

**ANALISIS PENGGUNAAN BIOGAS SEBAGAI BAHAN  
BAKAR ALTERNATIF BOILER DI PABRIK KELAPA SAWIT  
PTPN II PAGAR MERBAU**

**SKRIPSI**

**OLEH:  
DIMAS RAHDAN HARSİ  
188130134**



**PROGAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 20/12/22

Access From (repository.uma.ac.id)20/12/22

## **HALAMAN JUDUL**

# **ANALISIS PENGGUNAAN BIOGAS SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF BOILER DI PABRIK KELAPA SAWIT PTPN II**

## **SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh:

**DIMAS RAHDAN HARSI**

**188130134**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN**

**2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 20/12/22

Access From (repository.uma.ac.id)20/12/22

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI


Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif  
Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau

Nama Mahasiswa : Dimas Rahdan Harsi


NPM : 188130134

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

  
( Muhammad Idris, S.T., M.T. )

Pembimbing I

  
( Indra Hermawan, S.T., M.T. )

Pembimbing II



( ~~Dr. Rahmadshyah, S. Kom, M. Kom~~ )

Dekan



( Muhammad Idris, S.T., M.T. )

Kaprodi/WD 1

Tanggal Lulus : 27 September 2022

## HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, 10 Oktober 2022



Dimas Rahdan Harsi  
188130134



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

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

Nama : Dimas Rahdan Harsi  
NPM : 188130134  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( Non-exclusive Royalty-Free Right )** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisis Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau

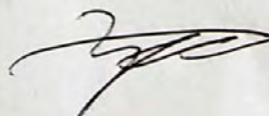
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format – kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selamatan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta/dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Medan Area

Pada tanggal : 10 Oktober 2022

Yang menyatakan

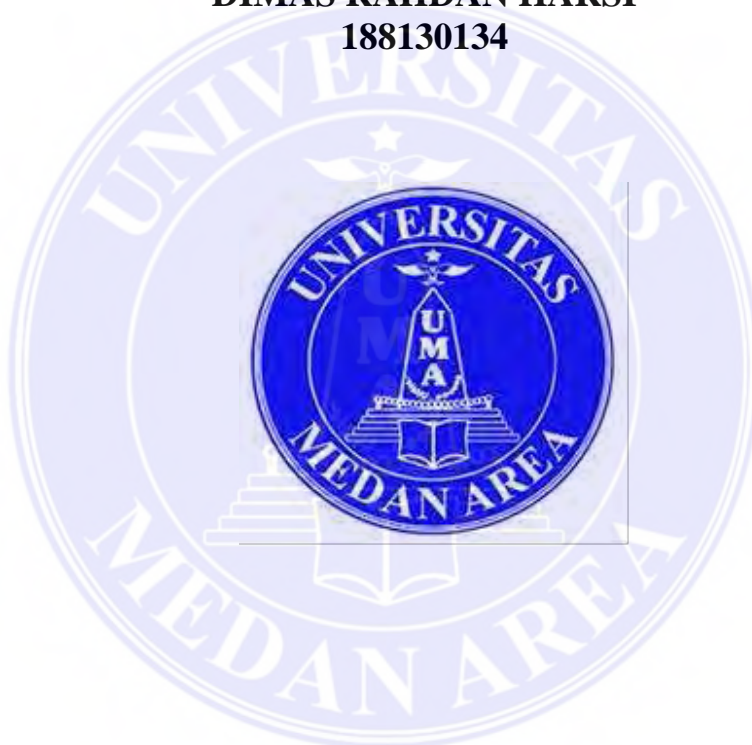


( Dimas Rahdan Harsi )

**ANALISIS PENGGUNAAN BIOGAS SEBAGAI BAHAN  
BAKAR ALTERNATIF BOILER DI PABRIK KELAPA SAWIT  
PTPN II PAGAR MERBAU**

**SKRIPSI**

**OLEH:  
DIMAS RAHDAN HARSI  
188130134**



**PROGAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2022**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 20/12/22

Access From (repository.uma.ac.id)20/12/22

## HALAMAN JUDUL

# ANALISIS PENGGUNAAN BIOGAS SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF BOILER DI PABRIK KELAPA SAWIT PTPN II

## SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh:

**DIMAS RAHDAN HARSI**

**188130134**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**MEDAN**

**2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 20/12/22

Access From (repository.uma.ac.id)20/12/22



## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif  
Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau  
Nama Mahasiswa : Dimas Rahdan Harsi  
NPM : 188130134  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing

( Muhammad Idris, S.T., M.T. )

Pembimbing I

( Indra Hermawan, S.T., M.T. )

Pembimbing II



( Dr. Rahmad Syah, S. Kom, M. Kom )

Dekan



( Muhammad Idris, S.T., M.T. )

Kaprodi/WD 1

Tanggal Lulus : 27 September 2022



## HALAMAN PERNYATAAN

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

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

Medan, 10 Oktober 2022



Dimas Rahdan Harsi  
188130134

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

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

Nama : Dimas Rahdan Harsi  
NPM : 188130134  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif ( *Non-exclusive Royalty-Free Right* )** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

\Analisis Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format – kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selamata tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta/dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Medan Area

Pada tanggal : 10 Oktober 2022

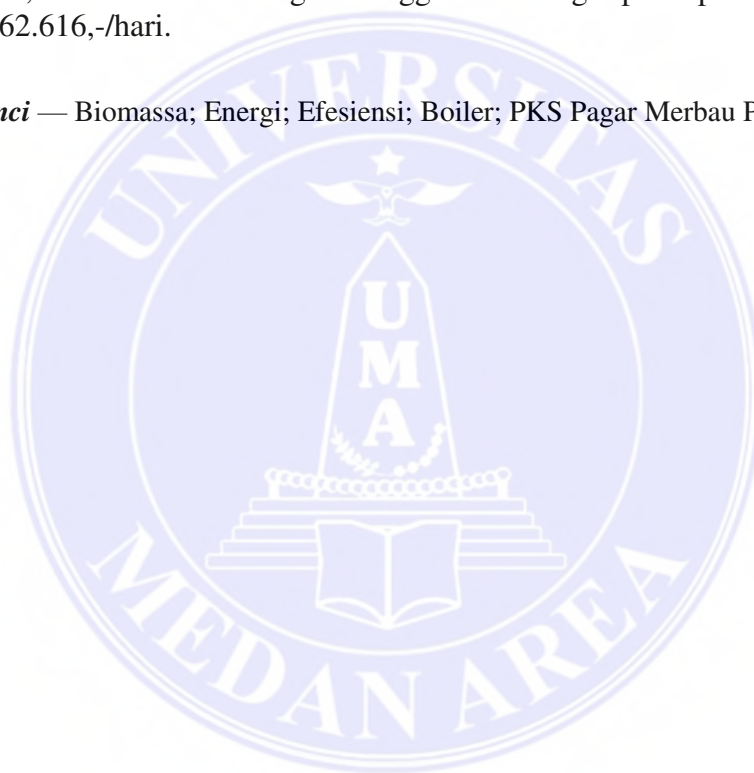
Yang menyatakan

( Dimas Rahdan Harsi )

## ABSTRAK

Pemanfaatan limbah dengan baik akan meningkatkan penambahan nilai jual energi dan mengurangi pencemaran lingkungan. Tujuan penelitian yaitu mengukur laju aliran massa bahan bakar, menganalisis efisiensi boiler dan mengukur pendapatan dari penggunaan bahan bakar biogas. Penelitian menggunakan *direct method*. Laju aliran massa bahan bakar fiber 1,083 kg/detik cangkang 0,583 kg/detik dan biogas 0,044 kg/detik. Nilai kalor bahan bakar yaitu fiber 10.207 kJ/kg dan cangkang 15.885 kJ/kg dan nilai kalor biogas 50.100 kJ/kg. Jumlah energi uap yang dihasilkan yaitu 14.661 kW dengan perbandingan energi pada bahan bakar yang masuk 19.325 kW. Maka efisiensi boiler yang di dapat yaitu 75,87%. Dari penggunaan bahan bakar alternatif biogas menghasilkan pendapatan dengan nilai perbandingan pendapatan tanpa menggunakan biogas yaitu Rp 3.339.725,-/hari kemudian dengan menggunakan biogas pendapatan tertinggi yaitu Rp 10.862.616,-/hari.

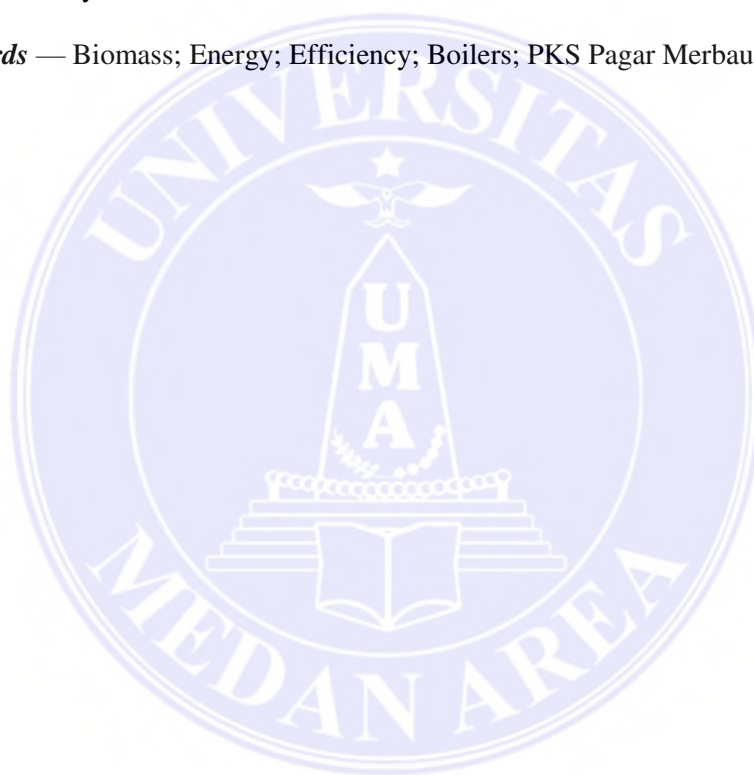
**Kata kunci** — Biomassa; Energi; Efisiensi; Boiler; PKS Pagar Merbau PTPN II.



## ABSTRACT

Utilization of waste properly will increase the sale value of energy and reduce environmental pollution. The research objectives are to measure the mass flow rate of fuel, analyze boiler efficiency and measure income from the use of biogas fuel. This research uses direct method. The mass flow rate of fiber fuel is 1.083 kg/second, shell is 0.583 kg/second and biogas is 0.044 kg/second. The calorific value of the fuel is fiber 10,207 kJ/kg and shell 15,885 kJ/kg and the calorific value of biogas is 50,100 kJ/kg. The amount of steam energy produced is 14,661 kW with a comparison of the energy in the incoming fuel 19,325 kW. Then the boiler efficiency that can be obtained is 75.87%. From the use of alternative fuels, biogas generates income with a comparative value of income without using biogas, which is Rp. 3,339,725,-/day then using biogas, the highest income is Rp. 10,862,616,-/day.

**Key Words** — Biomass; Energy; Efficiency; Boilers; PKS Pagar Merbau PTPN II.





## RIWAYAT HIDUP



Dimas Rahdan Harsi adalah Nama penulis skripsi ini. Penulis lahir dari orang Hartono dan Siti Hawa sebagai anak ke – tiga dari empat empat bersaudara. Penulis dilahirkan di Patumbak pada tanggal 9 Desember 1999. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN 104240 Wonosari (*lulus tahun 2012*), melanjutkan ke SMPN 1 Lubuk Pakam (*lulus tahun 2015*) dan SMK Nurul Amaliyah Tanjung Morawa (*lulus tahun 2018*) hingga akhirnya bisa memulai masa kuliah di Fakultas Teknik Program studi Teknik Mesin Univeritas Medan Area (UMA) (*tahun ajaran 2018*).

Selama masa perkuliahan penulis menjalani mata kuliah Kerja Praktek di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau. Mempelajari konsep teori yang telah di jalani masa kuliah dan di terapkan pada dunia industri. Dengan hasil pengamatan pada dunia industri semasa Kerja Praktek shingga memunculkan latar belakang penulisan skripsi ini. Sehingga penulis mengangkat latar belakang permasalahan pada industri kelapa sawit menjadi Tugas Akhir. Dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas pabrik kelapa sawit PTPN II. Sehingga skripsi ini dapat di selesaikan di Ujian Tugas Akhir.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar – besarnya atas terselesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Penggunaan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau**”.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini. Penulis menyusun Tugas Akhir dengan judul “Anlisa Pengaruh Biogas Pada Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Pagar Merbau” dan penelitian ini dilakukan di Pabrik Pelapa Sawit Pagar Merbau. Tugas akhir ini di susun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Mesin Universitas Medan Area.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak terlepas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., sebagai Rektor Universitas Medan Area yang telah banyak memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom., sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Muhammad Idris, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I, Yang telah bersedia meluangkan waktunya membimbing, mengarahkan, memberikan perhatian serta motivasi dan telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini menjadi lebih baik dan dapat menyelesaikan studi S1.

4. Bapak Dr. Iswandi, ST., MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Yang telah emberikan perhatian serta motivasi dan telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini menjadi lebih baik dan menyelesaikan studi S1.
5. Bapak Indra Hermawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan saran guna membangun serta memberikan saran untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Kedua orang tua saya yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberikan perhatian, motivasi, nasihat, doa, dukungan moral dan materil sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
7. Almamater Universitas Medan Area.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan sikripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekurangan dan kekhilafan tersebut. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima saran, pendapat, dan kritik yang membangun untuk kebaikan bersama. Semoga skripsi in bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi semua yang membacanya. Semoga Tuhan membalas amal baik yang telah membantu dalam penulisan sikripsi ini.

Medan, 10 Oktober 2022

Penulis,



Dimas Rahdan Harsi  
NPM 188130134

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi dan Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
1.5.1. Manfaat Ilmiah .....	5
1.5.2. Manfaat Praktis .....	5
BAB II TINJAU PUSTAKA .....	6
2.1. Biomassa Pabrik Kelapa Sawit .....	6
2.1.1. Serat ( <i>Fiber</i> ) .....	7
2.1.2. Cangkang ( <i>shell</i> ) .....	8
2.1.3. Biogas .....	9
2.2. Boiler .....	12
2.2.1. Konsep Boiler .....	13
2.2.2. Klasifikasi Boiler .....	14
2.2.3. Desain dan Aplikasi Boiler .....	16
2.2.4. Komponen Boiler .....	18
2.3. Parameter Perhitungan Bahan Bakar .....	21
2.3.1. Bahan Bakar .....	22
2.3.2. Nilai Kalor Bahan Bakar .....	24
2.4. Efisiensi Boiler .....	27
2.5. Pengaruh Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif .....	32
BAB III METODE PENELITIAN .....	33
3.1. Tempat Dan Waktu .....	33



3.2. Alat Dan Bahan Penelitian.....	34
3.3. Langkah Pengujian .....	36
3.4. Metode Pengumpulan Data.....	40
3.5. Variabel Penelitian.....	40
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Hasil .....	42
4.1.1 Hasil Pengukuran Produksi Bahan Bakar PKS .....	42
4.1.2 Hasil Pengukuran Efisiensi Boiler .....	44
4.1.3 Hasil Pengukuran Penggunaan Bahan Bakar Alternatif Bioga... .....	46
4.2 Pembahasan.....	47
4.2.1 Perbandingan Data Produksi Bahan Bakar PKS.....	48
4.2.2. Perbandingan Energi Pada Efisiensi Boiler.....	51
4.2.3 Perbandingan Hasil Pengukuran Penggunaan Bahan Bakar Alternatif Biogas .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1. Kesimpulan.....	57
5.2. Saran .....	58
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Potensi Bahan Bakar .....	7
Tabel 2.2. Nilai Heating Value dan Heating Evaporation .....	25
Tabel 2.3. Nilai Kalor Biogas .....	26
Tabel 3.1. Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	34
Tabel 3.2. Spesifikasi Thermometer .....	36
Tabel 3.3. Spesifikasi Boiler PKS Pagar Merbau .....	37
Tabel 4.1. Data Pengolahan PKS .....	44
Tabel 4.2. Laju Aliran Massa Bahan Bakar .....	44
Tabel 4.3. Data Kadar Fiber dan Cangkang .....	45
Tabel 4.4. Nilai Kalor Bahan Bakar .....	45
Tabel 4.5. Energi yang Dihasilkan PKS .....	46
Tabel 4.6. Oprasi Boiler .....	47
Tabel 4.7. Entalpi Spesifik Dan Volume Spesifik Boiler .....	47
Tabel 4.8. Efisiensi Boiler .....	48
Tabel 4.9. Hasil Pemanfaatan Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif .....	49

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Serabut ( <i>Fiber</i> ).....	8
Gambar 2.2. Cangkang ( <i>Shell</i> ) .....	8
Gambar 2.3. Biogas.....	10
Gambar 2.4. <i>Flare</i> Biogas.....	11
Gambar 2.5. Mesin Uap James Watt .....	13
Gambar 2.6. Boiler Pipa Api .....	16
Gambar 2.7. Boiler Pipa Air .....	18
Gambar 2.8. Komponen Boiler .....	19
Gambar 2.9. Diagram Tekanan – Entalpi.....	30
Gambar 3.1. FOSS NIRS DA 1650 .....	35
Gambar 3.2. <i>Thermometer Laser Infrared Digital</i> .....	36
Gambar 3.3. Boiler PKS Pagar Merbau .....	36
Gambar 3.4. Proses Pengujian Cangkang dan Fiber.....	38
Gambar 3.5. Mengukur Laju Aliran Air Umpan .....	38
Gambar 3.6. Daerator Pemanas Air Umpan .....	39
Gambar 3.7. Ruang Pembakaran Boiler .....	39
Gambar 3.8. Mengukur Uap Panas Boiler .....	40
Gambar 3.9. Mengukur Tekanan Uap Boiler .....	41
Gambar 3.10. Diagram Alir Penelitian .....	43
Gambar 4.1. Laju Aliran Masa Bahan Bakar Keseluruhan.....	50
Gambar 4.2. Jumlah Kadar Zat Pada Bahan Bakar Cangkang Dan Fiber .....	51
Gambar 4.3. Nilai Kalor Bahan Bakar .....	52
Gambar 4.4. Energi Yang Tersedia Di PKS .....	53
Gambar 4.5. Tekanan – Entalpi Boiler.....	54
Gambar 4.6. Perbandingan Energi Yang Masuk Dan Energi Diserap Boiler .....	55
Gambar 4.7. Bahan Bakar Berlebih .....	56
Gambar 4.8. Pendapatan Dari Pemanfaatan Biogas Pada Boiler.....	57

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Pengukuran Produksi Bahan Bakar .....	61
Lampiran 2. Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar .....	62
Lampiran 3. Pengukuran Energi Keseluruhan Bahan Bakar .....	64
Lampiran 4. Pengukuran Efisiensi Boiler .....	65
Lampiran 5. Pengukuran Pendapatan Dari Penggunaan Biogas .....	69





## DAFTAR NOTASI

$\dot{m}$	: Laju aliran massa (kg/detik)
P	: Persentase (%)
COD	: Jumlah oksigen (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho$	: Massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )
m	: Massa (kg)
v	: Volume (m <sup>3</sup> )
LHV	: Nilai kalor (kJ/kg)
NOS	: Kadar zat padatan (kg/detik)
Oil	: Kadar zat minyak (kg/detik)
Water	: Kadar air (kg/detik)
Q	: Energi kalor (kW)
h	: Entalpi spesifik (kJ/kg)
T	: Suhu (°C)
s	: Entropi spesifik (kJ/kg.K)
v	: Volume spesifik (m <sup>3</sup> /kg)
$\eta_b$	: Efisiensi (%)

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Satu potensi perkebunan yang menghasilkan bahan bakar cukup besar berasal dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Mengolah Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit menjadi Crude Palm Oil (CPO). Limbah biomassa bahan bakar dengan jumlah yang cukup besar dalam bentuk limbah organik berupa cangkang dan serabut, serta limbah cair (Palm Oil Mill Effluent). POME memiliki potensi energi yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. POME adalah limbah cair yang dihasilkan pada industri kelapa sawit. [9].

POME diurai di *Bio-Digester* dengan proses anaerobik. Proses anaerob menghasilkan biogas dengan kandungan utama yang dipakai yaitu gas methana ( $\text{CH}_4$ ). Gas tersebut mudah terbakar dan memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat dijadikan bahan bakar. Di PKS Pagar Merbau terdapat PLTBg sebagai produksi gas methana. Gas yang di produksi digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan motor bakar berbahan bakar biogas. Bahan bakar yang dihasilkan tidak seluruhnya digunakan. Hal tersebut dikarenakan gas berlebih ketika sedang beroperasi dan gas maksimal ketika sedang tidak beroperasi [2].

Pembakaran gas pada flare masih menghasilkan emisi gas  $\text{CO}_2$  yang tentunya mencemari lingkungan dan merupakan penyebab utama pemanasan global saat ini. Oleh karena itu, perlunya pengembangan lebih lanjut mengenai pemanfaatan gas pada flare melalui konversi energi agar gas flare bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi lain. Saat ini, hal tersebut telah menjadi prioritas utama industri-industri

migas untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan serta menjadi sumber energi alternatif lainnya [16].

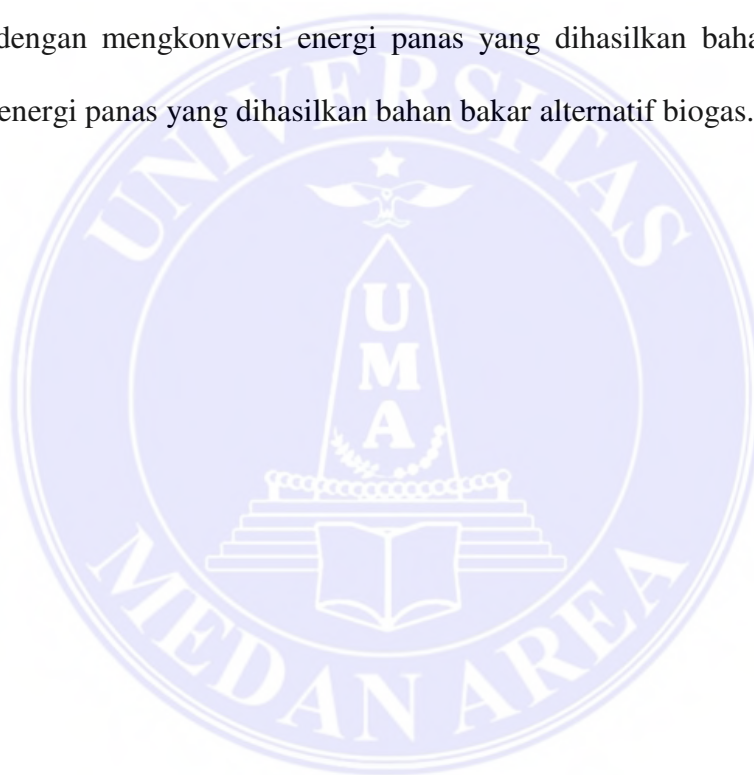
Sumber energi bahan bakar di pabrik kelapa sawit menghasilkan uap dari hasil proses perebusan air di boiler. Dalam prosesnya terdapat efisiensi yang harus diperhatikan. Perkembangan industri pabrik kelapa sawit semakin berkembang sehingga hal tersebut membuat industri kelapa sawit diharuskan untuk mengkaji ulang kinerja segala komponen penunjang kinerja Boiler untuk menghindari terjadinya pemborosan energi, sehingga diperlukannya penelitian dalam mengkaji efisiensi thermal [4].

Boiler pada pabrik kelapa sawit prinsip kerjanya yaitu proses pengapian terjadi di luar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa berisi air. Steam yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah steam drum. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, saturated steam dipanaskan lagi oleh superheater untuk menghasilkan superheated steam hingga mengalir ke outlet sistem sebagai superheated steam melalui pipa distribusi. Adapun proses pada pemanasan air di dalam boiler disebut proses isobarik. Proses isobarik memerlukan energi panas atau disebut entalpi yang berasal dari pelepasan energi panas bahan bakar yang dimasukkan pada boiler [14].

Secara proses konversi energi, ketel memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam ketel berasal dari proses pembakaran. Jumlah produksi bahan bakar sangat mempengaruhi proses kerja boiler. Energi yang masuk tidak seluruhnya di terima

pada boiler. Diperlukanya pengukuran efisiensi thermal pada boiler untuk mengetahui tingkat kinerja pada boiler [7].

Hal ini penulis menganalisis penggunaan Biogas yang berlebih yang telah diproduksi PLTBg PKS Pagar Merbau sebagai bahan bakar alternative tambahan energi panas pada pembakaran boiler dengan berdasarkan analisis efisiensi thermal pada boiler dengan bahan bakar utama cangkang dan fiber. Analisis bahan bakar utama yang digunakan pada boiler akan menjadi acuan penambahan bahan bakar biogas dengan mengkonversi energi panas yang dihasilkan bahan bakar utama dengan energi panas yang dihasilkan bahan bakar alternatif biogas.



## 1.2. Identifikasi dan Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana laju produksi dan laju penggunaan bahan bakar utama fiber dan cangkang beserta bahan bakar alternatif biogas pada pabrik kelapa sawit ?
2. Bagaimana efisiensi boiler dari hasil analisis bahan bakar utama yang digunakan ?
3. Bagaimana menganalisis pendapatan dari penggunaan bahan bakar alternative biogas pada pabrik kelapa sawit.

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Jenis boiler yang digunakan yaitu jenis Takuma N – 600 SA dengan parameter yang akan diteliti yaitu kinerja dan efisiensi thermal.
2. Bahan bakar alternative yang digunakan berdasarkan kandungan gas metana pada biogas dari hasil anaerobik limbah cair Palm Oil Mill Effluent (POME).

## 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung laju produksi dan laju penggunaan bahan bakar utama fiber dan cangkang dan bahan bakar alternatif biogas pada pabrik kelapa sawit
2. Menganalisis efisiensi boiler dengan bahan utama yang digunakan



3. Mengukur pendapatan yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar biogas pada boiler.

## **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

### **1.5.1. Manfaat Ilmiah**

Manfaat ilmiah yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Limbah cair kelapa sawit memiliki sifat merusak lingkungan tanpa pengolahan yang tepat.
2. Pengolahan limbah cair kelapa sawit menghasilkan energi tambahan yang dapat digunakan pabrik kelapa sawit
3. Mengukur efisiensi thermal pada pabrik kelapa sawit bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja pada boiler

### **1.5.2. Manfaat Praktis**

Manfaat Praktis yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Diperoleh pemanfaatan biogas berlebih yang dihasilkan oleh PLTBg yang berada pada pabrik kelapa sawit
2. Munculnya penerapan bahan bakar alternative pada boiler sehingga menurunkan penggunaan bahan bakar cangkang
3. Memberikan kontribusi upaya peningkatan kinerja PKS dalam Audit Energi
4. Bagi penulis, dapat menyelesaikan program perkuliahan Sarjana Universitas Medan Area
5. Memberikan sumbangsih ilmiah dalam pembangunan Ilmu Pengetahuan di lapangan

## BAB II TINJAU PUSTAKA

### 2.1. Biomassa Pabrik Kelapa Sawit

Proses pengolahan pengolahan Tandan Buah Segar kelapa sawit menjadi Crude Palm Oil (CPO) akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair, untuk limbah padat berupa cangkang dan serat digunakan kembali sebagai bahan bakar boiler dari 100 % TBS menghasilkan produk utama berupa (CPO) dan inti kelapa sawit (kernel), serta produk limbah padat berupa cangkang (shell), serat (fiber) dan limbah cair (POME) [6].

Fiber adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, serabut ini terdapat dibagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit, didalam serabut dan daging buah sawitlah minyak Crude Palm Oil (CPO) terkandung. Sedangkan cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut [3].

Proses pengolahan tandan buah segar ke CPO juga menghasilkan limbah cair yang memiliki porspek sebagai bahan bakar alternative untuk Boiler. Limbah cair kelapa sawit asalnya dari suatu kondensat, stasiun klarifikasi serta hidrocyclone, nama lainnya adalah Palm Oil Mill Effluent (POME). Pemanfaatan limbah kelapa sawit sebagai biogas merupakan cara yang paling efektif untuk dapat meminimalisir pencemarannya bagi lingkungan dan sebagai bahan bakar alternative bagi biogas [2].

Hal ini menjadi dasar penelitian ini di lakukan, untuk memberikan solusi penggunaan potensi bahan bakar biogas yang akan digunakan sebagai bahan bakar

alternatif boiler dihasilkan dari limbah cair kelapa sawit (POME). Kandungan ketiga limbah yang di hasilkan tandan buah segar dan pemanfaatan lainnya dapat di lihat pesentase nya pada tabel 2.1 di bawah.

Tabel 2.1. Potensi Bahan Bakar [7].

Jenis	Potensi per TBS (%)
POME	48 - 53
Fiber	12 - 14
Cangkang	5 - 9

### 2.1.1. Serat (*Fiber*)

Serat buah kelapa sawit merupakan bagian yang memiliki kandungan minyak kelapa sawit. Serat pada tandan buah segar memiliki potensi limbah *fiber* berkisar 12 – 14 % dari setiap ton tandan buah segar kelapa sawit. Limbah serat dari tandan buah kelapa sawit disebut juga *fibre press* dikarenakan untuk mendapatkan minyak *crude oil palm* pada serat buah akan dilakukan proses penekanan (*press*) pada stasiun *press*-an di pabrik kelapa sawit, buah yang telah di *press* maka meghasilkan minyak dan serabut maka disebutlah sebagai limbah *fibre press* [13].

Panas yang dihasilkan fiber jumlahnya lebih kecil dari yang dihasilkan oleh cangkang, namun hasil produksinya lebih besar fiber dari pada cangkang. Namun tingkat pembakaran pada tungku pembakaran, limbah fiber lebih cepat habis menjadi abu apabila dibakar, pemakaian fiber yang berlebihan akan berdampak buruk pada proses pembakaran karena dapat menghambat proses perpindahan panas pada pipa water wall, dikarenakan abu yang dihasilkan dari pembakaran fiber beterbangan dalam tungku pembakaran dan menutupi pipa water wall, disamping mempersulit pembuangan dari pintu ekspansion door (pintu keluar untuk abu dan

arang) akibat terjadinya penumpukan yang berlebihan [7]. Adapun gambar serat buah kelapa sawit dapat dilihat Gambar 2.1. berikut ini :



Gambar 2.1. Serat (*Fiber*)

#### 2.1.2. Cangkang (*shell*)

Cangkang kelapa sawit terdapat didalam buah kelapa sawit itu sendiri. Cangkang memiliki potensi limbah sekitar berkisar 5 – 9 % dari setiap tandan buah segar kelapa sawit yang di olah.

Cangkang kelapa sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit yang memiliki pembakaran lebih lama dari fiber namun jumlah nya sedikit. Cangkang sawit mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan bakar pada boiler PKS. Dibandingkan dengan batu bara, cangkang kelapa sawit memiliki kelebihan sebagai bahan bakar yang ramah terhadap lingkungan karena tidak mengandung sulfur sehingga tidak menghasilkan gas pencemar (SO<sub>2</sub>) [16]. Adapun gambar cangkang buah kelapa sawit dapat dilihat Gambar 2.2. berikut:





Gambar 2.2. Cangkang (*Shell*)

### 2.1.3. Biogas

Biogas PKS Pagar Merbau berasal dari pengolahan limbah cair atau disebut POME. Pengolahan limbah menjadi gas tersebut dilakukan di PLTBg PKS Pagar Merbau. Limbah cair yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit 50% kandungan limbah cair yang akan digunakan sebagai bahan bakar alternatif boiler. Limbah tersebut memiliki potensi energi yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. POME adalah limbah yang dihasilkan pada industri kelapa sawit terdiri dari limbah padat, cair, dan gas. POME diurai di kolam limbah dibiarkan membusuk secara alami. Proses pembusukan biomassa ini akan menghasilkan biogas dengan kandungan utama gas methana ( $\text{CH}_4$ ). Gas ini muncul akibat dari proses perombakan senyawa-senyawa organik secara anaerobic [9].

Pembakaran gas pada flare masih menghasilkan emisi gas  $\text{CO}_2$  yang tentunya mencemari lingkungan dan merupakan penyebab utama pemanasan global saat ini. Oleh karena itu, perlunya pengembangan lebih lanjut mengenai pemanfaatan gas pada flare melalui konversi energi agar gas flare bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi lain. Saat ini, hal tersebut telah menjadi prioritas utama industri-industri migas untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan serta menjadi sumber energi alternatif lainnya yang lebih bermanfaat [16].



Gas yang dihasilkan dari pengolahan minyak bumi sebagian besar adalah gas metana. Gas metana ini merupakan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Sama halnya seperti karbondioksida (CO<sub>2</sub>), tetapi gas metana memiliki dampak sebesar 21 x lebih merusak dari pada karbondioksida. Disamping itu, gas yang diproduksi biasanya juga banyak mengandung CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang dapat membahayakan kesehatan dan kehidupan manusia. Pada saat udara lembab dan tekanan udara akan menurun, maka gas akan menjadi lebih berat dari udara dan hal ini akan membuat gas turun mencapai tanah dan meningkatkan kemungkinan untuk terjadi kebakaran serta dampak-dampak negative lainnya yang merugikan [16].

Mengubah POME menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif sangat memberikan keuntungan yang sangat besar untuk pabrik kelapa sawit dan lingkungan. Memiliki kalor pembakaran yang dapat menghasilkan energi panas dari hasil pembakaran pada tungku pembakaran untuk meningkatkan Boiler dan menghemat bahan bakar biomassa padat yang memiliki prospek energi terbarukan dan memiliki nilai jual tinggi. PKS Pagar Merbau memiliki pengolahan khusus limbah POME menjadi biogas yang kemudian sebagai bahan bakar *gas engine*. Biogas yang dihasilkan berada pada *Bio-Digester* Adapun gambar *Bio-Digester* dapat dilihat pada Gambar 2.3. berikut ini :



Gambar 2.3. Biogas

Pada saat biogas yang dihasilkan memenuhi kebutuhan PLTBg maka akan menutup aliran limbah cair agar gas tidak berlebih. Ketika terjadi gas berlebih pada biogas akan di buang dengan menggunakan *flare* biogas sebagai pembuangan gas berlebih. Pada hal ini penulis mengukur energi yang tidak di manfaatkan dengan baik untuk menjadi bahan bakar alternatif tambahan pada boiler. Dengan pemanfaatan *flare* pada boiler akan mengurangi penggunaan bahan bakar fiber dan cangkang. Adapun flare pada PLTBg dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Flare Biogas

Metode yang umum digunakan pada alat flare ialah metode Flare gas recovery. Metode ini digunakan untuk menurunkan flare loss dengan cara me-recover flare gas yang mempunyai nilai potensial untuk dijadikan sebagai feedstock

(feed Hydrogen Plant), fuel ataupun produk LPG melalui skema proses tertentu. Flare gas recovery unit ini juga dapat menurunkan emisi ke defenisi dari kilang dari produk samping pembakaran seperti NOX, CO, CO<sub>2</sub>.

Komponen Knock Out Drum (KO Drum) pada *flare* biogas adalah alat yang berbentuk vessel ini bertujuan untuk memisahkan kondesat atau cairan lain yang terbentuk atau mengalir disepanjang pipa Flare Header dengan gas yang mengalir ke Flare. KO Drum diletakkan mendekati Flare Stack (menara pembakar), agar semua kondesat terkumpul dan tidak ikut terbakar di Flare yang dapat mengakibatkan api menyala hitam [16].

Flame Arrester ini adalah alat yang berfungsi mengatasi Back Fire (membaliknya aliran api) dari puncak Flare ke jalur Flare Header. Hal tersebut dapat terjadi antara lain jika: adanya oksigen yang masuk ke dalam selongsong Flare menyala dengan api yang kecil dan tekanan udara di sekitar Flare yang tinggi. Pada saat start-up flare atau sistem yang tidak di- purging (dibasuh dengan inert atau gas buang) dengan benar, sehingga sisa-sisa oksigen di dalam selongsong Flare masih ada. Oksigen inilah yang akan terbakar bersama bahan bakar (sebagai gas sisa pembuangan pabrik) di dalam selongsong Flare dan mungkin merambat ke jalur pipa Flare Header [16].

## 2.2. Boiler

Boiler adalah suatu unit yang berfungsi untuk merubah energi termis (panas) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada dapur ketel menjadi energi yang dikandung oleh air, dengan terbentuknya uap air dari proses tersebut [13].

Boiler yang digunakan pada PKS Pagar Merbau adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap.

Dengan berbagai komponen penting pada boiler diantaranya adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi.

Dalam proses produksi dari air menjadi uap, dapat terjadi kehilangan panas atau rugi seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang dicerobong. Kehilangan karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam cerobong dan abu. Kehilangan dari blowdown dan kondensat. Kehilangan konveksi, radiasi dan penguapan air yang terbentuk karena  $H_2$  dalam bahan bakar [1].

#### 2.2.1. Konsep Boiler

Awal tahun 1700an Thomas Newcomen dan John Calley, membuat mesin uap yang pertama dengan sukses. Uap yang dihasilkan boiler dialirkan kedalam mesin uap lalu mengangkat piston sampai ke puncak. Bila setelah itu diinjeksikan air kedalam mesin uap, maka tekanan uap vakum maka piston tertarik kembali ke bawah. Sistem ini akan menimbulkan gerak turun naik dari piston [13]

Tahun 1712 sebuah model mesin Newcomen direparasi oleh James Watt, seorang pembuat instrument dari Glasgow University. Tahun 1769 James Watt mendapatkan hak patent dari mesin uap ciptaannya seperti pada gambar 2.5, menurut teori James Watt, uap adalah suatu media yang elastis, dapat mengembang hingga vakum.





Gambar 2.5. Mesin Uap James Watt

James watt merancang mesin uap dengan memakai silinder (tabung) dan sebuah piston (pengempa/pengisap) dengan sebuah kondensor dan sebuah pompa udara.

Maka dari itu penulis dapat menyimpulkan bahwa konsep dasar boiler ialah merubah fase air menjadi fase uap dengan memanaskan air tersebut dengan temperatur dan suhu tertentu pada titik didih sehingga merubah fase air menjadi fase uap dengan tekanan uap yang sesuai.

#### 2.2.2. Klasifikasi Boiler

Ketel uap dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelas, yaitu :

1. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai:

- a. Ketel Stasioner (stationary boiler) atau ketel tetap.
- b. Ketel Mobil (mobile boiler), ketel pindah atau portable boiler. Yang termasuk stasioner ialah ketel-ketel yang di dudukkan diatas pondasi tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industri dan lain-lain yang sebagainya. Yang termasuk portable boiler , ialah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah, seperti boiler lokomotif, serta ketel kapal (marine boiler).

2. Berdasarkan letak dapur (furnace position), ketel uap diklasifikasikan sebagai:



- a. Ketel dengan pembakaran di dalam (internally fired steam boiler). Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. Kebanyakan ketel pipa api memakai sistem ini.
  - b. Ketel dengan pembakaran di luar (outernally fired steam boiler), dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) dibagian luar ketel, kebanyakan ketel pipa api memakai sistem ini.
3. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap diklasifikasikan sebagai:
- a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekak-lekuk (straight, bent and sinous tubuler heating surface).
  - b. Ketel dengan pipa miring datar dan miring tegak (horizontal, inclined or vertical tubuler surface).
4. Tergantung kepada sumber panasnya (heat source) untuk pembuatan uap, ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai:
- a. Ketel uap dengan bahan bakar alami.
  - b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan.
  - c. Ketel uap dengan dapur listrik.
  - d. Ketel uap dengan energi nuklir.
5. Menurut sistem peredaran air ketel (water circulation), ketel uap diklasifikasikan sebagai:
- a. Ketel dengan peredaran alam (natural circulation steam boiler).
  - b. Ketel dengan peredaran paksa (forced circulation steam boiler).

Pada natural circulation boiler, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedangkan air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara

aliran alami, seperti ketel Lancashire, Babcock, dan Wilcox. Pada ketel dengan aliran paksa (forced circulation steam boiler), aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa sentrifugal yang digerakkan dengan electric motor misalnya. Sistem aliran paksa dipakai pada ketel-ketel yang bertekanan tinggi seperti La-Mont Boiler, Benson Boiler, dan Velcan Boiler.

### 2.2.3. Desain dan Aplikasi Boiler

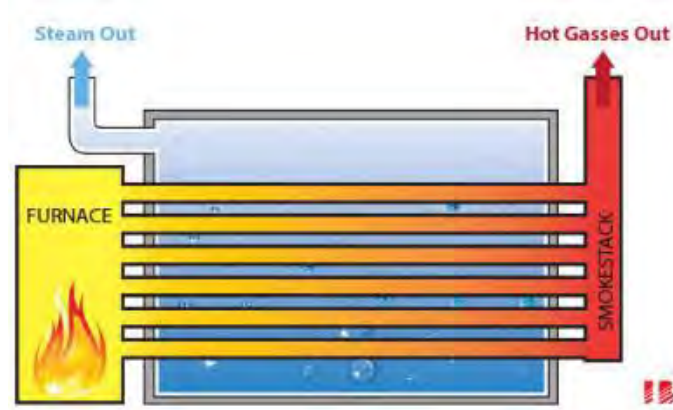
Boiler memiliki 2 desain utama yaitu ketel pipa api dan ketel pipa air. Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah panas (hasil pembakaran). Pada ketel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa ke air ketel.

#### a. Boiler Pipa Api

Proses pengapian terjadi di dalam pipa, kemudian panas yang dihasilkan dihantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air. Besar dan konstruksi boiler mempengaruhi kapasitas dan tekanan yang dihasilkan boiler tersebut. Seperti pada gambar 2.6 proses pemanasan air pada boiler pipa api.

Karakteristik:

- Biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil (12.000 kg/jam) dengan tekanan rendah sampai sedang (18 kg/cm<sup>2</sup>).
- Dalam operasinya dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar padat.
- Untuk alasan ekonomis, sebagian besar fire tube boiler dikonstruksi sebagai paket boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar



Gambar 2.6. Boiler Pipa Api

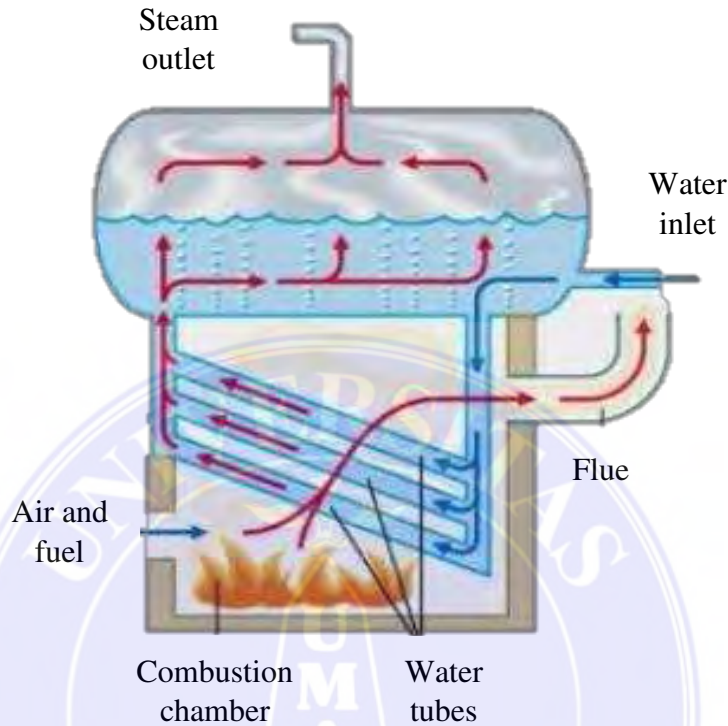
b. Boiler Pipa Air

Proses pengapian terjadi di luar pipa. Panas yang dihasilkan digunakan untuk memanaskan pipa yang berisi air. Air umpan itu sebelumnya dikondisikan terlebih dahulu melalui economizer. Steam yang dihasilkan kemudian dikumpulkan terlebih dahulu di dalam sebuah steam drum sampai sesuai. Setelah melalui tahap secondary superheater dan primary superheater, baru steam dilepaskan ke pipa utama distribusi.

Karakteristik:

1. Tingkat efisiensi panas yang dihasilkan cukup tinggi.
2. Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari plant pengolahan air. Sehingga air harus dikondisikan terhadap mineral dan kandungankandungan lain yang larut dalam air.
3. Boiler ini digunakan untuk kebutuhan tekanan steam yang sangat tinggi seperti pada pembangkit tenaga.
4. Kapasitas steam antara 4.500-12.000 kg/jam dengan tekanan sangat tinggi.
5. Menggunakan bahan bakar minyak dan gas untuk water tube boiler yang dirakit dari pabrik

6. Menggunakan bahan bakar padat untuk water tube boiler yang tidak dirakit di pabrik

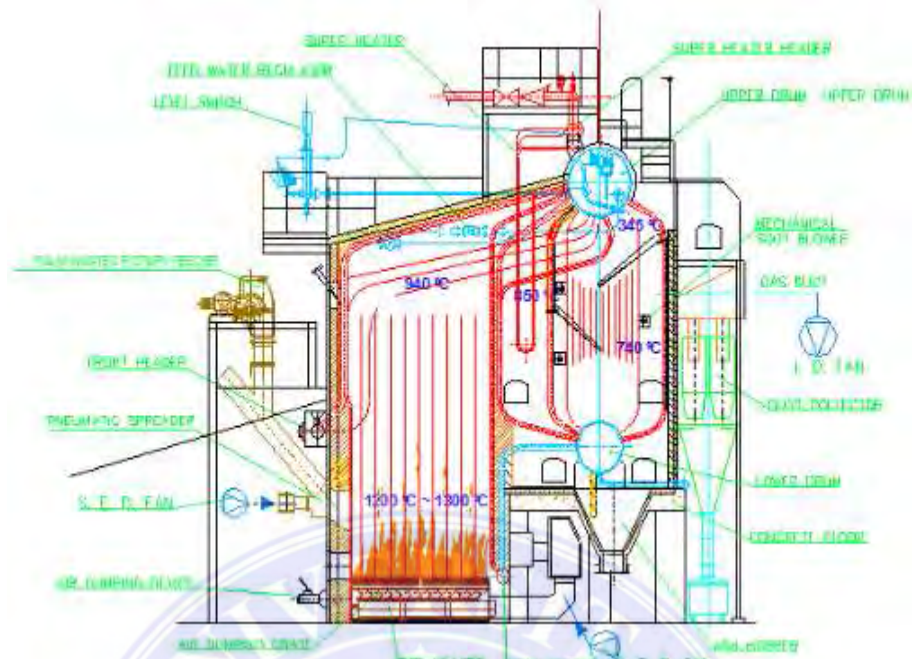


Gambar 2.7. Boiler Pipa Air

#### 2.2.4. Komponen Boiler

Boiler yang digunakan pada PKS Pagar Merbau adalah Boiler pipa air dimana panas pembakaran di ruang bakar memanaskan air yang dialirkan pada pipa pada ruang bakar sampai terbentuk air panas atau uap. Dengan berbagai komponen penting pada boiler diantaranya adalah burner, ruang bakar, penukar panas dan sistem kontrol. Komposisi yang tepat dalam pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk proses produksi.





Gambar 2.8. Komponen Boiler

Komponen utama pada Gambar 2.8. terdiri dari:

1. Pembakar

Pembakar (burner) adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan bakar dan udara. Caranya adalah dengan menyemprotkan kedalam ruang dapur melalui mulut-mulut pembakar atau brander, sedangkan udara dimasukkan lewat sekeliling mulut pembakar tersebut. Ada beberapa macam sistem brender tergantung pada sistem pengabutannya, yaitu sistem pengabut uap/udara dan sistem pengabut tekan. Pada sistem pengabut uap/udara caranya adalah uap/udara dipancarkan melalui mulut pembakar (brender) dan akibat dari pancaran ini minyak akan terisap.

2. Pipa Evaporator

Pipa evaporator merupakan pipa – pipa yang berfungsi sebagai pipa penguapan yaitu merubah air menjadi uap, pipa evaporator terletak disepanjang dinding ketel mengelilingi alat pembakar (Furnace).



### 3. Ruang bakar

Ruang bakar (furnace) adalah dapur penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang terdapat fire gate dibagian bawah sebagai alas bahan bakar dan yang sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding ruang pembakaran yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konveksi, konduksi.

### 4. Drum

Drum merupakan tempat menampung air dari economizer sekaligus sebagai pemisah uap dan air. Pada konstruksi sebuah boiler terdapat 2 buah drum yakni drum uap atas dan drum uap bawah. Drum uap berfungsi untuk menampung uap hasil dari sirkulasi. Drum uap bawah merupakan drum yang posisinya di bawah drum uap dan berfungsi sebagai pengumpul air panas yang akan didistribusikan ke dalam wall tube.

### 5. Pemanas lanjut

Pemanas lanjut (superheater) adalah bagian ketel yang berfungsi untuk merubah fasa uap saturated menjadi fasa uap superheat.

### 6. Pemanas udara

Pemanas udara (air heater) adalah alat pemanas udara yang akan dihembuskan ke ruang bakar. Flue gas yang memiliki temperatur yang tinggi digunakan untuk memanaskan udara pada pemanas udara.

### 7. Dust collector

Dust collector adalah alat pengumpul abu atau penangkap abu hasil pembakaran.

Komponen pendukung terdiri dari :

1. Air pengisi ketel (boiler feed water)

Air pengisi ketel didapatkan dari stasiun pengolahan air yang telah diolah agar mendapatkan persyaratan yang telah di tentukan.

2. Dearator

Merupakan pemanas air sebelum dipompa kedalam ketel sebagai air pengisian. Fungsi utamanya adalah menghilangkan oksigen (O<sub>2</sub>) dan untuk menghindari terjadinya karat pada pipa - pipa ketel.

3. Secondary Fan

Merupakan alat bantu ketel yang berfungsi sebagai penyuplai udara untuk menyempurnakan proses pembakaran.

4. Induced Draft Fan (I.D.F)

Induced Draft Fan berfungsi sebagai penghisap gas asap hasil pembakaran bahan bakar.

5. Cerobong asap (Chimney)

Berfungsi untuk membuang udara sisa dari hasil pembakaran di tungku pembakaran boiler

6. Ash Conveyor

Merupakan alat pembawa atau pengangkut abu dari sisa-sisa pembakaran bahan bakar, baik yang dari pengumpul abu (dust collector), untuk dibuang dan diteruskan ke kolam penampungan dan ini biasanya digunakan sebagai kompos diperkebunan .

### 2.3. Parameter Perhitungan Bahan Bakar

Parameter perhitungan pada bahan bakar dengan mengukur laju bahan bakar, nilai kalor dan energi yang dihasilkan bahan bakar. Kemudian pengukuran

kinerja pada boiler dan energi pada uap yang dihasilkan sehingga dapat untuk mengukur efisiensi boiler. Uji efisiensi boiler dapat membantu dalam menemukan penyimpangan efisiensi boiler dari efisiensi terbaik dan target area permasalahan untuk tindakan perbaikan [3].

### 2.3.1. Bahan Bakar

Dalam proses pengolahan kelapa sawit uap diperlukan untuk pembangkit tenaga listrik dan sumber panas pada proses pengolahan kelapa sawit. Sehingga, jika kapasitas produksi uap menurun maka akan terjadi gangguan terhadap turbin yang menyebabkan penurunan produksi tenaga listrik dan penurunan efisiensi pengolahan, hal ini bisa dilihat dari kapasitas produksi TBS [8].

Penurunan kapasitas produksi uap dapat disebabkan oleh kurangnya bahan bakar boiler. Boiler yang dioperasikan di PTPN II PKS PAGAR MERBAU melakukan pengisian bahan bakar dengan kapasitas dan tekanan kerja yang sesuai dengan kebutuhan turbin sehingga meningkatkan stabilitas turbin. Karena kontinuitas pengisian bahan bakar untuk boiler didasarkan pada tekanan boiler, apabila tekanan uap boiler rendah maka hal tersebut akan dilakukan pengisian bahan bakar dengan cepat dan sesuai agar tidak menyebabkan tekanan tidak turun secara tiba-tiba. Di PKS Pagar Merbau sendiri memiliki masalah pada ketersediaan bahan bakar utama yaitu cangkang dan fiber.

Cara ini dapat mengatasi penurunan tekanan uap, akan tetapi sering terjadi perubahan keseimbangan bahan bakar dengan udara yakni jumlah bahan bakar yang dimasukkan terlalu banyak dan volume udara yang menurun akibatnya ruang bakar menjadi sempit dan mengakibatkan pembakaran menjadi tidak sempurna.

Penggunaan bahan bakar alternative biogas di harapkan dapat membantu meningkatkan kinerja boiler.

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari boiler sesuai dengan yang diinginkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel [8].

Pemakaian uap untuk proses pengolahan kelapa sawit di perlukan lebih banyak. Sehingga di perlukan biomasa yang cukup dan yang dapat langsung digunakan untuk peroses penguapan air pada boiler. Jumlah Bahan bakar fiber, cangkang dan biogas yang tersedia pada PKS dengan kapasitas 8,33 kg/detik dapat di hitung dengan persamaan 2.1 [10] :

$$\dot{m}_{bb} = P_{m_{bb}} \times \dot{m}_{TBS} \dots\dots\dots(Pers. 2.1)$$

Dimana :

$\dot{m}_{bb}$  = Laju massa bahan-bakar (kg/detik)

$P_{m_{bb}}$  = Persentase Massa bahan-bakar (%)

$\dot{m}_{tbs}$  = Laju aliran massa tandan buah segar (kg/detik)

Adapun untuk mengukur jumlah massa bahan bakar biogas dengan persamaan 2.2.

$$\dot{m}_{biogas} = \dot{m}_{pome} \times (COD_{in} - COD_{out}) \times RCOD_{out} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

$\dot{m}_{biogas}$  = Laju aliran massa biogas (m<sup>3</sup>/detik)

$\dot{m}_{pome}$  = Laju aliran massa limbah cair (kg/detik)

$COD_{in}$  = Jumlah oksigen yang masuk (kg/m<sup>3</sup>)

$COD_{out}$  = Jumlah oksigen yang keluar (kg/m<sup>3</sup>)

$RCOD_{out}$  = Rasio Jumlah oksigen keluar (%)

Jumlah volume bahan bakar biogas yang dihasilkan di ubah menjadi satuan di ubah menjadi satuan massa berat dengan persamaan 2.3.

$$\rho = \frac{m}{v} \dots \dots \dots (2.3)$$

$\rho$  = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

m = Massa (kg)

v = Volume (m<sup>3</sup>)

### 2.3.2. Nilai Kalor Bahan Bakar

Pada bahan bakar terkandung kadar zat padat , zat minyak dan zat air setelah dari pengolahan TBS. Persentase kadar zat dapat diperoleh dengan menggunakan alat FOSS NIRS DA 1650 pada laboratorium PKS. Persentase kadar zat yang didapat nantinya akan diketahui jumlah kadar pada tiap bahan bakar per jam nya. Adapun untuk mengukur nilai NOS, Oil dan Water menggunakan persamaan 2.4,2.5 dan 2.6.

$$NOS = P_{NOS} \times \dot{m}_{bb} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$Oil = P_{Oil} \times \dot{m}_{bb} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$Water = P_{Water} \times \dot{m}_{bb} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

NOS = Kadar zat padat / Number Of Solid (kg/detik)

Oil = Kadar zat minyak (kg/detik)

Water = Kadar air (kg/detik)

$P_{NOS}$  = Persentase kadar zat padat (%)

$P_{Oil}$  = Persentase kadar zat minyak (%)

$P_{Water}$  = Persentase kadar zat air (%)

$\dot{m}_{bb}$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/detik)



Nilai Heating Value dan Heating Evaporation yang terkandung pada masing – masing bahan bakar cangkang dan fiber dapat dilihat pada tabel 2.2 [10] :

**Tabel 2.2 Nilai Heating Value dan Heating Evaporation.**

Komposisi	Cangkang (kJ/kg)	Fiber (kJ/kg)	Komposisi	(kJ/kg)
HV NOS	19.665	16.108	HE Water	2.510
HV Oil	36.819	36.819		

Nilai kadar zat pada bahan bakar nantinya akan mempengaruhi jumlah kadar tersebut dan nilai kalor rendah (LHV). Adapun untuk mengukur LHV pada bahan bakar dengan persamaan 2.7.

$$LHV = \frac{(NOS \times HV_{NOS}) + (OIL \times HV_{Oil}) + (Water \times HE_{Water})}{\text{Massa Fiber}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

- LHV = Nilai kalor (kJ/kg)
- NOS = Kadar zat padat / Number Of Solid (kg/detik)
- Oil = Kadar zat minyak (kg/detik)
- Water = Kadar air (kg/detik)
- HV<sub>NOS</sub> = Nilai Kalor zat padat (kJ/kg)
- HV<sub>Oil</sub> = Nilai Kalor zat minyak (kJ/kg)
- HE<sub>Water</sub> = Kalor Penguapan air (kJ/kg)
- m<sub>bb</sub> = Laju massa bahan bakar (kg/detik)

POME yang dihasilkan PKS akan di proses lebih lanjut untuk menghasilkan biogas sehingga menjadi bahan bakar. Proses itu disebut anaerobik yang berlangsung pada wadah khusus untuk berjalanya penguraian oleh bakteri sehingga menghasilkan biogas.

Tabel 2.3. Nilai Kalor Biogas [15]

Bahan Bakar	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)	Massa Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
Karbon monoksida (CO)	10.900	10.900	1,165
Metana (CH <sup>4</sup> )	55.500	50.100	0,667
Gas Alam	42.500	38.100	0,708
Propana (C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> )	48.900	45.800	1,833
Bensin (C <sup>8</sup> H <sup>18</sup> )	46.700	42.500	
Solar (C <sup>12</sup> H <sup>26</sup> )	45.900	43.000	
Hidrogen (H <sup>2</sup> )	141.900	120.100	0,084
Producer gas	5.810	5.300	1,089

Dengan tabel 2.3 dapat dilihat LHV biogas yang kemudian di jumlahkan dengan laju aliran massa bahan bakar biogas untuk mengetahui energi yang dihasilkan.

Pada proses isboarik boiler terjadi dari pelepasan energi pada bahan bakar yang dimasukan pada ruang bakar boiler. Sehingga boiler mengubah energi pada bahan bakar menjadi energi tekanan uap untuk memutar turbin dan keperluan PKS lainnya. Dengan jumlah bahan bakar dan LHV pada bahan bakar akan mengetahui energi yang tersedia pada PKS dan energi yang di masukan pada boiler menggunakan persamaan 2.8.

$$Q_1 = \dot{m}_1 \times LHV \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

$Q_1$  = Energi bahan bakar yang diproduksi (kW)

$\dot{m}_1$  = Laju massa bahan bakar yang diproduksi (kg/detik)

LHV = Nilai kalor (kJ/kg)

## 2.4. Efisiensi Boiler

Pada bagian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pada boiler. Parameter yang akan di ukur pada boiler untuk menentukan efisiensi boiler yaitu energi yang masuk dan energi uap yang dihasilkan.

Uap (*steam*) merupakan hasil dari perubahan fase air/cair menjadi uap pada proses isobarik. Pada proses pendidihan disebut juga saturasi cair jenuh yang kemudian menjadi saturasi uap jenuh. Untuk melakukan proses pendidihan diperlukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas , misalnya dari pembakaran bahan bakar (padat, cair, dan gas) tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir. Penguapan bisa saja terjadi disembarang tempat dan waktu pada tekanan normal , bila diatas permukaan zat cair tekanan turun dibawah tekanan mutlak [12].

Uap saturasi adalah kondisi uap air berada pada tekanan dan temperatur yang sama dengan air fase cair. Uap saturasi menjadi fase transisi antara air fase cair dengan air fase gas murni, atau disebut dengan uap panas lanjut. Pada saat air berada dalam fase transisi ini, terjadi pencampuran antara air fase cair atau disebut saturasi cair jenuh dengan air fase gas disebut juga saturasi uap jenuh dalam proporsi yang sesuai dengan jumlah panas laten yang diserap fluida.

Uap saturasi ini mulai terbentuk tepat pada saat air mencapai titik didihnya saturasi cair jenuh, hingga semua energi dari panas laten diserap oleh air. Di saat seluruh panas laten telah diserap oleh air, dan jumlah fase uap sudah mencapai hampir 100% dibandingkan dengan fase cairnya, maka itulah batas akhir dari fase uap jenuh saturasi. Pada proses mencapai hampir 100% fase uap tersebut terjadi pada satu besaran tekanan dan temperatur konstan. Selanjutnya ketika energi panas

terus di alirkaan pada uap jenuh saturasi, maka akan terjadi kenaikan temperatur fluida dan mendorong uap untuk berubah fase menjadi uap panas lanjut sehingga menghasilkan volume uap dan tekanan yang meningkat [14].

Terdapat beberapa proses yang terjadi saat energi panas masuk pada boiler yang mengakibatkan perubahan entalpi menjadikan perubahan fasa cair menjadi uap.

Adapun proses yang terjadi pada boiler pabrik kelapa sawit ialah:

- a. Proses 1-2 : Air di panaskan pada daerator sampai titik cair jenuh
- b. Proses 2-3 : Proses isobarik pada boiler
- c. Proses 3-4 : Uap panas lanjut di alirkan ke turbin

Berdasarkan perbedaan entalpi, entropi dan volume spesifik di setiap masing-masing titik, untuk menentukan air umpan, cair saturasi, uap jenuh, dan uap lanjut. Adapun pengukuran menggunakan persamaan 2.9, 2.10, dan 1.11.

$$h = h_1 + (h_2 - h_1) \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)} \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

h = Nilai interpolasi entalpi (kJ/kg)

T = Suhu (°C)

$$s = s_1 + (s_2 - s_1) \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)} \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

s = Entropi (kJ/kg.K)

T = Suhu (°C)

$$v = v_1 + (v_2 - v_1) \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

v = Volume spesifik (m<sup>3</sup>/kg)

$T = \text{Suhu } (^{\circ}\text{C})$

Pada pompa sebagai laju aliran massa fluida pada boiler dengan tekanan yang sama. Kerja tersebut disebut juga proses isentropik pada pompa. Untuk mencari entalpi pada pompa isentropik pada titik tersebut dapat menggunakan persamaan 2.12.

$$h_{2s} = h_1 + v_1 (p_1 - p_2) \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana:

$h_{2s} = \text{Entalpi pompa (kJ/kg)}$

$h_1 = \text{Entalpi air (kJ/kg)}$

$v_1 = \text{Volume spesifik (m}^3\text{/kg)}$

$p_1 = \text{Tekanan awal (kPa)}$

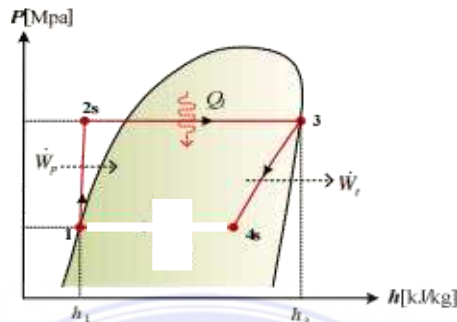
$p_2 = \text{Tekanan akhir (kPa)}$

Melengkapi entalpi pada setiap titik pada proses perubahan zat cair (air) menjadi cair jenuh saturasi pada daerator sebagai air umpan. Kemudian cair jenuh saturasi ke uap jenuh saturasi pada boiler dengan tekanan dan suhu yang konstan. Apabila terjadi penaikan suhu dan tekanan pada boiler maka uap jenuh saturasi menjadi uap lanjut (superheated steam).

Entalpi pada zat akan terus bertambah seiring meningkatnya energi yang masuk pada pembakaran di ruang bakar boiler. Pada boiler PKS sendiri menggunakan uap lanjut (superheated steam) yang nantinya akan digunakan untuk memutar sudu turbin. Uap yang telah melewati turbin akan langsung di simpan pada tangki penampung uap atau disebut *back pressure receiver* yang kemudian digunakan untuk keperluan komponen lainya yang memerlukan uap untuk menjalankanya.



Proses Termodinamika yang dialami fluida pada siklus tenaga uap dapat digambarkan pada contoh diagram  $P-h$  yang dapat di lihat pada gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9. Diagram Tekanan - Entalpi

Dari gambar 2.9 dapat dilihat sifat cair yang berubah menjadi uap dengan tekanan yang berbeda. Perbedaan tersebut juga mempengaruhi keperluan bahan bakar untuk membrikan energi panas sehingga terjadinya peningkatan entalpi. Entalpi yang meningkat membuat terjadinya perubahan fasa cair menjadi uap pada boiler.

Seluruh bahan bakar yang tersedia tidak seluruhnya masuk ke boiler. Dengan data laju aliran massa bahan bakar yang diketahui. Adapun persamaan 2.13 yang digunakan untuk menghitung laju bahan bakar yang digunakan boiler.

$$Q_2 = \dot{m}_2 \times \text{LHV} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$Q_2$  = Jumlah energi bahan bakar masuk boiler (kW)

$\dot{m}_2$  = Laju massa bahan bakar masuk boiler (kg/detik)

LHV = Nilai kalor (kJ/kg)

Pengukuran efesiensi boiler dipengaruhi energi yang diserap oleh boiler.

Adapun untuk mengukur energi yang masuk pada boiler dengan persamaan 2.14.

$$Q_{in} = \dot{m}_{\text{steam}} (h_3 - h_2) \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

$Q_{in}$  = Laju aliran panas masuk (kW)

$\dot{m}_{steam}$  = Laju aliran massa uap boiler (kg/s)

$h_3$  = Entalpi uap lanjut (kJ/kg)

$h_2$  = Entalpi air pada pompa (kJ/kg)

Efisiensi pada boiler adalah tingkat kemampuan kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya tergantung pada kinerja tiap boiler [3].

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler. Metodologi dikenal juga sebagai metode input-output' karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (steam) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi.

Energi bahan bakar yang masuk tidak seluruhnya dapat diserap oleh boiler. semakin kecil energi yang bisa diserap boiler dari energi bahan bakar yang masuk maka efisiensi boiler semakin tinggi. Adapun untuk mengukur efisiensi boiler menggunakan persamaan 2.15.

$$\eta_b = \frac{Q_{in}}{Q_2} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.15)$$

dimana :

$\eta_b$  = Efisiensi boiler (%)

$Q_{in}$  = Energi yang diserap boiler (kW)

$Q_2$  = Energi bahan bakar yang masuk ke boiler (kW)

## 2.5. Pengaruh Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Bahan bakar biogas yang akan di jadikan sebagai bahan bakar alternatif tambahan tentunya perlu pengukuran berdasarkan dari kinerja boiler. Dengan data yang didapat dari perhitungan pada data berdasarkan oprasi kerja dan data umum pabrik kelapa sawit pagar merbau. Perhitungan yang diawali dengan pengurangan bahan bakar cangkang dan fiber saat biogas digunakan. Adapun pengukuran menggunakan persamaan 2.16.

$$Q_3 = Q \times P_Q \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

$Q_4$  = Energi pada berlebih masing bahan bakar (kW)

$Q$  = Energi yang berlebih bahan bakar (kW)

$P_Q$  = Persentase energi bahan bakar (%)

Dengan energi yang diketahui dengan nilai lalor pada masing – masing bahan bakar berbeda. Perlu mengukur laju aliran massa bahan bakar berdasarkan energi dan nilai kalor bahan bakar dengan persamaan 2.17.

$$\dot{m}_3 = Q_3 \div LHV \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

$\dot{m}_3$  = Laju aliran massa bahan bakar berlebih (kg/detik)

$Q_3$  = Energi bahan bakar berlebih (kW)

LHV = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelola program studi sampai dinyatakan selesai yang direncanakan berlangsung selama 10 pekan. Tempat pelaksanaan penelitian adalah di PKS PTPN II, Jl. Lubuk Pakam Kec. Pagar Merbau, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara dan laboratorium teknik Universitas Medan Area.

Waktu pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Aktifitas	De.				Jan.				Feb.				Mar.				April.				Mei.				Juni.				Juli.				Agu.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan	■																																			
Judul	■																																			
Penyelesaian					■																															
Proposal					■																															
Seminar									■																											
Proposal									■																											
Pengumpulan													■																							
Data													■																							
Analisis data																	■																			
Penyelesaian																					■															
Laporan																									■											
Seminar Hasil																													■							
Sidang Sarjana																																	■			

### 3.2. Alat Dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Alat

a. FOSS NIRS DA 1650

Alat ini digunakan untuk menguji kadar pada bahan bakar cangkang dan fiber. Dengan memasukan sampel bahan yang diperlukan yang kemudian akan menghasilkan data secara digital. Adapun alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1. FOSS NIRS DA 1650

b. Thermometer Laser Infrared Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur panas uap pada boiler ataupun pada turbin dengan cara menargetkan alat tersebut pada pipa uap. Adapun alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2. berikut:





Gambar 3.2. *Thermometer Laser Infrared Digital*

Adapun spesifikasi alat tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3. berikut:

Tabel 3.3. Spesifikasi Themometer

Spesifikasi	Keterangan
Temperature range	-50 to 380°C (-58 to 716 °F)
Accuracy	± 5°C or 1-2
Resolution	0.1 °C or 0.1 °C
Repeatability	1 pct of reading or 1 °C
Response time	500 msec, 95 pct response
Spectral response	8 – 14 um
Distance to spot size	12 m

#### d. Boiler PKS

Adapun boiler yang akan di analisa di PKS Pagar Merbau yaitu Takuma N-600 SA dengan tekanan uap maksimal 24 kg/cm<sup>2</sup> dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3. Boiler PKS Pagar Merbau

Adapun data spesifikasi boiler PKS Pagar Merbau PTPN II dengan merk Takuma N 600 N – 600 SA yang dijadikan parameter kinerja yang akan diteliti dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. Spesifikasi Boiler PKS Pagar Merbau

Spesifikasi	Keterangan
Type	Water Tube Boiler
Tahun Pembuatan	1996
Jenis Ketel Uap	K. Uap Darat Tetap
Kapasitas Maximum Uap (ton/jam)	20 ton/jam
Suhu Air Umpan (°C)	90 – 100
Temperatur Uap (°C)	260
Tekanan Kerja Max (Kg/cm <sup>2</sup> )	24
Suhu Uap lanjut (°C)	260
Temperatur Gas Buang (°C)	370
Luas Pemanas (m <sup>3</sup> )	634
Luas Panggang (m <sup>3</sup> )	12

### 3.3. Langkah Pengujian

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan data secara langsung pada boiler dengan alat ukur. Pada pengumpulan data pengujian dilakukan saat boiler dalam keadaan beroperasi. Dengan dilakukannya pendataan pada titik tertentu ketika boiler mengalami perubahan dalam berbagai hal. Hal tersebut sebagai acuan dalam penumpulan data yang nantinya akan menentukan kinerja boiler yang di analisa.

Adapun langkah – langkah pengecekan bagian kerja berdasarkan pencarian data penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian kadar zat pada bahan bakar cangkang dan fiber

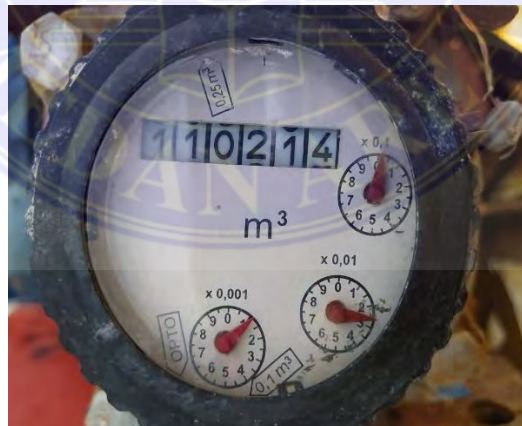
Pengambilan data kadar zat pada cangkang dan fiber berdasarkan sampel dari hasil pengolahan. Dengan menguji sampel yang telah di ambil untuk kemudian di uji menggunakan alat analisa kadar seperti pada gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.4. Proses Pengujian Cangkang dan Fiber

## 2. Pengukuran laju aliran air umpan

Pengambilan data dilakukan pada Daerator saat sedang beroperasi. Daerator yang memiliki fungsi sebagai pemasok air umpan pada boiler. Terdapat *flow meter* yang tersedia pada pipa air umpan daerator ke pipa boiler penerima air umpan. Adapun *flow meter* dapat dilihat pada Gambar 3.5. berikut:



Gambar 3.5. Mengukur Laju Aliran Air Umpan

## 3. Pengukuran panas air umpan

Pengukuran panas pada air umpan dilakukan pada daerator sebelum masuk ke boiler. Pencarian data ini dilakukan untuk menentukan entalpi spesifik pada air umpan. Sehingga dapat ditentukannya air umpan tersebut masih *sub cold* atau sudah

menjadi *saturated water*. Pengukuran air umpan menggunakan alat *thermometer laser infrared digital*. Adapaun proses pengecekan suhu air umpan dapat dilihat pada Gambar 3.6. berikut:



Gambar 3.6. Daerator Pemanas Air Umpan

#### 4. Pengukuran massa bahan bakar

Pengukuran massa bahan bakar yang digunakan pada boiler di lakukan pada tungku pembakaran boiler. Ruang pembaran juga sebagai parameter nilai kalor yang dilepaskan oleh massa bahan bakar dan energi yang masuk untuk memanaskan air boiler. Adapun bagian tungku pembakaran dapat dilihat pada Gambar 3.7. berikut:



Gambar 3.7. Ruang Pembakaran Boiler

#### 6. Pengukuran panas uap lanjut

Pengukuran panas uap lanjut atau disebut *superheated steam* dilakukan pada *steam drum* yang berada pada bagian atas boiler sebagai penyalur uap ke turbin. Uap yang dihasilkan akan memiliki suhu yang cukup tinggi shingga nantinya akan



menjadi parameter pengukuran. Untuk mengukur suhu panas uap yang dihasilkan boiler menggunakan *thermometer laser infrared*. Dalam pengukuran uap akan dilakukan secara bertahap sesuai data yang dibutuhkan. Adapun bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8. berikut:



Gambar 3.8. Mengukur Uap Panas Lanjut Boiler

#### 7. Pengukuran tekanan uap pada boiler

Pengukuran tekanan uap yang dihasilkan boiler di perlukan dengan panas uap tersebut untuk menentukan entalpi spesifik dan beberapa karakteristik spesifik dari uap tersebut dari uap tersebut. Adapun pengukuran tekanan pada boiler dapat dilihat pada Gambar 3.9. berikut:



Gambar 3.9. Mengukur Tekanan Uap Boiler



### 3.4. Metode Pengumpulan Data

#### 1. Referensi

Kajian teori dalam buku sebagai penunjang dalam melaksanakan penelitian. Literature yang digunakan adalah yang berhubungan dengan bahan bakar meliputi nilai kalor biogas serta literature pengukur kinerja boiler.

#### 2. Pengujian Proses Kinerja

Data yang diperoleh dari hasil pengujian yaitu nilai kalor bahan bakar, suhu beserta tekanan uap, dan konsumsi bahan bakar dimasukkan kedalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

### 3.5. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

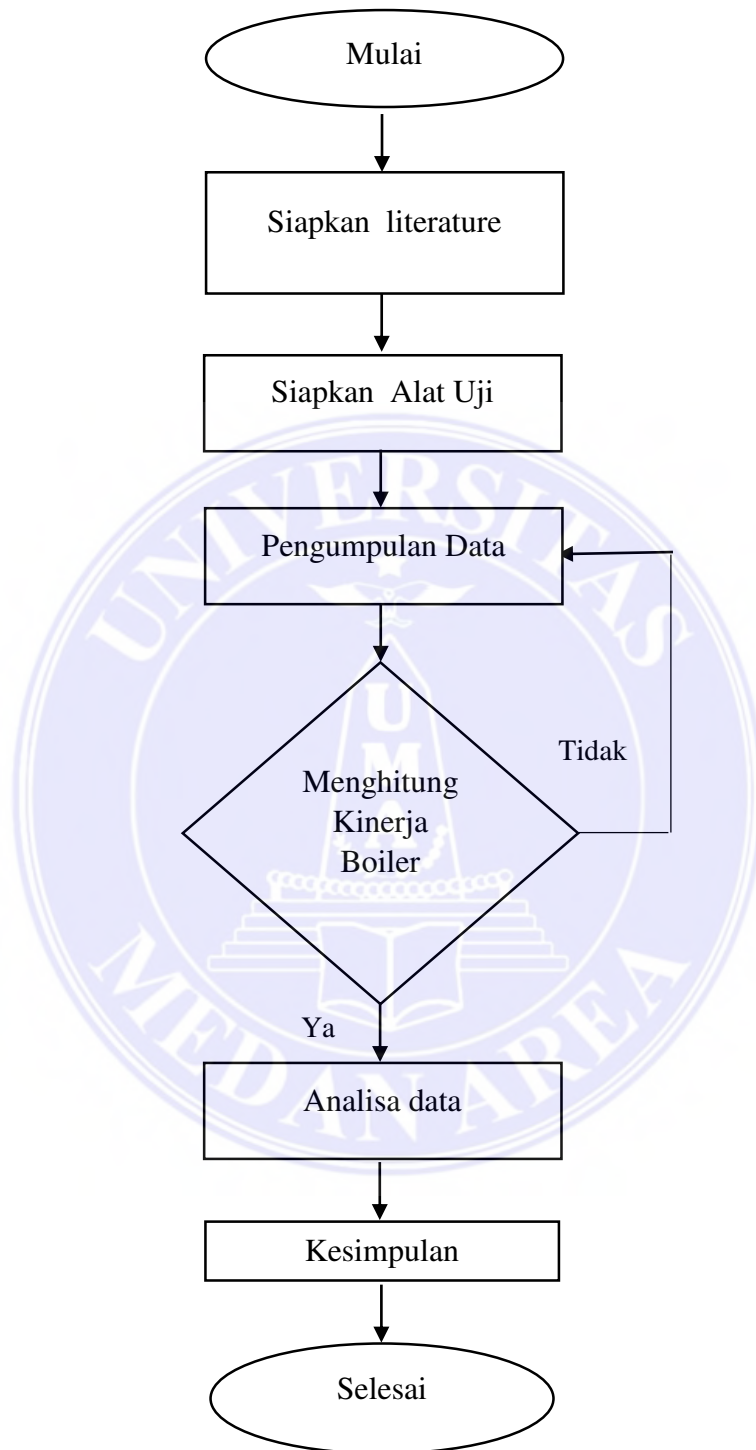
#### 1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas merupakan variable yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah massa bahan bakar utama beserta bahan bakar alternatif biogas yang tersedia dan nilai kalor pada bahan bakar,

#### 2. Variabel terikat (*variable dependent*)

Variabel terikat (*variable dependent*) diartikan sebagai variabel yang dipengaruhi akibat adanya variabel bebas . Dari variabel bebas di atas mempengaruhi Variabel terikat pada penelitian ini adalah efisiensi boiler pada tekanan minimum 16 kg/cm<sup>2</sup> menuju tekanan maksimal 20 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10. Diagram Alir Penelitian

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan perhitungan dari data yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pengumpulan data pengolahan TBS sebesar 8,33 kg/detik. Hasil produksi bahan bakar pada pabrik kelapa sawit yaitu fiber berjumlah 1,083 kg/detik kemudian cangkang 0,583 kg/detik. Untuk bahan bakar alternatif nya yaitu biogas 0,044 kg/detik. Dengan jumlah bahan bakar yang masuk ke boiler yaitu fiber 1,030 kg/detik dan cangkang 0,554 kg/detik. Kadar zat yang terkandung mempengaruhi nilai kalor pada bahan bakar fiber yaitu 10.207 kJ/kg dan cangkang 15.885 kJ.kg. Dengan nilai kalor Biogas yaitu 50.100 kJ/kg. Jumlah energi panas yang dihasilkan keseluruhan pada fiber 11.051 kW kemudian cangkang 9.267 kW dan biogas 2.228 kW.
2. Boiler menghasilkan uap sebesar 5,56 kg/detik dengan kemampuan energi yang diserap nya yaitu 14.661 kW dari perbandingan energi bahan bakar yang masuk yaitu 19.325 kW sehingga efisiensi boiler yang didapat yaitu 75,87 %. Laju uap yang dihasilkan boiler 5,56 kg/detik. Efisiensi boiler mempengaruhi jumlah bahan bakar yang masuk ke boiler.
3. Dengan pengukuran pada boiler berbahan bakar yang saling dipadukan menghasilkan pendapatan yang berbeda. Boiler dengan energi bahan bakar fiber 54% dan cangkang 46% menghasilkan pendapatan Rp 3.339.725,-/hari. Pada penggunaan biogas 100%, fiber 54% dan cangkang 46% menghasilkan pendapatan Rp 10.862.616,-/hari. Pada penggunaan biogas 100%, fiber 44% dan

cangkang 100% menghasilkan pendapatan Rp 8.181.623,-/hari. Pada penggunaan biogas 100%, fiber 100% dan cangkang 35% menghasilkan pendapatan Rp 14.009.869. Nilai pendapatan dipengaruhi jumlah bahan bakar yang berlebih dan harga jual bahan bakar fiber dan cangkang.

## 5.2. Saran

1. Perlu adanya pengkajian rekontruksi burner pada PLTBg di pabrik kelapa sawit ke boiler sehingga gas yang tidak digunakan ketika PLTBg sedang tidak berjalan dapat dimanfaatkan pada boiler.
2. Perlu adanya pengkajian dan pemeliharaan pada siklus tenaga uap di pabrik kelapa sawit pagar merbau agar memaksimalkan kinerja pabrik kelapa sawit.
3. Untuk pengkajian lebih mendalam pada laju aliran energi dan massa uap pada siklus tenaga uap di pabrik kelapa sawit pagar merbau. Untuk meningkatkan kemaksimalan dalam pemanfaatan energi.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan Produksi Bahan Bakar

Merujuk pada persamaan 2.1 untuk menentukan laju produksi bahan bakar fiber dan cangkang yang dihasilkan pada tabel 4.1. sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = P_{mbb} \% \times \dot{m}_{TBS}$$

$$\begin{aligned} \text{Fiber} &= \text{Fiber \%} \times \text{TBS (kg)} = 13 \% \times 8,33 \text{ kg/detik} \\ &= 1,08 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cangkang} &= \text{Cangkang \%} \times \text{TBS (kg)} = 7 \% \times 8,33 \text{ kg/detik} \\ &= 0,58 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{POME} &= \text{POME \%} \times \text{TBS (kg)} = 50 \% \times 8,33 \text{ kg/detik} \\ &= 4,17 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Merujuk pada persamaan 2.2 untuk menentukan laju aliran biogas yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{biogas} &= \dot{m}_{pome} \times (\text{COD}_{in} - \text{COD}_{out}) \times \text{RCOD}_{out} \\ &= 0,00417 \text{ m}^3/\text{detik} \times (40 \text{ kg/m}^3 - 8 \text{ kg/m}^3) \times 0,5 \\ &= 0,067 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Dengan diketahui laju aliran massa biogas maka perlu di setarakan dengan satuan massa bahan bakar fiber dan cangkang. Berdasarkan massa jenis biogas seperti pada tabel 2.3 maka mengukur laju massa bahan bakar biogas dengan persamaan 2.3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m &= \rho \times v \\ &= 0,667 \text{ kg/m}^3 \times 0,0667 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 0,0445 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$



## Lampiran 2. Mengukur Nilai Kalor Bahan Bakar

Mengukur jumlah setiap kadar zat dari TBS yang diolah. Merujuk pada persamaan 2.2 untuk menghitung NOS, persamaan 2.3 untuk menghitung Oil dan persamaan 2.4 untuk menghitung Water sebagai berikut:

Adapun perhitungan pada kadar fiber sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{NOS} &= P_{\text{NOS}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 54,05 \% \times 1,0833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,586 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oil} &= P_{\text{Oil}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 6,72 \% \times 1,0833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,073 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water} &= P_{\text{Water}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 39,05 \% \times 1,0833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,423 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

adapun perhitungan pada cangkang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{NOS} &= P_{\text{NOS}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 80,85 \% \times 0,5833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,472 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Oil} &= P_{\text{Oil}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 1,06 \% \times 0,5833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,006 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Water} &= P_{\text{Water}} \times \dot{m}_{\text{bb}} = 16,09 \% \times 0,5833 \text{ kg/detik} \\ &= 0,094 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Merujuk pada persamaan 2.5 untuk menentukan LHV pada serabut sebagai berikut :

$$\text{LHV}_{\text{Fiber}} = \frac{(\text{NOS} \times \text{HV}_{\text{NOS}}) + (\text{Oil} \times \text{HV}_{\text{Oil}}) + (\text{Water} \times \text{HE}_{\text{Water}})}{\text{Massa Fiber}}$$

$$= \frac{(0,586 \frac{\text{kg}}{\text{detk}} \times 16.108 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (0,073 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 36.819 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) - (0,423 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 2.510 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{1,0833 \text{ kg/detik}}$$

$$= 10.201 \text{ kJ/kg}$$

Merujuk pada persamaan 2.5 untuk menentukan LHV pada cangkang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{LHV}_{\text{Cangkang}} &= \frac{(\text{NOS} \times \text{HV}_{\text{NOS}}) + (\text{OIL} \times \text{HV}_{\text{Oil}}) + (\text{Water} \times \text{HE}_{\text{Water}})}{\text{Massa Cangkang}} \\ &= \frac{(0,472 \frac{\text{kg}}{\text{detk}} \times 19.665 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (0,006 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 36.819 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) + (0,094 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 2.510 \frac{\text{kJ}}{\text{detik}})}{0,5833 \text{ kg/detik}} \\ &= 15.885 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui nilai kalor bahan fiber 10.201 kJ/kg lebih rendah dari cangkang yaitu 15.885 kJ/kg.

### Lampiran 3. Mengukur Energi Keseluruhan Bahan Bakar

Merujuk pada persamaan 2.8 untuk mengukur energi yang dihasilkan dari setiap bahan bakar sebagai berikut:

Adapun mengukur energi keseluruhan fiber yang diproduksi yaitu :

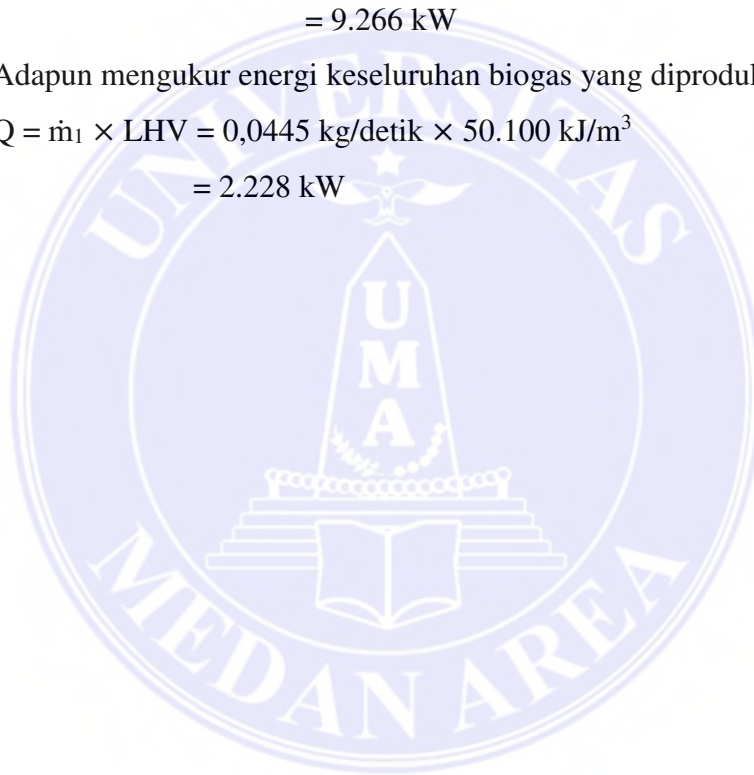
$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_1 \times \text{LHV} = 1,0833 \text{ kg/detik} \times 10.201 \text{ kJ/kg} \\ &= 11.051 \text{ kW} \end{aligned}$$

Adapun mengukur energi keseluruhan cangkang yang diproduksi :

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_1 \times \text{LHV} = 0,5833 \text{ kg/detik} \times 15.885 \text{ kJ/kg} \\ &= 9.266 \text{ kW} \end{aligned}$$

Adapun mengukur energi keseluruhan biogas yang diproduksi :

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_1 \times \text{LHV} = 0,0445 \text{ kg/detik} \times 50.100 \text{ kJ/m}^3 \\ &= 2.228 \text{ kW} \end{aligned}$$



## Lampiran 4. Mengukur Efisiensi Boiler

Pada bagian ini akan mengukur kondisi setiap titik air menjadi uap yang dihasilkan dan digunakan. Yang kemudian akan diketahui energi yang masuk dan keluar pada boiler dan turbin di PKS. Adapun titik pengukuran dilakukan yaitu:

1. Kondisi air umpan
2. Kondisi air umpan pompa
3. Kondisi uap lanjut boiler

### 1. Kondisi Air Umpan

Berdasarkan data yang di dapat, air umpan dengan tekanan lingkungan yaitu 101,325 kPa dan suhu air 70°C belum keadan cair jenuh. Merujuk pada persamaan 2.9 untuk mengukur entalpi dan 2.11 untuk mengukur volume spesifik dari tabel A-4 Saturated Water – (Temperature table dan Pressure table) seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Nilai Entalpi Dan Volume Air Umpan

T (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Volume (m <sup>3</sup> /kg)
70	293,07	0,001023
70		
100	419,17	0,001043

$$\begin{aligned}
 h_1 &= h_1 + (h_2 - h_1) \frac{(T - T_1)}{(T_2 - T_1)} \\
 &= 293,07 \text{ kJ/kg} + (419,17 \text{ kJ/kg} - 293,07 \text{ kJ/kg}) \frac{(70^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})}{(100^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})} \\
 &= 293,07 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_1 &= v_1 + (v_2 - v_1) \frac{(T - T_1)}{(T_2 - T_1)} \\
 &= 0,00102 \text{ m}^3/\text{kg} + (0,00104 \text{ m}^3/\text{kg} - 0,00102 \text{ m}^3/\text{kg}) \frac{(70^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})}{(100^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C})} \\
 &= 0,00102 \text{ m}^3/\text{kg}
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan yang di dapat pada kondisi air umpan memiliki entalpi yaitu 293,07 kJ/kg kemudian volume spesifik 0,00102 m<sup>3</sup>/kg.

## 2. Kondisi Air Umpan Pompa

Berdasarkan data yang di dapat, air umpan setelah melewati pompa dengan tekanan yaitu 2.157 kPa dengan suhu air 70°C belum keadan cair jenuh. Diketahui entalpi spesifik air umpan 293,07 kJ/kg, volume spesifik 0,00102 kg/m<sup>3</sup> dengan tekanan air umpan 101,42 kPa. Pompa menggunakan proses isentropik merujuk pada persamaan 2.12 untuk mengukur entalpi spesifik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_{2s} &= h_1 + v_1(p_2 - p_1) \\ &= 293,07 \text{ kJ/kg} + 0,00102 \text{ kg/m}^3(2.157 \text{ kPa} - 101,42 \text{ kPa}) \\ &= 295,17 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan yang di dapat pada kondisi air umpan pompa memiliki entalpi yaitu 295,27 kJ/kg.

## 3. Kondisi Uap Keluar Boiler

Berdasarkan data yang di dapat, uap yang dihasilkan boiler dengan tekanan yaitu 1.863 kPa dan suhu uap 260°C dalam keadan uap panas lanjut (Superheated steam). Merujuk pada persamaan 2.9 untuk mengukur entalpi spesifik dan 2.11 untuk mengukur volume spesifik tabel A-6 Superheated steam seperti pada tabel 4.5 maka pengukuran sebagai berikut:

Tabel 4.5. Nilai Entalpi Dan Volume Uap Keluar Boiler

T (°C)	Entalpi (kJ/kg)	Volume (m <sup>3</sup> /kg)
250	2911,70	0,125020
260		
300	3024,20	0,125510

$$\begin{aligned} h_3 &= h_1 + (h_2 - h_1) \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)} \\ &= 2911,7 \text{ kJ/kg} + (3024,2 \text{ kJ/kg} - 2911,7 \text{ kJ/kg}) \frac{(260^\circ\text{C}-250^\circ\text{C})}{(300^\circ\text{C}-250^\circ\text{C})} \\ &= 2934,20 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 v_3 &= v_1 + (v_2 - v_1) \frac{(T - T_1)}{(T_2 - T_1)} \\
 &= 0,12502 \text{ m}^3/\text{kg} + (0,12551 \text{ m}^3/\text{kg} - 0,12502 \text{ m}^3/\text{kg}) \frac{(260^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C})}{(300^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C})} \\
 &= 0,12512 \text{ m}^3/\text{kg}
 \end{aligned}$$

Maka berdasarkan perhitungan yang di dapat pada kondisi uap lanjut boiler memiliki entalpi spesifik yaitu 2934,20 kJ/kg dan volume spesifik 0,12512 m<sup>3</sup>/kg.

Mengukur energi yang masuk pada boiler, diketahui dari jumlah keseluruhan bahan bakar untuk yang keluar dari PKS sebesar 0,0814 kg/detik dan yang masuk ke boiler yaitu 1,59 kg/detik dengan persentase fiber 65% dengan massa 1,0304 kg/detik dan cangkang 35% dengan massa 0,5549 kg/detik. Merujuk pada persamaan 2.13.

$$Q_2 = \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV}$$

Adapun pengukuran energi fiber yang masuk boiler yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{fiber}} &= \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV} = 1,0304 \text{ kg/detik} \times 10.201 \text{ kJ/kg} \\
 &= 10.511 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Adapun pengukuran energi cangkang yang masuk boiler yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Cangkang}} &= \dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV} = 0,5549 \text{ kg/detik} \times 15.885 \text{ kJ/kg} \\
 &= 8.814 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Dengan diletahui energi yang masuk pada boiler yaitu fiber sebesar 10.511 kW dan cangkang sebesar 8.814 kW. Maka jumlah total energi bahan bakar yang masuk ke boiler 19.325 kW.

Mengukur energi yang di serap boiler perlu di cari untuk mengetahui efesiensi pada boiler nantinya. Adapun persamaan untuk mengukur energi yang diserap boiler dengan persamaan 2.14 berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{in}} &= \dot{m}_{\text{steam}} \times (h_3 - h_2) \\
 &= 5,56 \text{ kg/detik} \times (2934,20 \text{ kJ/kg} - 295,17 \text{ kJ/kg})
 \end{aligned}$$

$$= 14.661 \text{ kW}$$

Maka diketahui energi yang diserap oleh boiler yaitu 14.661 kW dengan laju aliran uap 5,56 kg/detik.

Pengukuran efisiensi bertujuan untuk mengetahui tingkat performa pada boiler. Energi yang diserap boiler sebesar 14.661 kW dengan laju energi yang pada bahan bakar yang telah diketahui merujuk pada persamaan 2.15 mengukur efisiensi boiler.

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{2_{fiber}} + Q_{2_{cangkang}}} = \frac{14.661 \text{ kW}}{10.511 \text{ kW} + 8.814 \text{ kW}} \times 100$$
$$= 75,87 \%$$

Berdasarkan hasil pengukuran yang di dapat efisiensi boiler sebesar 75,87 % berdasarkan energi yang mampu di serap boiler yaitu 14.661 kW dari seluruh jumlah energi bahan bakar yang masuk yaitu 19.325 kW.

## Lampiran 5. Pengukuran Pendapatan Dari Penggunaan Biogas

Adapun pada bagian ini adalah mengukur pengaruh penggunaan biogas untuk mengurangi energi pada bahan bakar utama sehingga menghasilkan bahan bakar berlebih pada fiber dan cangkang. Bahan bakar yang berlebih nantinya akan menjadi pendapatan tambahan bagi PKS. Terdapat empat pengukuran untuk mengetahui perbandingan yang direkomendasi.

### 1. Fiber 54 % dan Cangkang 46 %

Diketahui bahan bakar fiber dan cangkang berdasarkan gambar 4.5 energi bahan bakar yang dihasilkan keseluruhan yaitu 20.317 kW. Dan energi bahan bakar yang dimasukkan ke boiler seperti pada gambar 4.8 yaitu 19.325 kW maka selisih energi bahan bakar yang berlebih yaitu 992 kW. Apabila berdasarkan gambar 4.6 dapat di ambil persentase energi pada fiber dan cangkang dari sistem masuknya energi bahan bakar pada PKS yaitu fiber 54% dan cangkang 46%. Selanjutnya membagi energi yang berlebih dari persentase energi dengan persamaan 2.16.

Adapun energi yang berlebih pada fiber yaitu :

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q \times P_Q \\ &= 992 \text{ kW} \times 54 \% \\ &= 540 \text{ kW} \end{aligned}$$

Adapun energi yang berlebih pada cangkang yaitu :

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q \times P_Q \\ &= 992 \text{ kW} \times 46 \% \\ &= 452 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan diketahui energi fiber berlebih yaitu 540 kW dan cangkang 452 kW. Kemudian perlu nya mengukur jumlah massa bahan bakar yang berlebih pada fiber dan cangkang. Adapun pengukuran bahan bakar berlebih dari menggunakan persamaan 2.17.

Sehingga laju aliran massa bahan bakar fiber sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= Q_3 \div \text{LHV} \\ &= 540 \text{ kW} \div 10.201 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$= 0,0529 \text{ kg/detik}$$

Sehingga laju aliran massa bahan bakar cangkang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= Q_3 \div \text{LHV} \\ &= 452 \text{ kW} \div 15.885 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,0285 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Dengan diketahui laju aliran massa fiber yang berlebih yaitu 0,0529 kg/detik atau dalam sehari 4.570 kg/hari dan laju aliran massa cangkang 0,0285 kg/detik atau dalam sehari 2.461 kg/hari. Diketahui harga fiber Rp 300,-/kg dan harga cangkang Rp 800,-/kg.

Adapun nilai rupiah yang dihasilkan dari bahan bakar yang berlebih pada fiber dan cangkang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Fiber} &= \text{massa fiber} \times \text{Harga fiber} \\ &= 4.570 \text{ kg/hari} \times \text{Rp } 300,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 1.371.045,-/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cangkang} &= \text{massa cangkang} \times \text{Harga cangkang} \\ &= 2.461 \text{ kg/hari} \times \text{Rp } 800,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 1.968.680,-/\text{hari} \end{aligned}$$

Maka berdasarkan tanpa penggunaan biogas dari keseluruhan penggunaan energi fiber 54 % dan cangkang 46 % pada boiler PKS menghasilkan Rp 3.339.725,-/hari

## 2. Biogas 100%, Fiber 54 % dan Cangkang 46 %

Diketahui bahan bakar fiber, cangkang dan biogas berdasarkan gambar 4.5 energi bahan bakar yang dihasilkan keseluruhan yaitu 22.545 kW. Dan energi bahan bakar yang dimasukan ke boiler seperti pada gambar 4.8 yaitu 19.325 kW maka selisih energi bahan bakar yang berlebih yaitu 2.228 kW. Apabila berdasarkan gambar 4.6 dapat di ambil persentase energi pada fiber dan cangkang dari sistem

masuknya energi bahan bakar pada PKS yaitu fiber 54% dan cangkang 46%. Selanjutnya membagi energi yang berlebih dari persentase energi dengan persamaan 2.16.

Adapun energi yang berlebih pada fiber yaitu :

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q \times P_Q \\ &= 2.228 \text{ kW} \times 54 \% \\ &= 1.739 \text{ kW} \end{aligned}$$

Adapun energi yang berlebih pada cangkang yaitu :

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q \times P_Q \\ &= 2.228 \text{ kW} \times 46 \% \\ &= 1.481 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dengan diketahui energi fiber berlebih yaitu 1.739 kW dan cangkang 1.481 kW. Kemudian perlu nya mengukur jumlah massa bahan bakar yang berlebih pada fiber dan cangkang dari penggunaan biogas. Adapun pengukuran bahan bakar berlebih dari menggunakan persamaan 2.17.

Sehingga laju aliran massa bahan bakar fiber sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= Q_3 \div \text{LHV} \\ &= 1.739 \text{ kW} \div 10.201 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,1709 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Sehingga laju aliran massa bahan bakar cangkang sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 &= Q_3 \div \text{LHV} \\ &= 1.481 \text{ kW} \div 15.885 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,0932 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Dengan diketahui laju aliran massa fiber yang berlebih yaitu 0,739 kg/detik atau dalam sehari 14.727 kg/hari dan laju aliran massa cangkang 0,0932 kg/detik atau dalam sehari 8.056 kg/hari. Diketahui harga fiber Rp 300,-/kg dan harga cangkang Rp 800,-/kg.

Adapun nilai rupiah yang dihasilkan dari bahan bakar yang berlebih pada fiber dihitung sebagai berikut :



$$\begin{aligned}\text{Fiber} &= \text{massa fiber} \times \text{Harga fiber} \\ &= 14.727 \text{ kg/hari} \times \text{Rp } 300,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 4.418.076,-/\text{hari}\end{aligned}$$

Adapun nilai rupiah yang dihasilkan dari bahan bakar yang berlebih pada Cangkang dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Cangkang} &= \text{massa cangkang} \times \text{Harga cangkang} \\ &= 8.056 \text{ kg/hari} \times \text{Rp } 800,-/\text{kg} \\ &= \text{Rp } 6.444.540,-/\text{hari}\end{aligned}$$

Maka penggunaan bahan bakar biogas keseluruhan dan energi pada fiber 54 % dan cangkang 46 % pada boiler, maka PKS menghasilkan Rp 10.862.616,-/hari.

### 3. Biogas 100 %, Fiber 44 % dan Cangkang 100 %

Pada bagian ini bertujuan untuk mengukur pengurangan bahan bakar fiber. Dengan bahan bakar cangkang dan biogas digunakan seluruhnya kemudian mengukur jumlah bahan bakar yang berlebih pada fiber. Diketahui bahan bakar fiber, cangkang dan biogas berdasarkan gambar 4.5 energi bahan bakar yang dihasilkan keseluruhan yaitu 22.545 kW. Dan energi bahan bakar yang dimasukkan ke boiler seperti pada gambar 4.8 yaitu 19.325 kW maka selisih energi bahan bakar yang berlebih yaitu 2.228 kW.

Kemudian mengukur laju massa bahan bakar fiber yang berlebih dari energi fiber yang berlebih dengan persamaan 2.17.

$$\begin{aligned}\dot{m}_3 &= Q_3 \div \text{LHV} = 2.228 \text{ kW} \div 10.201 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,3156 \text{ kg/detik}\end{aligned}$$

Dengan diketahui laju aliran massa fiber yang diketahui yaitu 0,3156 kg/detik maka dalam sehari menghasilkan 27.272 kg/hari. Nilai harga fiber yaitu Rp 300,-/kg.

Adapun nilai rupiah yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Fiber} = \text{massa fiber} \times \text{Harga fiber}$$

$$= 27.272 \text{ kg/hari} \times \text{Rp } 300,-/\text{kg}$$

$$= \text{Rp } 8.181.623,-/\text{hari}$$

Maka penggunaan bahan bakar biogas 100 % dan cangkang 100 %, dengan mengurangi penggunaan fiber maka PKS menghasilkan Rp 8.181.623,-/hari dari penjualan fiber yang berlebih.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aswan, A., Sulsilowati, E., & Juriwon. (2017). Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Ulasan Ilmiah*, 8(2), 7–13.
- [2] Bahtiar, A., & Wahab, N. (2019). Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menjadi Biogas ( Palm Gas ). *Jurnal Ilmiah Maju*, 2(1), 19–22.
- [3] Dewata, P. I. (2011). Analisa Teknis Evaluasi Kinerja Boiler Type Ihi Fw Sr Single Drum Akibat Kehilangan Panas Di Pltu Pt. Pjb Unit Pembangkitan Gresik. 1–11.
- [4] Effendi, Z., Zakwan, & Nainggolan, A. (2019). Analisa Kehilangan Energi Pada Boiler Pabrik Kelapa Sawit. *Agro Fabrica*, 1(2), 7–15. <https://ejurnal.stipap.ac.id/index.php/JAF>
- [5] Ginanjar, T. (2019). Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler Dengan Melakukan Uji Kalori Pada Pabrik Kelapa Sawit Pt. Sentosa Prima Agro. *Jurnal Mahasiswa Prodi Teknik Mesin*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/36930>
- [6] Hikmawan, O., Naufa, M., Simarmata, L. H., Teknologi, P., Industri, K., Studi, P., & Kelapa, A. (2020). Pemanfaatan Cangkang Dan Serat Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 18–26.
- [7] Kunarto. (2019). Analisa Efisien Boiler Pabrik Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Bahan Bakar Fibre Dan Cangkang.
- [8] Mirnandaulia, M., Rachmiadji, I., & Exadius, G. (2019). Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Alternatif Energi Terbarukan Di Salah Satu Perusahaan Kelapa Sawit Sumatera Utara. *Ready Star*, 2(1), 25–29.
- [9] Parinduri, L. (2016). Analisa Pemanfaatan Biomassa Pabrik Kelapa Sawit Untuk Sumber Pembangkit Listrik. *JET (Journal of Electrical*

- Technology), 1(2), 37–40.
- [10] Parinduri, L., Arfah, M., & Sahputra, J. (2019). Analisa Persediaan Limbah Kering Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Ptpn Iv Kebun Adolina. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 21(2), 1–21. <https://doi.org/10.32734/jsti.v21i2.1215>
- [11] Qamaruddin, M. I. S. (2016). Analisis Kebutuhan Bahan Bakar Terhadap Perubahan Tekanan Uap. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 4(2), 67–74. <https://media.neliti.com/media/publications/98457-ID-analisis-kebutuhan-bahan-bakar-terhadap.pdf>
- [12] Santosa, A. (2018). Karakteristik Bahan Bakar Ketel Uap Dengan Biomassa Campuran Tandan Kosong, Cangkang, Dan Serat Kelapa Sawit Serta Prediksi Pembakaran Dengan Aspenplus®. *Jurnal Tugas Akhir*.
- [13] Sriwijaya, P. N. (2021). Analisis Sistem Termal Ditinjau Dari Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap Produksi Saturated Dan Superheated Steam Pada Boiler. 12(02), 8–12.
- [14] Susanto, J. P., Santoso, A. D., & Suwedi, N. (2017). Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 165. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2046>
- [15] Suyitno; Muhammad Nizam; Dhamanto. (2010.). *Teknologi biogas : pembuatan, operasional dan pemanfaatan / Suyitno, Muhammad Nizam, Dhamanto*. Yogyakarta :: Graha Ilmu,.
- [16] Syam, A. (2018). Analisa Kelebihan Tekanan Pada Saat Pembakaran Gas Berlebih Pada Flare. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 2(2), 67. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v2i2.2111>





