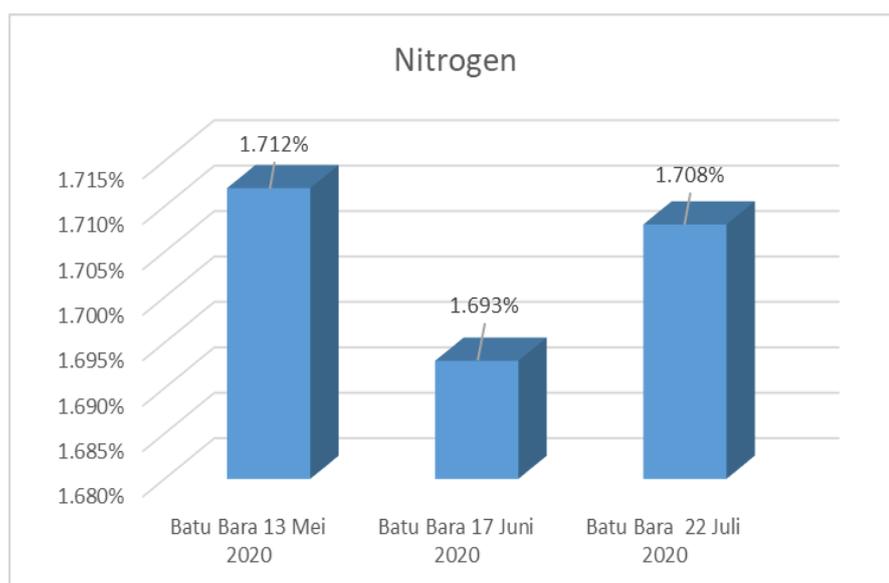


Pada gambar di atas merupakan grafik kadar Oksigen dari setiap batu bara, Oksigen dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dengan nilai 32,295 % dan yang terendah dengan nilai 30,566 % pada Bulan 13 Mei 2020, pada

teorinya batubara yang mempunyai kadar oksigen yang tinggi akan mempercepat proses pembakaran akan tetapi terjadi penambahan pembentukan air dan persen kelebihan udara, kadar oksigen yang berada batubara digunakan pada proses pembakaran. Bahan bakar yang terdiri dari unsur unsur hidrokarbon akan bereaksi dengan oksigen dalam proses pembakaran namun kadungan oksigen akan berkurang selama proses pembakaran dan mengalami proses perubahan sebagai pembentukan air dan karbon dioksida, ketika terbakarnya kandungan oksigen didalam batubara akan menimbulkan gas O_2 dan mempengaruhi kelebihan udara yang dipasok terhadap *boiler*. Dilihat dari pencampuran batubara yang dilakukan dengan rasio yang ditentukan sudah optimal terhadap nilai oksigen pada batubara.

b. Analisa Nitrogen Batu Bara

Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap Nitrogen di dapat gambar grafik pada kadar Nilai Nitrogen dari setiap batu bara.

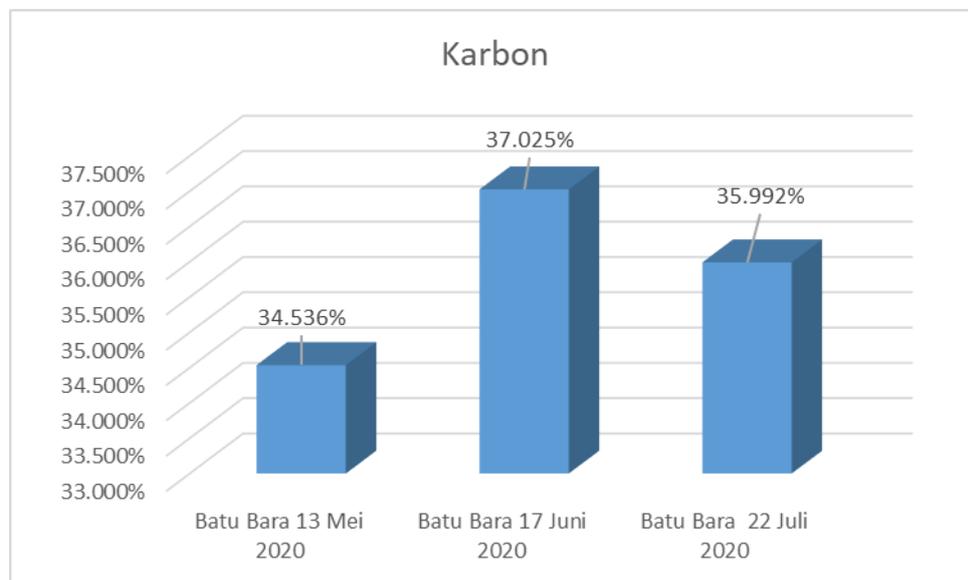


Pada gambar di atas merupakan grafik kadar Nitrogen dari setiap batu bara, Nitrogen dengan nilai tertinggi terdapat pada batu bara bulan 13 Mei 2020 dengan nilai 1,712 % dan yang terendah dengan nilai 1,693 % pada Bulan 17 Juni 2020, pada teorinya nitrogen terikat pada unsur organik dalam batubara dan pada proses pembakaran kadarnya relatif rendah, maupun nitrogen berpengaruh terhadap pembentukan emisi gas oksida nitrogen (NO_x), oksida nitrogen suatu kandungan nitrogen dan zat terbangnya ,

hal tersebut disebabkan pada proses pembakaran nitrogen akan berubah menjadi oksida nitrogen (NOx) yang terbentuk dari nitrogen dalam udara pembakaran, semakin tinggi kadar nitrogen semakin tinggi nilai oksida nitrogen yang di hasilkan, dalam perhitungan efisiensi *boiler* kadar nitrogen ini berpengaruh dalam massa gas buang,dan mempengaruhi polutan udara disekitar.

c. Analisa Karbon Batu Bara

Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap Karbon di dapat gambar grafik pada kadar Nilai Karbon dari setiap batu bara.

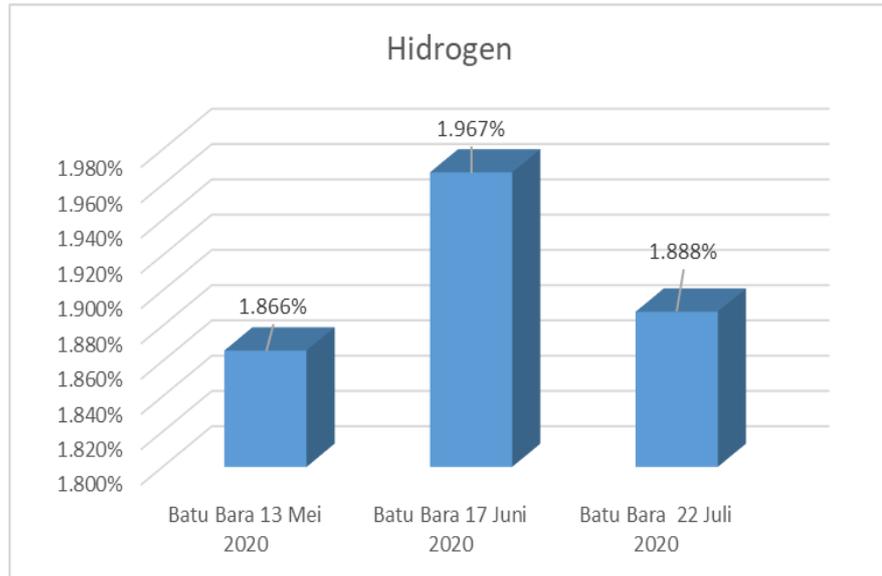


Pada gambar di atas merupakan grafik kadar nilai Karbon dari setiap batu bara, Karbon dengan nilai tertinggi 37,025 % terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dan yang terendah 34,536 % pada 13 Mei 2020 , unsur karbon dalam kandungan batubara merupakan unsur yang sangat penting perannya sebagai penyebab panas , hal ini ditunjukkan dengan jumlah karbon yang besar yang dipisahkan dalam bentuk zat terbang, yang diharapkan nilai dari unsur karbon ini besar kadarnya walaupun unsur karbon tidak memiliki nilai minimum dan maksimum pada spesifikasinya , tetapi dapat membantu proses pembakaran karena perannya sebagai penyebab panas. pencampuran batubara yang telah dilakukan dapat dibilang optimal dalam mempertahankan nilai kadar karbon, tidak ada terjadi penurunan yang cukup besar, kadar kador dalam menentukan efisiensi *boiler*

juga berpengaruh terhadap kerpeluan udara teoritis yang dipasok dalam pembakaran boiler.

d. Analisa Hidrogen Batu bara

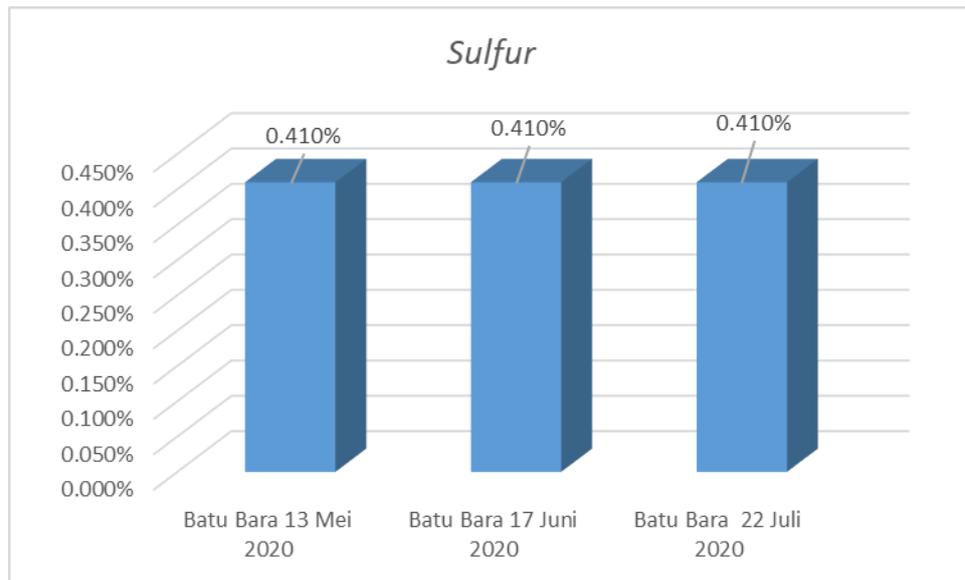
Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap Hidrogen di dapat gambar grafik pada kadar Nilai Hidrogen dari setiap batu bara.



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar nilai Hidrogen dari setiap batu bara, Hidrogen dengan nilai tertinggi 1,967 % terdapat pada batu bara bulan 17 Juni 2020 dan yang terendah 1,866 % pada 13 Mei 2020, kadar hidrogen cukup berpengaruh terhadap proses pembakaran karena, besar kecilnya nilai hidrogen berpengaruh terhadap pembentukan air nantinya saat proses pembakaran, semakin niali kadar hidrogen tinggi semakin banyak mengikat oksigen dan membentuk air meangkibatkan proses perpindahan panas akan menjadi semakin terlambat, terlebih sangat berperngaruh terhadap efisiensi *boiler* . disebabkan banyak loses yang terbuang oleh penghambatan perpindahan panas dalam pembakaran batubara. proses pencampuran batubara yang dilakukan cukup optimal walapun pencampuran batubara yang dilakukan tidak terlalu signifikan dalam menurunkan kadar hidrogen.

e. Analisa Sulfur Pada Batubara

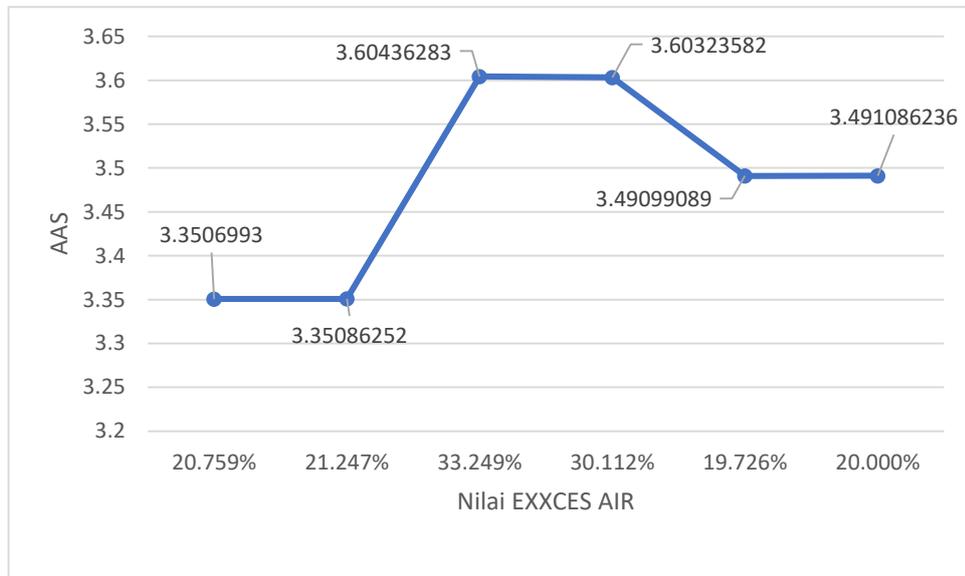
Dengan data dari *Performance Test* di atas kualitas batu bara terhadap *Sulfur* di dapat gambar grafik pada kadar Nilai *Sulfur* dari setiap batu bara.



Pada gambar di atas merupakan grafik kadar nilai *Sulfur* dari setiap batu bara, pada ketiga bulan ini memiliki nilai sulphur yang sama dengan nilai kadar *sulfur* 0,410%, kadar sulphur dalam batubara berpengaruh pada nilai kandungan udara teoritis pada pembakaran di boiler terlebih untuk efisiensi boiler, namun pencemaran udara seperti SO_2 dan SO_3 yang mencemari udara seperti hujan asam yang dapat merusak lingkungan disebabkan oleh kadar sulphur ini, dan hal lain penyebab korosi pada permukaan pemanas boiler disebabkan oleh kadar sulphur ini karena sulphur dalam bahan bakar dapat meningkatkan timbulnya pembentukan asam sulfat yang sangat korosif terhadap logam. Dari pencampuran batubara yang dilakukan dapat dilihat dari tabel dan grafik di atas pencampuran ini dapat mengoptimalkan kadar sulphur yang akan digunakan dalam pembakaran di *boiler*.

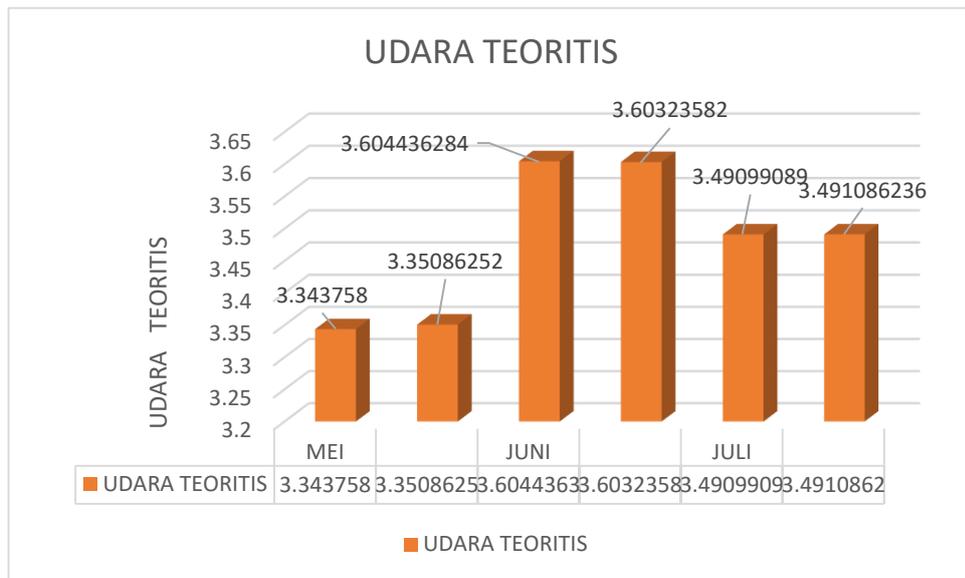
4.4.1 Analisa nilai AAS terhadap *Excess Air*

Berdasarkan hasil perhitungan, penulis dapat menganalisa nilai perbedaan AAS dan *excess air* dalam setiap waktu, seperti yang terlihat pada gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh *excess air* Terhadap AAS

Pada gambar 4.1 grafik diatas dapat dilihat nilai *excess air* dan nilai AAS (actual mass of air supplied). Jika kita bandingkan nilai AAS saat *excess air* sebesar 20,759% dan 21,247% maka dapat di ketahui bahwa nilai yang dimiliki *excess air* berbanding lurus dengan nilai AAS, dimana besarnya nilai *excess air* akan mempengaruhi nilai AAS. Maka semakin besar nilai *excess air* yang dimiliki, semakin besar pula nilai AAS yang di hasilkan. Perbandingan lurus yang di hasilkan dipengaruhi oleh *O₂ Flue Gas* dan *Average Flue Gas Temperature* yang di hasilkan dari system pemansan boiler. Perbandingan lurus yang di hasilkan dipengaruhi oleh *O₂ Flue Gas* dan *Average Flue Gas Temperature* yang di hasilkan dari system pemansan boiler.

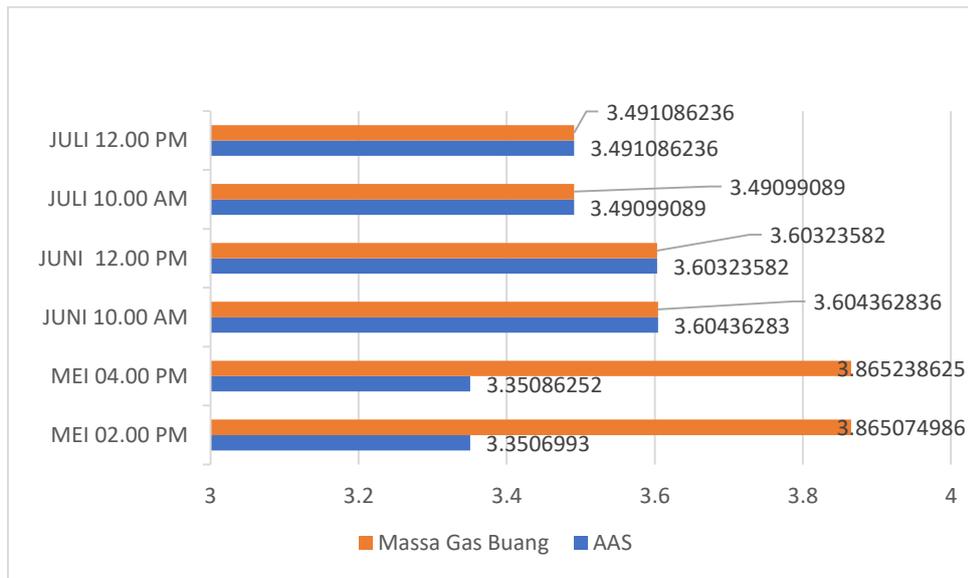


Gambar 4. 2 Grafik Nilai Udara Teoritis

Dapat di lihat grafik Gambar 4.2 di atas nilai udara teoritis pada bulan Oktober memiliki nilai yang tinggi yaitu 6,783 kg/kg bb. Jika kita lihat perbandingan nilai AAS dan *excess air* pada Gambar 4.1, Udara Teoritis tersebut berpengaruh terhadap nilai AAS dan *excess air*, Nilai O₂ Teoritis ini didapatkan dari kandungan Hidrogen, Oksigen, Sulfur dan Carbon batu bara. Dimana pada bulan tersebut unsur dari Hidrogen, Sulfur, Oksigen dan Carbon bernilai tinggi sehingga menghasilkan nilai udara teoritis yang tinggi pada bulan Juni pukul 10.00 AM tersebut. Dapat disimpulkan bahwa nilai dari AAS, *excess air* dan nilai udara teoritis dipengaruhi oleh unsur yang terdapat pada kandungan batubara dan O₂ Flue Gas.

4.4.2 Analisa Nilai AAS Terhadap Massa Gas Buang Kering

Massa gas buang kering merupakan total dari massa yang terdapat didalamnya, meliputi massa CO₂, udara pembakaran, massa SO₂, massa O₂ gas buang, dan massa N₂ udara pembakaran. Nilai dari AAS yang mempengaruhi, digunakan untuk mendapatkan massa dari N₂ udara pembakaran dan O₂ gas buang yang membuat nilai dari AAS mempengaruhi massa gas buang kering.



Gambar 4. 3 Grafik Nilai AAS Terhadap Massa Gas Buang Kering

Pada grafik di atas dapat dilihat pengaruh nilai AAS terhadap massa gas buang kering. Pada bulan Mei dapat diketahui bahwa nilai AAS yang semakin besar akan mempengaruhi massa gas buang keringnya menjadi lebih besar juga. Ini dikarenakan nilai AAS sangat mempengaruhi Massa gas buang kering. Dalam rumus persamaan (2.6) dapat kita lihat nilai AAS dalam massa gas buang kering mempengaruhi banyaknya massa N₂ udara pembakaran dan massa O₂ gas buang, sedangkan nilai massa CO₂ dan massa SO₂ dipengaruhi oleh banyaknya persentase carbon dan sulfur dalam batubara.

4.4.3 Analisa *heatloss* Karena Gas Buang Kering

Salah satu penyebab terjadinya peningkatan panas pada gas buang boiler disebabkan oleh karena kurangnya fungsi permukaan tube-tube didalam boiler dalam menyerap panas dikarenakan tube mengalami *slaging* dan *fouling* yaitu pengerakan atau timbul kerak pada permukaan tube tersebut yang berasal dari air yang dipakai ataupun berasal dari bahan bakar. Nilai kalor juga berperan dalam banyaknya kerugian gas buang kering. Sifat nilai kalor disini berbanding terbalik dengan kerugian gas buang kering, dimana semakin tinggi nilai kalor maka akan semakin kecil kerugian yang dihasilkan. Dapat dilihat nilai kalor dengan waktu seperti yang di bawah ini.



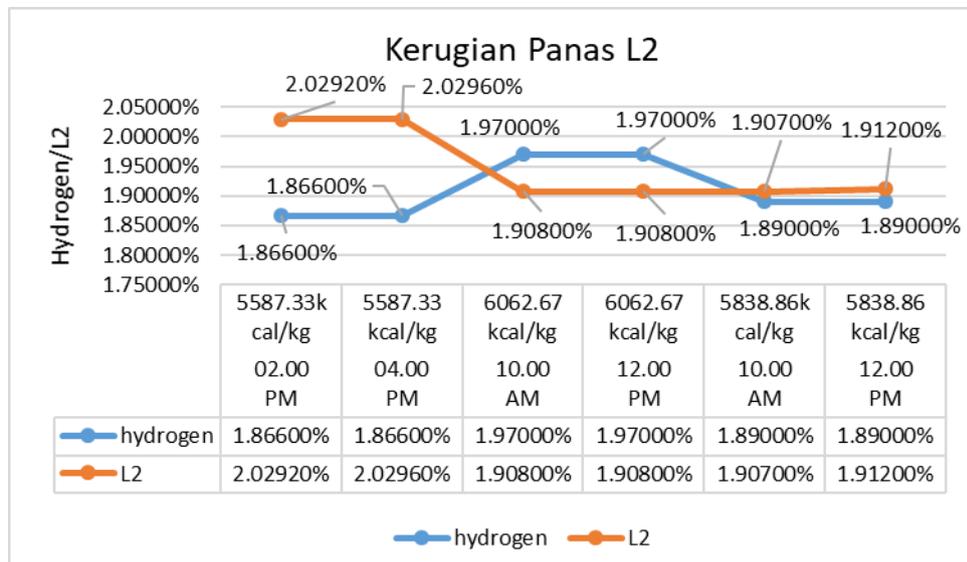
Gambar 4. 4 Grafik *Losses* Berdasarkan Nilai Kalor

Gambar di atas menunjukkan nilai kalor dalam waktu tertentu, pada bulan Mei 02.00 nilai kalornya (5587.33 kcal/kg) dan menghasilkan kerugian panas gas buang kering (2,566%), sedangkan bulan. Dapat di ketahui bahwa tingginya nilai kalor akan mengurangi kerugian panas oleh massa gas buang kering. Pada gambar 4.4 nilai L1 yang paling tinggi terdapat pada bulan Mei pukul 02.00 PM dengan nilai kerugian (2,566%) dan nilai AAS (3,35606 kg/kg bb). Sedangkan pada batubara yang sama pukul 04.00 PM memiliki nilai kerugian (2,561%) dengan nilai AAS lebih rendah (3,3508 kg/kg bb) yang seharusnya nilai kerugiannya di bawah jam 02.00, hal tersebut dikarenakan gas buang kering tidak hanya di pengaruhi oleh massa gas buang kering, namun di pengaruhi juga oleh selisih antara temperatur *ambient* dan *flue gas*. Pada jam 02.00 selisih antara *average flue gas* dan *ambient* adalah 152,1°K, sedangkan pada jam 04.00 selisihnya 151,84°K. Hal ini yang membuat nilai kerugian pukul 02.00 PM lebih besar di bandingkan pukul 04.00 PM. Jika dilihat dari grafik diatas terjadi kenaikan dan penurunan walau menggunakan jenis batu bara yang sama, hal tersebut dikarenakan pengaruh terbesar adalah nilai kalor tetapi masih terdapat pengaruh lain yaitu *average flue gas* dan *ambient temperature* walau selisih perbandingan yang kecil tetap mempengaruhi kerugian pada L1.

4.4.4 Analisa *Heatloss* Karena *Moisture* Pembakaran Hidrogen L2

Persentase kehilangan panas karena moisture dari pembakaran H₂ disebabkan oleh adanya kandungan air dalam bahan bakar. Kehilangan panas akibat kelembapan dari pembakaran hidrogen (H₂) menghasilkan produk berupa air. Kandungan hidrogen tersebut berasal dari batubara yang digunakan. Kehilangan panas ini tidak dapat dihindari, namun dapat diminimalisir dengan cara menentukan batubara yang digunakan sesuai dengan spesifikasi.

Kerugian panas ini nilai AAS tidak berpengaruh, tetapi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kandungan hidrogen yang berada dalam batubara, nilai kalori, selisih suhu antara temperatur flue gas dan ambient, serta nilai kalor spesifik *superheated steam* (C_p) yang diperoleh dari hasil interpolasi dengan memasukkan nilai temperature flue gas dan kalor spesifik variabel interpolasi sesuai dengan variable dalam rumus (2.9). Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kandungan hidrogen, selisih suhu antara temperatur flue gas dan ambient serta kalor spesifik *superheated steam* (C_p) maka akan semakin tinggi kerugian panasnya, sedangkan nilai kalori berbanding terbalik. Jika nilai kalor semakin besar maka nilai kerugiannya akan semakin kecil.



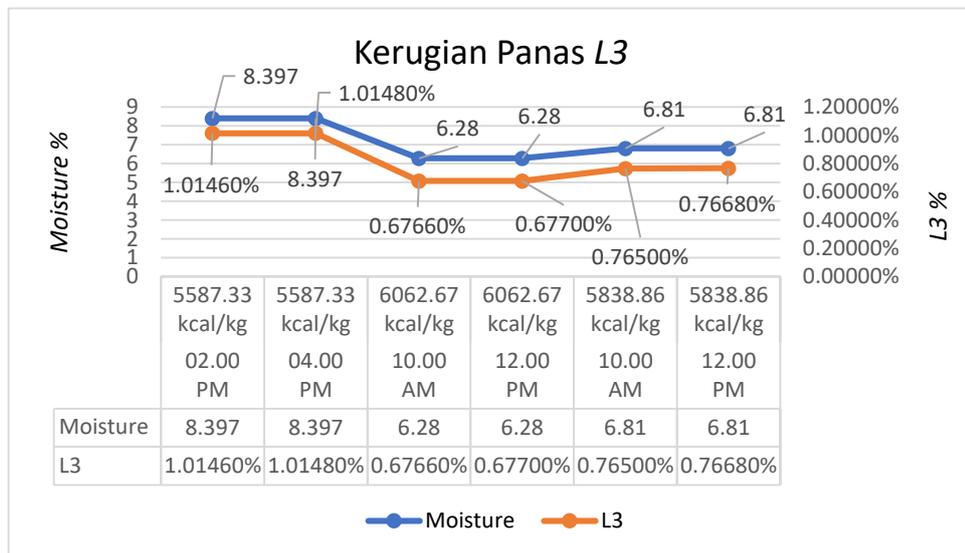
Gambar 4. 5 Grafik *Losses Hydrogen (L2)*

Kerugian panas yang dikarenakan moisture pembakaran H₂ terbesar pada tanggal bulan Mei 04.00, besarnya kerugian panas ini di sebabkan rendahnya nilai kalori batubara. Hal ini yang membuat kerugian panas tinggi dengan nilai kerugian panas (2,02960%). Jika dilihat dari grafik diatas terjadi kenaikan dan penurunan walau menggunakan jenis batu

bara yang sama, hal tersebut dikarenakan pengaruh terbesar adalah nilai kalor dan hydrogen tetapi masih terdapat pengaruh lain yaitu *average flue gas* dan *ambient temperature* walau selisih perbandingan yang kecil tetap mempengaruhi kerugian pada L2.

4.4.5 Analisa *heatloss* Karena Moisture dibatubara

Kerugian panas yang terjadi akibat adanya moisture pada batubara terjadi karena pada bahan bakar primer (batubara) yang digunakan masih memiliki kandungan air, apabila batubara mengandung air maka untuk setiap kg air yang terdapat pada batubara perlu diubah menjadi uap, sehingga dibutuhkan sejumlah panas yang lebih untuk mengubahnya menjadi uap. Pada persamaan rumus (2.8). Besar kecilnya kerugian panas ini bergantung pada beberapa faktor seperti nilai kandungan moisture batubara, nilai C_p , selisih suhu antara temperatur *flue gas* dan *ambient*, serta nilai kalori yang menjadi variable pembagiannya. Dalam kerugian panas ini yang sangat mempengaruhi adalah banyaknya nilai moisture yang terkandung di dalam batubara tersebut. *Moisture* yaitu kandungan air yang terdapat dalam batu bara.



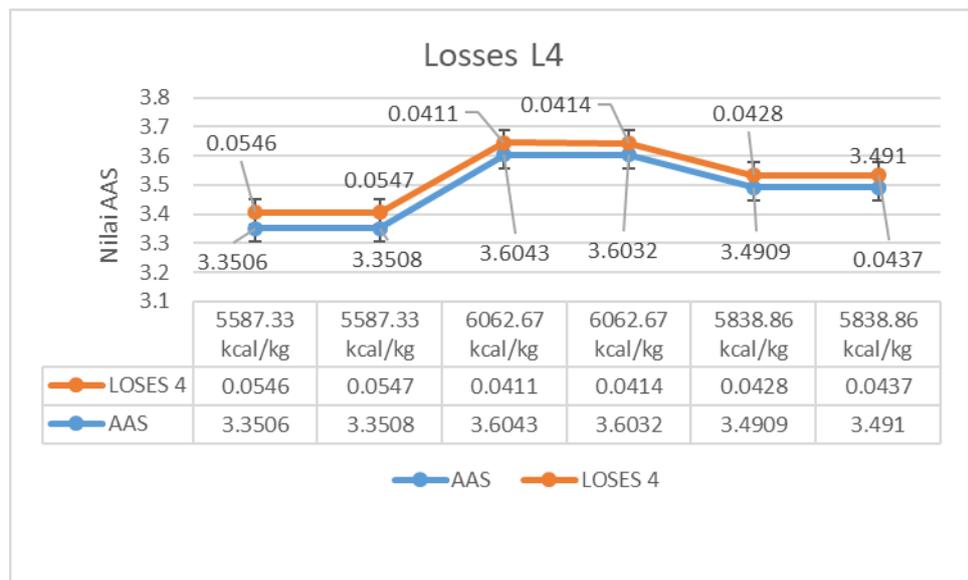
Gambar 4. 6 Grafik *Losses* 3

Jika dilihat dari grafik diatas terjadi kenaikan dan penurunan walau menggunakan jenis batu bara yang sama, nilai kerugian yang terbesar terjadi pada batu Bara Nilai kalor 5587,33 Kcal/Kg dengan kerugian panas 1,01460%. pada hal tersebut dikarenakan pengaruh terbesar adalah nilai kalor dan *moisture* batu bara tetapi masih terdapat

pengaruh lain yaitu *average flue gas*, kalor spesifik *superheated steam* dan *ambient temperature* walau selisih perbandingan yang kecil tetap mempengaruhi kerugian pada L3.

4.4.6 Analisa Heatloss Karena Moisture di Udara

Kerugian panas yang di sebabkan *moisture* di udara melibatkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi seperti nilai kalori batubara, AAS (*actual mass of air supplied*), *humidity*, Cp dan selisih temperatur *ambient* dan *flue gas*. Seperti yang di sebutkan rumus (2.11). Dalam peranannya semakin nilai AAS, *humidity*, Cp dan selisih temperatur *ambient* dan *flue gas* maka akan semakin tinggi kerugian panas yang di hasilkan, tetapi nilai kalor berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai kalori yang dimiliki batubara tersebut semakin kecil kerugian panas yang dihasilkan.



Gambar 4. 7 Grafik *Losses 4*

Berdasarkan pada gambar grafik diatas, dapat dilihat nilai *losses* atau kerugian terbesar terjadi pada bulan Mei pukul 04.00 PM dengan nilai kerugian sebesar 0,0547% dengan nilai AAS 3.3508 kg/kg bb dan pada hari yang sama dengan perbedaan waktu pukul 02.00 PM terjadi kerugian sebesar 0.0546% dan lebih rendah dibandingkan pukul 04.00 PM dikarenakan nilai dari AAS yang juga lebih rendah. Begitupun dengan bulan yang lainnya, meskipun dengan nilai kandungan batu bara yang sama namun nilai AAS yang berbeda pada setiap bulan dan jam nya, hal tersebut dikarenakan perbedaan *flue gas* dan nilai O₂ % *flue gas*.

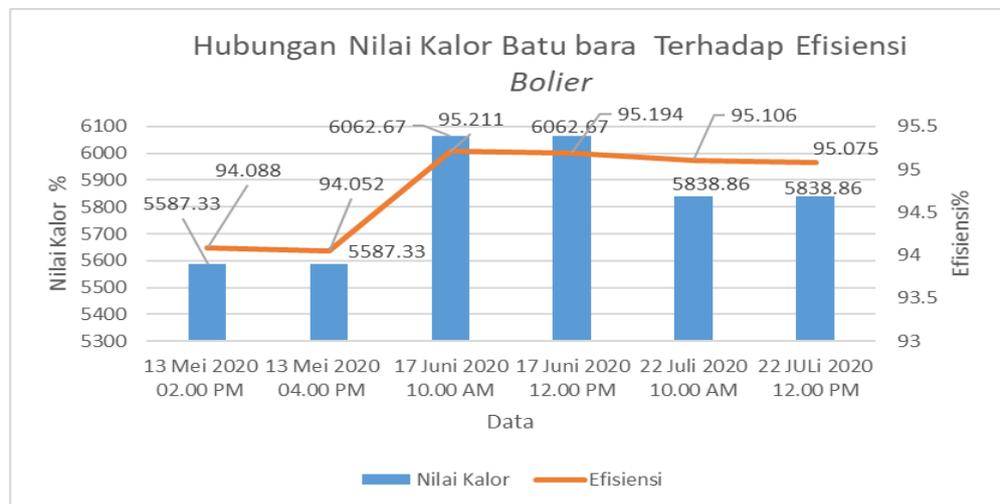
4.4.7 Analisa *Heatloss* Karena Pembakaran yang tidak sempurna

Pada perhitungan kerugian panas ini tidak dapat ditunjukkan perhitungan disebabkan tidak terdapat instrument atau parameter untuk membaca kadar CO pada PLTU Banten Lontar sehingga nilai CO di asumsikan 0 sehingga perhitungan dan analisa tidak dapat dilakukan. Kerugian panas ini memiliki beberapa variabel yang berpengaruh dalam perhitungannya seperti nilai kalor batubara, persentase CO, CO₂ dan kandungan carbon yang terdapat dalam batubara.

4.4.8 Analisa *Heatloss* Karena Radiasi dan Konveksi

Kerugian panas ini memiliki beberapa variable yang berpengaruh dalam perhitungannya seperti Nilai kalori batubara dan ABMA (*Total Rad and Convection from American Boiler Manufactures Assosiation*). Nilai dari ABMA disini adalah 0.18. sehingga hasil yang di dapatkan sama dengan perhitungan lainnya.

4.4.9 Analisa Efisiensi Boiler Metode *Indirect* Berdasarkan Nilai Kalor Batubara

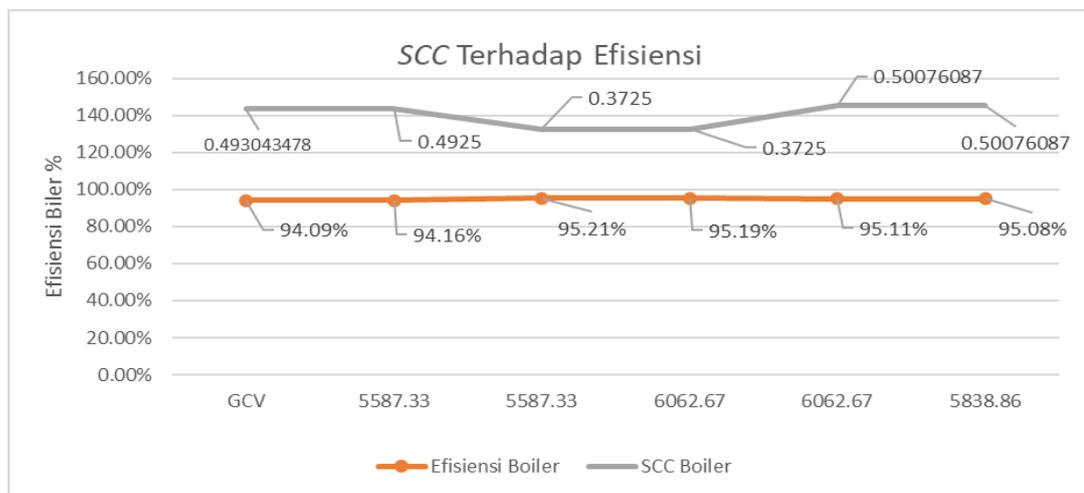


Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Metode Tidak Langsung

Pada hasil perhitungan sebelumnya, secara tidak langsung nilai kalori batubara dan nilai O₂ *Flue Gas* dapat mempengaruhi efisiensi *boiler*. Dapat di lihat dari grafik di atas perbandingan nilai kalor dan efisiensi berbanding lurus semakin besar nilai kalor semakin meningkat efisiensi boiler yang di hasilkan. maupun Hal ini di karenakan besar kecilnya nilai O₂ *Flue Gas* mempengaruhi Massa Udara Aktual (AAS), Nilai AAS mempengaruhi

banyaknya Massa N₂ udara pembakaran, Massa O₂ gas buang yang akan berlanjut mempengaruhi hasil massa gas buang kering. sedangkan nilai kalori batu bara mempengaruhi semua kerugian panas yang terdapat dalam metode *heatloss*. analisa pengaruh nilai kalori terhadap efisiensi *boiler* dengan grafik di atas dapat di simpulkan menjadi berapa point, karena setiap kerugian panas yang terjadi di pengaruhi oleh nilai kalor batubara. Untuk perbandingan efisiensi dari nilai kalor berbeda dengan data pada tanggal 13 Mei Agustus Dan 17 juni didapat kenaikan nilai kalor 475,34 kcal/kg yang menghasilkan kenaikan efisiensi *boiler* sebesar 1,159 %, nilai efisiensi yang paling tinggi dengan nilai 95,211 % dari nilai kalor 6062,67 Kcal/Kg, Hasil perbandingan nilai kalor terhadap efisiensi boiler dapat di simpulkan naiknya nilai kalor batubara akan menaikkan efisiensi *boiler*, dapat di simpulkan semakin besar nilai kalor maka semakin meningkatnya efisiensi *boiler* karena kerugian yang terjadi semakin besar nilai kalor semakin mempengaruhi presentase kerugian yang terjadi.

4.4.10 Analisa Pengaruh Konsumsi Batubara Spesifik Terhadap Efisiensi Boiler



Gambar 4. 9 Grafik Nilai Konsumsi Batubara Spesifik Terhadap Efisiensi

Dari tabel dan gambar grafik di atas kita dapat mengetahui konsumsi batubara secara spesifikasi pada tanggal yang digunakan pada perhitungan efisiensi *boiler* unit 1 PLTU ombilin, nilai konsumsi batubara dipengaruhi dari nilai kualitas batubara dan pasokan udara berlebih pada *boiler*, karena kandungan unsur memiliki unsur membutuhkan panas untuk beraksi / memiliki *Heating Value*. dengan konsumsi batubara tertinggi pada nilai kalori 5838,86 kcal/kg dengan konsumsi bahan bakar 0,5007 kcal/kg dengan nilai efisiensi 95,08% , konsumsi batubara terendah pada dengan konsumsi

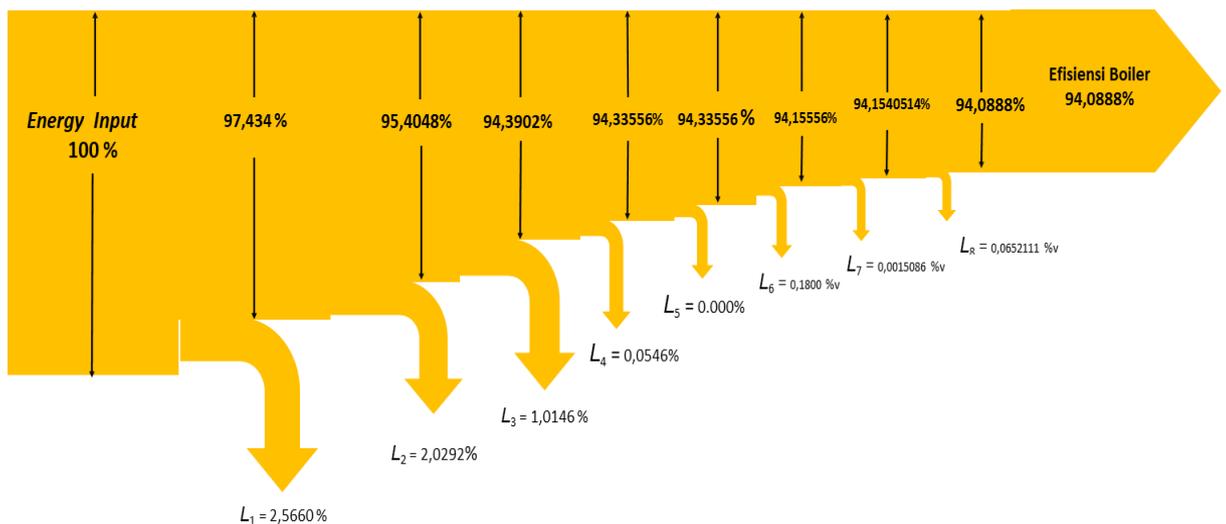
batubara 0,3725 kg/kWh dengan efisiensi yang didapatkan 95,21 % , pada beban ini grafik SCC naik turun hal ini disebabkan oleh nilai efisiensi menjadi tolak ukur dalam perpindahan panas yang terjadi di dalam *boiler*, ketika efisiensi tinggi maka perpindahan panas didalam *boiler* juga tinggi sehingga konsumsi bahan bakar akan turun, membutuhkan konsumsi bahan bakar yang tetap untuk menghasilkan beban yang sama , disebabkan kandungan unsur membutuhkan panas untuk bereaksi , dari gambar grafik dapat disimpulkan untuk konsumsi batubara ini terpengaruh nilai kalori dari batubara , kondisi boiler dapat mempengaruhi nilai konsumsi bahan bakar *boiler* seperti terjadinya slaging pada pipa sehingga menghambat perpindahan panas maupun kerusakan alat pendukung *boiler* dapat mempengaruhi akan meningkatkannya konsumsi bahan bakar. akan lebih efektif jika memakai batubara yang bernilai tinggi dalam jumlah kuatitas yang kecil, karena akan lebih mempermudah kerja *pulverizer* dalam penghalusandan mempercepat proses pembakaran dan konsumsi batubara juga dipengaruhi pasokan udara berlebih pada *boiler*, walaupun nilai kalori tinggi tapi pasokan udara berlebih konsumsi bahan bakar meningkat dan kerusakan pada alat pendukung di aera *puleverizer*.

4.4.11 Analisa Diagram Sankey Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara dan Nilai AAS Terhadap Efisiensi Boiler

Berdasarkan hasil perhitungan yang sebelumnya, secara tidak langsung nilai kalori batu bara dan nilai AAS merupakan faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi boiler. Hal tersebut dikarenakan massa N₂ udara pembakaran dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai AAS, kemudian hasil massa gas buang kering dipengaruhi oleh massa O₂ gas buang. Sementara kerugian panas yang terdapat dalam metode *heatloss* dipengaruhi oleh nilai kalori batu bara. Analisa pengaruh nilai AAS dan nilai kalor batu bara terhadap efisiensi boiler menggunakan diagram Sankey, seperti berikut :

Tabel 4. 7 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 02.00 PM

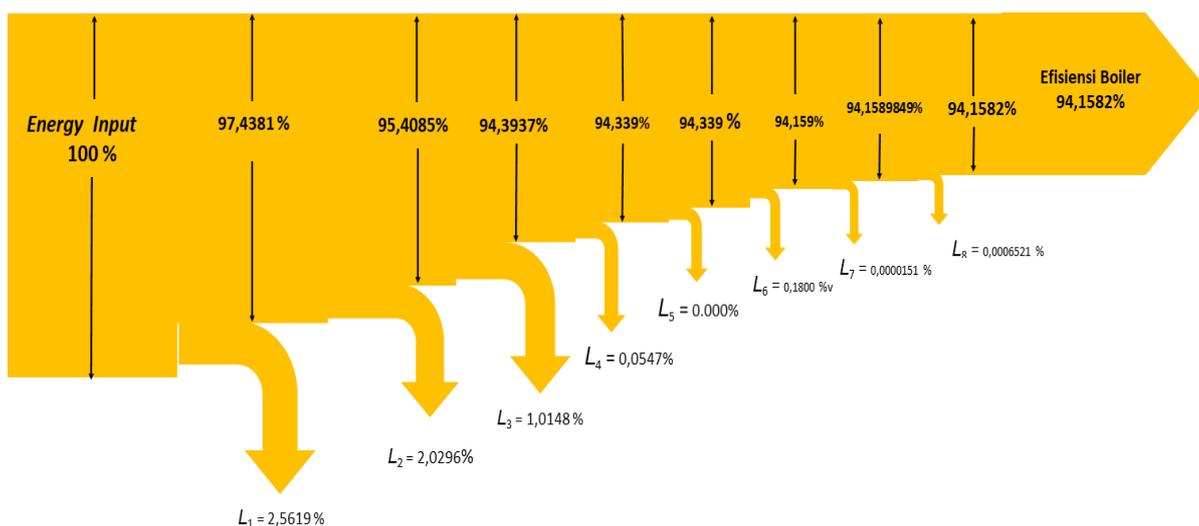
<i>Heat Loss</i>	<i>Persentase (%)</i>
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	2,5660
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	2,0292
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	1,0146
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0546
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0015086
Kerugian panas bottom ash (L ₈)	0,0652111
Efisiensi Boiler %	94,0888



Gambar 4. 10 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 02.00 PM

Tabel 4. 8 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 04.00 PM

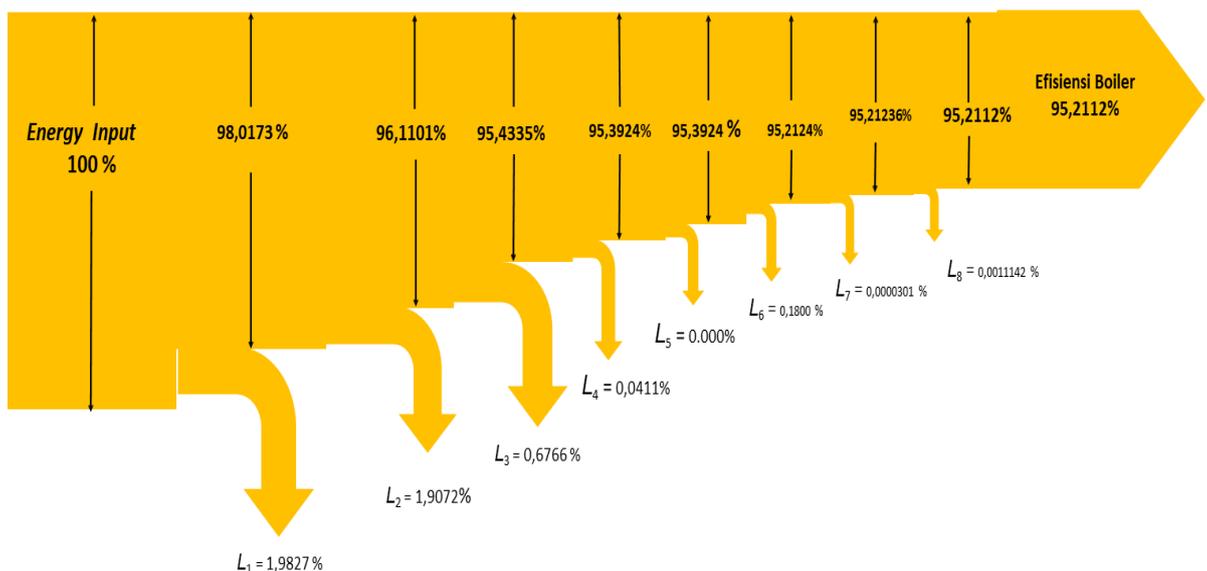
<i>Heat Loss</i>	Persentase (%)
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	2,5619
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	2,0296
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	1,0148
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0547
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0000151
Kerugian panas bottom ash (L ₈)	0,0006521
Efisiensi Boiler %	94,1582



Gambar 4. 11 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Mei 2020 Pukul 04.00 PM

Tabel 4. 9 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 17 Juni 2020 Pukul 10.00 AM

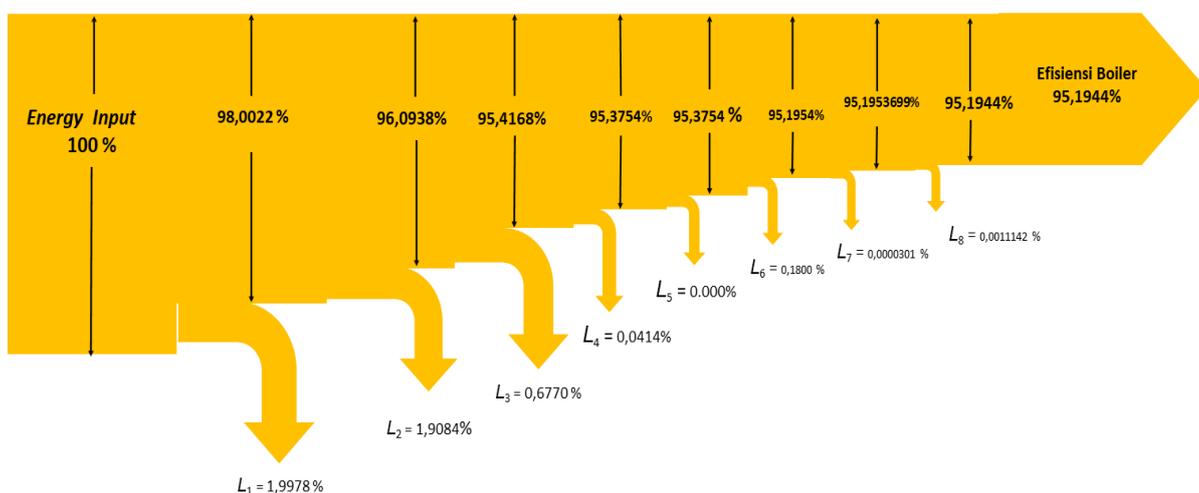
<i>Heat Loss</i>	Persentase (%)
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	1,9827
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	1,9072
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	0,6766
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0411
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0000301
Kerugian panas bottom ash (L ₈)	0,0011142
Efisiensi Boiler %	95,2112



Gambar 4. 12 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 17 Juni 2020 Pukul 10.00 AM

Tabel 4. 10 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 17 Juni 2020 Pukul 12.00 PM

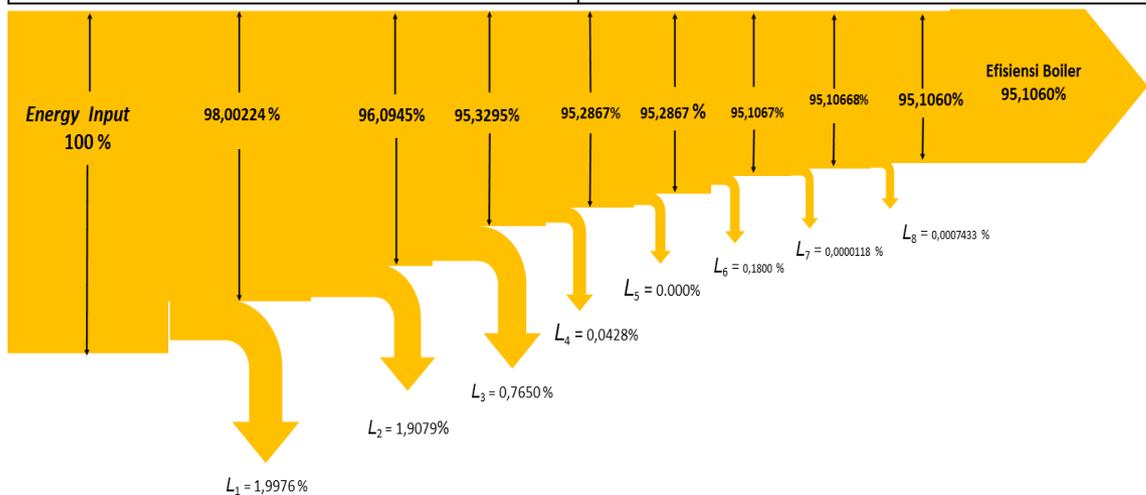
<i>Heat Loss</i>	<i>Persentase (%)</i>
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	1,9976
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	1,9084
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	0,6770
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0414
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0000301
Kerugian panas Bottom ash (L ₈)	0,0011142
Efisiensi Boiler %	95,1944



Gambar 4. 13 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 13 Juni 2020 Pukul 12.00 PM

Tabel 4. 11 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 10.00 AM

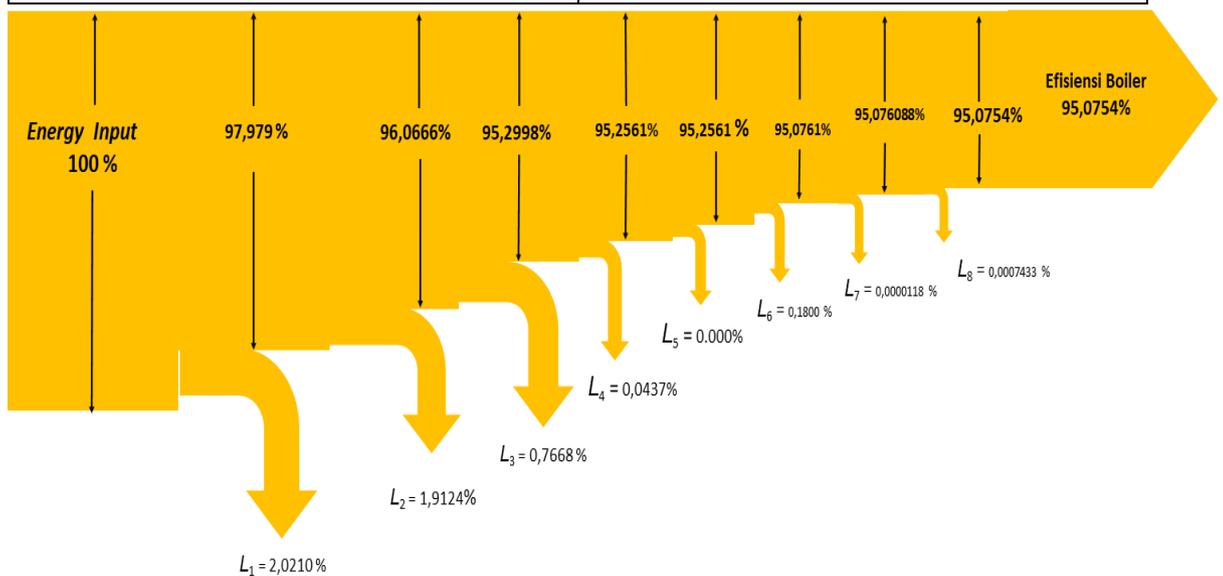
<i>Heat Loss</i>	<i>Persentase (%)</i>
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	1,9976
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	1,9079
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	0,7650
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0428
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0000118
Kerugian panas Bottom ash (L ₈)	0,0007433
Efisiensi Boiler %	95,1060



Gambar 4. 14 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 10.00 AM

Tabel 4. 12 Efisiensi Unit 1 Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 12.00 PM

<i>Heat Loss</i>	Persentase (%)
Kerugian panas karena gas buang kering (L ₁)	2,0210
Kerugian panas karena moisture dari pembakaran hidrogen (L ₂)	1,9124
Kerugian panas karena moisture di batubara (L ₃)	0,7668
Kerugian panas karena moisture di udara (L ₄)	0,0437
Kerugian panas karena pembakaran tidak sempurna (L ₅)	0
Kerugian panas karena radiasi, konveksi, dan yang tak terhitung (L ₆)	0,1800
Kerugian panas fly ash (L ₇)	0,0000118
Kerugian panas Bottom ash (L ₈)	0,0007433
Efisiensi Boiler %	95,0754

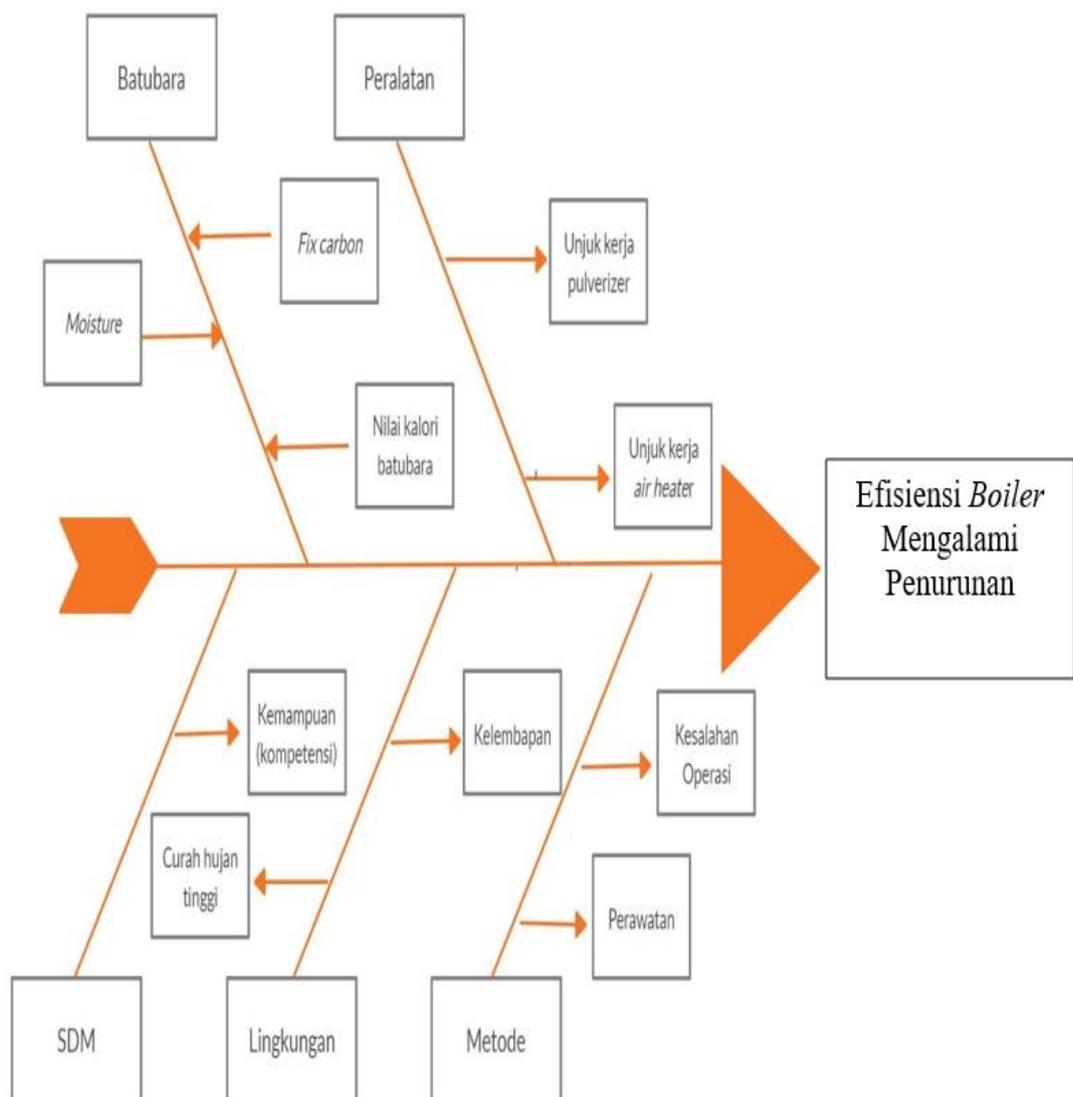


Gambar 4. 15 Diagram Sankey Efisiensi Boiler Pada Tanggal 22 Juli 2020 Pukul 12.00 PM

Pada keempat diagram sankey diatas yang menunjukkan kehilangan panas pada efisiensi boiler, dapat di ketahui bahwa kehilangan panas yang memberikan dampak besar terhadap efisiensi boiler adalah kerugian panas yang di akibatkan gas buang kering (L1) di lanjutkan dengan moisture karena pembakaran hidrogen dan moisture di batu bara. Banyaknya kerugian panas oleh gas buang kering di akibatkan beberapa faktor, faktor yang sangat berpengaruh adalah nilai kalor. Dimana nilai tersebut akan mempengaruhi massa N₂ udara pembakaran, massa O₂ gas buang yang akan di jumlah dengan massa lainnya menjadi massa gas buang kering, Hasil perbandingan nilai kalor terhadap efisiensi boiler dapat di simpulkan naikknya nilai kalor batubara akan menaikkan efisiensi boiler begitu pula sebaliknya, L2 mengalami kerugian dikarenakan *moisture* dari pembakaran hidrogen, L3 mengalami kerugian adanya *moisture* yang terkandung dalam bahan bakar berupa batubara L4 mengalami kerugian karena adanya *moisture* di udara yang merupakan kerugian terkecil dari perhitungan efisiensi boiler, L5 mengalami kerugian sebesar 0,00% dikarenakan terjadinya pembakaran dikarenakan data parameter untuk perhitungan ini tidak lengkap kerugian ini termasuk kerugian terbesar dari perhitungan efisiensi boiler. L6 mempunyai kerugian sebesar 0,18% kerugian dikarenakan oleh konveksi dan radiasi pada material boiler sesuai standar ABMA, L7 mempunyai kerugian ini dikarenakan adanya kalor yang terbawa oleh *fly ash*, L8 mempunyai kerugian dikarenakan adanya kalor yang terbawa oleh *bootom ash*, Hasil perbandingan nilai kalor terhadap efisiensi boiler dapat di simpulkan naikknya nilai kalor batubara akan menaikkan efisiensi boiler begitu pula sebaliknya.

4.4.12 Identifikasi Masalah Dengan Menggunakan Diagram Fishbone

Untuk dapat mengetahui pengaruh nilai kalor batu bara terhadap efisiensi *boiler* berdasarkan hasil dari perbandingan dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat diketahui bahwa nilai kalor batubara menyebabkan kenaikan efisiensi dari boiler. Oleh karena hal tersebut digunakan diagram *fishbone* untuk dapat mengidentifikasi masalah yang ada terhadap faktor yang mempengaruhi penurunan dari nilai kalor batu bara, seperti diagram di bawah ini :



Gambar 4. 16 Diagram *Fishbone* Terhadap Massa Udara Aktual Tinggi

Tabel 4. 13 Analisis Diagram *Fishbone* Nilai efisiensi Boiler Turun

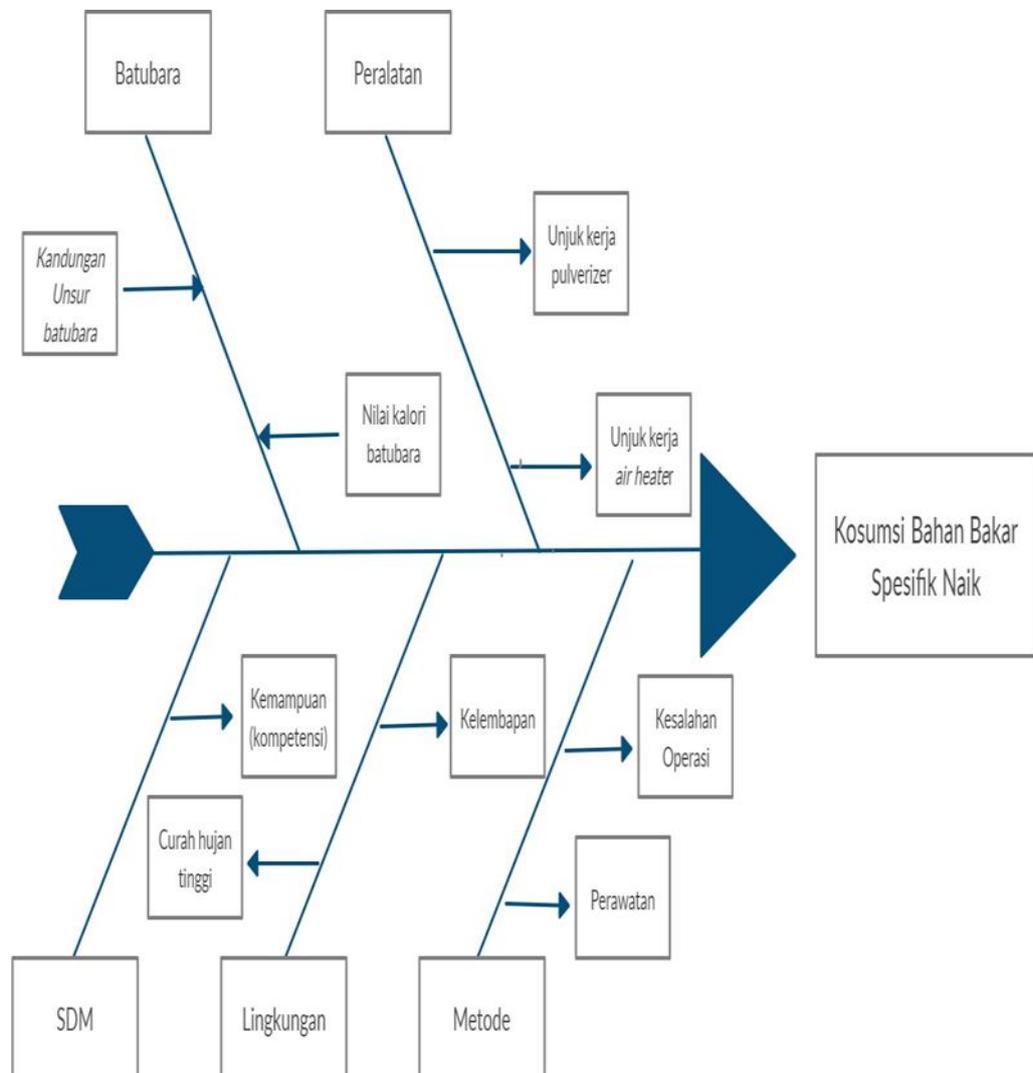
Faktor		Analisis	Keterangan
Batubara	<i>Moisture</i>	<i>Moisture</i> adalah kandungan air pada batubara yang menghambat pembakaran dan menghasilkan pembakaran tidak sempurna jika <i>moisture</i> pada batubara semakin besar maka akan menghambat pembakaran yang menghasilkan pembakaran tidak sempurna yang dikarenakan masih ada kandungan air pada batubara	Berpengaruh
	<i>Fixed Carbon</i>	<i>Fixed Carbon</i> adalah karbon tetap yang berpengaruh pada pembakaran. Semakin besar nilai carbon pada batubara maka akan semakin besar pula energi panas yang dihasilkan pada saat proses pembakaran.	Berpengaruh
	Nilai Kalori	Nilai Kalori merupakan energi panas yang dilepaskan pada tiap kg batu bara ketika pembakaran sempurna. Semakin tinggi nilai kalori batu bara, maka proses pembakaran menjadi semakin besar.	Berpengaruh

Faktor		Analisis	Keterangan
Peralatan	Unjuk Kerja Pulverizer	Unjuk kerja <i>pulverizer</i> memiliki pengaruh dalam proses penggerusan dan pemanasan batubara. jika peforma <i>pulverizer</i> tidak baik maka efesiensi boiler akan ikut terganggu bahkan turun, karena jumlah batubara dalam ukuran 200 mesh menjadi berkurang dan tidak sesuai standard yang ditentukan sehingga tidak terjadi keseimbangan pada proses pembakaran, dan menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna dan energi panas yang dihasilkan dalam proses pembakaran tidak maksimal.	Berpengaruh
	Unjuk Kerja <i>Air Heater</i>	<i>Air Heater</i> berfungsi sebagai pemanas udara yang akan dipasok ke dalam boiler untuk digunakan sebagai pembakaran. Jika heater tidak bekerja maksimal maka temperature udara yang dipasok akan menurun, Sehingga menyebabkan kerugian panas semakin besar . dan efisiensi boiler menurun.	Berpengaruh

Faktor		Analisis	Keterangan
Lingkungan	Kelembapan Udara	Kelembapan udara mempengaruhi nilai kerugian panas yaitu dikarenakan padanudara sekitar yang dipasok oleh <i>force draft fan</i> dan <i>primary air fan</i> memiliki kandunga air yang kan menghambat perpindahan panas.	Berpengaruh
SDM	Kemampuan	Kemampuan SDM (Sumber Daya Manusia) telah memiliki kompetensi yang cukup baiki dalam mengoprasikan unit.	Bukan Penyebab
Metode	Kesalahan Operasi	Kesalahan operasi dapat mempengaruhi dari proses pembakaran pada boiler yang, salah satunya kesalahan operasi untuk pasokan suplai udara aktual yang tidak sesuai dengan nilai kalori batubara, sehingga menjadikan proses pembakaran dalam boiler menjadi tidak sempurna dan menghasilkan senyawa CO yang tinggi, serta menjadikan efisiensi boiler turun karena energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran tidak maksimal.	Berpengaruh

Faktor		Analisis	Keterangan
	Perawatan	Sebuah kegiatan pemeliharaan pada alat bantu boiler maupun pulverizer yang dilakukan oleh operator dan HAR mekanik, meliputi pemeliharaan periodik, inspeksi 3000 jam, dan major	Bukan penyebab

Analisis Kosumsi Bahan Bakar Spesifik Naik Menggunakan Diagram fishbone



Gambar 4. 17 Diagram *Fishbone* Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Naik

Tabel 4. 14 Analisis Diagram *Fishbone* Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Naik

Faktor		Analisis	Keterangan
Batubara	Kandungan unsur batubara	Kandungan unsur batubara merupak unsur penyusun dalam batubara yang mempunyai fungsi masing masing, diantara koandungan unsur batubara carbon yang paling berperan dalam penentuan nilai kosumsi bahan bakar spesifik, jadi semakin tinggi nilai carbon pada batubara maka kosumsi bahan bakar spesifik lebih rendah begitu sebaliknya.	Berpengaruh
	Nilai Kalori	Nilai Kalori merupakan energi panas yang dilepaskan pada tiap kg batu bara ketika pembakaran sempurna. Semakin tinggi nilai kalori batubara, maka proses pembakaran menjadi semakin besar dan tidak membutuhkan bahan bakar yang banyak. Sehingga itu semakin tinggi nilai kalori batubara maka semakin rendah pula nilai kosumsi batubara spesifik begitu sebaliknya.	Berpengaruh

Faktor		Analisis	Keterangan
Peralatan	Unjuk Kerja <i>Pulverizer</i>	Unjuk kerja pulverizer memiliki pengaruh dalam proses penggerusan dan pemanasan batubara. jika performa <i>pulverizer</i> tidak baik maka efisiensi boiler akan ikut terganggu bahkan turun, karena jumlah batubara dalam ukuran 200 mesh menjadi berkurang dan tidak sesuai standard yang ditentukan sehingga tidak terjadi keseimbangan pada proses pembakaran, dan menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna dan energy panas yang dihasilkan dalam proses pembakaran tidak maksimal, sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar spesifik semakin besar karena jumlah energy yang dibutuhkan tidak terpenuhi.	Berpengaruh

Faktor		Analisis	Keterangan
	Unjuk Kerja <i>Air Heater</i>	<i>Air Heater</i> berfungsi sebagai pemanas udara yang akan dipasok ke dalam <i>boiler</i> untuk digunakan sebagai pembakaran. Jika heater tidak bekerja maksimal maka temperature udara yang dipasok akan menurun, Sehingga menyebabkan kebutuhan bahan bakar meningkat karena kebutuhan energy semakin tinggi karena harus menghilangkan kandungan moisture pada batubara.	Berpengaruh
Lingkungan	Kelembapan Udara	Kelembapan udara mempengaruhi nilai kerugian panas yaitu dikarenakan padanudara sekitar yang dipasok oleh <i>force draft fan</i> dan <i>primary air fan</i> memiliki kandunga air yang kan menghambat perpindahan panas dan reaksi pembakaran.	Berpengaruh
SDM	Kemampuan	Kemampuan SDM (Sumber Daya Manusia) telah memiliki kompetensi yang cukup baiki dalam mengoprasikan unit.	Bukan Penyebab

Faktor		Analisis	Keterangan
Metode	Kesalahan Operasi	Operator dan HAR Mekanik yang telah mempunyai kompetensi yang cukup mengoperasikan PLTU Ombilin sesuai Dengan SOP	Bukan penyebab
	Perawatan	Sebuah kegiatan pemeliharaan pada alat bantu boiler maupun pulverizer yang dilakukan oleh operator dan HAR mekanik, meliputi pemeliharaan periodik, inspeksi 3000 jam, dan major	Bukan penyebab

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dengan penelitian yang telah dilakukan penulis tentang pengaruh massa udara aktual dan nilai kalori batubara terhadap efisiensi *boiler* di Unit 1 PLTU Ombilin kesimpulan yang didapat seperti berikut :

1. Semakin tinggi nilai kalor batu bara dapat meningkatkan efisiensi *boiler* yaitu berdasarkan penelitian pada nilai kalor sebesar 5587,33 kcal/kg didapatkan efisiensi *boiler* 94,0888% sementara pada nilai kalor yang lebih tinggi yaitu 6062,67 kcal/kg didapatkan efisiensi *boiler* 95,2112%.
2. Kerugian panas yang terjadi pada efisiensi *boiler* dipengaruhi oleh nilai kalor batu bara yang berpengaruh pada seluruh kerugian panas yang terjadi pada efisiensi *boiler*, semakin besar nilai kalor batu bara maka akan semakin besar efisiensi *boiler* yang dihasilkan.
3. Nilai kalor batu bara mempengaruhi konsumsi batu bara spesifik, dilihat dari batu bara dengan nilai kalori 5838,36 memiliki nilai konsumsi batu bara spesifik sebesar 0,50 kg/kwh, batu bara dengan nilai kalor 6062,67 kcal/kg memiliki konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,37 kg/kwh. Batu bara memiliki unsur nilai kalor yang membutuhkan panas untuk bereaksi atau memiliki *Heating Value*.

5.2 Saran

1. Untuk menaikkan nilai efisiensi *boiler* dapat dilakukan dengan cara menggunakan batu bara dengan nilai kalor yang besar, tentu juga dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kerugian panas. Dengan begitu efisiensi *boiler* yang didapat akan meningkat.
2. *Steam pressure* dan *steam temperature* maupun nilai kalor dan laju aliran batu bara harus rutin diperhatikan karena konsumsi bahan bakar spesifik dipengaruhi oleh faktor tersebut, agar konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- A, S. (2017, February). Investigation and Analysis of Heat Losses Due to Excess Air in Fluidized Bed Fuel Combustion of Boiler. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering*, 5(II), 687-690. doi:ISSN: 2321-9653
- ASME PTC 4-2013. (2014). *Fire Steam Generators*. New York, USA: The American Society of Mechanical Engineers.
- Ilmi, I. A., & Ya'umar. (n.d.). ANALISIS EFISIENSI SISTEM PEMBAKARAN PADA BOILER DI PLTU UNIT III PT.PJB UP GRESIK DENGAN METODE STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC). *Jurusan Teknik Fisika – Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1-11.
- Nagar, V., Soni, D. V., & Khare, D. V. (2013). Boiler Efficiency Improvement through Analysis of Losses. *Mechanical Engineering Department, M.A.N.I.T Bhopal (M. P.) (M. P.) India*, 1(3), 801-805. doi:ISSN (online): 2321-0613
- Sachin, M. R., Sanjay B, K. S., & Krishna C, T. K. (2014). Energy Performance Assesment of BOiler at P.S.S.K. Ltd Basmathnagar, Maharastra State. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 1-12. Retrieved from <http://doi.org/10.5507/fot.2011.009>
- Sivakumar, A. (2017). Performance Analysis and Excess Air Optimization in Fuel Combustion of 210 MW Boiler. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 8(1), 261-267. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.21172/1.81.035>
- United Nations Environment Programme. (2011, August). PEDOMAN EFISIENSI ENERGI UNTUK INDUSTRI DI ASIA. *UNEP Division of technology, Industry and Economics*. doi:ISBN 92-807-2647-1 DTI/0742/PA
- Wiharjo, D. (2011). Analisa Nilai Excess Air Untuk Meningkatkan Efisiensi Pembakaran Boiler pada Load. *Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Politeknik Negeri Malang*, 13-17. Retrieved from https://www.academia.edu/8429259/ANALISA_NILAI_EXCESS_AIR_UNTUK_MENINGKATKAN_EFISIENSI_PEMBAKARAN_BOILER_PADA_LOAD_RATE_641.15_MW_DI_PLTU_PAITON_UNIT_7
- Zuwala, J., & Sciazko, M. (2010, April). Full-scale co-firing trial tests of sawdust and bio-waste in pulverized coal-fired 230 t/h steam boiler. *BIOMASS AND BIOENERGY*, 1165-1174. doi:doi:10.1016/j.biombioe.2010.03.003

Daftar Riwayat Hidup



a. Data Personal

NIM : 201612016
Nama : Muhammad Ilham Dirgantara
Tanggal Lahir : Jakarta, 16 Oktober 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status Perkawinan : Belum Kawin Program
Studi : Sarjana Teknik Mesin
Alamat : Jl. Kaliurang KM 12.5 Candiwinangun
No.9 Sardonoharjo Ngaglik, Sleman,
Yogyakarta
No. HP : 08122-8060-96
Email : egadirgantara@gmail.com

b. Pendidikan

Jenjang	Nama Lembaga	Jurusan	Tahun Lulus
SD	SD Muhammadiyah Condongcatur	-	2009
SMP	SMP Muhammadiyah 2 Yogyakarta	-	2012
SMA	SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta	IPA	2015

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 21 Februari 2021
**Muhammad
Ilham
Dirgantara P**
(Muhammad Ilham Dirgantara)

Digitally signed by Muhammad Ilham
Dirgantara
DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik
Mesin, CN=Muhammad Ilham
Dirgantara, E=egadirgantara@gmail.com
Reason: I am the author of this document
Location: Jakarta
Date: 2021.03.03 12:17:59+07'00'
Foxit Reader Version: 10.1.0

LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Bimbingan Skripsi



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Dirgantara
2. NIM : 2016-12-016
3. Fakultas : Teknologi dan Bisnis Energi
4. Program Studi : S1 Teknik Mesin
5. Dosen Pembimbing : Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing,
M.S
6. Judul : Analisis Pengaruh Caloric Value dan
Specific Coal Consumption Terhadap
Efisiensi Boiler di Unit 1 PLTU Ombilin
PT.PLN UPK Ombilin

No	Hari, Tanggal	Materi Bimbingan
1	16 Oktober 2020	Konsultasi Judul Skripsi

2	31 Oktober 2020	Konsultasi Skripsi Bab 1 – Bab 3 dan Revisi Kerangka Pemecahan Masalah
3	02 November 2020	Revisi Penulisan dan Pemecahan Masalah, Flow chart di Jadikan 1 Halaman
4	03 November 2020	Konsultasi Keterkaitan Data Yang digunakan Untuk Perhitungan
5	05 November 2020	Konsultasi Keterkaitan Keterbatasan Data Yang Diperoleh
6	06 November 2020	Revisi Ulang Judul Skripsi
7	07 November 2020	Konsultasi Penyusunan Ulang Skripsi Bab 1 – Bab 4
8	10 November 2020	Revisi Terkait Penulisan dan Perbaikan Typo Yang Terdapat Pada Bab 1 Bab 4
9	19 November 2020	Konsultasi Bab 1 – Bab 5 dan Revisi Keterkaitan Kesimpulan Yang Harus Menjawab Tujuan
10	24 November 2020	Revisi Bab 2 – Bab 5 Masih Terdapat Typo Pada Penulisan
11	16 Januari 2021	Revisi Caption Pada Grafik dan Gambar
12	07 Februari 2021	Revisi Bab 5 Terkait Kesimpulan

Jakarta, 21 Februari 2021

Dosen Pembimbing

(Andika Widya pramono, Prof. Dr-ing, M.S)

Lampiran 2 Lembar Pengesahan Data

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PERFORMANCE TEST
PLTU OMBILIN UNIT 1
MEI 2020

Sawahlunto, Juni 2020

MENYETUJUI
PLT MANAGER BAGIAN OPERASI



SUDARMANTO

RENDAL OPERASI



SAFRI DARNISKO

MENGETAHUI,
MANAGER




DARYANTO

Lampiran 3 Data Boiler

Date/Time	ESRPTX050	ESRTE094_EX	SVAPT001	SVATE002_EX	SVAVT001	EXO_AIR_SPPVE	FIATEX053	FIATEX055	FIATEX153	FOAFTV051
	Boiler Drum Pressure (Bar G)	Boiler Drum Temp (Deg C)	Aux Steam Press (Bar G)	Aux Steam Temp (Deg C)	Aux Steam Flow (T/h)	O2 Content in Flue Gas (%)	Flue Gas Inlet Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out IDF Temp	Primary Air Flow A (Kg/h)
Data TSG 22	0-130	0-350	0-10	0-300		0-10	0-350	0-350	0-350	0-50000
Range	BARG	DEGC	BARG	DEGC	T/H	%	DEGC	DEGC	DEGC	KG/H
Unit	96.66	318.14	8.43	279.63	2.42	3.21	320.12	182.96	161.92	29894.44
min	100.34	319.89	8.56	280.57	2.69	3.69	322.57	184.20	163.32	30501.31
max	98.34	318.78	8.50	280.00	2.55	3.46	321.12	183.61	162.93	30255.24
average										
13-May-2020 2:00:00 PM	97.36	318.55	8.47	280.16	2.52	3.61	322.20	183.50	161.92	30372.01
13-May-2020 2:05:00 PM	97.56	318.42	8.52	280.01	2.60	3.55	321.87	183.83	162.26	30073.05
13-May-2020 2:10:00 PM	98.55	318.36	8.49	280.16	2.49	3.21	321.60	184.03	162.53	30322.32
13-May-2020 2:15:00 PM	98.14	318.47	8.52	279.80	2.45	3.36	321.07	184.09	162.79	30356.60
13-May-2020 2:20:00 PM	97.77	318.55	8.50	280.05	2.58	3.40	320.90	184.20	162.94	30125.47
13-May-2020 2:25:00 PM	97.59	318.55	8.45	279.63	2.57	3.50	320.96	184.09	163.03	30342.21
13-May-2020 2:30:00 PM	96.69	318.47	8.52	279.99	2.42	3.54	320.47	183.92	162.92	30220.91
13-May-2020 2:35:00 PM	96.66	318.30	8.54	280.22	2.58	3.58	320.49	183.85	162.88	30354.94
13-May-2020 2:40:00 PM	97.32	318.20	8.49	279.93	2.56	3.69	321.07	183.72	162.86	30331.55
13-May-2020 2:45:00 PM	97.34	318.14	8.47	279.89	2.45	3.55	320.96	183.68	162.92	30256.01
13-May-2020 2:50:00 PM	98.11	318.14	8.56	280.57	2.64	3.31	320.74	183.74	163.03	30054.39
13-May-2020 2:55:00 PM	97.96	318.30	8.49	279.68	2.56	3.49	320.49	183.68	163.21	30367.37
13-May-2020 3:00:00 PM	97.75	318.46	8.51	280.14	2.59	3.45	320.12	183.72	163.27	30397.87
13-May-2020 3:05:00 PM	97.99	318.46	8.53	279.93	2.49	3.42	320.22	183.61	163.23	30501.31
13-May-2020 3:10:00 PM	98.09	318.46	8.49	280.01	2.61	3.41	320.32	183.55	163.32	30129.71
13-May-2020 3:15:00 PM	98.19	318.55	8.46	279.84	2.63	3.47	320.26	183.50	163.23	30494.67
13-May-2020 3:20:00 PM	98.94	318.67	8.46	280.05	2.60	3.34	320.74	183.42	163.23	29894.44
13-May-2020 3:25:00 PM	99.44	318.84	8.56	280.53	2.51	3.30	320.98	183.37	163.18	30274.68
13-May-2020 3:30:00 PM	99.57	319.15	8.50	279.72	2.49	3.25	320.98	183.35	163.08	30473.48
13-May-2020 3:35:00 PM	100.34	319.31	8.50	280.41	2.49	3.44	321.40	183.07	162.88	30430.43
13-May-2020 3:40:00 PM	99.93	319.64	8.50	279.80	2.59	3.43	321.83	182.96	162.86	30013.52
13-May-2020 3:45:00 PM	99.84	319.83	8.53	279.99	2.54	3.56	322.57	183.13	162.86	30383.99
13-May-2020 3:50:00 PM	98.92	319.89	8.43	279.68	2.61	3.61	322.18	183.26	162.86	30198.98
13-May-2020 3:55:00 PM	99.41	319.89	8.56	280.07	2.69	3.41	321.87	183.44	162.99	30067.63
13-May-2020 4:00:00 PM	98.94	319.83	8.45	279.74	2.52	3.68	321.66	183.44	163.03	29943.46

Lampiran 4 Data Content Batubara

Coal Analysis						
Parameter	Symbol	Unit	Value	Maret	Baseline	Remarks
Fuel Higher Heating Value						
Higher Heating Value (AR)	He	kcal/kg-f	5,587.33	5,871.00	6,876.00	Coal Analysis
Proximate Analysis						
Total Moisture Content (AR)	MFrWf	wt%	8.397	8.213		Proximate Analysis
Fixed Carbon Content (AR)	MFrFC	wt%	36.760	39.213		Proximate Analysis
Volatile Matter (AR)	MFrVm	wt%	32.333	32.963		Proximate Analysis
Ash Content (AR)	MFrAsF	wt%	22.513	19.610		Proximate Analysis
Total		wt%	100.0	100.000		MFrWf+MFrFC+MFrVM+MFrAsf
Ultimate Analysis						
Carbon Content (AR)	MpCF	wt%	34.536	36.227		Ultimate Analysis
Hydrogen Content (AR)	MpH2F	wt%	1.866	1.882		Ultimate Analysis
Oxygen Content (AR)	MpO2F	wt%	30.566	31.953		Ultimate Analysis
Sulfur Content (AR)	MpSF	wt%	0.410	0.410		Ultimate Analysis
Nitrogen Content (AR)	MpN2F	wt%	1.712	1.704		Ultimate Analysis
Ash Content (AR)	MpAsF	wt%	22.513	19.610		Ultimate Analysis
Moisture Content (AR)	MpWf	wt%	8.397	8.213		Ultimate Analysis
Total		wt%	100.000	100.000		MpCF + MpH2F + MpO2F + MpSF + MpN2F + MpAsF + MpWf
Ash Analysis						
Carbon Content in Fly Ash	MpCfa	wt%	2.930	4.260		Proximate Analysis
Carbon Content in Bottom Ash	MpCba	wt%	14.070	12.320		Proximate Analysis
Fly Ash Split	xUCf	%	0.900	0.900		Gas Analysis
Bottom Ash Split	xUCb	%	0.100	0.100		Gas Analysis
Mass of Residue	MFrR/wdp	kg/kg fuel	0.079	0.079		MpAsF / (100-MpUbc)
Carbon in Ash	MpCA	kg/kg refuse	0.474	0.474		MpCRfa x MpCfa + MpCRba x MpCba
Unburn Carbon in Fuel	MpUbc	wt%	0.038	0.038		MFrR x MpCA
Carbon Burned Content	MpCb	wt%	34.499	36.189		MpCF-MpUbc

19.55

Lampiran 5 Data Boiler

Date/Time	FSRPT050	FSRTE04_FX	SVAPT001	SVATE02_FX	SVAPT001	EXO_AIR_SPPVE	FIATEX053	FIATEX055	FIATEX053	FIATEX055	FOAFT051A
	Boiler Drum Pressure (Bar G)	Boiler Drum Temp (Deg C)	Aux Steam Press (Bar G)	Aux Steam Temp (Deg C)	Aux Steam Flow (T/h)	O2 Content in Flue Gas (%)	Flue Gas Inlet Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out IDF Temp	Primary Air Flow N A (Kg/h)	
Range	0-130	0-350	0-10	0-300	0-10	0-10	0-350	0-350	0-350	0-50000	
Unit	BARG	DEGC	BARG	DEGC	T/H	%	DEGC	DEGC	DEGC	KG/H	
min	76.55	300.51	8.36	278.57	2.27	4.86	309.72	150.45	157.82	27611.44	
max	77.93	301.21	8.68	281.35	2.51	5.45	315.43	151.77	160.21	28328.13	
average	77.21	300.77	8.50	280.10	2.40	5.19	312.27	151.12	158.88	27991.08	
17-June-2020 10:00:00 AM	77.90	301.21	8.45	279.57	2.40	5.24	315.43	150.45	157.82	27789.67	
17-June-2020 10:05:00 AM	76.86	301.19	8.48	279.93	2.42	5.45	314.97	150.58	157.93	28023.91	
17-June-2020 10:10:00 AM	77.93	301.11	8.60	281.35	2.39	5.14	315.01	150.78	158.02	28023.71	
17-June-2020 10:15:00 AM	77.69	301.05	8.47	279.84	2.37	5.19	314.76	150.93	158.09	28079.67	
17-June-2020 10:20:00 AM	77.34	301.09	8.52	280.22	2.42	5.29	314.12	151.03	158.28	27972.61	
17-June-2020 10:25:00 AM	77.42	301.03	8.47	279.89	2.27	5.21	313.65	151.13	158.37	27804.39	
17-June-2020 10:30:00 AM	77.49	300.94	8.51	280.14	2.46	5.21	313.42	151.07	158.43	27912.28	
17-June-2020 10:35:00 AM	76.65	300.88	8.50	279.86	2.31	5.33	313.01	151.09	158.57	28009.63	
17-June-2020 10:40:00 AM	76.69	300.82	8.47	279.99	2.33	5.41	312.59	151.09	158.54	27736.45	
17-June-2020 10:45:00 AM	77.14	300.68	8.52	280.26	2.39	5.11	312.26	151.01	158.65	28092.97	
17-June-2020 10:50:00 AM	77.25	300.61	8.51	279.93	2.48	5.17	311.95	150.84	158.68	28062.17	
17-June-2020 10:55:00 AM	77.24	300.57	8.49	279.95	2.48	5.18	312.04	150.74	158.74	27976.02	
17-June-2020 11:00:00 AM	77.66	300.57	8.50	280.05	2.39	5.16	312.30	150.68	158.78	28328.13	
17-June-2020 11:05:00 AM	77.32	300.63	8.62	281.31	2.37	5.20	311.99	150.64	158.78	28073.43	
17-June-2020 11:10:00 AM	76.90	300.68	8.45	278.78	2.31	5.28	312.10	150.74	158.83	28146.73	
17-June-2020 11:15:00 AM	76.82	300.67	8.48	280.26	2.46	5.29	312.00	150.93	158.94	27976.48	
17-June-2020 11:20:00 AM	77.36	300.53	8.52	280.22	2.38	5.12	311.64	151.15	159.03	27927.70	
17-June-2020 11:25:00 AM	77.45	300.57	8.50	280.01	2.43	5.12	311.21	151.36	159.14	27844.42	
17-June-2020 11:30:00 AM	76.64	300.61	8.47	279.86	2.39	5.39	310.73	151.42	159.31	27994.84	
17-June-2020 11:35:00 AM	76.61	300.57	8.51	279.95	2.45	5.18	310.51	151.62	159.49	28026.35	
17-June-2020 11:40:00 AM	77.39	300.51	8.40	279.53	2.37	5.03	310.73	151.69	159.66	27611.44	
17-June-2020 11:45:00 AM	77.82	300.53	8.58	281.01	2.44	4.99	310.55	151.75	159.73	28104.33	
17-June-2020 11:50:00 AM	76.83	300.78	8.36	278.57	2.36	5.05	310.24	151.71	159.94	28072.43	
17-June-2020 11:55:00 AM	76.55	300.82	8.54	280.93	2.45	5.07	309.72	151.77	160.01	28058.75	
17-June-2020 12:00:00 PM	77.24	300.68	8.68	281.14	2.51	4.86	309.78	151.77	160.21	28128.52	

Lampiran 6 Data Content Batubara

Coal Analysis						
Parameter	Symbol	Unit	Value	Maret	Baseline	Remarks
Fuel Higher Heating Value						
Higher Heating Value (AR)	He	kcal/kg-f	6,062.67	5,587.33	6,876.00	Coal Analysis
Proximate Analysis						
Total Moisture Content (AR)	MFrwF	wt%	6.280	8.397		Proximate Analysis
Fixed Carbon Content (AR)	MFrFC	wt%	39.510	36.760		Proximate Analysis
Volatile Matter (AR)	MFrVm	wt%	33.877	32.333		Proximate Analysis
Ash Content (AR)	MFrAsF	wt%	20.330	22.513		Proximate Analysis
Total		wt%	100.0	100.003		MFrwF+MFrFC+MFrVM+MFrAsf
Ultimate Analysis						
Carbon Content (AR)	MpCF	wt%	37.025	34.536		Ultimate Analysis
Hydrogen Content (AR)	MpH2F	wt%	1.967	1.866		Ultimate Analysis
Oxygen Content (AR)	MpO2F	wt%	32.285	30.566		Ultimate Analysis
Sulfur Content (AR)	MpSF	wt%	0.410	0.410		Ultimate Analysis
Nitrogen Content (AR)	MpN2F	wt%	1.633	1.712		Ultimate Analysis
Ash Content (AR)	MpAsF	wt%	20.330	22.513		Ultimate Analysis
Moisture Content (AR)	MpwF	wt%	6.280	8.397		Ultimate Analysis
Total		wt%	100.000	100.000		MpCF + MpH2F + MpO2F+MpSF+MpN2F+MpAsF+MpwF
Ash Analysis						
Carbon Content in Fly Ash	MpCfa	wt%	6.940	2.930		Proximate Analysis
Carbon Content in Bottom Ash	MpCba	wt%	28.540	14.070		Proximate Analysis
Fly Ash Split	xUCf	%	0.900	0.900		Gas Analysis
Bottom Ash Split	xUCb	%	0.100	0.100		Gas Analysis
Mass of Residue	MFrR/wdp	kg/kg fuel	0.079	0.079		MpAsF / (100-MpUbc)
Carbon in Ash	MpCA	kg/kg refuse	0.474	0.474		MpCRfa x MpCfa + MpCRba x MpCba
Unburn Carbon in Fuel	MpUbc	wt%	0.038	0.038		MFrR x MpCA
Carbon Burned Content	MpCb	wt%	36.987	34.499		MpCF-MpUbc
				19.55		

Lampiran 7 Data Boiler

Date/Time	FSRPTX050	FSRTE094_EX	SVAPT001	SVATE002_EX	SVAPT001	SVAPT001	EXD_AIR_SPPVE	SVAPT001	EXD_AIR_SPPVE	FTATEX053	FTATEX055	FTATEX053	FTATEX055	FTATEX053	FTATEX055	FTATEX053	FTATEX055	FTATEX053	FTATEX055
	Boiler Drum Pressure (Bar G)	Boiler Drum Temp (Deg C)	Aux Steam Press (Bar G)	Aux Steam Temp (Deg C)	Aux Steam Flow (T/H)	O2 Content In Flue Gas (%)	Flue Gas In Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out Air Heater Temp (Deg C)	Flue Gas Out IDF Temp	Primary Air Flo Mill A (Kgh)								
Range	0-130	0-350	0-10	0-300	0-10	0-10	0-350	0-350	0-350	0-350	0-50000								
Unit	BARG	DEGC	BARG	DEGC	T/H	%	DEGC	DEGC	DEGC	DEGC	KGH								
min	98.66	315.76	8.45	279.57	2.50	3.31	316.04	150.66	152.59	30787.64									
max	101.22	317.04	8.55	280.57	2.76	3.70	317.78	152.30	154.62	31340.30									
average	99.99	316.32	8.50	279.99	2.63	3.45	316.88	151.36	153.68	31054.18									
22-Jul-2020 10:00:00 AM	99.35	316.01	8.53	279.68	2.58	3.46	317.78	150.74	152.59	31073.71									
22-Jul-2020 10:05:00 AM	99.81	315.96	8.46	280.41	2.71	3.48	317.53	151.13	152.83	31112.95									
22-Jul-2020 10:10:00 AM	99.66	315.97	8.52	280.01	2.63	3.70	316.99	151.32	152.98	30877.94									
22-Jul-2020 10:15:00 AM	98.98	315.86	8.51	279.64	2.64	3.41	317.20	151.38	153.09	31068.32									
22-Jul-2020 10:20:00 AM	99.24	315.86	8.46	280.57	2.56	3.45	317.30	151.53	153.09	30789.71									
22-Jul-2020 10:25:00 AM	99.69	315.76	8.54	280.41	2.73	3.44	317.26	151.72	153.20	31236.38									
22-Jul-2020 10:30:00 AM	100.29	315.82	8.50	279.74	2.69	3.40	317.39	151.83	153.20	31887.78									
22-Jul-2020 10:35:00 AM	99.26	316.01	8.48	280.49	2.63	3.54	316.73	151.96	153.23	30815.89									
22-Jul-2020 10:40:00 AM	98.78	316.11	8.54	279.57	2.66	3.53	316.83	151.85	153.23	31215.01									
22-Jul-2020 10:45:00 AM	99.62	316.03	8.49	280.26	2.84	3.48	317.30	151.55	153.40	30933.61									
22-Jul-2020 10:50:00 AM	100.04	316.07	8.50	280.14	2.68	3.45	316.87	151.28	153.49	31018.42									
22-Jul-2020 10:55:00 AM	100.15	316.13	8.54	279.68	2.63	3.35	316.40	150.91	153.64	31095.14									
22-Jul-2020 11:00:00 AM	100.54	316.23	8.49	280.05	2.64	3.31	316.29	150.68	153.75	31166.77									
22-Jul-2020 11:05:00 AM	99.98	316.40	8.52	279.57	2.76	3.36	316.04	150.66	153.86	31205.44									
22-Jul-2020 11:10:00 AM	100.39	316.48	8.49	279.89	2.53	3.43	316.35	150.81	153.95	31226.04									
22-Jul-2020 11:15:00 AM	99.95	316.54	8.47	279.89	2.55	3.52	316.19	151.01	153.90	31340.30									
22-Jul-2020 11:20:00 AM	100.26	316.59	8.55	280.07	2.67	3.43	316.66	151.03	153.95	31192.86									
22-Jul-2020 11:25:00 AM	100.13	316.59	8.50	280.20	2.62	3.42	316.93	151.13	153.99	31025.23									
22-Jul-2020 11:30:00 AM	100.31	316.59	8.47	280.07	2.61	3.40	316.83	151.32	154.04	31131.51									
22-Jul-2020 11:35:00 AM	100.78	316.61	8.54	279.89	2.63	3.48	316.87	151.38	154.14	31172.47									
22-Jul-2020 11:40:00 AM	100.78	316.77	8.49	280.28	2.50	3.47	316.77	151.46	154.34	30803.17									
22-Jul-2020 11:45:00 AM	99.70	316.90	8.49	279.68	2.65	3.47	316.38	151.52	154.41	30881.53									
22-Jul-2020 11:50:00 AM	100.60	316.83	8.52	279.95	2.64	3.35	316.77	151.54	154.36	31071.70									
22-Jul-2020 11:55:00 AM	101.08	316.87	8.45	279.99	2.70	3.46	317.10	151.91	154.62	30787.64									
22-Jul-2020 12:00:00 PM	101.22	317.04	8.51	279.74	2.64	3.50	317.20	152.30	154.62	31035.05									

Lampiran 8 Data Content Batubara

Coal Analysis						
Parameter	Symbol	Unit	Value	Juni	Baseline	Remarks
Fuel Higher Heating Value						
Higher Heating Value (AR)	He	kcal/kg-f	5,838.67	6,062.67	6,876.00	Coal Analysis
Proximate Analysis						
Total Moisture Content (AR)	MFrwF	wt%	6.813	6.280		Proximate Analysis
Fixed Carbon Content (AR)	MFrFC	wt%	38.753	39.510		Proximate Analysis
Volatile Matter (AR)	MFrVm	wt%	32.643	33.877		Proximate Analysis
Ash Content (AR)	MFrAsF	wt%	21.790	20.330		Proximate Analysis
Total		wt%	100.0	99.997		MFrwF+MFrFC+MFrVM+MFrAsf
Ultimate Analysis						
Carbon Content (AR)	MpCF	wt%	35.992	37.025		Ultimate Analysis
Hydrogen Content (AR)	MpH2F	wt%	1.888	1.967		Ultimate Analysis
Oxygen Content (AR)	MpO2F	wt%	31.398	32.295		Ultimate Analysis
Sulfur Content (AR)	MpSF	wt%	0.410	0.410		Ultimate Analysis
Nitrogen Content (AR)	MpN2F	wt%	1.708	1.693		Ultimate Analysis
Ash Content (AR)	MpAsF	wt%	21.790	20.330		Ultimate Analysis
Moisture Content (AR)	MpW/F	wt%	6.813	6.280		Ultimate Analysis
Total		wt%	100.000	100.000		MpCF + MpH2F +MpO2F+MpSF+MpN2F+MpAsF+MpW/F
Ash Analysis						
Carbon Content in Fly Ash	MpCfa	wt %	2.470	6.340		Proximate Analysis
Carbon Content in Bottom Ash	MpCba	wt %	17.340	28.540		Proximate Analysis
Fly Ash Split	xUCf	%	0.900	0.900		Gas Analysis
Bottom Ash Split	xUCb	%	0.100	0.100		Gas Analysis
Mass of Residue	MFrR/wdp	kg/kg fuel	0.079	0.079		MpAsF / (100-MpUbC)
Carbon in Ash	MpCA	kg/kg refuse	0.474	0.474		MpCRfa x MpCfa + MpCRba x MpCba
Unburn Carbon in Fuel	MpUbC	wt%	0.038	0.038		MFrR x MpCA
Carbon Burned Content	MpCb	wt%	35.954	36.967		MpCF-MpUbC

19.55

Lampiran 9 Tabel Saturated

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases (Continued)

(b) At various temperatures

Temperature, K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k
	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$		$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$		$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$		
	<i>Air</i>			<i>Carbon dioxide, CO₂</i>			<i>Carbon monoxide, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hydrogen, H₂</i>			<i>Nitrogen, N₂</i>			<i>Oxygen, O₂</i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Table A-4M. Originally published in *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.

Lampiran 10 Perhitungan Dengan Steam Property

Steam Property	
Property	Transformation
512.40	°C
Calculate	
State	Vapor
	Superheating
209.27	°C
	Temperature
T= 512.4	°C
	Pressure
P= 89.733	bar (a)
	Enthalpy
H= 817.12	kcal/kg (th)
	Entropy
S= 6.7018	kJ/kg/K
	Quality
Q= 100	%
	Cp
Cp= 0.599	kcal/kg/K (th)
	Cv

SteamProperty	
Property	Transformation
512.15	°C
Calculate	
State	Vapor
	Superheating
207.83	°C
	Temperature
T= 512.15	°C
	Pressure
P= 91.233	bar (a)
	Enthalpy
H= 816.56	kcal/kg (th)
	Entropy
S= 6.6917	kJ/kg/K
	Quality
Q= 100	%
	Cp
Cp= 0.601	kcal/kg/K (th)
	Cv

SteamProperty	
Property	Transformation
Calculate	
State	Vapor
	Superheating
	221.51 °C
T=	508.84 °C
	Pressure
P=	71.563 bar (a)
	Enthalpy
H=	820.0 kcal/kg (th)
	Entropy
S=	6.8153 kJ/kg/K
	Quality
Q=	100 %
	Cp
Cp=	0.58 kcal/kg/K (th)
	Cv
Cv=	1.7923 kJ/kg/K

SteamProperty	
Property	Transformation
T=	510.45 °C
	Pressure
P=	70.973 bar (a)
	Enthalpy
H=	821.09 kcal/kg (th)
	Entropy
S=	6.8248 kJ/kg/K
	Quality
Q=	100 %
	Cp
Cp=	0.579 kcal/kg/K (th)
	Cv

SteamProperty		
Property	Transformation	
	Superheating	
	209.52	°C
	Temperature	
T=	513.93	°C
	Pressure	
P=	91.343	bar (a)
	Enthalpy	
H=	817.6	kcal/kg (th)
	Entropy	
S=	6.6967	kJ/kg/K
	Quality	
Q=	100	%
	Cp	
Cp=	0.6	kcal/kg/K (th)
	Cv	

SteamProperty		
Property	Transformation	
	Temperature	
	505.86	°C
	Calculate	
State	Vapor	
	Superheating	
	200.01	°C
	Temperature	
T=	505.86	°C
	Pressure	
P=	93.183	bar (a)
	Enthalpy	
H=	812.22	kcal/kg (th)
	Entropy	
S=	6.6594	kJ/kg/K
	Quality	
Q=	100	%
	Cp	
Cp=	0.606	kcal/kg/K (th)

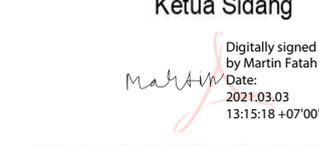
	FORMULIR	Kode	
	RANGKUMAN DAFTAR PERBAIKAN SIDANG PROYEK AKHIR /SKRIPSI PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN	Semester	Gasal
		Thn Akademik	2020/2021
		Halaman	1 Dari 1 Halaman

Sidang Tugas Akhir hari : **Rabu, 24 Februari 2021** Jam: 09:00-10:00
 Nama Mahasiswa : **Muhammad Ilham Dirgantara**
 N I M : **201612016**
 Judul : **ANALISIS PENGARUH ACTUAL OF AIR MASS DAN CALORIC VALUE TERHADAP EFISIENSI BOILER DI UNIT 1 PLTU OMBILIN PT. PLN UPK OMBILIN**

Oleh sidang ditetapkan bahwa mahasiswa y.b.s harus menyempurnakan Proyek Akhir/Skripsi dalam waktu **satu minggu**, yaitu pada tanggal 3 Maret 2021 dengan perbaikan – perbaikan sbb :

1. Segala masukan, koreksi, dan informasi dari para penguji harap dapat diakomodasi
2. Perhatikan tata cara penulisan yang masih perlu banyak diperbaiki, sesuai masukan dari pak Martin

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa y.b.s tidak dapat menyelesaikan REVISI harus kembali mengulang mengikuti ujian sidang Proyek Akhir/ Skripsi di periode selanjutnya.

<p>Mahasiswa  Muhammad Ilham Dirgantara <small>Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhamad ilham Dirgantara, E=egadirgantara@gmail.com</small> Reason: I am the author of this document Location: Jakarta Date: 2021.03.03 12:13:45+07'00' Font Reader Version: 10.1.0</p>	<p>Pembimbing  Andika Widya Pramono <small>Digitally signed by Andika Widya Pramono Date: 2021.02.24 13:11:07 +07'00'</small></p>	<p>Ketua Sidang  Martin Choirul Fatah, S.T, M.T, PhD <small>Digitally signed by Martin Fatah Date: 2021.03.03 13:15:18 +07'00'</small></p>
--	--	--

Proyek Akhir/Skripsi telah diperbaiki sesuai yang ditetapkan, pada hari Jakarta, 2 Maret 2021

<p>Mahasiswa  Muhammad Ilham Dirgantara <small>Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhamad ilham Dirgantara, E=egadirgantara@gmail.com</small> Reason: I am the author of this document Location: Jakarta Date: 2021.03.03 12:14:07+07'00' Font Reader Version: 10.1.0</p>	<p>Pembimbing  Andika Widya Pramono <small>Digitally signed by Andika Widya Pramono Date: 2021.03.05 14:40:44 +07'00'</small></p>	<p>Ketua Sidang  Martin Choirul Fatah, S.T, M.T, PhD <small>Digitally signed by Martin Fatah Date: 2021.03.03 13:15:37 +07'00'</small></p>
--	--	--

	FORMULIR	Kode	
	RANGKUMAN PERBAIKAN SIDANG PROYEK AKHIR /SKRIPSI	Semester	Gasal
		Thn Akademik	2020/2021
		Halaman	1 Dari 1 Halaman

Sidang Proyek Akhir/Skripsi hari : **Rabu** Jam: **09:00-10:00**
 Nama Mahasiswa : **Muhammad Ilham Dirgantara**
 N.I.M : **201612016**
 Judul Proyek Akhir/Skripsi : **ANALISIS PENGARUH ACTUAL OF AIR MASS DAN CALORIC VALUE TERHADAP EFISIENSI BOILER DI UNIT 1 PLTU OMBILIN PT. PLN UPK OMBILIN**

Oleh penguji yang bertanda tangan dibawah ini ditetapkan bahwa mahasiswa y.b.s harus menyempurnakan skripsinya dalam waktu satu minggu, yaitu pada tanggal **03 Mar** _____, **20 02** dengan perbaikan – perbaikan sbb :

1. Judul
2. Diagram alir penelitian
3. Format penulisan
4. Kesimpulan

_____ Apabila dalam jangka waktu tersebut saya tidak dapat menyelesaikan REVISI dan saya bersedia kembali mengulang mengikuti ujian sidang Proyek Akhir/ Skripsi/ Tesis.

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egadirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:14:38+07'00'
 Foxit Reader Version: 10.1.0
Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji
 Digitally signed by Martin Fatah
 Date: 2021.02.24 09:43:27 +07'00'

Martin Choirul Fatah, S.T, M.T, PhD

Proyek Akhir/Skripsi/Tesis* telah diperbaiki sesuai yang ditetapkan, pada hari **Jakarta** _____, **2 Maret** **2021**

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egadirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:15:00+07'00'
 Foxit Reader Version: 10.1.0
Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji
Martin Choirul Fatah, S.T, M.T, PhD

	FORMULIR	Kode	
	RANGKUMAN PERBAIKAN SIDANG PROYEK AKHIR /SKRIPSI	Semester	Gasal
		Thn Akademik	2020/2021
		Halaman	1 Dari 1 Halaman

Sidang Proyek Akhir/Skripsi hari : **Rabu** Jam : **09:00-10:00**
 Nama Mahasiswa : **Muhammad Ilham Dirgantara**
 N.I.M : **201612016**
 Judul Proyek Akhir/Skripsi : **ANALISIS PENGARUH ACTUAL OF AIR MASS DAN CALORIC VALUE TERHADAP EFISIENSI BOILER DI UNIT 1 PLTU OMBILIN PT. PLN UPK OMBILIN**

Oleh penguji yang bertanda tangan dibawah ini ditetapkan bahwa mahasiswa y.b.s harus menyempurnakan skripsinya dalam waktu satu minggu, yaitu pada tanggal 3 Maret 2021 dengan perbaikan – perbaikan sbb :

1. Perbaiki identifikasi masalah Terlampir pada BAB I hal 3
2. Jelaskan alasan pemilihan dan keunggulan dari metode indirect di bab ii Terlampir pada hal 34
3. Tambahkan grafik hubungan nilai kalor dengan efisiensi boiler Terlampir pada BAB IV hal 75

Apabila dalam jangka waktu tersebut saya tidak dapat menyelesaikan REVISI dan saya bersedia kembali mengulang mengikuti ujian sidang Proyek Akhir/ Skripsi/ Tesis.

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egadirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:22:49+07'00'
 Foxit Reader Version: 10.1.0
Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji
 Digitally signed by Arief Suardi Nur Chairat
 DN: C=ID, OU=Institut Teknologi PLN, O=Pusat Jaminan Mutu, CN=Arief Suardi Nur Chairat,
 E=arief.suardi@sttpln.ac.id
 Reason: I am approving this document
 Location: your signing location here
 Date: 2021-02-24 11:14:58
 Foxit Reader Version: 10.0.0
Arif Suardi Nur Chairat, S.T, M.T

Proyek Akhir/Skripsi/Tesis* telah diperbaiki sesuai yang ditetapkan, pada hari
Jakarta, 2 Maret 2021

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egadirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:23:28+07'00'
 Foxit Reader Version: 10.1.0
Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji
 Digitally signed by Arief Suardi Nur Chairat
 DN: C=ID, OU=Institut Teknologi PLN, O=Pusat Jaminan Mutu, CN=Arief Suardi Nur Chairat, E=arief.suardi@sttpln.ac.id
 Reason: I am approving this document
 Location: your signing location here
 Date: 2021-03-04 07:18:54
 Foxit Reader Version: 10.0.0
Arif Suardi Nur Chairat, S.T, M.T

	FORMULIR	Kode	
	RANGKUMAN PERBAIKAN SIDANG PROYEK AKHIR /SKRIPSI	Semester	Gasal
		Thn Akademik	2020/2021
		Halaman	1 Dari 1 Halaman

Sidang Proyek Akhir/Skripsi hari : Rabu Jam: 09:00-10:00
 Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Dirgantara
 N.I.M : 201612016
 Judul Proyek Akhir/Skripsi : ANALISIS PENGARUH ACTUAL OF AIR MASS DAN CALORIC VALUE TERHADAP EFISIENSI BOILER DI UNIT 1 PLTU OMBILIN PT. PLN UPK OMBILIN

Oleh penguji yang bertanda tangan dibawah ini ditetapkan bahwa mahasiswa y.b.s harus menyempurnakan skripsinya dalam waktu satu minggu, yaitu pada tanggal 2 Maret, 2021 dengan perbaikan – perbaikan sbb :

1. Penulisan ikuti pedoman yang berlaku
2. Bab 1 : - Buat lebih spesifik sesuai fokus penelitian, Variasi Nilai Kalor, L5 tdk dihitung pdhl kajiannya air mass? pada pembebanan brp? Saran sebaiknya ke SFC dan Efisiensi Boiler
3. Bab 2 : Sub Bab 2.1 : Penelitian yang relevan diuraikan : Tipe Boiler, Metode, Nilai kalor, AM dan hasilnya, Daftar Pustaka yang digunakan pada Bab 2 dan Daftar Pustaka tidak sesuai
4. Bab 3 : Flow chart Perbaiki, terutama pada belah ketupat, indikatornya pertajam
5. Bab 4, Tabel data : Waktunya dilengkapi, Pertajam ke nilai kalor
6. Grafik perbaiki, tambahkan pula grafik dan analisa proximate dan ultimate analysis, Fish bone dilengkapi kajian dari 4M+1E dan analisis dipertajam sesuai hasil perhitungan.
7. Saran No. 1 dan 2 diperbaiki

Apabila dalam jangka waktu tersebut saya tidak dapat menyelesaikan REVISI dan saya bersedia kembali mengulang mengikuti ujian sidang Proyek Akhir/ Skripsi/ Tesis.

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egdirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:16:15+0700
 Foxit Reader Version: 10.1.0
 Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji

 Digitally signed by Roswati Nurhasanah
 DN: OU=Institut Teknologi PLN, O=Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, CN=Roswati Nurhasanah, E=roswati@tpin.ac.id
 Reason: I am the author of this document
 Foxit Reader Version: 10.0.0
 Roswati Nurhasanah, S.T, M.T

Proyek Akhir/Skripsi/Tesis* telah diperbaiki sesuai yang ditetapkan, pada hari Jakarta, 2 Maret 2021

Mahasiswa
 Digitally signed by Muhammad Ilham Dirgantara
 DN: OU=IT-PLN, O=Prodi S1 Teknik Mesin, CN=Muhammad Ilham Dirgantara,
 E=egdirgantara@gmail.com
 Reason: I am the author of this document
 Location: Jakarta
 Date: 2021.03.03 12:16:52+0700
 Foxit Reader Version: 10.1.0
 Muhammad Ilham Dirgantara

Penguji
 Roswati Nurhasanah, S.T, M.T