

**TUGAS AKHIR**

**“PEMANFAATAN CANGKANG DAN SERABUT UNTUK BAHAN BAKAR  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNTUK MEMENUHI ENERGI  
LISTRIK PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI”**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas - Tugas  
Dan Syarat - Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**DISUSUN OLEH:**

**WAHYU NAIMAH SIREGAR**  
**1907220082**



**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
NPM : 1907220082  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar  
Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi  
Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI  
Bidang Ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



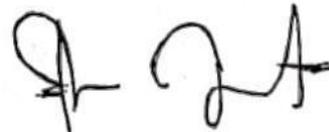
Noorly Evalina, S.T, M.T

Dosen Penguji I



Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, MM

Dosen Penguji II



Elvy Syahnur Nasution, S.T, M.Pd

Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Wahyu Naimah Siregar  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 18 April 2001  
Npm : 1907220082  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul :

**“Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI.”**

Bukan Merupakan Plagiarisme, Pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain; yang hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara Orisinil dan Ontentik.

Bila Kemudian Hari diduga Kuat ada ketidak sesuaian antara Fakta dan kenyataan ini, Saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan Sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan Kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya perbuat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 04 September 2023

Saya yang menyatakan,



Wahyu Naimah Siregar

## ABSTRAK

Pemanfaatan Cangkang dan Serabut sebagai bahan bakar boiler (Ketel Uap) merupakan sebuah penanggulangan cangkang dan serabut di pabrik kelapa sawit. Salah satu yang menjadi hal utama dari pemanfaatan tersebut adalah guna terwujudnya kebutuhan energi listrik untuk proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit. PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI adalah perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (*Crude Palm Oil*) dan Inti, memiliki sistem pembangkit tenaga listrik sendiri (PLTU) dengan kapasitas total daya listrik terpasang sebesar 1000 kW dan 600 kW. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi pemanfaatan cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler (PLTU) guna memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di (PKS) PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, diketahui potensi jumlah bahan bakar (cangkang dan serabut) dan perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, diketahui kapasitas bahan bakar (cangkang dan serabut) sebesar 23.127.650 kg/jam dan perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler diketahui sebesar 18.117 kg Uap/jam, sedangkan turbin-generator menghasilkan energi listrik sebesar 604 KW dan kebutuhan daya listrik untuk proses pengolahan kelapa sawit sebesar 19.791 kWh. Dari hasil analisa data tersebut, maka penelitian ini menyimpulkan bahwa pemanfaatan limbah padat kelapa sawit (cangkang dan serabut) menjadi bahan bakar boiler (PLTU) dapat menghasilkan energi listrik yang mampu mencukupi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit.

***Kata Kunci : Cangkang dan serabut, Boiler, Energi Listrik, Pembangkit***

## **ABSTRACK**

*Utilization of shells and fibers as boiler fuel (Steam Kettle) is a countermeasure for shells and fibers in palm oil mills. One of the main things of this utilization is to realize the need for electrical energy for the process of generating electric power by generators. PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI is a company engaged in the processing of palm oil into CPO (Crude Palm Oil) and Inti, has its own power plant system (PLTU) with a total installed electric power capacity of 1000 kW and 600 kW. This research aims to conduct a study on the utilization of oil palm shells and fibers as boiler fuel (PLTU) to meet the demand for electrical energy in the palm oil processing process at (PKS) PTPN IV PKS Bah Jambi Unit. After conducting a study by observing data analysis in the field, it is known the potential amount of fuel (shells and fibers) and the calculation of boiler fuel requirements. After conducting a study by observing data analysis in the field, it is known that the fuel capacity (shell and fiber) is 23,127,650 kg/hour and the calculation of the need for boiler fuel is known to be 18,117 kg of steam/hour, while the turbine-generator produces electricity of 604 kWh and the need for electrical energy for the processing of palm oil is 19.791 kWh. From the results of the data analysis, this study concluded that the use of palm oil solid waste (shells and fibers) to become boiler fuel (PLTU) can produce electrical energy that is capable of meeting the needs of electrical energy in the palm oil processing process.*

**Keywords: Shells and fibers, Boilers, Electrical Energy, Generators**

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendukung saya dalam keadaan apapun untuk menuliskan studi tugas akhir ini.
2. Ibu Noorly Evalina, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektro kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Stambuk 2019

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan Saran untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik- elektroan.

Medan, 26 Februari 2023  
Penulis

Wahyu Naimah Siregar

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	3
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batas Permasalahan .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Metode Penelitian .....	4
1.7. Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan .....	6
2.2. Landasan Teori .....	7
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	7
2.2.2. Komponen Utama PLTU .....	9
2.2.3. Prinsip Kerja PLTU .....	14
2.2.3.1. Prinsip Kerja Siklus Rankine .....	16
2.2.4. Bahan Bakar PLTU.....	18
2.3. Boiler Pada Pabrik Kelapa Sawit.....	19
2.3.1 Bagian Utama Boiler .....	22
2.4. Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit.....	25
2.5. Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit.....	27
2.6. Analisis Bahan Bakar .....	30
2.7. Analisis Energi Listrik.....	32
2.7.1. Aliran Daya.....	35
2.7.2. Sistem 3 Fasa .....	38
2.7.3. Tegangan 3 Fasa .....	38

2.8. Sarana Pendukung Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV	
Unit PKS Bah Jambi.....	40
2.9. Manejemen Energi.....	40
2.9.1. Stasiun Ketel Uap (Boiler).....	40
2.9.2. Stasiun Kamar Mesin ( <i>Power House</i> ) .....	41
2.9.3. Penyediaan Air .....	45
2.9.3.1. <i>Water Treatment</i> .....	45
2.9.3.2. <i>Demin Plant</i> .....	45
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	46
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian.....	46
3.2. Metode Pengambilan Data.....	46
3.3. Sumber Data .....	47
3.4. Data Penelitian.....	47
3.5. Data Komposisi Bahan Bakar.....	47
3.6. Data Cangkang Dan Serabut ( <i>Fiber</i> ) .....	48
3.7. Data Pembangkit Tenaga Listrik .....	49
3.8. Hasil Pengamatan Panel Listrik Utama .....	50
3.9. Prosedur Penelitian .....	50
3.10. Diagram Alir.....	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1. Analisa Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar .....	53
4.2. Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit .....	71
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	76
5.1. Kesimpulan.....	76
5.2. Saran .....	77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.Cangkang dan serabut Kelapa Sawit (Tankos, Cangkang, Ampas) .....	7
Gambar.2.2.1. Proses Konversi Uap .....	8
Gambar 2.2.2.2. Prinsip Kerja Kondensor PLTU .....	10
Gambar 2.2.2.8.b. Boiler Pipa api.....	13
Gambar 2.2.2.8.c .Boiler Pipa Air.....	14
Gambar 2.2.3.1.Prinsip Kerja Siklus Rankine .....	16
Gambar 2.2.3.2 Skematik dan Diagram T-S Siklus Rankine.....	17
Gambar 2.3.Boiler dan Siklus Air Pada Pipa Boiler Yang digunakan Pabrik Kelapa Sawit .....	21
Gambar 2.4.Proses Konversi Limbah Padat Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik dan Energi Uap Panas (Kalor) .....	36
Gambar 2.7.3.1. Diagram Fasor Tegangan yang dibangkitkan.....	39
Gambar 2.7.3.2.Gelombang Tegangan 3 Phasa .....	40
Gambar 2.7.3.3. Hubungan Y dan $\Delta$ .....	41
Gambar 2.10.1.Ruang Bahan Bakar Boiler Pada Stasiun Boiler .....	42
Gambar 2.10.2.1. Turbin Uap No.4 Kapasitas 1400 KVA .....	43
Gambar 2.10.2.3. Panel Utama Kamar Mesin .....	43
Gambar 2.10.2.4. <i>Back Presseur Vessel</i> (BPV).....	45
Gambar 2.10.3.2. Stasiun <i>Demin Plant</i> .....	45
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Ketersediaan Terhadap Kebutuhan bahan bakar Boiler .....	70
Gambar 4.2. Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.5.1. Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar .....	47
Tabel 3.5.2. Komposisi Kandungan Bahan Bakar .....	47
Tabel 3.5.3 Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar.....	48
Tabel.3.6. Data Cangkang Dan Serabut .....	48
Tabel 3.7. Spesifikasi Mesin Pembangkit Tenaga Listrik.....	49
Tabel 3.8 Tegangan, Cos $\phi$ , dan Arus Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama.....	50
Tabel 4.1.1. Jumlah Kapasitas Cangkang Dan Serabut Berdasarkan Pengolahan Boiler 60 Ton Tbs/jam.....	67
Tabel.4.1.2. Kebutuhan Bahan Bakar .....	69
Tabel.4.1.3. Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Boiler.....	69
Tabel 4.2. Daya Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama .....	74

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1.Latar Belakang**

Kelapa Sawit merupakan Perkebunan yang sangat populer dimasyarakat, karena mendapatkan keuntungan yang cukup besar serta biaya berkebun kelapa sawit lebih murah dan tidak rumit, Sebagian Wilayah Indonesia terdapat lahan kebun kelapa sawit, karena dapat tumbuh dengan baik didataran tinggi maupun dataran rendah dan merupakan salah satu tanaman penghasil minyak *Calm Palm Oil* (CPO) dan inti. Berdasarkan PT.Perkebunan Nusantara IV merupakan Segmen Usaha terbesar (80%) Usaha yang mengolah Budidaya Kelapa Sawit yang menyebar di 9 Kabupaten yaitu Kabupaten Langkat, Deli Serdang, Serdang Bedagai, Simalungun, Asahan, Labuhan Batu, Batu Bara, Padang Lawas, dan Mandailing. Dalam Proses pengolahan PTPN IV memiliki 16 unit Pabrik kelapa Sawit (PKS) dengan Kapasitas total 635.000 ton Tandan Buah Segar (TBS) Perjamnya. Dan PTPN IV juga memiliki 2 unit pabrik pengolahan inti sawit dengan kapasitas Produksi 405.000 ton perhari. Ini menunjukkan tanaman Kelapa Sawit di daerah PTPN IV Unit PKS Bah Jambi berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama cangkang dan serabut dan limbah cair kelapa sawit.

Dalam Memenuhi Energi Listrik, Pabrik Kelapa Sawit harus mampu menyediakan beberapa hal yang penting untuk menghasilkan Energi listrik tersebut. Dalam hal ini ketersediaan bahan bakar menjadi hal utama untuk terwujudnya kebutuhan energi listrik untuk proses-proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit listrik. Namun Pabrik kelapa sawit pada suatu waktu akan menghadapi masalah yang berhubungan dengan kekurangan bahan bakar (Siswanto, 2020)

Tentunya hal ini menjadi masalah serius, karena tanpa bahan bakar, pabrik tidak dapat menghasilkan Uap dan tanpa uap pengolahan tidak dapat dilaksanakan. Reaksi yang akan mempengaruhi mutu dan jumlah produksi yang dihasilkan dipabrik. Untuk Ketersediaan Bahan Bakar, PTPN IV Unit PKS Bah Jambi Mempunyai kapasitas 60 ton / Jam.

Bahan Bakar yang dihasilkan Cangkang dan serabut Kelapa Sawit merupakan hasil proses pengolahan dari Tandan Buah Segar (TBS) dan memanfaatkannya menjadi bahan bakar utama pada Boiler untuk menghasilkan Uap yang digunakan untuk menggerakkan Turbin Uap dan menghasilkan daya listrik yang akan didistribusikan lagi melalui instalasi listrik pabrik untuk Proses pengolahan, Bertujuan Untuk menekan Biaya Operasional Pabrik dan Mengurangi Pencemaran Lingkungan di area pabrik maupun sekitarnya. Konsumsi Bahan Bakar Boiler Sebesar Serabut Zat padat bukan minyak 56,14%, Kadar Minyak 4,38% Kadar Air 39,48% dan Cangkang Zat padat bukan minyak 82,85%, Kadar minyak 1,06%, Kadar air 16,09%. dalam Proses Pengolahan Kelapa Sawit, terjadi beberapa tahapan yang memerlukan masukan energi. Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik dibutuhkan Generator (Turbin) sebagai Pembangkit tenaga listrik. Pada Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit PKS Bah Jambi ini mengolah Tandan Buah Segar (TBS) menjadi Minyak *Calm Palm Oil* (CPO) dan *Shell* (Inti).

Untuk mengolah Tanda Buah Segar tersebut Menggunakan Boiler Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap lalu disalurkan menggunakan Generator (Turbin Uap), Boiler Merupakan Alat yang doperasikan agar memproduksi Uap Panas yang kemudian digunakan sebagai tenaga penggerak, alat pemanas, pembersih, penguap cairan, dan kegunaan lainnya. Tenaga Uap yang dihasilkan difungsikan memutar sudut – sudut turbin yang dapat menghasilkan daya listrik . daya listrik yang dihasilkan disimpan pada panel induk yang akan didistribusikan pada panel distribusi.

Dalam proses pengolahan Kelapa Sawit pada PTPN IV Unit PKS Bah Jambi dibutuhkan Energi Listrik Sebesar 23.550 kWh, Sedangkan energi listrik yang dihasilkan oleh setiap turbin uap tidak selama nya mencukupi dalam pengolahan kelapa sawit. Kekurangan Energi Listrik dikarenakan produksi uap dari boiler tidak stabil yang menyebabkan tidak dapat memutar turbin uap dalam dua unit sekaligus. Untuk Memenuhi kebutuhan energi listrik, maka daya disuplai dari Genset (Diesel) dan Listrik PLN.

Dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai jumlah potensi pemanfaatan cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler guna memenuhi energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan Latar Belakang diatas, Rumusan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah Besar Kapasitas Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi yang dioptimalkan sebagai bahan bakar boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap ?
2. Bagaimana Analisis Energi listrik dan Daya yang dihasilkan pada proses pengolahan cangkang dan serabut kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa Besar Kapasitas Pemanfaatan Cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler pada pembangkit listrik tenaga uap di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi
2. Menganalisis Energi Listrik dan Daya yang dihasilkan pada proses pengolahan cangkang dan serabut kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

### **1.4. Batas Permasalahan**

Untuk mendapatkan hasil pembahasan yang maksimal, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas .Adapun batas permasalahannya adalah:

1. Tugas akhir ini hanya membahas pemanfaatan Cangkang dan Serabut (*Fiber*) sebagai bahan bakar Boiler pada PLTU untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi
2. Kebutuhan Energi Listrik dan Daya yang akan dibahas dalam tugas akhir ini hanya pada proses pengolahan kelapa sawit.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan Pokok - Pokok Permasalahan diatas, manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Menjadikan Bahan Referensi dalam meningkatkan ilmu pengetahuan dibidang Energi Baru Terbarukan
2. Bagi PTPN IV Unit PKS Bah Jambi sebagai bahan masukan bagi perusahaan/pengolahan pabrik dalam hal penyediaan bahan bakar boiler dan kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit.
3. Bagi mahasiswa penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

### **1.6. Metode Penelitian**

Langkah – Langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

#### 1) Metode Literatur

Metode Penelitian ini dilakukan dengan cara Studi Pustaka, Melihat Referensi dari buku maupun internet keperluan teori-teori.

#### 2) Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan melihat langsung permasalahannya dilapangan dan melakukan konsultasi atau berdiskusi kepada Operator dilapangan untuk mengetahui gambaran dan informasi secara lebih jelas terhadap berbagai masalah dalam studi kasus ini.

#### 3) Metode Wawancara

Dalam metode ini penulis memperoleh data melalui wawancara/diskusi dan Tanya jawab dengan Pembimbing Lapangan (Mentor), Teknis yang mengetahui banyak tentang masalah yang dibicarakan.

### **1.7. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman maka sistematik penulisan Tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut:

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada Bab ini Menjelaskan tentang Latar Belakang,Rumusan Masalah,Tujuan Penelitian,Batas Permasalahan Manfaat penelitian,Metode Penelitian,dan sistematika penulisan.

## **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Menjelaskan Secara singkat teori yang digunakan sebagai ilmu penunjang bagi peneliti,berkenan dengan masalah yang akan diteliti, serta bahan bakar dan prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

## **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Lokasi yang dilaksanakan Penelitian, Jadwal Penelitian dan jalannya penelitian.

## **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Analisis data hasil survei lapangan yang telah dilakukan, membahas tentang Kapasitas Cangkang dan Serabut kelapa sawit yang dimanfaatkan menjadi bahan bakar utama pada boiler untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

## **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Memuat kesimpulan dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan, dan serta memuat saran-saran yang berhubungan dengan penelitian ini.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Limbah pabrik kelapa sawit yang berupa Serbut (*fiber*) dan cangkang dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar boiler sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik, juga sumber uap digunakan untuk proses pengolahan dan perebusan. Limbah *fiber* dan cangkang sawit dapat dimanfaatkan secara optimal untuk peningkatan efisiensi boiler di mana perbandingan pemakaian *fiber* dan cangkang yang tepat akan mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam boiler.

Serabut (*Fiber*) adalah limbah sawit yang dihasilkan dari hasil pengolahan pemerasan buah sawit pada saat proses kempa (*pressan*) yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120 kg atau 12 % dari hasil pengolahan per ton. Fiber bisa digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk boiler dan mempunyai nilai kalor sekitar 2637 kkal/kg-3998 kkal/kg. melakukan kajian tentang nilai kalor, didapatkan nilai kalor fiber sebesar 3872 kkal/kg. studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit didapatkan nilai kalor *fiber* sebesar 3500 kkal/kg dalam kajiannya tentang studi kelayakan ekonomis PLTU berbahan bakar *fiber* dan cangkang mendapatkan nilai kalor fiber sebesar 2770 kkal/kg.

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari proses *kernel* inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa namun berbentuk kecil. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50 kg atau 5 % dari hasil pengolahan per ton dan cangkang mempunyai nilai kalor 3500 kkal/kg-4100 kkal/kg. melakukan kajian tentang analisa nilai kalor cangkang kelapa sawit didapatkan nilai kalor 4580 kkal/kg. studi pemanfaatan limbah padat dari perkebunan kelapa sawit didapatkan nilai kalor cangkang sebesar 4115 kkal/kg dalam kajiannya tentang studi kelayakan ekonomis PLTU berbahan bakar fiber dan cangkang mendapatkan nilai kalor cangkang sebesar 3881 kkal/kg. 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 (Siswanto J, 2020)



Gambar 2.1. Cangkang dan serabut Kelapa Sawit(Tankos,Cangkang,Ampas)

## 2.2. Landasan Teori

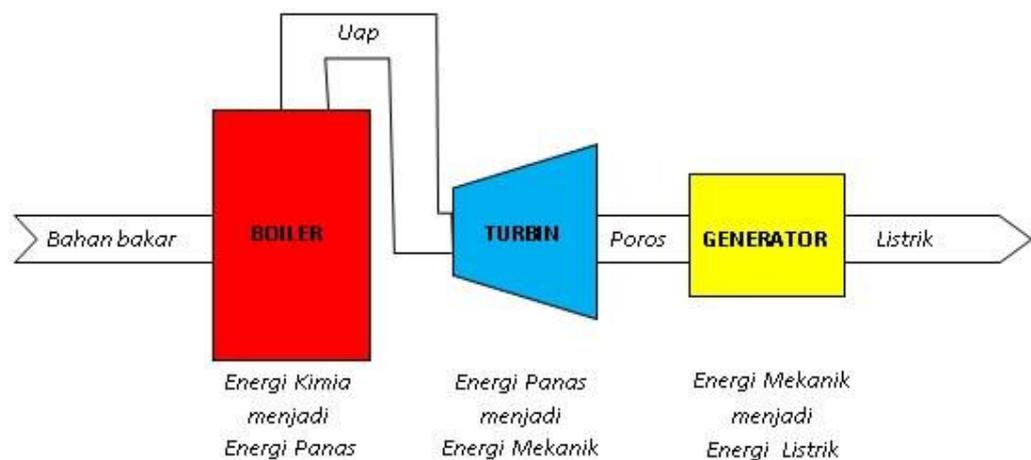
### 2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu sistem yang berguna membangkitkan listrik dengan memanfaatkan energi Panas. sebagai sumber masukannya. Proses pembangkitan energi listrik pada PLTU dimulai dari proses pembakaran bahan bakar yang dilakukan di ruang bakar (*furnace*). PLTU yang ada hingga saat sekarang ini, mayoritas masih menggunakan batu-bara,Cangkang dan Serabut, yang diproses sedemikian rupa hingga dapat digunakan pada proses pembakaran.

Energi panas yang dihasilkan selanjutnya akan digunakan untuk memanaskan air dalam pipa ketel sehingga menghasilkan uap dengan tekanan dan temperatur tinggi. Uap yang telah dihasilkan tersebut, selanjutnya digunakan sebagai masukan

pada turbin uap sehingga terjadi konversi dari energi potensial pada uap menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Sisa uap hasil pemakaian pada turbin uap selanjutnya dikondensasi pada kondensor sehingga berubah wujudnya menjadi air dan dapat digunakan kembali sebagai masukan pada boiler. Air yang masih memiliki suhu panas akan didinginkan terlebih dahulu dengan menggunakan suatu sistem pendinginan. Sistem pendinginan yang digunakan PLTU dapat disesuaikan dengan lokasi PLTU. Apabila lokasi PLTU dekat dengan sumber air seperti sungai, waduk, danau digunakan pompa sebagai sirkulasi masuk dan keluarnya air pada kondensor. (Dewi, 2022)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan sebuah pembangkit dengan memanfaatkan energi panas dan dikonversikan menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan bahan bakar primer seperti batubara, gas, bbm, dan bahan bakar primer lainnya . Dalam konversi energi tingkat yang pertama yang terjadi di pembangkit listrik tenaga uap adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam steam drum.(Ahmad Arif,2023)



Gambar.2.2.1. Proses Konversi Uap

### 2.2.2. Komponen Utama PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) memiliki berbagai komponen utama antara lain boiler, turbin, generator, transformator, dan gardu induk. PLTU merupakan mesin pembangkit termal yang terdiri dari komponen utama dan komponen bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya. Peralatan utama tersebut memiliki komponen-komponen tersendiri yang sangat kompleks. Untuk lebih jelasnya akan dibahas beberapa komponen-komponen utama yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

#### 1. Turbin Uap

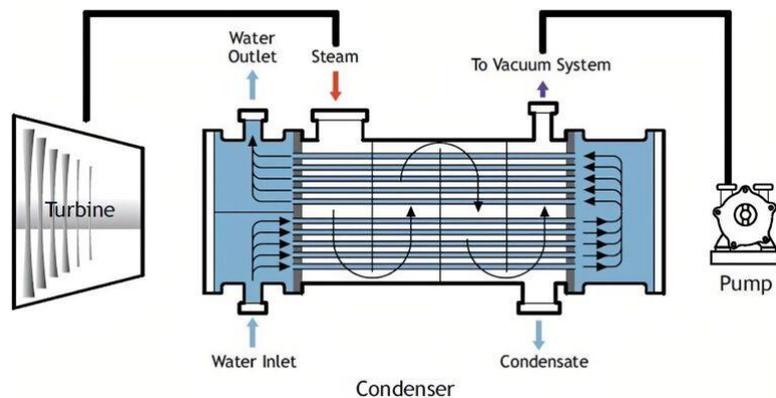
Turbin merupakan penggerak utama pada PLTU yang memutar generator, disamping itu ada juga sebagai penggerak pompa air pengisi. Dari konversi energi, turbin berfungsi sebagai pengubah energi potensial yang terkandung dalam uap menjadi energi kinetis dan mekanis. Makin besar ukuran/kapasitas turbin, efisiensinya makin lebih tinggi. Karena menggunakan uap dengan suhu dan tekanan tinggi, disamping karena kerugian-kerugian (*losses*) lebih rendah secara proposional

Turbin uap termasuk dalam kelompok pesawat-pesawat konversi energi yang meng-konversikan energi potensial uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Sebelum dikonversikan menjadi energi mekanik terlebih dahulu dikonversikan menjadi energi kinetik dalam nozel (pada turbin impuls) atau dalam nozel dan sudu-sudu gerak (pada turbin reaksi). Poros turbin secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan, seperti : generator listrik, pompa, kompresor dan sebagainya. Turbin uap pertama tercatat dalam sejarah adalah yang dibuat oleh hero dari alexandria sekitar abad pertama masehi. Alat ini terdiri dari sebuah bola yang dapat berputar bebas pada sumbu horizontal antara dua pipa tetap yang menghubungkan ke suatu pendidih. Uap yang dibangkitkan di dalam pendidih masuk kedalam bola dan keluar ke atmosfer melalui dua nosel yang terletak dalam bidang yang tegak-lurus terhadap sumbu putaran menyebabkan bola itu berputar. Pada zamannya dominasi bahan bakar batubara turbin uap memonopoli mesin kapal, baik kapal dagang maupun kapal perang. Sekarang di saat dunia mengalami

krisis energi, para ahli mulai berpaling pada energi batubara dan energi alternatif, yaitu energi panas bumi dan lain-lain yang sejenis, sehingga mulai dibangun beberapa PLTU dan PLTP di Indonesia, bahkan PLTN. Semuanya itu mengoperasikan turbin uap yang merupakan *rotating equipment*, tempat dimana tenaga potensial uap yang dihasilkan oleh boiler (ketel uap) diubah menjadi energi mekanik berupa muatan output. (Wisnaningsih, 2019)

## 2. Kondensor

Kondensor adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. Pada sistem tenaga uap, fungsi utama kondensor adalah untuk mengubah steam menjadi cairan sehingga dapat dipompakan kembali ke boiler. Uap yang berasal dari turbin mengalir di luar pipa-pipa sedangkan air pendingin mengalir melalui bagian dalam pipa. Air pendingin ini berasal dari laut. Batas antara air laut sebagai pendingin dan air kondensat di dalam kondensor adalah pipa kondensor. Karena itu kebocoran pipa kondensor sangat membahayakan. Karena kebocoran tersebut dapat mengotori air pengisian.



Gambar 2.2.2.2. Prinsip Kerja Kondensor PLTU

## 3. Sistem Pendingin Utama

Pendinginan merupakan bagian penting pada PLTU. Sebagai gambaran bahwa unit dengan kapasitas 800 kW membutuhkan air pendingin sebanyak 326 m<sup>3</sup>/hari tergantung pemakaiannya. Inilah salah satu sebab bahwa umumnya PLTU dibangun dekat dengan sumber air yang cukup seperti laut atau sungai. Bagian yang terpenting dari sistem pendingin utama antara lain adalah perlengkapan saringan, pompa sirkulasi, menara pendingin dan sebagainya.

Yang dimaksud dengan sistem pendingin utama ini adalah pendingin untuk kondensor. Ada dua macam sistem pendingin utama yaitu :

1. Sistem Pendingin Terbuka (*Direct Cooled System*) Pada sistem ini air pendingin setelah melalui kondensor langsung dibuang, biasanya sistem menggunakan air laut atau air sungai
2. Sistem Pendingin Tertutup (*Closed Cooling Tower*) Dimana air pendingin yang keluar dari kondensor didinginkan kembali pada menara pendingin (*cooling tower*) untuk dipakai lagi sebagai air pendingin. Disini kebutuhan air hanya sebagai penambah dan pembilas saja.

#### **4. Pompa Air Kondensat (*Condensate Water Pump*)**

Pompa air kondensat ini berfungsi sebagai pemindah air hasil penguapan dari kondensor (ditampung pada bagian bawah kondensor, yang dinamakan (*Hot Well*) ke tangki air pengisi atau sering disebut deaerator dan tangki air pengisi selalu satu konstruksi

#### **5. Pemanas Air Pengisi (*Feed Water Heater*)**

Fungsi dari pemanas ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan menaikkan suhu serta tekanan air pengisi secara bertahap, sebelum memasuki ketel. Jenis dari pemanas ini adalah :

1. *Surfice Type* Yaitu uap pemanas yang tidak dihubungkan langsung dengan air pengisi, air pengisi disalurkan di dalam pipa-pipa dan uap yang berada diluarnya. Pada tipe ini yang paling sering digunakan.
2. *Direct Contact Type* Yaitu uap pemanas dan air pengisi yang bercampur secara langsung. Tipe ini terdapat pada daederator (pembuang udara), dimana air pengisi yang ditebarkan menjadi butiran-butiran air yang disemprotkan dengan uap.

## 6. Dearator

Deaerator adalah bagian dari sistem air pengisi yang berfungsi sebagai penghilangan oksigen yang terdapat di dalam air pengisi. Oksigen tersebut adalah unsur yang bersifat korosi yang dapat merusak pipa-pipa ketel.

## 7. Pompa Air Pengisi (*Boiler Feet Pump*)

Fungsi dari *Boiler Feet Pump* adalah memindahkan air dari tangki air pengisi ke ketel dengan tahanan yang cukup. Umumnya pompa ini terdiri dari beberapa tingkat pompa sentrifugal yang digerakkan oleh motor listrik atau turbin.

## 8. Ketel Uap (*Boiler*)

Ketel uap (*Boiler*) adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, boiler memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. Bejana bertekanan pada boiler umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (*The ASME Code Boilers*),

terutama untuk penggunaan boiler pada industri-industri besar. Dalam sejarah tercatat berbagai macam jenis material digunakan sebagai bahan pembuatan boiler seperti tembaga, kuningan, dan besi cor. Namun bahan-bahan tersebut sudah lama ditinggalkan karena alasan ekonomis dan juga ketahanan material yang sudah tidak sesuai dengan kebutuhan industri. Panas yang diberikan kepada fluida di dalam boiler berasal dari proses pembakaran dengan berbagai macam jenis bahan bakar yang dapat digunakan, seperti kayu, batubara, solar/minyak bumi, dan gas. Dengan adanya kemajuan teknologi, energi nuklir pun juga digunakan sebagai sumber panas pada boiler. Dan berikut adalah beberapa jenis boiler:

*Boiler* atau Ketel Uap adalah tergolong mesin pembakaran luar. Proses pemanasannya adalah terpisah antara ruang pembakaran dengan tempat air yang dipanasi (fluida kerja) yaitu air yang berada didalam Pipa dipanasi dari luar pipa

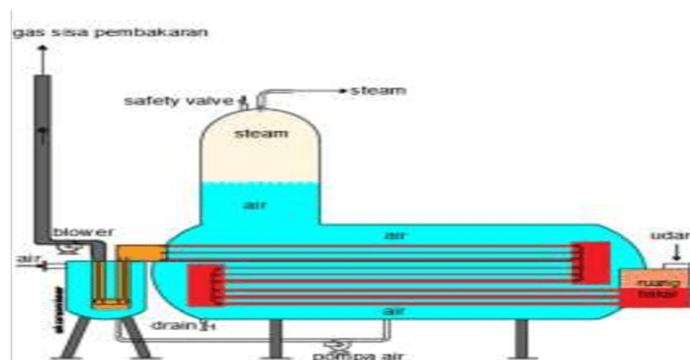
(peristiwa perebusan), dan akibat dari perebusan tersebut air mendidih hingga berubah menjadi uap. Air dan uap yang di panaskan dan di dinginkan secara simultan bersirkulasi di dalam instalasi pipa dan tabung. Siklus kerja Generator Uap ini berlaku pada Ketel Uap jenis Pipa Air dan Ketel Uap Pipa Api serta Ketel Uap Lorong Api. Tetapi pada Ketel Uap Pipa Api atau Lorong Api terdapat perbedaan pada cara pemanasannya dibanding dengan Ketel Uap Pipa Air, yaitu selain air dan uap yang bersirkulasi, api atau gas pembakarannya juga ikut beredar didalam pipa atau lorong yang terendam air. (Untung Surya Dharma, 2019)

**a. Pot Boiler atau Haycock Boiler**

Merupakan boiler dengan desain paling sederhana dalam sejarah. Mulai diperkenalkan pada abad ke 18, dengan menggunakan volume air besar tapi hanya bisa memproduksi pada tekanan rendah. Boiler ini menggunakan bahan bakar kayu dan batubara. Boiler jenis ini tidak bertahan lama penggunaannya karena efisiensinya yang sangat rendah.

**b. Fire-Tube Boiler (Boiler Pipa-Api)**

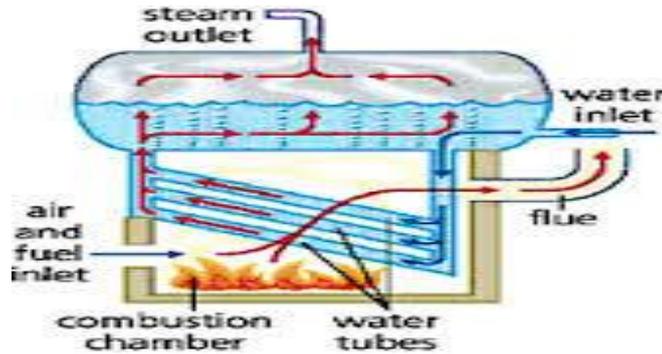
Pada perkembangan selanjutnya muncul desain baru boiler yakni boiler pipa-api. Boiler ini terdapat dua bagian di dalamnya, yaitu sisi tube/pipa dan sisi barrel/tong. Pada sisi barrel berisi fluida/air, sedangkan sisi pipa merupakan tempat terjadinya pembakaran. Boiler pipa-api biasanya memiliki kecepatan produksi uap air yang rendah, tetapi memiliki cadangan uap air yang lebih besar.



Gambar 2.2.2.8.b. Boiler Pipa api

### c. *Water-Tube Boiler (Boiler Pipa-Air)*

Sama seperti boiler pipa-api, boiler pipa-air juga terdiri atas bagian pipa dan barrel. Tetapi sisi pipa diisi oleh air sedangkan sisi barrel menjadi tempat terjadinya proses pembakaran. Boiler jenis ini memiliki kecepatan yang tinggi dalam memproduksi uap air, tetapi tidak banyak memiliki cadangan uap air di dalamnya



Gambar 2.2.2.8.c .Boiler Pipa Air

### 2.2.3. Prinsip Kerja PLTU

Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu system tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengondensasian di kondensor dan air *make up water* (air yang dimurnikan di *treatment*) dipompa oleh condensate pump ke pemanas tekanan rendah (*low pressure heater*). Air dipanasi kemudian dimasukkan ke daerator untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh boiler feedwater pump masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa *down comer* untuk dipanaskan pada *wall tubes* oleh boiler. Gambar 2.2.3. Menggambarkan siklus uap dan air yang berlangsung dalam PLTU yang kapasitas 20 ton Uap/Jam Merk/Type Takuma Boiler N600 sa . Untuk PLTU ukuran ini, PLTU umumnya memiliki pemanas ulang dan pemanas awal serta mempunyai tiga turbin, yaitu turbin tekanan tinggi, turbin tekanan menengah, dan turbin tekanan rendah. Siklus yang digambarkan oleh Gambar 2.2.3. telah disederhanakan, yaitu bagian yang menggambarkan sirkuit pengolahan air untuk suplesi dihilangkan untuk

Penyederhanaan. Suplisi air ini diperlukan karena adanya kebocoran uap pada sambungan-sambungan pipa uap dan adanya *blow down* air dari drum ketel. Air yang dipompakan ke dalam drum dan selanjutnya ke pipa-pipa air yang merupakan dinding yang mengelilingi ruang bakar ketel. Ke dalam ruang bakar ketel disemprotkan bahan bakar dan udara pembakaran. Bahan bakar yang dicampur udara ini dinyalakan dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran dalam ruang bakar. Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (kalori). Energi panas hasil pembakaran ini dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel melalui proses radiasi, konduksi, dan konveksi. Untuk setiap macam bahan bakar, komposisi perpindahan panas berbeda, misalnya bahan bakar minyak paling banyak memindahkan kalori hasil pembakarannya melalui radiasi dibandingkan bahan bakar lainnya. Untuk melaksanakan pembakaran diperlukan oksigen yang diambil dari udara. Oleh karena itu, diperlukan pasokan udara yang cukup ke dalam ruang bakar.

Untuk keperluan memasok udara ke ruang bakar, ada kipas (*ventilator*) tekan dan kipas isap yang dipasang masing-masing pada ujung masuk udara ke ruang bakar dan pada ujung keluar udara dari ruang bakar. Gas hasil pembakaran dalam ruang bakar setelah diberi “kesempatan” memindahkan energi panasnya ke air yang ada di dalam pipa air ketel, dialirkan melalui saluran pembuangan gas buang untuk selanjutnya dibuang ke udara melalui cerobong. Gas buang sisa pembakaran ini masih mengandung banyak energi panas karena tidak semua energi panasnya dapat dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel. Gas buang yang masih mempunyai suhu di atas 280°C ini dimanfaatkan untuk memanasi.

*Steam* (Uap) adalah cara yang paling banyak digunakan untuk menyampaikan atau mendistribusikan energi ke beban proses untuk pembangkit listrik dan proses pemanasan. Dibandingkan dengan udara dan air, uap menawarkan beberapa keuntungan: memberikan kapasitas pembawa panas yang lebih tinggi, kerja batas atau gaya lokomotif yang lebih tinggi, dan panas dapat dimanfaatkan pada suhu konstan. Teknologi pemanasan proses berbasis uap sangat populer karena memiliki karakteristik yang lebih baik seperti panas spesifik dan laten yang tinggi (kapasitas

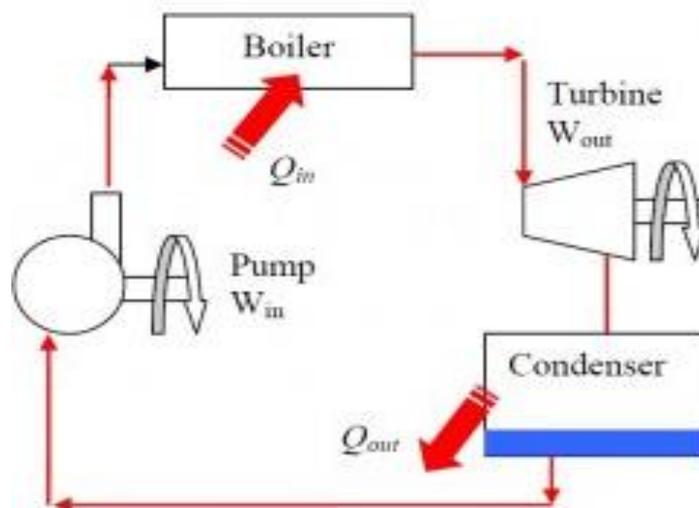
panas tinggi), koefisien perpindahan panas yang tinggi, mudah dikendalikan, murah, tenang dan inert . Ini dapat dengan mudah dikontrol karena panas yang konsisten dapat didistribusikan ke seluruh proses pemanasan tanpa memerlukan pompa dan komponen sistem yang rumit. Kualitas produk yang tinggi dengan biaya produksi yang rendah kemudian dapat disukseskan dengan menggunakan steam. Dengan karakteristik ini, ini memberikan cara terbaik untuk menyampaikan tingkat panas yang tepat ke titik penggunaan dengan efisiensi tinggi dan masalah lingkungan yang dapat diterima.(Prasartkaew & Sukpancharoen, 2021)

### 2.2.3.1.Prinsip Kerja Siklus Rankine

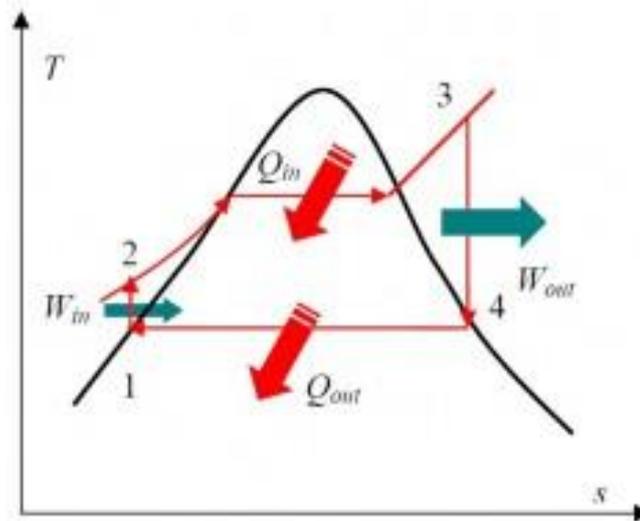
Siklus rankine adalah sebuah siklus yang mengkonversikan energi panas menjadi kerja / energi gerak. Sistem kerja pada siklus rankine panas disuplay secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Fluida yang digunakan akan mengalir secara konstan. Aliran fluida terjadi karena adanya masukan panas eksternal dan akan terjadi perubahan tekanan dalam aliran (lihat Gambar 2.2.3)

#### 1. Cara Kerja Siklus Rankine

Siklus rankine terdiri dari 4 komponen dasar yaitu boiler, turbin, kondenser dan pump (pompa). Setiap komponen ini mempunyai fungsi yang sangat penting dalam melakukan kerja dalam siklus rankine.



Gambar 2.2.3.1.Prinsip Kerja Siklus Rankine



Gambar 2.2.3.2 Skematik dan Diagram T-S Siklus Rankine

1. 1-2 : Air dipompakan oleh pompa sehingga mengalami kenaikan temperature dan tekanan. Proses ini terjadi dipompa air pengisi yang disebut kompresi isentropis.
2. 2-2 : Air yang dipompakan ini selanjutnya dipanaskan sampai mencapai titik didihnya. Proses ini terjadi LP heater, HP heater dan Economizer.
3. 2-3 : Pada tahap ini terjadi proses penguapan secara isobar isotermis karena air yang berubah wujud menjadi uap jenuh. Proses ini terjadi diboiler yaitu pada wall tube.
4. 3-4 : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi disuperheater boiler dengan proses isobar.
5. 4-5 : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah ekspansi isentropis dan terjadi didalam turbin.
6. 5-1 : Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah isobar isotermis dan terjadi didalam Kondensor

Proses ini adalah proses sederhana yang berlangsung pada saat memanaskan air. Proses ini hampir sama dengan proses yang terjadi didalam boiler pada unit pembangkit uap di PLTU

#### 2.2.4. Bahan bakar PLTU

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (kalor). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (boiler) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap. Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, handling, polusi dan peletakan boiler, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. Pengetahuan mengenai sifat bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien. Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar.

Jadi untuk melakukan pembakaran diperlukan 3 (tiga) unsur, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Oksigen
3. Suhu untuk memulai pembakaran

Panas (kalor) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai bakar (*heating value*). Sesuai dengan nama pembangkitnya, PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi bahan bakar seperti minyak residu, batu bara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang. Dalam PLTU, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa Cangkang dan Serabut (*fiber*). Ada kalanya PLTU menggunakan kombinasi beberapa macam bahan bakar. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis, proses di atas digambarkan oleh Gambar 2.2.3.

Dari perspektif bahan baku potensial untuk pembangkit uap dan listrik, pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai bahan bakar alternatif dalam pembakaran langsung merupakan salah satu solusi menarik untuk mengubah limbah biomassa menjadi energi bersih serta mempromosikan keberlanjutan dalam produksi minyak sawit. Namun demikian, terdapat kemungkinan risiko yang mempengaruhi efisiensi ketel uap biomassa ketika memanfaatkan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas, uap, atau listrik. Hal ini disebabkan tingginya kadar air pada Tandan Kosong Kelapa Sawit sangat mempengaruhi proses pembakaran. Selain itu, kandungan kalium, salah satu logam alkali, dalam abu dapat menyebabkan masalah pengendapan slagging dan fouling di boiler. Akibatnya, karakteristik pembakaran yang buruk menyebabkan kinerja yang tidak merata dan tidak terjadwal (Srasri et al., 2022)

Boiler berbahan bakar batubara masih banyak digunakan sebagai teknologi untuk pembakaran bahan bakar padat dan konversi energi dalam proses pembangkit listrik dan panas. Pada tahun 2015 pangsa Total Pasokan Energi Primer Dunia terdiri dari Minyak (31,7%), Batubara (28,1%), Gas Bumi (21,6%), Bahan Bakar Nabati dan limbah (9,7%), Nuklir (4,9%), Hidro (2,5%) dan Lainnya (1,5%). Di Polandia, pada tahun 2015, pembangkit listrik berada pada level 164,3 TWh, dengan pangsa batubara terbesar (80,9%). Di Cina, pada akhir tahun 2015, sebanyak 565.000 boiler industri dioperasikan, dimana 464,00 diantaranya merupakan boiler industri berbahan bakar batubara. sekitar 60% dari pembangkit tenaga listrik di India. (Madejski & Żymetka, 2020)

### **2.3. Boiler Pada Pabrik Kelapa Sawit**

Dalam pabrik kelapa sawit ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit. Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah air menjadi uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap.

Uap (energi kalor) yang dihasilkan ketel uap dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap di pabrik kelapa sawit, terutama turbin. Turbin

disini adalah turbin uap dimana sumber penggerak generatornya adalah uap yang dihasilkan dari ketel uap. Selain turbin, alat lain di pabrik kelapa sawit yang membutuhkan uap seperti di sterilizer (alat untuk memasak TBS) dan stasiun pemurnian minyak (klarifikasi). Oleh karena itu kualitas uap yang dihasilkan harus sesuai dengan kebutuhan yang ada di pabrik kelapa sawit tersebut, karena jika tidak akan mengganggu proses pengolahan dipabrik kelapa sawit

Ketel uap (*boiler*) yang digunakan di pabrik kelapa sawit biasanya adalah ketel uap (*boiler*) dengan kapasitas uap 20 ton uap/jam dan dengan tekanan 23 kg/cm<sup>2</sup> . Dimana dibutuhkan 2 unit boiler untuk pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah 60 ton TBS/jam. Sebagian besar ketel uap yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel uap yang menghasilkan uap superheated, dimana uap ini digunakan pertama kali untuk memutar turbin sebagai pembangkit tenaga listrik kemudian sisa uap dari pembangkit tersebut digunakan sebagai pemanasan TBS pada *sterilizer*. Menurut jenisnya ketel uap terbagi menjadi 2 bagian yaitu, ketel pipa air dan ketel pipa api. Ketel yang digunakan pada pabrik kelapa sawit adalah ketel pipa air, maksudnya adalah air berada didalam pipa dipanaskan oleh api yang berada diluar pipa air. Untuk menghitung kapasitas uap pada ketel uap yang dibutuhkan adalah dengan :

1. Kebutuhan uap pada pabrik kelapa sawit adalah 20 ton uap/ton TBS.
2. Jadi untuk pabrik 60 ton membutuhkan boiler =  $60 \text{ ton} \times 20 = 1.200 \text{ ton uap/jam}$ . Karena itu dibutuhkan 2 unit ketel uap dengan kapasitas uap 20 ton uap/jam.

pada masing-masing ketel uap. Biasanya boiler yang digunakan di pabrik kelapa sawit memiliki spesifikasi sebagai berikut:

**Merk/ Type : Takuma/N600/SA/1103**

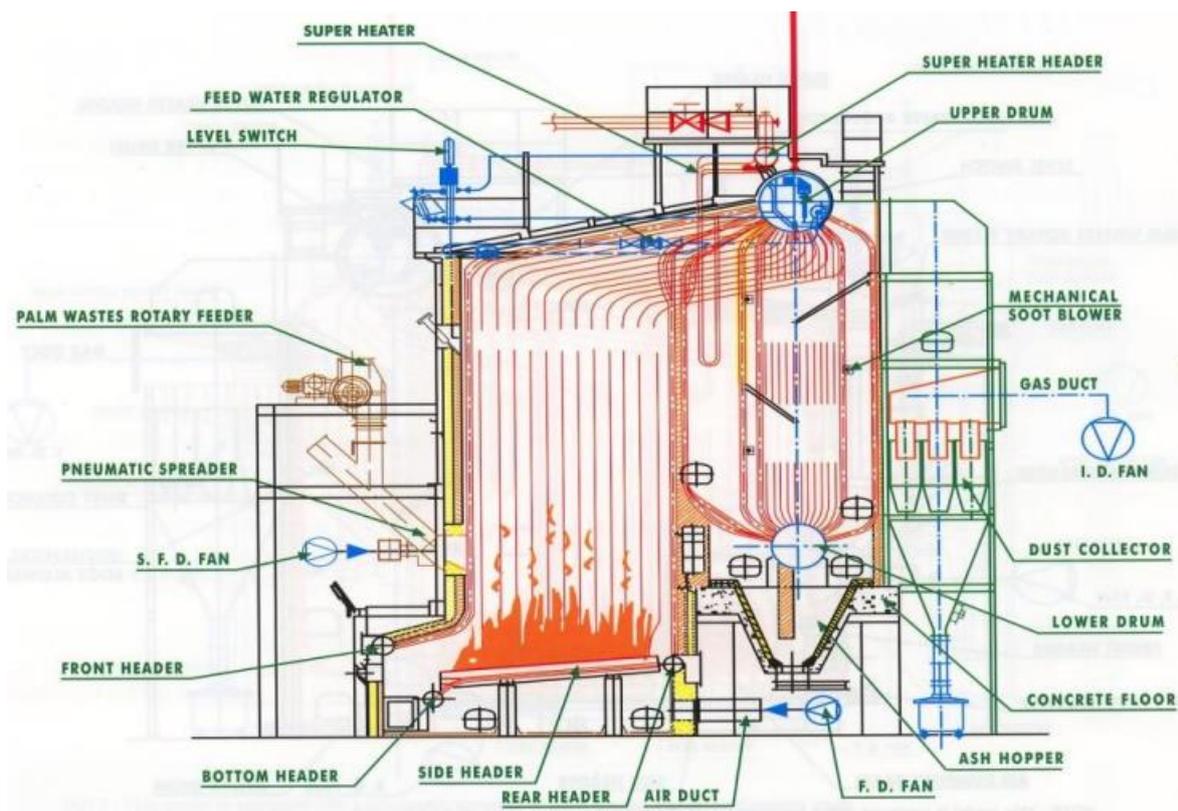
1. Kapasitas : 20 Ton Uap/Jam
2. Tekanan Uap : 23 kg/cm<sup>2</sup>
3. Suhu Uap lanjut : 280 °C
4. Pemakaian Bahan Bakar : 14% Serabut dan 7% Cangkang Tbs
5. Pemakaian Air Boiler : 305 m<sup>3</sup>

**Merk/Type : Takuma/N1000/SA/1098**

1. Kapasitas : 35 Ton Uap/Jam
2. Tekanan Uap : 29 kg/cm<sup>2</sup>
3. Suhu Uap lanjut : 280 °C
4. Pemakaian Bahan Bakar : 14% Serabut dan 7% Cangkang Tbs
5. Pemakaian Air Boiler : 305 m<sup>3</sup>

**Merk/ Type : Takuma/N600/SAS/1103**

1. Kapasitas : 20 Ton Uap/Jam
2. Tekanan Uap : 23 kg/cm<sup>2</sup>
3. Suhu Uap lanjut : 280 °C
4. Pemakaian Bahan Bakar : 14% Serabut dan 7% Cangkang Tbs
5. Pemakaian Air Boiler : 305 m<sup>3</sup>



Gambar 2.3. Boiler dan Siklus Air Pada Pipa Boiler Yang digunakan Pabrik Kelapa Sawit

### 2.3.1. Bagian Utama Boiler

Boiler merupakan unit plant yang penting di industri, berfungsi mengubah air pada fasa cair ke fasa uap hingga dihasilkan uap kering yang digunakan untuk memutar turbin. Pada boiler terdapat beberapa alat/bagian utama. Adapun bagian-bagian utama boiler pada pabrik kelapa sawit adalah sebagai berikut :

#### 1. Ruang Bakar (*dapur/furnace*)

Sebagai tempat pembakaran bahan bakar (*cangkang dan serabut*) untuk menghasilkan gas panas. Yang memiliki lantai (*fire gratee*) berupa susunan roster yang dibuka tutup dengan pneumatic atau model *fixed grate* mempunyai lubang-lubang (*deashing nozzle*) untuk tempat lewatnya udara pembakaran dari *Forced Draft Fan* (FD Fan). Lubang tidak boleh tumpat agar pembakaran dapat sempurna yang dilengkapi firing door pada bagian depan yang berfungsi untuk :

- a. Mengatur proses pembakaran
- b. Pengeluaran abu, gumpalan kerak sisa-sisa pembakaran
- c. Jalan masuk untuk inspeksi dan perawatan Ruang bakar dikelilingi oleh tube-tube air (*water wall*) yang akan menyerap panas untuk produksi steam.

#### 2. Drum Atas (*Upper Drum*)

Material drum biasanya terbuat dari low carbon steel dengan campuran (*chrome, vanadium, molybdenum*) untuk menghindari *elongation* yang berlebihan. Fungsi dari drum ini adalah:

- a. Menampung air umpan untuk didistribusikan ke pipa air pembangkit steam.
- b. Menampung uap dari pipa pembangkit dan setelah uap dan titik air dipisahkan pada drum selanjutnya uap dialirkan ke header uap untuk didistribusikan ke turbin.

#### 3. Header Air

Umpan Merupakan bejana baja berbentuk silinder dipasang di sekeliling dapur dan dibawah fire grade pada dinding depan boiler. Berfungsi untuk menampung air umpan dan selanjutnya didistribusikan ke pipa air pembangkit uap (*water wall*). Header dilengkapi dengan:

- a. *Hand Hole* untuk inspeksi dan perawatan.
- b. Pipa Drain untuk pembersihan kotoran-kotoran yang terakumulasi di *header –Blow Down*.

#### **4. Header Uap**

Header uap berfungsi sebagai penampung uap dari pipa air pembangkit uap dan selanjutnya mendistribusikan ke drum uap (drum atas). Biasanya berbentuk bejana silinder, tetapi ada juga yang berbentuk persegi empat.

#### **5. Tube Air Pembangkit Uap (*Generating Bank*)**

Generating bank berfungsi mengubah air menjadi uap dengan pemanasan gas panas dari dapur/*furnace*. Tube air pembangkit uap dipasang di sekeliling ruang dapur (*water wall*) dan di atas ruang dapur. Untuk menambah kapasitas uap, tube air pembangkit uap ini juga dipasang di bagian sebelah belakang dapur. Susunan pemasangan tube di desain untuk dapat menerima panas semaksimal mungkin.

#### **6. Pipa Air Turun (*Downcomer Pipe*)**

Pipa ini tidak mendapatkan pemanasan dari gas panas. Pipa memiliki fungsi untuk mengalirkan umpan boiler dari :

- a. Drum atas ke header (mechmar boiler).
- b. Drum atas ke drum bawah (takuma boiler).
- c. Drum bawah ke header (takuma boiler).

#### **7. Tube Superheater**

Berfungsi untuk menaikkan temperatur uap kering (*satured steam*) sampai temperatur uap superheat (280 C – 300 C). *Tube superheater* berisi uap yang berasal dari drum atas lalu dipanaskan gas panas dan selanjutnya didistribusikan ke header uap untuk seterusnya digunakan oleh turbin. Biasanya berbelok-belok yang mana ujung awal dihubungkan dengan uap drum atas sedang ujungnya berhubungan dengan header steam. Material pipa terbuat dari *low carbon steel* dengan campuran *molybdenum*.

## **8. Multicyclone Dust Collector**

Berfungsi untuk menangkap abu yang terbawa gas panas agar tidak langsung terbuang ke udara. Terdiri dari susunan cone yang akan menangkap abu berdasarkan prinsip gaya sentrifugal dimana abu yang lebih berat akan jatuh ke bawah dan gas panas akan dibuang ke cerobong. Abu yang ditangkap akan turun ke hopper dan penurunan ke bak penampung diatur oleh rotary valve.

## **9. Cerobong Asap (Chimney)**

Berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran dan menurunkan temperatur gas panas dari dapur (1000 C) tersebut sebelum dibuang ke udara (250 C – 300 C).

## **10. Ekonomizer**

Berfungsi untuk menaikkan temperatur air umpan dengan memanfaatkan sisa gas panas yang dialirkan melauai exchanger dan air umpan boiler dialirkan melalui peralatan ini. Keuntungan dari *ekonomizer* adalah:

- a. Mengurangi tegangan pada boiler pada saat air umpan dimasukkan (mengurangi perbedaan temperatur air umpan dengan air pada drum boiler)
- b. Meningkatkan efisiensi boiler.
- c. Pemakaian bahan bakar yang lebih efisien.

Pada PLTU, *economizer* merupakan salah satu komponen penting dan meningkatkan kinerja PLTU. *Economizer* juga disebut sebagai penukar panas itu adalah fungsi untuk memanaskan air umpan unit boiler. Perangkat ini digunakan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan juga meningkatkan efisiensi boiler secara keseluruhan. Ini bisa menjadi media perpindahan panas di antara gas buang dan air umpan. Kategori yang berbeda dari permukaan yang diperluas, seperti tonjolan kecil, yaitu sirip, dipasang ke tabung *economizer*. Aliran turbulen dari air umpan sangat memperkenalkan perpindahan panas dalam sirkulasi air umpan. Pada umumnya penurunan tekanan terjadi pada saluran sedangkan pada sudu lurus. Sebagian besar peneliti mempelajari berbagai jenis penukar panas tabung bersirip. (Sathish et al., 2021)

### **11 Pemanas Udara (*Air Heater*)**

Berfungsi untuk menaikkan temperatur pembakaran pada dapur boiler. Sisa gas panas dari ekonomiser kemudian dilakukan lagi melalui heat exchanger (penukar panas) yang dipasangkan pada ducting force draft fan (FD Fan) untuk menaikkan temperatur udara pembakaran yang dihembuskan pada dapur.

### **12 . Insulasi/*Refractory***

Berfungsi untuk mengurangi panas yang hilang yang disebabkan tingginya temperatur pada dapur boiler ( $\pm 1200$  C) serta menjaga keamanan lingkungan dan efisiensi boiler. Material *refractory* terbuat dari bahan castable/ramable digunakan diantara pipa dan dikunci/dikuatkan dengan stud.

### **13 . Peralatan Pemisah Air dan Uap**

Berfungsi untuk memisahkan butir-butir air yang masih terbawa oleh uap saat memasuki drum bagian atas yang terletak pada bagian dalam drum. Ada beberapa tipe yang umum digunakan:

- a. *Dry Pipe Uap* masuk secara tangensial, karena air lebih berat dari uap, pemisahan terjadi oleh gaya sentrifugal
- b. *Chevron Drier* Saat steam masuk, air yang terikut akan mengenai plate beralur dan mengalir ke bawah.
- c. *Cyclone Separator* Uap dimasukkan ke beberapa cyclone secara tangensial sehingga akibat kecepatan aliran air terpisah disebabkan oleh gaya sentrifugal.

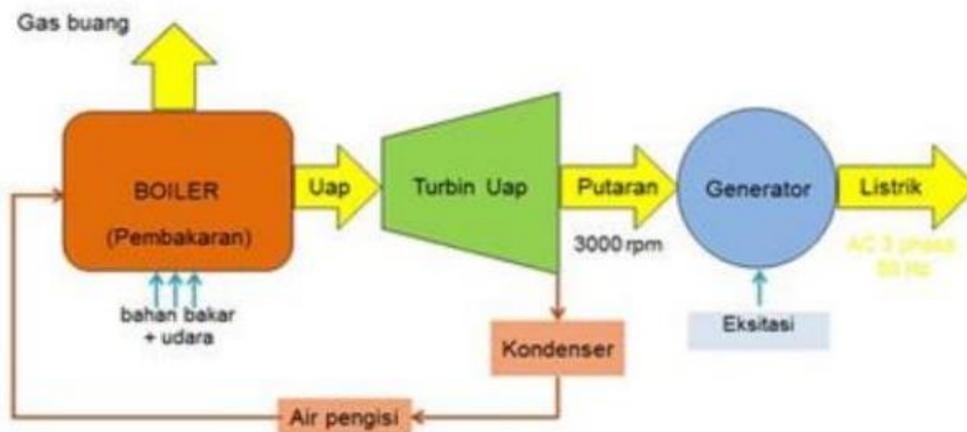
### **2.4. Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit**

Untuk memperoleh energi listrik terdapat tahapan-tahapan dari sumber bahan bakar menjadi energi listrik. Dari Gambar 2.3 terlihat bahwa cangkang dan serabut dimasukkan ke dalam ruang bakar digunakan sebagai bahan bakar untuk memanaskan ketel uap sehingga menghasilkan uap yang betekanan tinggi. Ketel uap yang digunakan dalam proses pembakaran limbah ini adalah tipe khusus yang menggunakan sistem grate. Berbeda dengan bahan bakar lain yang tidak menggunakan sistem grate.

Cangkang dan serabut ini dalam penggunaannya menggunakan 25% cangkang dan serabut 75%, hal ini dikarenakan spesifikasi boiler. Bila penggunaannya tidak sesuai maka akan merusak grate-nya. Setelah dari pembakaran cangkang dan serabut akan memanaskan air sehingga menghasilkan uap. Uap yang bertekanan tinggi dari boiler (20 kg/cm<sup>2</sup> 280 C) mengalir melalui *nozzle* yang sekaligus mengurangi tekanan uap sampai menjadi bertekanan (19 kg/cm<sup>2</sup> 260 C) diatur dengan efisiensi 85%.

Poros turbin berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi direduksi kecepatan putarnya oleh reduction gear yang dipasang antara turbin dan generator sehingga diperoleh sinkronisasi kecepatan antara turbin dan generator. Dan karena generator berputar maka akan menimbulkan medan magnet listrik sehingga akan membangkitkan tenaga listrik. Hasil sisa pembakaran dari cangkang dan serabut yaitu ash (debu) dibuang. debu hasil sisa pada pembakaran cangkang dan serabut ini masih banyak mengandung kalori yang saat ini sedang diteliti untuk dipergunakan menjadi pupuk, dimana abu hasil pembakaran cangkang dan serabut mengandung hara P = 1,74 – 2,61%, K = 16,6 – 24,9%, dan Ca = 7,1% (Indra Permata Kusuma, 2011).

Proses konversi limbah padat kelapa sawit menjadi energi listrik dan energi uap panas, terlihat pada Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4. Proses Konversi Limbah Padat Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik dan Energi Uap Panas (Kalor)

## 2.5. Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit

Proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO melalui beberapa tahapan yang memerlukan konsumsi energi listrik. Semakin besar kapasitas produksi, kompleksitas proses dan *automation*, konsumsi energi listrik yang di perlukan semakin tinggi. Parameter umum konsumsi energi listrik (*power consumption*) di pabrik pengolahan kelapa sawit yakni sebesar 9.450/21.300 kWh/ton TBS.

Penggunaan konsumsi energi listrik yang tinggi otomatis mempengaruhi biaya operasional yang semakin tinggi. Bila biaya operasional terhadap pemenuhan energi listrik yang tinggi lantas tidak diimbangi dengan peningkatan Produksi dan kapasitas pabrik, maka bakal menimbulkan kerugian yang besar. Oleh karenanya perlu dilakukan upaya guna mengidentifikasi penyebab tingginya penggunaan energi listrik di PKS. Dampak dari nilai konsumsi listrik yang diatas standar bisa mengindikasikan adanya pemborosan energi atau penggunaan beban yang besar, tetapi perlu pula ditinjau terlebih dahulu dari pembebanan yang ada, selain itu konsumsi listrik yang tinggi bisa menyebabkan tingginya biaya operasional jika penyumbang energi listrik banyak ditanggung dari generator.

### 1. Penyediaan Energi (*Power Plant*)

Pabrik kelapa sawit mampu mandiri memenuhi kebutuhannya. Limbah serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sawit digunakan untuk bahan bakar boiler sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik juga sumber uap untuk proses perebusan dan pengolahan. sumber energi yang terpasang pada parik kelapa sawit kapasitas 60 ton per jam adalah 4 Generator dan 1 diesel yang dapat beroperasi secara bergantian maupun bersama-sama.

Genset dengan kapasitas 500 kW dioperasikan untuk mensuplay kebutuhan domestik dan penerangan ketika pabrik dalam kondisi belum aktif dan turbin belum bisa bekerja. Genset dengan kapasitas 400 kW/625KVA dioperasikan untuk penyalaan dan proses pertama pabrik hingga pabrik menghasilkan *fiber* dan *shell* untuk bahan bakar boiler dan boiler mampu menghasilkan steam

dengan kapasitas yang diharapkan untuk menggerakkan steam turbin hingga menghasilkan energi listrik secara continue.

Turbin dapat beroperasi normal jika tekanan steam berkisar 18 – 21 bar. Jika tekanan kerja boiler menunjukkan tren penurunan hingga 15 bar maka turbin tidak mampu di bebani untuk proses pabrik dan akan terjadi trip sehingga untuk menjaga proses tidak berhenti secara mendadak, maka operator *engine room* segera mengaktifkan genset 400 kw untuk di sinkron dengan turbin. Jika keadaan ini sering terjadi konsekuensinya adalah naiknya biaya operasional akibat pemakaian solar dan menambah kecapekan operator boiler karena harus segera menyekrop bahan bakar ke dalam tungku boiler untuk meningkatkan panas pembakaran dan meningkatkan kembali tekanan steam yang seharusnya cukup di *supplay* dari *fuel feedeng konveyor*

## **2. Sistem Distribusi (*Distribution System*)**

System distribusi tenaga listrik pada pabrik kelapa sawit digambarkan secara sederhana dengan mengirimkan sumber power yaitu genset dan turbin pada *Main Switchboard*. *Main Switchboard* ini terhubung menjadi satu dengan Main Distribution Board yang dilengkapi dengan pengaman berupa OCR, UVR, EFR, RPR dan peralatan sinkron dan *switching* dan juga kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya. Kemudian melalui *Main Distribution Board* (MDB) akan di distribusikan menuju *Motor Control Centre* (MCC) dan *Sub Distribution Board* (SDB) pada masing - masing stasiun proses untuk kemudian mensuplay listrik pada beban berupa gear motor, pompa, fan. untuk beban penerangan, *Office* dan *domestic* akan di *supplay* dari *Sub Distribution Board* (SDB). Untuk beban yang letaknya jauh dari sumber yaitu *Raw Water Pump* dan *Effluent Treatment Plant*, *drop voltage* tegangan lebih dari 5% maka dipasang trafo Step-Up dan Step-Down untuk perbaikan tegangan.

## **3. Konsumsi Energi (*Power Consumption*)**

Untuk mengetahui karakteristik dan pemakaian beban listrik dapat dibaca dengan alat ukur yang terpasang dipanel kamar mesin berupa kW-meter dan amperemeter. Sedangkan energi listrik yang terpakai terukur melalui kWh-meter

yang terdapat dipanel masing-masing pembangkit. Beban bakal mengalami fluktuasi dan menyesuaikan kebutuhan daya terhadap mesin atau listrik yang digunakan masing-masing unit. Penggunaan daya listrik untuk proses pengolahan lebih dominan sebesar 77,62%. Beban domestik menempati urutan kedua mencapai 16,75%. Sedangkan beban lain berupa *head office*, kantor PKS, *Workshop* KB, dan penerangan jalan memiliki nilai yang kecil berkisar 0,5 - 3%. Sehingga penggunaan untuk beban ini tidak terlalu berpengaruh besar terhadap daya yang ditanggung terhadap pembangkit. Beban listrik untuk domestik cukup besar dalam menyumbang penggunaan daya listrik. Penggunaan daya listrik dari beban domestik ini ditanggung oleh PKS sehingga perhitungan konsumsi energi listrik terhadap kWh/ton TBS juga akan terpengaruh.

Kondisi pabrik, dalam keadaan mengolah dengan menggunakan operasional 2 line. Untuk beban Head Office, Workshop Kantor Besar, Office DB (PKS), Oil storage, Workshop DB (PKS), daya tidak secara terus menerus terhadap beban yang digunakan selama proses pengolahan berlangsung. Pada kondisi aktual untuk beban domestik, tingginya penggunaan listrik tercatat rata-rata pada pukul 17.30 - 21.00. Ini terjadi lantaran waktu tersebut adalah waktu istirahat dan kebanyakan masyarakat cenderung menggunakan listrik guna menyalakan lampu rumah, menonton televisi atau perangkat lain yang membutuhkan listrik. Sedangkan untuk proses pengolahan di pabrik kondisi operasional tetap stabil.

Adapun perbedaan daya listrik di pabrik digunakan untuk beban lampu penerangan. Pengaman pada panel domestik digunakan untuk memenuhi beban seluruh domestik. Saat satu jalur distribusi listrik dilakukan terhadap kantor dan perumahan, otomatis panel domestik tidak boleh dimatikan. Asumsi untuk beban domestik jika kebutuhan daya listrik untuk kantor tetap, sedangkan untuk beban perumahan dimatikan maka memberikan pengaruh terhadap konsumsi aktual. Asumsi ini tidak terikat terhadap penerapan waktu jika listrik perumahan dimatikan karena penggunaan listrik di PKS untuk domestik selama 24 jam. Dan asumsi ini bisa diterapkan jika hanya jalur distribusi listrik atau pengaman untuk perumahan dan kantor dipisahkan.

## 2.6. Analisis Bahan Bakar

Dipabrik kelapa sawit bahan bakar yang digunakan untuk boiler adalah cangkang dan *fiber* yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit itu sendiri. Dengan manajemen energi yang benar, operasional pabrik kelapa sawit tidak perlu dibantu genset, kecuali pada awal dan akhir olah, masing – masing selama  $\pm 1$  jam. Secara umum jumlah produksi uap yang dihasilkan dari nilai kalori bahan bakar yang tersedia, dapat dihitung dengan rumus :

Nilai Kalor untuk masing-masing komponen bahan bakar telah ditentukan oleh “*Blommendell*”, yaitu :

Bahan bakar Cangkang :

- Zat Padat Bukan Minyak : 4.700 kcal/kg Cangkang
- Minyak : 8.800 kcal/kg
- Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kcal/kg air

Bahan Bakar Fiber:

- Zat Padat Bukan Minyak : 3.850 kcal/kg Serabut
- Minyak : 8.800 kcal/kg
- Panas yang diperlukan untuk penguapan air adalah 600 kcal/kg air

Bila hasil Analisa ampas kempa diperoleh komposisi kandungan :

Komposisi	Cangkang %	Fiber%
- Kadar Zat Padat Bukan Minyak	82,85%	56,14%
- Kadar Minyak	1,06%	4,38%
- Kadar Air	16,09%	39,48%

Maka perhitungan nilai kalor (NK) dari cangkang dan fiber adalah :

Cangkang = (Zat Padat bukan Minyak x Kadar Zat Padat Bukan Minyak) + (Panas yang diperlukan penguapan air x Kadar Minyak) – (Panas yang diperlukan Penguapan air x Kadar air).....(2.6.1)

Dimana :

Zat Padat Bukan Minyak	: 4.700 kcal/kg Cangkang
Kadar Zat Padat Bukan Minyak	: 82,85%
Minyak	: 8.800
Panas yang diperlukan untuk penguapan air	: 600
Kadar Minyak	: 1,06
Kadar Air	: 16,09%

$$\text{Cangkang} = (\text{Zat Padat bukan Minyak} \times \text{Kadar Zat Padat Bukan Minyak}) + (\text{Panas yang diperlukan penguapan air} \times \text{Kadar Minyak}) - (\text{Panas yang diperlukan Penguapan air} \times \text{Kadar air}) \dots\dots\dots(2.6.2)$$

Dimana :

Zat Padat Bukan Minyak	: 4.700 kcal/kg Cangkang
Kadar Zat Padat Bukan Minyak	: 82,85%
Minyak	: 8.800
Panas yang diperlukan untuk penguapan air	: 600
Kadar Minyak	: 1,06
Kadar Air	: 16,09%

$$Q = \frac{\eta \times \text{BBB} \times \text{NK}}{\Delta \text{Enthalphy}} \dots\dots\dots(2.6.3)$$

Dimana :

Q	= Produksi Uap (Kg/Jam)
n	= Efisiensi Boiler (Kg uap/Kg BB)
BBB Cangkang	= Berat Bahan Bakar Cangkang (Kg Cangkang/jam)
BBB Serabut	= Berat Bahan Bakar Serabut (Kg Serabut/jam)
NK Cangkang	= Nilai Kalor Cangkang (kcal/kg Cangkang)
NK Serabut	= Nilai Kalor Serabut (kcal/kg Serabut)
$\Delta$ enthalphy	= 620,87 kkal/kg

1. Dalam turbin uap energi (enthalpy) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator akhirnya energi pada turbin uap ini dapat dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.(Wibisono et al., 2018.)

$\Delta$  enthalpy merupakan perbedaan enthalpy uap dan enthalpy air masuk. Pada temperature uap ( $t_u$ ) = 280° C dan tekanan uap ( $P$ ) = 20 kg/cm<sup>2</sup> ( $I = 710,9$ ), temperature air masuk ( $t_a$ ) = 90° C ( $I = 90,03$ ), maka enthalpy = 710,9 – 90,3 = 620,87 Kcal/kg (Pedoman Oprasional Pengolahan Kelapa Sawit, n.d.)

## 2. Enthalpi dan perubahan Enthalpi

Entalpi merupakan energi kimia yang terkandung di dalam suatu sistem.

- Entalpi suatu sistem tidak dapat diukur, yang dapat diukur adalah perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yang menyertai perubahan sistem tersebut.
- Entalpi juga diartikan sebagai jumlah kalor dalam suatu zat.
- Perubahan entalpi adalah perubahan kalor yang terjadi pada suatu reaksi kimia.

Perubahan entalpi adalah perubahan energi yang menyertai peristiwa perubahan kimia pada suhu dan tekanan tetap/tertentu. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta H = H_P - H_R \text{ atau dirumuskan sebagai: } \Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}$$

Dimana:

$\Delta H$  = perubahan entalpi,

$H_P$  = entalpi produk,

$H_R$  = entalpi reaktan

Kita telah melihat bahwa entalpi reaksi bergantung pada jumlah zat yang bereaksi. Dalam pencatatan data termodinamika, diperlukan cara tertentu yang mengaitkan jumlah kalor dengan jumlah zat yang terlibat. Untuk keperluan itulah didefinisikan besaran entalpi molar. Entalpi molar dikaitkan pula dengan jenis reaksinya, seperti reaksi pembentukan, peruraian, dan pembakaran. Entalpi molar dinyatakan dengan satuan kJ mol<sup>-1</sup>. Perlu diperhatikan bahwa kalor reaksi juga dipengaruhi kondisi pengukurannya, yaitu suhu dan tekanan. Umumnya data termodinamika ditentukan pada kondisi 25°C, 1 atm. Kondisi itu selanjutnya dinyatakan sebagai kondisi standar. Perubahan entalpi reaksi yang ditentukan pada kondisi standar dinyatakan sebagai perubahan entalpi standar dan dinyatakan dengan lambang  $\Delta H^\circ$  atau 298.

Perubahan entalpi reaksi yang tidak merujuk kondisi pengukurannya dinyatakan dengan lambang saja.

## 2.7. Analisis Energi Listrik

Dengan semakin meningkatnya penggunaan energi sejalan dengan berkembangnya perekonomian dan industri, maka disadari pula pentingnya penghematan energi pada sisi pemakai. Sementara pada saat yang bersamaan, kemampuan penyediaan listrik oleh negara melalui PT. PLN (Persero) masih terbatas, bahkan terdapat indikasi bahwa kemampuan tersebut mulai menurun. Salah satu penyebab penurunan kemampuan pemasokan tersebut adalah karena sebagian besar pembangkit tenaga listrik yang dimiliki oleh PT PLN (Persero) menggunakan bahan bakar fosil, yaitu minyak atau batubara, sebagai sumber energi penggerakannya, sementara ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis. Untuk menjamin ketahanan dan kecukupan pasokan energi di dalam negeri, dalam rangka memelihara kelangsungan perekonomian nasional, yang diikuti dengan Peraturan Menteri No. 31 tahun 2005

tentang tata cara pelaksanaan penghematan energi, yang mengatur konservasi energi pada instansi pemerintah dan masyarakat pada umumnya. Untuk mengimplementasikan penghematan energi sesuai dengan sebaiknya keberhasilan negara lain seperti Jepang dan Thailand dalam melakukan penghematan energi dengan pemberian insentif melalui bantuan audit energi pada sektor industri, patut ditiru. Audit energi pada industri di Indonesia sudah sangat perlu dilakukan untuk mengidentifikasi peluang konservasi dan efisiensi dalam pemakaian energi di sektor industri. (Sihombing et al., 2014)

Energi merupakan hal yang terpenting dalam suatu industri, termasuk industri pertanian. Dalam kegiatan usaha industri diperlukan input produksi pada tiap-tiap tahapan proses. Input produksi ini dapat dikonversi ke dalam bentuk satuan energi, yaitu energi langsung, energi tak langsung (*embodied energy*), dan energi manusia. Bentuk energi langsung adalah bahan bakar fosil, seperti bensin, minyak diesel, minyak tanah, LPG, dan energi listrik.

Sedangkan bentuk energi tidak langsung adalah energi yang dibutuhkan untuk memproduksi bibit tanaman, pupuk, pestisida, bahan-bahan lainnya yang berhubungan dengan proses produksi untuk memproduksi peralatan dan mesin. Energi yang sering digunakan dalam bidang industri adalah energi listrik. Hal ini dikarenakan energi listrik memiliki keunggulan sebagai berikut :

- a) Efisiensi tinggi.
- b) Peralatan penggerak lebih kecil.
- c) Mudah dalam instalasinya.
- d) Putaran lebih mudah diatur.

Analisis energi listrik bertujuan untuk menghitung nilai energi listrik yang digunakan dalam setiap tahap di dalam suatu sistem produksi secara keseluruhan. Analisis tersebut dapat digunakan untuk memahami dan memperbaiki bagaimana, dimana, dan bila energi listrik digunakan secara efektif dan efisiensi. Pelaksanaan metode analisis proses di pabrik kelapa sawit mencakup analisis energi listrik keseluruhan yaitu sejak penerimaan bahan baku hingga proses pengolahan atau sejak proses penerimaan tandan buah segar (TBS) di pabrik hingga proses pengolahan minyak sawit (CPO).

Dengan analisis ini diharapkan akan mendapat gambaran seberapa jauh pemakaian energi listrik per kilogram output (intensitas energi). selain itu, analisis proses akan dapat memberikan aliran energi listrik berdasarkan tahapan proses, sehingga memungkinkan untuk mengetahui adanya pemborosan energi listrik pada tahap tertentu. Hal ini sangat penting dalam membantu usaha penghematan energi listrik dan menghasilkan proses produksi yang hemat energi listrik.

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU

Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik, turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBS}}{30} \dots\dots\dots(2.7.1)$$

Dimana :

W = Energi Listrik (joule)

$Q_{BBS}$  = Berat Bahan Bakar Serabut (kg uap/jam)  
 30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU

Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik, turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBS}}{30} \dots\dots\dots(2.7.2)$$

Dimana :

$W$  = Energi Listrik (joule)  
 $Q_{BBS}$  = Berat Bahan Bakar Cangkang (kg uap/jam)  
 30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

Secara umum energi listrik didekati dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$EL = \frac{P \times E_{fm} \times PF \times 3600}{M} \dots\dots\dots (2.7.3)$$

Dimana :

$EL$  = Energi Listrik (Kj/Kg)  
 $P$  = Daya Peralatan / Motor (kW)  
 $E_{fm}$  = Faktor Efisiensi (%)  
 $M$  = Kapasitas Produksi (Kg/jam)

Untuk menghitung daya listrik (fasa tiga) digunakan rumus:

$$P = \sqrt{3 \times V \times I \times \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.7.4)$$

Dimana:

$P$  = Daya listrik (kW)  
 $V$  = Tegangan (volt)  
 $I$  = Arus (ampere)  
 $\cos \varphi$  = Faktor daya

### 2.7.1. Aliran Daya

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horse power (HP), Horse power merupakan satuan daya listrik dimana 1HP setara 746 Watt atau 1 bft/second (Roza, n.d.)

### 1. Daya Aktif

Daya (*Active Power*) adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam satuan Watt atau Horse power (HP), Horse power merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 Watt atau 1 bft/second.

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (1)$$

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2)$$

### 2. Daya Reaktif

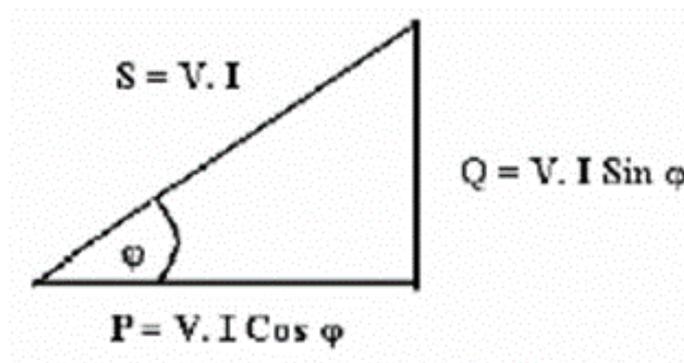
Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Dari pembentukan medan magnet maka akan terbentuk fluks medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah transformator, motor, lampu pijar dan lain-lain. Satuan daya reaktif adalah

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \varphi \dots\dots\dots (4)$$

### 3. Daya Nyata

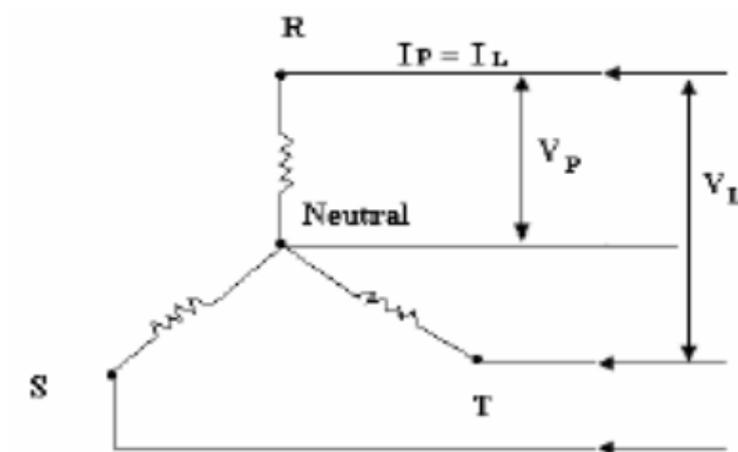
Daya nyata (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan rms dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Satuan daya nyata adalah VA.



Gambar 2.7.1.1. Daya Nyata

Sedangkan untuk rangkaian tiga fasa mempunyai 2 bentuk hubungan yaitu:

- Hubungan Wye (Y)



Gambar 2.7.1.2. Hubungan Bintang

Dimana :

$$V_{RS} = V_{RT} = V_{ST} = V_L$$

;

Tegangan antar fasa

$$V_{RN} = V_{SN} = V_{TN} = V_P$$

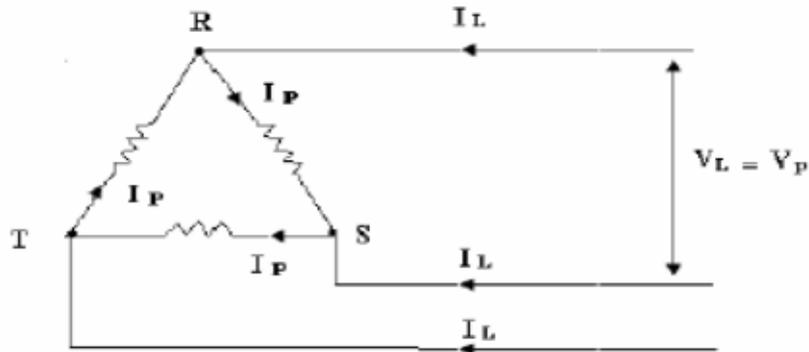
$$I_R = I_S = I_T = I_L \text{ (IP)} ; \text{ Arus fasa / Arus saluran}$$

Bila  $I_L$  adalah arus saluran dan  $I_P$  adalah arus fasa, maka akan berlaku hubungan:

$$I_L = I_P \dots \dots \dots (5)$$

$$V_L = 3 V_P \dots \dots \dots (6)$$

- Hubungan Delta  $\Delta$



Gambar 2.7.1.3. Hubungan Bintang.

Dari kedua jenis rangkaian di atas, untuk mendapatkan daya tiga phasanya maka:

$$S(3) = 3 \cdot V_L \cdot I_L \dots \dots \dots (7)$$

#### 4. Faktor Daya

Faktor daya ( $\cos \phi$ ) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam  $\cos \phi$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Nyata} \\ (S) &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V \cdot I \cos \phi \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

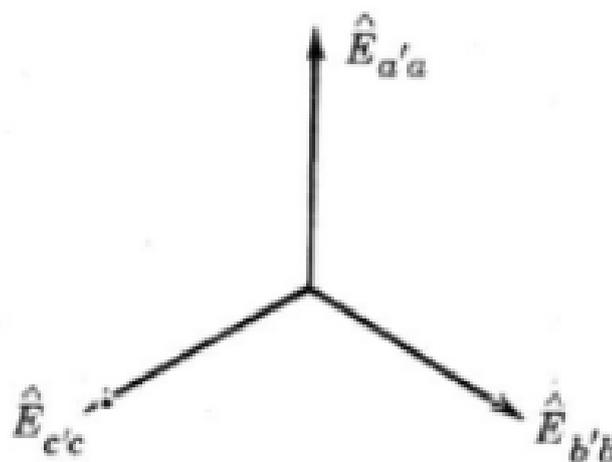
### 2.7.2. Sistem 3 Fasa

Pembangkitan, transmisi dan pemakaian daya besar dari tenaga listrik bolak-balik hampir pasti melibatkan sejenis sistem atau rangkaian yang disebut sistem fasa banyak atau rangkaian fasa banyak. Dalam sistem demikian ini tiap sumber terdiri atas satu kelompok tegangan yang mempunyai ukuran besar dan sudut fasa yang berkaitan. Jadi sebuah sistem dengan n-fasa akan menggunakan sumber tegangan yang secara konvensional terdiri dari n-tegangan dengan magnitude yang sama dan berturut-turut berbeda fasa sebesar  $360^\circ/n$ . Sebuah sistem 3 fasa akan menggunakan sumber tegangan yang secara konvensional terdiri atas tiga buah tagangan dengan magnitude yang sama dan berbeda fasa sebesar  $120^\circ$ . Masing-masing tegangan dari sumber 3 fasa dapat dihubungkan dengan rangkaian

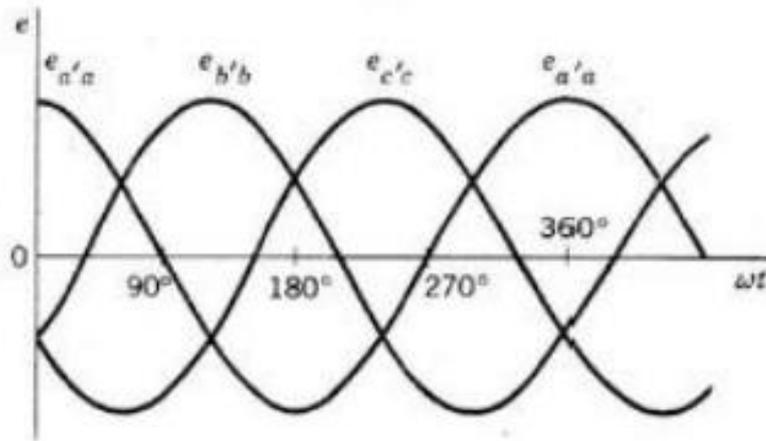
berlainan, dengan demikian dapat dibentuk menjadi tiga buah sistem satu fasa yang terpisah. Selain itu, seperti akan diperhatikan pada bagian “a” Gambar , dapat dibuat hubungan listrik simetris antara ketiga tegangan dan rangkaian yang bersangkutan untuk membentuk sebuah sistem tiga fasa (Rinto et al., n.d.)

### 2.7.3. Tegangan 3 Fasa

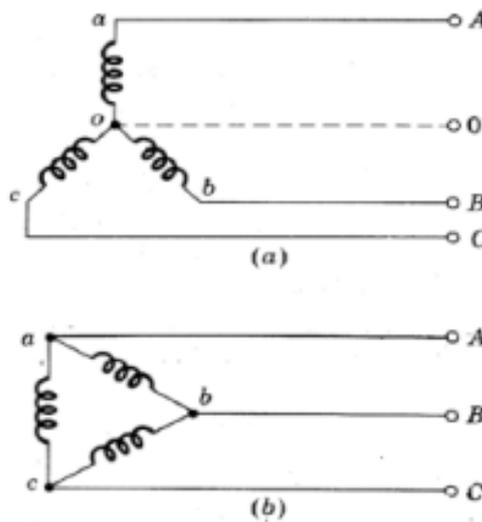
Sistem tiga fasa ada tiga buah gelombang sinusoidal dengan perbedaan sudut sebesar  $120^\circ$  listrik dalam waktu sebagai akibat dari perbedaan tersebut maka perbedaan antar fasa sebesar  $120^\circ$  dalam ruang. Diagram fasor yang bersangkutan terlihat pada Gambar 1. Umumnya tidak awal waktu sumbu patokan pada diagram pada Gambar 1 dan Gambar 2 terdapat dua kemungkinan penggunaan tegangan yang dibangkitkan secara demikian ini. Didalam sistem pembangkitan terdapat enam buah terminal diantaranya ialah  $a, a', b, b', c,$  dan  $c'$  pada rangkaian dapat dihubungkan pada sistem tiga fasa yang berlainan, atau ketiga fasa terdiri dari rangkaian dapat saling dihubungkan dan dipergunakan untuk mencari catu daya 3 fasa. Ketiga fasa dari rangkaian dapat saling dihubungkan dalam dua cara yaitu hubungan  $Y$  dan  $\Delta$  dapat dilihat dari Gambar 1 terminal  $a', b'$  dan  $c'$  dapat digabungkan membentuk netral 0, dengan menghasilkan suatu hubungan  $Y$ , atau terminal  $a$  dan  $b', b$  dan  $c', c$  dan  $a'$  dapat digabungkan sendiri-sendirinya, menghasilkan suatu hubungan  $\Delta$ .



Gambar 2.7.3.1. Diagram Fasor Tegangan yang dibangkitkan



Gambar 2.7.3.2. Gelombang Tegangan 3 Fasa



Gambar 2.7.3.3. Hubungan Y dan  $\Delta$

## 2.8. Sarana Pendukung Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit PKS Bah Jambi

Sarana pendukung adalah sarana yang diperlukan untuk memperlancar jalannya proses produksi PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Sarana pendukung di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi diantaranya adalah stasiun penyediaan uap (*boiler*), stasiun kamar mesin (*power house*), pembangkit tenaga listrik (*steam engine*), stasiun penyedia air (*water treatment & demin plant*).

## 2.9. Manajemen Energi

Energi dalam dunia industri sangat penting karena energi tersebut dapat dikonversikan ke berbagai bentuk energi lain. Untuk memenuhi kebutuhan uap

pada bagian pengolahan dan pembangkit tenaga listrik, dibutuhkan mesin pendukung yang dapat menghasilkan uap panas. Sarana penyediaan energi di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi adalah Stasiun Ketel Uap (*boiler*) dan Stasiun Kamar Mesin (*power house*).

### 2.9.1. Stasiun Ketel Uap (Boiler)

Stasiun ketel uap (*boiler*) merupakan sumber energi uap yang akan digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik. Sistem yang digunakan terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. PTPN IV Unit PKS Bah Jambi mempunyai 3 unit boiler, tetapi hanya 2 saja yang dipakai, sedangkan 1 unit lagi sebagai cadangan (*stand by*). Kapasitas uap boiler adalah 20 ton uap/jam, kapasitas air umpan 20 ton/jam, dan kapasitas uap produksi 30 ton uap/jam. Bahan bakar menggunakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit yaitu cangkang dan serabut. Jenis ketel uap yang digunakan adalah jenis ketel uap pipa air (*boiler water tube*) dimana air yang di panaskan berada dalam pipa dan berubah menjadi uap (*steam*) secara terus menerus. sedangkan gas panas hasil pembakaran mengalir melalui sela-sela pipa.



Gambar 2.10.1. Ruang Bahan Bakar Boiler Pada Stasiun Boiler

### 2.9.2. Stasiun Kamar Mesin (*Power House*)

Didalam kamar mesin terdapat mesin pembangkit energi listrik atau *power plant* yang merupakan bagian stasiun pusat tenaga dimana tenaga listrik diperoleh,

pembangkit listrik tenaga diesel yang mempunyai bahan bakar solar dan pembangkit listrik tenaga uap (turbin uap) yang menggunakan uap sebagai tenaga penggerak.

### 1. Turbin Uap

Turbin uap merupakan alat untuk mengkonversikan energi dari *steam* menjadi energi mekanis (putaran) untuk membangkitkan energi listrik melalui alternator. Rangkaian pembangkit listrik tenaga uap terdiri dari 1 unit turbin uap, 1 unit sudu sudu turbin, 1 gear box, dan 1 unit alternator. PTPN IV Unit PKS Bah Jambi melakukan sinkronisasi terhadap turbin uap dan diesel genset. Artinya, pada saat melalui proses pengolahan, diesel dioperasikan terlebih dahulu. Kemudian jika sinkronisasi berhasil, beban genset di turunkan dan beban turbin uap dinaikkan. Frekuensi dan voltase turbin adalah 50 Hz dan 390 volt. Uap yang digunakan pada turbin uap merupakan uap kering.



Gambar 2.10.2.1. Turbin Uap No.4 Kapasitas 1400 KVA

### 2. Panel Kontrol

Panel kontrol adalah lemari pembangkit untuk mendistribusikan tenaga listrik ke stasiun-stasiun di dalam pabrik dan peralatan lain yang menggunakan listrik. Panel ini dilengkapi dengan saklar-saklar pembagi ke stasiun-stasiun, kapasitor, syncroizer, dan alat-alat ukur listrik.



Gambar 2.10.2.3. Panel Utama Kamar Mesin

### 3. *Back Presseur Vessel (BPV)*

Jika *steam* (uap) yang dibutuhkan tidak mencukupi, dapat dibantu dengan mengalirkan uap langsung dari turbin yang dikirim melalui *kran bypass*. Uap sisa dari turbin yang masuk ke BPV akan dikonversikan menjadi uap basah dengan cara menginjeksikan air. Tekanan *steam* yang digunakan dalam proses pengolahan adalah 2,8 – 3,5 kg/cm<sup>2</sup>. *Back Presseur Vessel* berfungsi untuk mengumpulkan uap dari turbin yang mempunyai tekanan 3,0 kg/cm<sup>2</sup> dan akan didistribusikan kepada unit yang membutuhkan uap. PTPN IV Unit PKS Bah Jambi memiliki *Back Presseur Vessel* yang dilengkapi dengan manometer, thermometer, dan *bypass* yang dilengkapi dengan *reducer valve*. Alat ini adalah bejana tekanan yang menampung *exhaust system* dari turbin uap untuk disalurkan ke stasiun-stasiun pengolahan yang membutuhkan steam terutama pada stasiun perebusan. *Supply* utama berasal dari *steam* bekas turbin uap.

Dalam pengoperasian *Back Presseur Vessel* perlu memperhatikan faktor-faktor agar tidak terjadi kesalahan (kerusakan dan bahaya) diantaranya yaitu menjaga tekanan *Back Presseur Vessel* pada tekanan 2,8 – 3,5 kg/cm<sup>2</sup>, membuang uap jika tekanan melebihi 3,5 kg/cm<sup>2</sup>, dan mengatur distribusi steam agar semua proses pengolahan berjalan lancar.



Gambar 2.10.2.4. *Back Presseur Vessel* (BPV)

### 2.9.3 Penyediaan Air

Penyediaan air merupakan hal terpenting dalam pabrik kelapa sawit guna mendukung proses pengolahan kelapa sawit berjalan lancar. Sarana penyediaan air di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi terdiri dari Stasiun *Water Treatment* dan Stasiun *Demin Plant*.

#### 2.9.3.1. Stasiun *Water Treatment*

Untuk memenuhi standar kegiatan pabrik terutama air untuk boiler harus memenuhi standar tertentu untuk menghindari sifat korosi. Korosi yang terjadi pada boiler disebabkan terutama oleh pH dan oksigen. Oleh karena pH harus dipertahankan pada nilai 10,5 – 11,5 pH. Pengurangan oksigen dilakukan dengan proses deaerasi yang efektif dan bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan oksigen adalah sulphite. Pengendalian korosi di boiler dilakukan dengan menggunakan bahan kimia (*sludge conditioner*). Proses pengolahan air mencakup pengoperasian, penjernihan, penyaringan, dan pelunakan. Proses pengolahan air akan didistribusikan untuk air domestik, yaitu air yang digunakan di kegiatan pabrik dan pemukiman penduduk (karyawan). Dalam water treatment dikenal dengan istilah internal water treatment yaitu proses pengolahan air untuk memenuhi operasional pabrik.

Proses pengolahan air terdiri dari:

1. *Internal Water Treatment*

- a. *Water Clarifier Tank*
- b. *Bak Water Basin*
- c. *Sand Filter*
- d. *Menara Air*

2. *External Water Treatment*

- a. *Raw Water Treatment*
- b. *Sedimentasi*
- c. *Floculation dan Coagulation*
- d. *Filtration*
- e. *Demineralitation*

**2.9.3.2 Stasiun *Demin Plant***

*Demint plant* adalah stasiun yang berfungsi untuk memurnikan air dari mineral-mineral yang terdiri dari *Anion Exchanger* dan *Cation Exchanger*. *Anion Exchanger* berfungsi untuk menukar garam terhadap hidrolisis, sedangkan *Cation Exchanger* berfungsi untuk menukar mineral-mineral terhadap asam.

Fasilitas yang terdapat pada stasiun demin plant adalah:

- a. *Cation Tank*
- b. *Anion Tank*
- c. *Boiler Feed Water Tank*



Gambar 2.10.3.2. *Stasiun Demin Plant*

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, yang dimulai dari sejak 24 November 2022 s/d 12 Mei 2023 yang meliputi studi Pustaka, Pengambilan data dan Analisa data, sedangkan tempat penelitian di PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI Kec. Jawa Maraja Bah Jambi, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara 21174

#### **3.2. Metode Pengambilan Data**

Dalam penulisan Skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

##### **1. Studi Literatur**

Pada tahapan ini dilakukan pencarian bahan untuk pendalaman materi guna menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian bahan pustaka dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir.

##### **2. Pengambilan Data Lapangan**

Melakukan pengamatan data yang diberikan ditinjau dari Jumlah Potensi Cangkang dan serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi Terhadap Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit.

- a. Wawancara Teknik pengumpulan data dengan mengadakan komunikasi langsung terhadap pihak perusahaan yang berwenang untuk memberikan informasi dan data yang dibutuhkan dalam penulisan laporan akhir ini.
- b. Riset/Pengumpulan Data Tertulis Riset dilakukan untuk pengambilan data yang dibutuhkan guna melengkapi data dari penulisan laporan tugas akhir. Pengambilan data dilakukan guna memenuhi tujuan dan manfaat dari penelitian ini.

3. Metode Analisis dan Kesimpulan Melakukan analisis dari semua data yang diperoleh dan mengambil kesimpulan akhir keseluruhan proses yang telah dilakukan

### 3.3. Sumber Data

Data pada tugas akhir ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari PTPN IV PKS Bah Jambi dan melalui wawancara dengan pihak terkait. Sedangkan data sekunder didapatkan dari berbagai literatur, jurnal, dan media elektronik.

### 3.4. Data Penelitian

Data yang dianalisis adalah data komposisi bahan bakar , data rendamen terhadap TBS (material balance), data pembangkit tenaga listrik, dan data hasil pengamatan panel listrik utama. Data-data tersebut didapat dari pengambilan data di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi dan data sekunder (literatur, jurnal, dan media elektronik).

### 3.5. Data Komposisi Bahan Bakar

Pengambilan data komposisi bahan bakar di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Data diperoleh di Laboratorium yang meliputi Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar (Tabel 3.5.1.), Komposisi Kandungan Bahan Bakar (Tabel 3.5.2.) dan Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar (Tabel 3.5.3) di bawah ini:

Tabel 3.5.1. Nilai Kalor Komponen Bahan Bakar

Bahan Bakar	Cangkang (kkal/Kg)	Serabut (kkal/kg)
Kadar Zat Padat Bukan Minyak	4.700	3.850
Kadar Minyak	8.800	8.800
Kadar Air	600	600

Tabel 3.5.2. Komposisi Kandungan Bahan Bakar

Komposisi	Cangkang (%)	Serabut (%)
% Terhadap TBS	7,00 %	14,00 %
Kadar Zat Padat Bukan Minyak	82,85 %	56,14 %
Kadar Minyak	1,06 %	4,38 %
Kadar Air	16,08 %	39,48 %

Tabel 3.5.3 Jumlah Nilai Komposisi Kandungan Bahan Bakar

Komposisi	Cangkang (Kg)	Serabut (Kg)
Kadar Zat Padat Bukan Minyak	$82,85 \% \times 1.950$ = 1.615.575	$56,14 \% \times 4.200$ = 2.357,88
Kadar Minyak	$1,06 \% \times 1.950$ = 0.020.67	$4,38 \% \times 4.200$ = 0.183.96
Kadar Air	$16,08 \% \times 1.950$ = 0.313.56	$39,48 \% \times 4.200$ = 1.658.16

### 3.6. Data Cangkang Dan Serabut (fiber)

Berikut data Cangkang Dan Serabut harian yang terdapat di pabrik kelapa sawit bah jambi pada bulan Desember.

Tabel.3.6.Data Cangkang Dan Serabut

Tanggal	Waktu	Produksi Cangkang	Produksi Fiber
Kamis, 01/12/2022	06.30 - 24.00	66079	132.158
Jum'at, 02/12/2022	06.30 - 24.00	34452	68.904
Sabtu, 03/12/2022	06.30 - 24.00	60024	120.048
<b>Minggu, 04/12/2022</b>			
Senin, 05/12/2022	06.30 - 24.00	58617	117.234
Selasa, 06/12/2022	06.30 - 24.00	66079	132.158
Rabu, 07/12/2022	06.30 - 24.00	66053	132.106
Kamis, 08/12/2022	06.30 - 24.00	70556	141.112
Jum'at, 09/12/2022	06.30 - 24.00	49840	99.680
sabtu, 10/12/2022	06.30 - 24.00	36029	72.058
<b>minggu, 11/12/2022</b>			
Senin, 12/12/2022	06.30 - 24.00	61598	123.196
Selasa, 13/12/2022	06.30 - 24.00	60024	120.048
Rabu, 14/12/2022	06.30 - 24.00	60048	120.096
Kamis, 15/12/2022	06.30 - 24.00	67527	135.054
jum'at, 16/12/2022	06.30 - 24.00	61525	123.050
Sabtu, 17/12/2022	06.30 - 24.00	64526	129.052
Minggu, 18/12/2022	06.30 - 24.00	30096	60.192
Senin 19/12/2022	06.30 - 24.00	61405	122.810
<b>Selasa, 20/12/2022</b>			
Rabu, 21/12/2022	06.30 - 24.00	67581	135.162
Kamis, 22/12/2022	06.30 - 24.00	67527	135.054
Jum'at, 23/12/2022	06.30 - 24.00	33026	66.052
<b>Sabtu, 24/12/2022</b>			

Minggu 25/12/2022	06.30 - 24.00	12042	24.084
<b>Senin, 26/12/2022</b>			
Selasa, 27/12/2022	06.30 - 24.00	61574	123.148
Rabu, 28/12/2022	06.30 - 24.00	64552	129.104
Selasa, 29/11/2022	06.30 - 24.00	63076	126.152
Kamis, 30/12/2022	06.30 - 24.00	66106	132.212
Jum'at, 31/12/2022	06.30 - 24.00	63827	127.654

### 3.7.Data Pembangkit Tenaga Listrik

Pengambilan data pembangkit tenaga listrik di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Pengambilan data dilakukan di Stasiun Kamar Mesin (Power House) dapat dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini:

Tabel 3.7. Spesifikasi Mesin Pembangkit Tenaga Listrik

No	Peralatan/Mesin Pembangkit	Jumlah Unit	Merk/Buatan	Type	Kapasitas
1.	Turbin Uap No.1	1	Coppus	RLHA 24	1.264 kW
2.	Turbin Uap No.2	1	NJ.Nadrowsky GMBH	C-4S-G- VI	795 kW - 850 kW
3	Turbin Uap No.3	1	Coppus	RL HA 24	1.264 kW
4	Turbin Uap No.4	1	SHINCO	RB 5	1.400 kW
5	Transformator (PLN)	1	Siemens	KOU412/20 (Trafo Step	900 KVA
6	Transformator (PLN)	1	Berghman Berlin	RD0802/15 (Trafo Step dwon)	800 KVA
7	Boiler	1	Takuma/N1000	Takuma/N1098	35 ton Uap/jam
8	Boiler	1	Takuma/N600SA	Takuma/N1103	20 ton Uap/jam
9	Boiler	1	Takuma/N600SA	Takuma/N1035/SAS/1103	20 ton Uap/jam

### 3.8. Data Hasil Pengamatan Panel Listrik Utama

Pengambilan data hasil pengamatan panel listrik utama di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Pengambilan data dilakukan di Setiap stasiun dalam 1 hari pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut:

Tabel 3.8 Tegangan, Cos  $\phi$ , dan Arus Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama

Kegiatan	Tegangan Listrik Terukur (V)	Cos $\phi$	Arus Listrik
Pengolahan TBS			
Penerima buah & Perebusan	380	0.8	7,9
St.Penebah	380	0.8	2,4
St.Kempa	380	0.8	7,5
St.Minyakan	380	0.8	8,5
St.Biji	380	0.8	12

### 3.9. Prosedur Penelitian

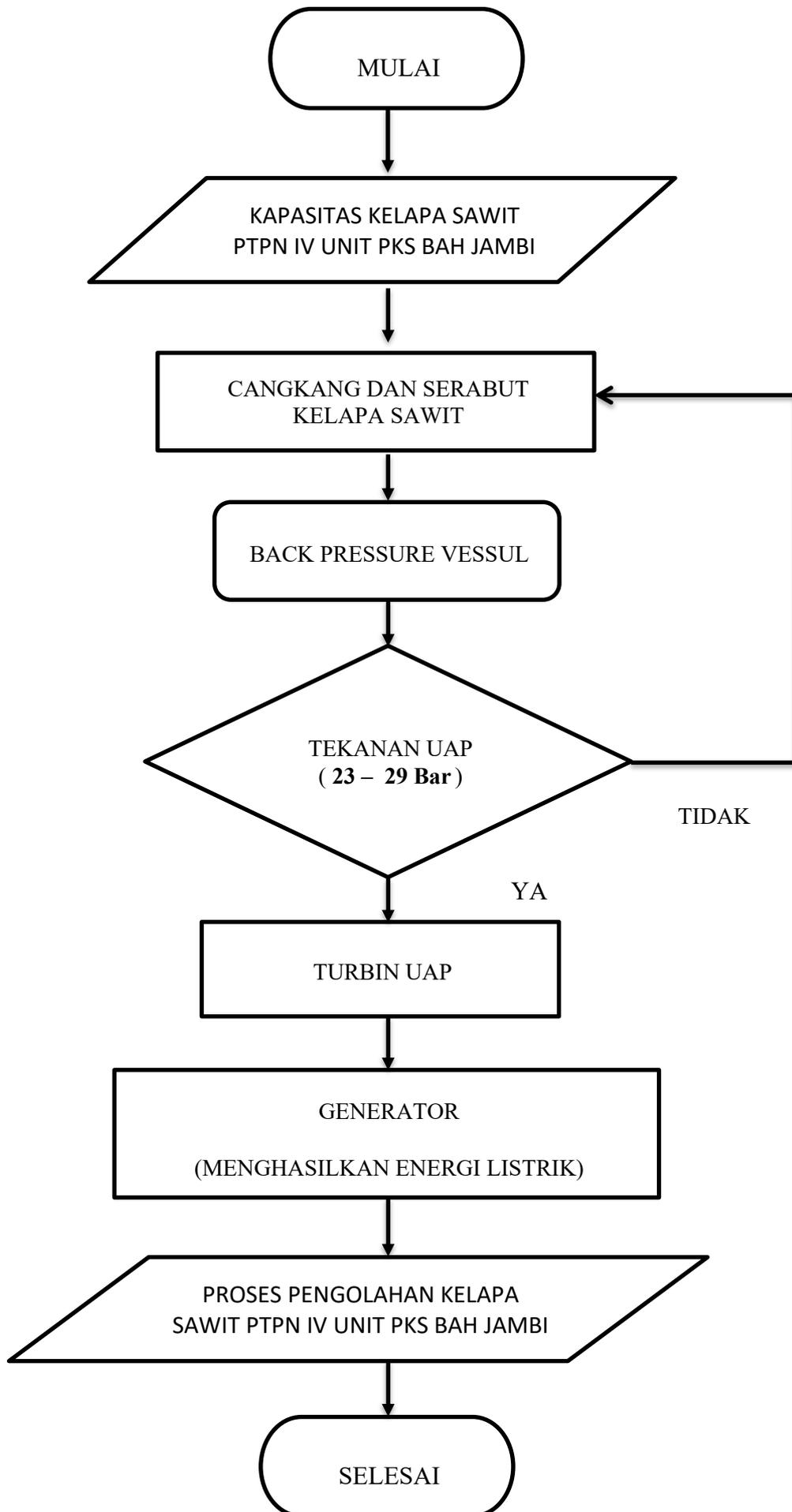
Penelitian dan pengambilan data direncanakan akan dilakukan pada bulan November 2022 sampai Februari 2023 bertempat di PKS Bah Jambi Kec. Jawa Maraja Bah Jambi, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara 21174.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dan diketahui dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Menentukan Topik Penelitian
2. Studi Literatur
3. Pembuatan Proposal
4. Pengambilan Data
5. Analisa Data
6. Laporan Tugas Akhir

### **3.10. Diagram Alir**

Diagram alir merupakan sebuah diagram dengan symbol-simbol grafis yang menyatakan aliran algoritma atau proses yang menampilkan langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. Diagram Alir membantu analisis untuk memecahkan masalah kedalam segmen-segmen yang lebih kecil dan membantu dalam menganalisis alternatif-alternatif lain dalam pengoperasian. Diagram alir biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah khususnya masalah yang perlu dipelajari dan dievaluasi lebih lanjut.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar

PKS Bah Jambi mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 60 ton Tbs/Jam yang terdiri dari dua line TBC. Bahan Bakar yang dihasilkan dari cangkang dan serabut yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler. Untuk mengetahui jumlah kapasitas cangkang dan serabut menjadi bahan bakar boiler pada PLTU di PKS Bah Jambi diuraikan perhitungan sebagai berikut:

Hari Kamis, 01/12/2022

##### 1.a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 66.079.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.625.530 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

##### b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 132.158.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.502.120 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.625.530 \text{ Kg/jam} + 18.502.120 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.127.650 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.625.530 kg/jam dan serabut sebesar 18.502.120 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.127.650 kg/jam.

Hari Jum'at, 02/12/2022

2.a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 34.452.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 2.411.640 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 68.904.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 9.646.560 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 2.411.640 \text{ Kg/jam} + 9.646.560 \text{ Kg/jam} \\ &= 12.058.200 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 2.411.640 kg/jam dan serabut sebesar 9.646.560 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 12.058.200 kg/jam.

Hari Sabtu, 03/12/2022

3.a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 60.024.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.201.608 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 120.048.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 16.806.720 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.201.608 \text{ Kg/jam} + 16.806.720 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.008.328 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.201.608 kg/jam dan serabut sebesar 16.806.720 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.008.328 kg/jam.

Hari Senin, 05/12/2022

5.a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 58.617.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.103.190 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 117.234 .000\text{Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 16.412.760 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.103.190 \text{ Kg/jam} + 16.412.760 \text{ Kg/jam} \\ &= 20 515.950 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.103.190 kg/jam dan serabut sebesar 16.412.760 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 20.515.950 kg/jam.

Hari Selasa, 06/12/2022

6 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 66.079.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.625.530 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 132.158.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.502.120 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.625.530 \text{ Kg/jam} + 18.502.120 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.127.650 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.625.530 kg/jam dan serabut sebesar 18.502.120 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.127.650 kg/jam.

Hari Rabu,07/12/2022

7 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 66.053.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 23.127.650 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 132.106.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.494.840 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 23.127.650 \text{ Kg/jam} + 18.494.840 \text{ Kg/jam} \\ &= 41.622.490 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 23.127.650 kg/jam dan serabut sebesar 18.494.840 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 41.622.490 kg/jam.

Hari Kamis,08/12/2022

8 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 70.556.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.938.920 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 141.112.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 19.755.680 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.938.920 \text{ Kg/jam} + 19.755.680 \text{ Kg/jam} \\ &= 24.694.600 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.938.920 kg/jam dan serabut sebesar 19.755.680 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 24.694.600 kg/jam.

Hari Jum'at, 09/12/2022

9 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 49.840.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 3.488.800 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 99.680.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 13.955.200 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 3.488.800 \text{ Kg/jam} + 13.955.200 \text{ Kg/jam} \\ &= 17.444.000 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 3.488.800 kg/jam dan serabut sebesar 13.955.200 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 17.444.000 kg/jam.

Hari Sabtu, 10/12/2022

10 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 36.029.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 2.522.030 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 72.058.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 10.088.120 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 2.522.030 \text{ Kg/jam} + 10.088.120 \text{ Kg/jam} \\ &= 12.610.150 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 2.522.030 kg/jam dan serabut sebesar 10.088.120 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 12.610.150 kg/jam.

Hari Senin,12/12/2022

12 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 61.598.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.311.860 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 123.196.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.247.440 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.311.860 \text{ Kg/jam} + 17.247.440 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.559.300 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.311.860 kg/jam dan serabut sebesar 17.247.440 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.559.300 kg/jam.

Hari Selasa,13/12/2022

13 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 60.024.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.201.680 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 120.048.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 16.806.720 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.201.680 \text{ Kg/jam} + 16.806.720 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.008.400 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.201.680 kg/jam dan serabut sebesar 16.806.720 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.008.400 kg/jam.

Hari Rabu,14/12/2022

14 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 60.048.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.203.360 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 120.096.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 16.813.440 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.203.360 \text{ Kg/jam} + 16.813.440 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.016.000 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.203.360 kg/jam dan serabut sebesar 16.813.440 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.016.000 kg/jam.

Hari kamis,15/12/2022

15 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 67.527.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.726.890 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 135.054.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.907.560 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.726.890 \text{ Kg/jam} + 18.907.560 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.634.450 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.726.890 kg/jam dan serabut sebesar 18.907.560 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.634.450 kg/jam.

Hari Jum'at, 16/12/2022

16 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 61.525.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.306.750 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 123.050.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.227.000 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.306.750 \text{ Kg/jam} + 17.227.000 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.533.750 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.306.750 kg/jam dan serabut sebesar 17.227.000 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.533.750 kg/jam.

Hari Sabtu, 17/12/2022

17 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 64.526.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.516.820 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 129.052.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.067.000 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.516.820 \text{ Kg/jam} + 18.067.000 \text{ Kg/jam} \\ &= 22.584.100 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.516.820 kg/jam dan serabut sebesar 18.067.000 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 22.584.100 kg/jam.

Hari Minggu,18/12/2022

18 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 30.096.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 2.106.720 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 60.192.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 8.426.880 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 2.106.720 \text{ Kg/jam} + 8.426.880 \text{ Kg/jam} \\ &= 10.533.600 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 2.106.720 kg/jam dan serabut sebesar 8.426.880 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 10.533.600 kg/jam.

Hari Senin,19/12/2022

19 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 61.405.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.298.350 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 122.810.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.193.400 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.298.350 \text{ Kg/jam} + 17.193.400 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.491.750 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.298.350 kg/jam dan serabut sebesar 17.193.400 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.491.750 kg/jam .

Hari Rabu,21/12/2022

21 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 67.581.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.730.670 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 135.162.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.922.680 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.730.670 \text{ Kg/jam} + 18.922.680 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.653.350 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.730.670 kg/jam dan serabut sebesar 18.922.680 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.653.350 kg/jam.

Hari Kamis,22/12/2022

22 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 67.527.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.726.890 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 135.054.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.907.560 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.726.890 \text{ Kg/jam} + 18.907.560 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.634.450 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.726.890 kg/jam dan serabut sebesar 18.907.560 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.634.450 kg/jam.

Hari Jum'at, 23/12/2022

23 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 33.026.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 2.311.820 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 66.052.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 9.247.280 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 2.311.820 \text{ Kg/jam} + 9.247.280 \text{ Kg/jam} \\ &= 11.559.100 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 2.311.820 kg/jam dan serabut sebesar 9.247.280 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 11.559.100 kg/jam.

Hari Minggu, 25/12/2022

25 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 12.042.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 842.940 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 24.084.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 3.371.760 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 842.940 \text{ Kg/jam} + 3.371.760 \text{ Kg/jam} \\ &= 4.214.700 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 842.940 kg/jam dan serabut sebesar 3.371.760 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 4.214.700 kg/jam.

Hari Selasa,27/12/2022

27 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 61.574.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.310.180 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 123.148.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.240.720 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.310.180 \text{ Kg/jam} + 17.240.720 \text{ Kg/jam} \\ &= 21.550.900 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.310.180 kg/jam dan serabut sebesar 17.240.720 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 21.550.900 kg/jam.

Hari Rabu,28/12/2022

28 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 64.552.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.518.640 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 129.104.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.074.560 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.518.640 \text{ Kg/jam} + 18.074.560 \text{ Kg/jam} \\ &= 22.593.200 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.518.640 kg/jam dan serabut sebesar 18.074.560 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 22.593.200 kg/jam.

Hari Kamis,29/12/2022

29 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 63.076.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.415.320 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 126.152.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.661.280 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.415.320 \text{ Kg/jam} + 17.661.280 \text{ Kg/jam} \\ &= 22.076.600 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.415.320 kg/jam dan serabut sebesar 17.661.280 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 22.076.600 kg/jam.

Hari Jum'at, 30/12/2022

30 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 66.106.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.627.420 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 132.212.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.509.680 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.627.420 \text{ Kg/jam} + 18.509.680 \text{ Kg/jam} \\ &= 23.137.100 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.627.420 kg/jam dan serabut sebesar 18.509.680 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.137.100 kg/jam.

Hari Sabtu, 31/12/2022

31 a. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 63.827.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.467.890 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Ketersediaan Bahan Bakar Serabut

$$\begin{aligned}\text{Produksi} &= \text{Kapasitas TBS Perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 127.654.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 17.871.560 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan Bahan Bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned}\text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.467.890 \text{ Kg/jam} + 17.871.560 \text{ Kg/jam} \\ &= 22.339.450 \text{ Kg/jam}\end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa Kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.467.890 kg/jam dan serabut sebesar 17.871.560 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 22.339.450 kg/jam.

Tabel 4.1.1. Jumlah Kapasitas Cangkang Dan Serabut Berdasarkan Pengolahan Boiler 35 Ton Tbs/jam

Hari	Kapasitas Boiler (Kg/Jam)	Bahan Bakar	% Terhadap TBS	Jumlah Bahan Bakar (Kg/jam)	Total (Kg/jam)
Kamis, 01/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.625.530	23.127.650
		Serabut	14%	18.502.120	
Jum'at, 02/12/2022	35.000	Cangkang	7%	2.411.640	12.058.200
		Serabut	14%	9.646.560	
Sabtu, 03/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.201.608	21.008.328
		Serabut	14%	16.806.720	
Senin, 05/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.103.190	20 515.950
		Serabut	14%	16.412.760	

Selasa, 06/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.625.530	23.127.650
		Serabut	14%	18.502.120	
Rabu,07/12/2022	35.000	Cangkang	7%	23.127.650	41.622.490
		Serabut	14%	18.494.840	
Kamis,08/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.938.920	24.694.600
		Serabut	14%	19.755.680	
Jum'at,09/12/2022	35.000	Cangkang	7%	3.488.800	17.444.000
		Serabut	14%	13.955.200	
Sabtu,10/12/2022	35.000	Cangkang	7%	2.522.030	12.610.150
		Serabut	14%	10.088.120	
Senin,12/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.311.860	21.559.300
		Serabut	14%	17.247.440	
Selasa,13/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.201.680	21.008.400
		Serabut	14%	16.806.720	
Rabu,14/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.203.360	21.016.000
		Serabut	14%	16.813.440	
Kamis,15/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.726.890	23.634.450
		Serabut	14%	18.907.560	
Jum'at,16/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.306.750	21.533.750
		Serabut	14%	17.227.000	
Sabtu,17/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.516.820	22.584.100
		Serabut	14%	18.067.000	
Minggu,18/12/2022	35.000	Cangkang	7%	2.106.720	10.533.600
		Serabut	14%	8.426.880	
Senin,19/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.298.350	21.491.750
		Serabut	14%	17.193.400	
Rabu,21/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.730.670	23.653.350
		Serabut	14%	18.922.680	
Kamis,22/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.726.890	23.634.450
		Serabut	14%	18.907.560	
Jum'at, 23/12/2022	35.000	Cangkang	7%	2.311.820	11.559.100
		Serabut	14%	9.247.280	
Minggu,25/12/2022	35.000	Cangkang	7%	842.940	4.214.700
		Serabut	14%	3.371.760	
Selasa,27/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.310.180	21.550.900
		Serabut	14%	17.240.720	
Rabu,28/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.518.640	22.593.200
		Serabut	14%	18.074.560	

Kamis,29/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.415.320	22.076.600
		Serabut	14%	17.661.280	
Jum'at, 30/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.627.420	23.137.100
		Serabut	14%	18.509.680	
Sabtu, 31/12/2022	35.000	Cangkang	7%	4.467.890	22.339.450
		Serabut	14%	17.871.560	

Kebutuhan bahan bakar boiler dapat dihitung sebagai berikut:

Diketahui :

$$\eta = 70 \%$$

$$NK \text{ Cangkang} = 3.890 \text{ kkal/kg}$$

$$NK \text{ Serabut} = 2.020 \text{ kkal/kg}$$

$$\Delta \text{ enthalphy} = 620,87 \text{ Kkal/kg}$$

$$BBB \text{ Cangkang} = 1.950 \text{ kkal/kg}$$

$$BBB \text{ Serabut} = 4.200 \text{ kkal/kg}$$

Perhitungan :

- a. Komposisi cangkang dan serabut dalam Analisa ampas kempa diperoleh kandungan bahan bakar. Maka nilai kalor bahan bakar umpan yaitu:

- Cangkang :
 
$$= (4.700 \times 82,85\%) + (8.800 \times 1,0,6\%) - (600 \times 16,09\%)$$

$$= 3.893,95 + 93,28 - 96,54$$

$$= 3.890,69 = (3.890 \text{ Kcal/kg Cangkang})$$

- Serabut :
 
$$= (3.850 \times 56,14\%) + (8.800 \times 1,0,6\%) - (600 \times 39,48\%)$$

$$= 2.161,39 + 93,28 - 236,88$$

$$= 2.017,79 = (2.020 \text{ Kcal/kg Cangkang})$$

- b. Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang

$$Q = \frac{\eta \times BBB \times NK}{\Delta \text{Entalphy}}$$

$$Q = \frac{70\% \times 1.950 \times 3.890}{620,87}$$

$$= 8.552 \text{ Kg uap/jam}$$

- c. Kebutuhan Bahan Bakar Serabut

$$Q = \frac{\eta \times BBB \times NK}{\Delta Entalphy}$$

$$Q = \frac{70\% \times 4.200 \times 2.020}{620,87}$$

$$= 9.565 \text{ Kg uap/jam}$$

Dengan Komposisi yaitu :

- Cangkang = 3.890 Kcal Kg/jam
- Serabut = 2.020 Kcal Kg/jam

d. Sisa Bahan Bakar

- Ketersediaan Bahan Bakar = 23.127.650 Kg/jam
- Cangkang = 4.625.530 Kg/jam
- Serabut = 18.502.120 Kg/jam
- Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang = 8.552 Kg/jam
- Kebutuhan Bahan Bakar Serabut = 9.565 Kg/jam
- Sisa Bahan Bakar Serabut = 18.502.120 – 9.565 = 18.492.552 Kg/jam
- Sisa Bahan Bakar Cangkang = 4.635.530 – 8.552 = 4.616.978 Kg/jam

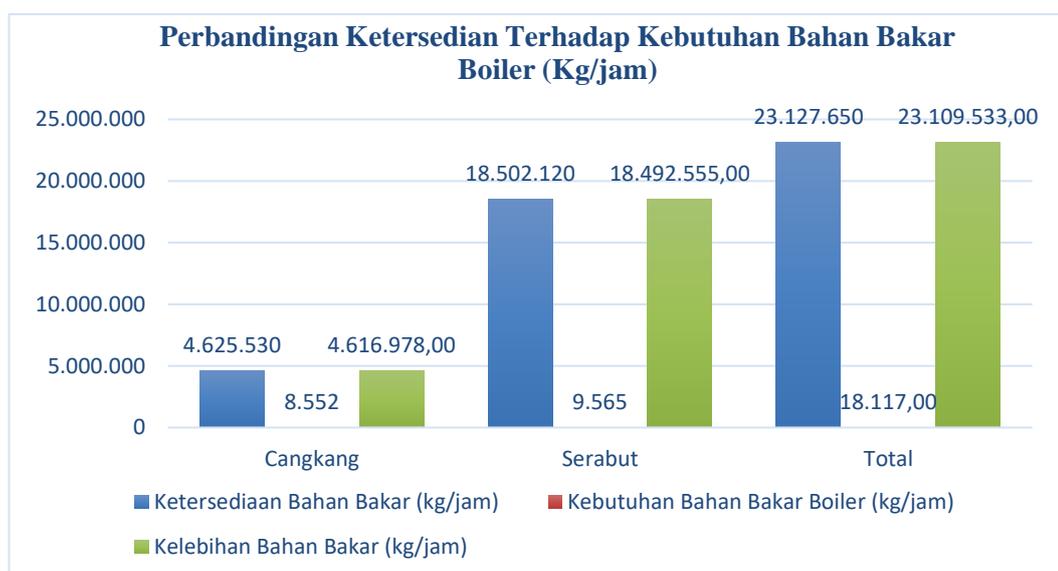
Perbedaan jumlah kebutuhan bahan bakar boiler dengan bahan bakar yang dihasilkan mengakibatkan adanya sisa bahan bakar cangkang dan serabut. Dan ini bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi lainnya seperti misalnya dipasarkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di luar PKS itu sendiri.

Tabel.4.1.2. Kebutuhan Bahan Bakar

Keterangan	Nilai	
Kapasitas Uap Boiler (Q)	35	Ton Uap/jam
$\Delta$ entalphy	620,87	kkal/jam
Efisiensi Teknis Boiler ( $\eta$ )	70.	%
Jam Kerja Boiler	24	jam
Nilai Kalor Cangkang	3.890	kkal/kg
Nilai Kalor Serabut	2.020	kkal/kg
Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang	8.552	Kg/jam
Kebutuhan Bahan Bakar Serabut	9.565	Kg/jam

Tabel.4.1.3. Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Boiler.

Keterangan	Cangkang	Serabut	Total
Ketersediaan Bahan Bakar (kg/jam)	4.625.530 Kg/jam	18.502.120 Kg/jam	23.127.650 Kg/jam
Kebutuhan Bahan Bakar Boiler (kg/jam)	8.552, Kg/jam	9.565 Kg/jam	18.117 Kg/jam
Kelebihan Bahan Bakar (kg/jam)	4.616.978 Kg/jam	18.492.555 Kg/jam	23.109.533 Kg/jam



Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Ketersediaan Terhadap Kebutuhan bahan bakar Boiler

Dari pembahasan diatas maka didapatkan kesimpulan bahwa dengan kapasitas produksi cangkang dan serabut tersebut, sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar boiler. Dimana bahan bakar yang di hasilkan limbah padat kelapa sawit berupa cangkang dan serabut sebesar 23.127.650 kg/jam, sedangkan kebutuhan bahan bakar boiler sebesar 18.117 kg/jam, maka didapatkan kelebihan (sisa) bahan bakar boiler sebesar 23.109.533 kg/jam. Hal ini juga terbukti dengan pengamatan yang dilakukan bahwa untuk memenuhi bahan bakar boiler, cangkang dan serabut dikirim langsung ke ruang bakar pada ketel uap (boiler) setelah dihasilkan dari proses pengolahan TBS, sehingga tidak ada pembatasan pemakaian bahan bakar hanya dengan menjaga laju uap pada boiler sebesar 23 Bar sampai 29 Bar .

Pada PTPN IV Unit PKS Bah Jambi memanfaatkan ampas serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) sebagai bahan bakar pada stasiun boiler yang menghasilkan uap untuk pembangkit tenaga listrik yang menggerakkan mesin-mesin pabrik dan untuk proses pengolahan minyak dan kernel (inti sawit) dengan komposisi biomassa yang digunakan untuk bahan bakar boiler yaitu 25 % cangkang dan 75 % serabut. Atau pemakaian bahan bakar cangkang dan serabut masing-masing 1 : 3.

Tujuan pemanfaatan limbah padat kelapa sawit menjadi bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap adalah untuk memanaskan air dalam boiler yang akan menghasilkan panas menjadi uap sebagai sumber energi dan mengurangi biaya operasional/pengolahan limbah semaksimal mungkin sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan di areal pabrik dan sekitarnya. Oleh karena itu direncanakan seluruh limbah padat dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Serabut didapatkan dengan cara mengepres buah yang terdiri dari sejumlah minyak dengan mesin screw press.

Setelah itu, serabut buah kelapa sawit akan terpisah dengan bijiya. Sebenarnya serabut ini masih mengandung sedikit minyak dan kalori terkandung pada serabut sebesar 2.020 kkal/kg. Cangkang didapatkan dengan memecah biji buah kelapa sawit dengan alat pemecah selanjutnya cangkang dikeringkan terlebih dahulu kemudian dikirim langsung ke ruang bahan bakar ketel uap (boiler) melalui conveyor. Kalori yang terkandung cukup tinggi yaitu 2.020 kkal/kg, sehingga dapat dikonversikan menjadi energi listrik.

#### **4.2. Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit**

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU

Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik, turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBS}}{30}$$

Dimana :

W = Energi Listrik (joule)

Q<sub>BBS</sub> = Berat Bahan Bakar Serabut (kg uap/jam)

30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

$$1. W = \frac{Q_{BBS}}{30}$$

$$W = \frac{9.565}{30} = 319 \text{ kW}$$

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU

Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBC}}{30}$$

Dimana :

W = Energi Listrik (joule)

$Q_{BBC}$  = Berat Bahan Bakar Cangkang (kg uap/jam)

30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

$$2. W = \frac{Q_{BBC}}{30}$$

$$W = \frac{8.552}{30} = 285 \text{ kW}$$

Apabila Energi listrik yang dihasilkan oleh kebutuhan uap bahan bakar serabut sebesar 319 kW dan apabila menggunakan bahan bakar Cangkang maka dihasilkan energi listrik sebesar 285 kW dan jika menggunakan kedua bahan bakar maka energi listrik sebesar 604 kW

- Pengamatan untuk menganalisis kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Bah Jambi.

Dilakukan dengan melihat atau membaca pada alat ukur yang terpasang pada panel utama di stasiun kamar mesin. Beberapa alat ukur yang diamati seperti nilai arus listrik, tegangan listrik, dan  $\cos \phi$ .

Perhitungan daya listrik terukur pada panel listrik utama adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

P = Daya listrik (kW/jam)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos  $\varphi$  = Faktor daya

1. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Pengolahan TBS

a. Stasiun Penerimaan Buah & Perebusan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 7,9 \times 0,8 \\ &= 4,082 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

b. Stasiun Penebahan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 2,4 \times 0,8 \\ &= 1.240 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

c. Stasiun Kempa

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 7,5 \times 0,8 \\ &= 3.876 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

d. Stasiun Minyak (Clarification)

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 8,5 \times 0,8 \\ &= 4.392 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

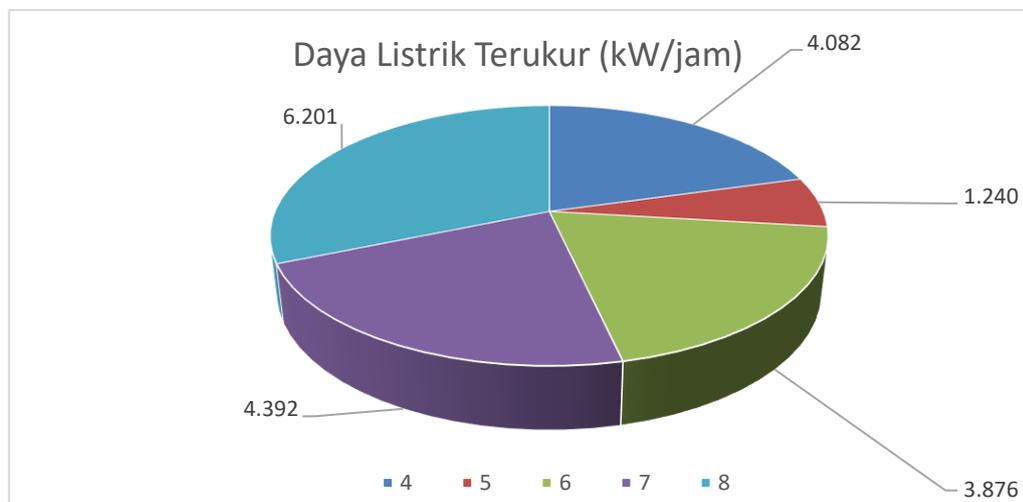
e. Stasiun Pengupas Biji

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 12 \times 0,8 \\ &= 6.201 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Daya Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama

Kegiatan	Tegangan Listrik Terukur (V)	Cos $\phi$	Arus Listrik	Daya Listrik Terukur (kW/jam)
Pengolahan TBS				
Penerima buah & Perebusan	380	0.8	7,9	4.082
St.Penebah	380	0.8	2,4	1.240
St.Kempa	380	0.8	7,5	3.876
St.Minyak	380	0.8	8,5	4.392
St.Biji	380	0.8	12	6.201
Jumlah			38	19.791

Dari perhitungan diatas didapatkan daya listrik terukur pada setiap kegiatan proses pengolahan kelapa sawit yang dihitung dengan menggunakan rumus daya listrik secara umum. Pengukuran arus terukur dilakukan dengan alokasi waktu per-jam, sehingga dihasilkan daya listrik terukur (kW/jam) sama dengan energi listrik terpakai dalam waktu 1 jam (kWh).



Gambar 4.2. Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi

Dengan data-data hasil pembahasan analisa diatas, diharapkan dapat membantu pengelola pabrik untuk mengantisipasi dan mengamati lebih lanjut keadaan di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Hal utama yang harus diperhatikan adalah penyediaan bahan bakar boiler dengan mencoba meningkatkan kapasitas produksi pabrik sehingga keseimbangan proses dapat berjalan dengan baik dan kebutuhan energi listrik pada pabrik tetap terpenuhi/tercukupi.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. PTPN IV Unit PKS Bah Jambi memanfaatkan ampas serabut (fiber) & cangkang (shell) sebagai bahan bakar pada stasiun boiler sehingga menghasilkan uap digunakan pembangkitan tenaga listrik untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik pada proses pengolahan kelapa sawit. Sedangkan kapasitas bahan bakar yang dihasilkan dari cangkang dan serabut dengan kapasitas pabrik 60 ton TBS/jam sebesar 23.127.650 kg/jam, dan kebutuhan bahan bakar boiler yang digunakan sebesar 18.117 kg Uap/jam.
2. Energi Listrik yang dihasilkan pembangkit listrik turbin uap adalah 604 kW dan kebutuhan daya listrik sebesar 19.791 kWh, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Untuk lebih menekan biaya operasional pabrik, maka disarankan untuk penggunaan turbin uap lebih dimaksimalkan agar penggunaan genset atau listrik PLN tidak terlalu sering digunakan.
2. Untuk lebih memaksimalkan keluaran daya listrik turbin, maka disarankan pihak pabrik untuk mengganti turbin uap dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi, sehingga daya listrik yang dihasilkan dapat mencukupi kebutuhan daya listrik pabrik tanpa harus menghidupkan turbin lain dan genset/PLN.
3. Disarankan PTPN IV Unit PKS Bah Jambi lebih meningkatkan produksi kelapa sawit (TBS) untuk di PKS dan tidak tergantung kepada produksi kelapa sawit dari pihak lain agar kegiatan pengolahan kelapa sawit tetap lancar.

4. Dari pengamatan langsung dilapangan, perlu dilakukan audit kelayakan instalasi kelistrikan pabrik, mengingat kondisi kelistrikan pabrik saat ini kurang baik agar dapat segera dilaksanakannya perbaikan instalasi listrik pabrik.
5. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih memaksimalkan pendataan setiap peralatan/mesin produksi agar didapatkan data kapasitas terpasang dengan kapasitas terukur sehingga diketahui nilai efisiensi teknis pada setiap peralatan/mesin produksi.
6. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisa biaya bahan bakar pembangkitan tenaga listrik agar dapat diketahui perbandingan biaya bahan biomassa dengan bahan bakar minyak (solar) sehingga didapatkan penghematan (efisiensi) dari kedua bahan bakar tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Analisa Dan Simulasi Efisiensi Energi Listrik PT. XYZ Dengan Menggunakan Regresi Linier. (2023). *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 5(2). <https://doi.org/10.30596/rele.v5i2.13085>
- Dewi, R., Djufri, U., & Wijaya, H. (2022). Pemanfaatan Biomassa Padat Kelapa Sawit Sebagai Energi Baru Terbarukan DI PLTU Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara VI Unit Usaha Bunut. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.33087/jepca.v5i1.71>
- Madejski, P., & Żymelka, P. (2020). Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling. *Energy*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117221>
- Pedoman oprasional pengolahan kelapa sawit.* (n.d.).
- Prasartkaew, B., & Sukpancharoen, S. (2021). An experimental investigation on a novel direct-fired porous boiler for the low-pressure steam applications. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101454>
- Rinto, D., Yantoro, Y., & Riyadi, T. (n.d.). *PENGEDALIAN MOTOR LISTRIK 3 PHASA HUBUNGAN BINTANG SEGITIGA (STAR DELTA) SECARA OTOMATIS.*
- Roza, I. (n.d.). *Journal of Electrical and System Control Engineering Analisis Penurunan Cos phi dengan menentukan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Decrease Analysis of Cos phi by determining the Capacitive Capacity of Banks in Oil Palm Pabrik Kelapa Sawit (PKS).* <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- Sathish, T., Mohanavel, V., Afzal, A., Arunkumar, M., Ravichandran, M., Khan, S. A., Rajendran, P., & Asif, M. (2021). Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of experiments. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101247>
- Sihombing, V., Haryanto, N., & Saodah, S. (2014). Analisis Perhitungan Ekonomi dan Potensi Penghematan Energi Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Pabrik Kelapa Sawit PT. X. In *Jurnal Reka Elkomika ©Teknik Elektro | Itenas | (Vol. 2).*

- Siswanto, J. E. (2020a). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- Siswanto, J. E. (2020b). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- Srasri, S., Bhudsarakam, N., Limsutthiphong, P., Ratanapitag, T., & Julsereewong, A. (2022). Design of step grate firing by utilizing palm empty-fruit-bunch fuel for industrial steam boiler construction. *Energy Reports*, 8, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.142>
- Untung Surya Dharma. (2019). 643-1223-1-SM. *ANALISA PEMANFAATAN SERABUT SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF PADA BOILER*.
- Wibisono, G., Ismail Yusuf, M., Hie Khwee, K., Studi Teknik Elektro, P., & Teknik Elektro, J. (n.d.). *ANALISIS POTENSI FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI SUMBER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI PT. PUNDI LAHAN KHATULISTIWA*.
- Wisnaningsih. (2019). PERENCANAAN TURBIN UAP PENGGERAK GENERATOR DENGAN DAYA 100 MW PADA 3000 RPM. In *Jurnal Teknik Sains* (Vol. 04, Issue 01).

**LAMPIRAN 1. Unit Pembangkit Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI**



Turbun Uap No. 4 Kapasitas 1400 KVA



*BPV (Back Pressure Vessel)*



Diesel Kapasitas 350 KVA



Panel Utama dan Kapasitor Bank



Boiler Takuma N1000 Kapasitas 35 ton Uap/jam

## Lampiran 2. Lokasi/Tempat Penelitian



Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Wahyu Naimah Siregar  
Alamat : Marelan Pasar 3 Barat, Gg Delima  
Npm : 1907220082  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 18 April 2001  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
No Telepon/ Whatsapp : 081375222943  
Email : [naimahsiregar1804@gmail.com](mailto:naimahsiregar1804@gmail.com)  
Tinggi/Berat Badan : 165 cm/52 kg  
Kewarganegaraan : Indonesia

### ORANG TUA

Nama Ayah : Drs.Mahful Zailani Siregar,M.Pd  
Agama : Islam  
Nama Ibu : Asmiah Pasaribu,S.Pd  
Agama : Islam  
Alamat : Marelan Pasar 3 Barat, Gg Delima

### RIWAYAT PENDIDIKAN

2007-2013 : SD Negeri 066039  
2013-2016 : SMP Negeri 32 Medan  
2016-2019 : SMK Taruna Tekno Nusantara  
2019-2023 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)



# PT. PERKEBUNAN NUSANTARA – IV

## PKS BAH JAMBI

Alamat : Emplasmen Bah Jambi, Nagori Bah Jambi –  
Kecamatan Jawa Maraja, Kabupaten Simalungun

TELP : (0622) 563042 – FAX (0622) 563025

Nomor : PKS BAJ/X/01/11/2023

Bah Jambi, 16 Januari 2023

Lamp : -

Hal : izin Pengambilan Data

**Kepada Yth :**  
**Dekan**  
**Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara ( UMSU )**  
**Fakultas Teknik**  
**Jalan Mukhtar Basri No.3 Medan**  
**Di**  
**Medan**

Ref.surat:No.3/Ket/II.3.AU/Umsu-07/F/2023 tanggal 2 Januari 2023, perihal Pengambilan Data

Dengan ini kami sampaikan bahwa Mahasiswa Program Studi S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara ( UMSU ) Medan atas nama:

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
NPM : 1907220082  
Jurusan : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Pemanfaatan Limbah Padat untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik  
Tenaga Upa untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV Unit PKS Bah Jambi

Diizinkan untuk melakukan pengambilan data di PT Perkebunan Nusantara IV PKS Bah Jambi dengan pengambilan data yang dicari sbb :

1. Data cangkang dan serabut kelapa
2. Energi Listrik
3. PLTU

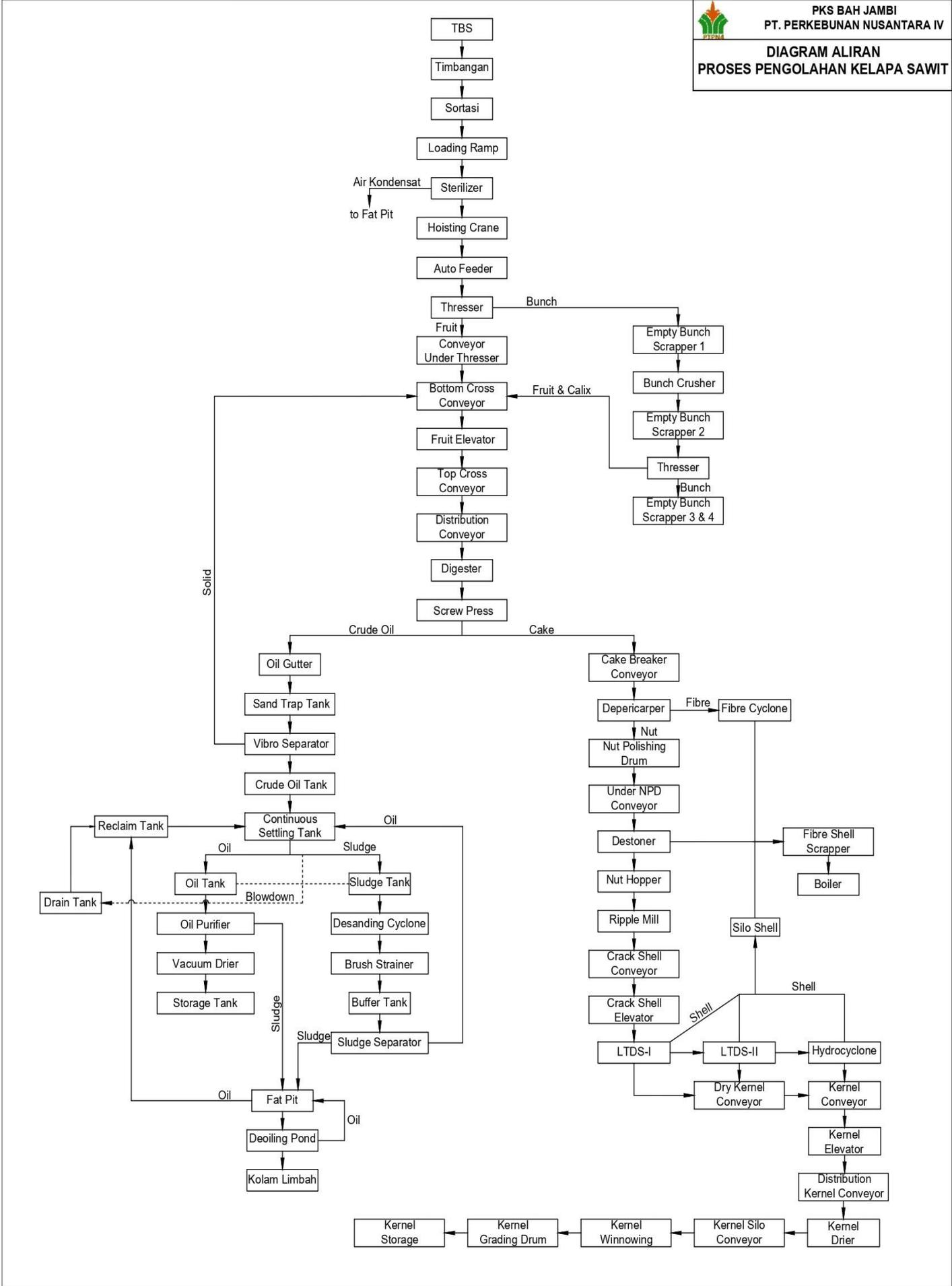
Demikian disampaikan, terima kasih.

PT. PERKEBUNAN NUSANTARA IV



Tembusan :

- GMD-I
- 04.07
- Pertinggal





**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019  
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003  
<http://fatek.umsu.ac.id> [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id) [f umsumedan](#) [umsunedan](#) [umsunedan](#) [umsunedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor :475/II.3AU/UMSU-07/F/2023**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Elektro Pada Tanggal 02 Januari 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
Npm : 1907220082  
Program Studi : Teknik Elektro  
Semester : VIII (DELAPAN)  
Judul Tugas Akhir : Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI

Pembimbing : Noorly Evalina,S.T,M.T.

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila Judul Tugas Akhir Kurang sesuai dapat diganti oleh dosen pembimbing setelah mendapatkan persetujuan dari Program Studi Teknik Elektro
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan Tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen pembimbing dan menetapkan judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.



Ditetapkan dimedan Pada Tanggal.  
Medan, 09 Jumadil Akhir 1444 H  
02 Januari 2023 M

  
Dekan.  
Munawar Alfansury Siregar,ST,M.T  
NIDN : 0101017202

cc.File





UMSU  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
NPM : 1907220082  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Pemanfaatan Limbah Padat Untuk Bahan Bakar  
Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi  
Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	27/2-2023	Pertemuan membahas dan login	Sud
2	28/2-2023	Pertemuan Tinjauan Pastalan	Sud
3	7/3-2023	Pertemuan: Kesalahan dalam journal - Simulasi dgn format TA	Sud
4	8/3-2023	Ace Supra	Sud

Mengetahui,  
Pembimbing I

Noorly Evalina, S.T., M.T

Wahyu Naimah Siregar  
Ace Supra



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
NPM : 1907220082  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI."

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	28/ 3-2023	Revisi Kaji Pustaka - Revisi literasi Jurnal	Sudi
	5/ 4-2023	Revisi Kaji Pustaka tj entalphi	Sudi
	14/ 5-2023	Revisi analisa dari Hasil Pembacaan Cylog dan Serabut	Sudi
	23/ 5-2023	Revisi Analisa dari pascabak uap dari Cylog dan Serabut sebagai pengganti energi listrik	Sudi
	15/ 6-2023	Revisi Kaji teori dan Analisa	Sudi

20/  
6-2023 ke Sudi

Mengetahui,  
Pembimbing I

Noorly Evalina S.T., M.T



**UMSU**  
Majal | Cerdas | Terpercaya

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)**

**FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO**

**BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)**

Nama : Wahyu Naimah Siregar  
NPM : 1907220082  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Untuk Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap Untuk Memenuhi Energi Listrik PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI."

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	28/8-2027	Rec Siregar TA	

28/8-2027 Rec Siregar TA

Mengetahui,  
Pembimbing I

Noorly Hvaliha S.T., M.T

**PEMANFAATAN CANGKANG DAN SERABUT UNTUK BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNTUK MEMENUHI ENERGI LISTRIK PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI**

**Wahyu Naimah Siregar<sup>1</sup>**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Indonesia, kode pos 20238  
Email : naimahsiregar1804@gmail.com

**Abstrak**-Pemanfaatan cangkang dan serabut sebagai bahan bakar boiler (Ketel Uap) merupakan salah satu upaya penanggulangan cangkang dan serabut pada pabrik kelapa sawit. Salah satu pokok pemanfaatannya adalah untuk mewujudkan kebutuhan energi listrik untuk proses pembangkitan tenaga listrik oleh generator. PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (Crude Palm Oil) dan Inti, mempunyai sistem pembangkit listrik tenaga listrik (PLTU) sendiri dengan total kapasitas daya listrik terpasang sebesar 1000 kW dan 600 kW. Setelah dilakukan kajian dengan mengamati analisis data di lapangan, diketahui kapasitas bahan bakar (*shell* dan *fiber*) sebesar 23.127.650 kg/jam dan perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler diketahui sebesar 18.117 kg steam/jam, sedangkan turbin-generator menghasilkan listrik sebesar 604 KW dan kebutuhan tenaga listrik untuk pengolahan kelapa sawit sebesar 19.791 kWh.

**Kata Kunci : Cangkang dan Serabut , Boiler, Energi Listrik, Generator**

**Abstract**-Utilization of shells and fibers as boiler fuel (Steam Kettle) is a countermeasure for shells and fibers in palm oil mills. One of the main things of this utilization is to realize the need for electrical energy for the process of generating electric power by generators. PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI is a company engaged in the processing of palm oil into CPO (Crude Palm Oil) and Inti, has its own power plant system (PLTU) with a total installed electric power capacity of 1000 kW and 600 kW. After conducting a study by observing data analysis in the field, it is known that the fuel capacity (shell and fiber) is 23,127,650 kg/hour and the calculation of boiler fuel requirements is known to be 18,117 kg of steam/hour, while the turbine-generator produces electricity of 604 KW and the need for electric power for the processing of palm oil is 19,791 kWh.

**Keywords: Shells and fibers, Boilers, Electrical Energy, Generators**

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Dalam Memenuhi Energi Listrik, Pabrik Kelapa Sawit harus mampu menyediakan beberapa hal yang penting untuk menghasilkan Energi listrik tersebut. Dalam hal ini ketersediaan bahan bakar menjadi hal utama untuk terwujudnya kebutuhan energi listrik untuk proses-proses pembangkitan daya listrik oleh pembangkit listrik. Namun Pabrik kelapa sawit pada suatu waktu akan menghadapi masalah yang berhubungan dengan kekurangan bahan bakar. Bahan Bakar yang dihasilkan Cangkang dan serabut Kelapa Sawit merupakan hasil proses pengolahan dari Tandan Buah Segar (TBS) dan memanfatkannya menjadi bahan bakar utama pada Boiler untuk menghasilkan Uap yang digunakan untuk menggerakkan Turbin Uap dan menghasilkan daya listrik yang akan didistribusikan lagi melalui instalasi listrik pabrik untuk Proses pengolahan, Bertujuan Untuk menekan Biaya Operasional Pabrik dan Mengurangi Pencemaran Lingkungan di area pabrik maupun sekitarnya. Konsumsi

Bahan Bakar Boiler Sebesar Serabut Zat padat bukan minyak 56,14%, Kadar Minyak 4,38% Kadar Air 39,48% dan Cangkang Zat padat bukan minyak 82,85%, Kadar minyak 1,06%, Kadar air 16,09%. dalam Proses Pengolahan Kelapa Sawit, terjadi beberapa tahapan yang memerlukan masukan energi. Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Listrik dibutuhkan Generator (Turbin) sebagai Pembangkit tenaga listrik. Pada Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit PKS Bah Jambi ini mengolah Tandan Buah Segar (TBS) menjadi Minyak *Calm Palm Oil* (CPO) dan *Shell* (Inti). Dalam proses pengolahan Kelapa Sawit pada PTPN IV Unit PKS Bah Jambi dibutuhkan Energi Listrik Sebesar 23.550 kWh, Sedangkan energi listrik yang dihasilkan oleh setiap turbin uap tidak selama nya mencukupi dalam pengolahan kelapa sawit. Kekurangan Energi Listrik dikarenakan produksi uap dari boiler tidak stabil yang menyebabkan tidak dapat memutar turbin uap dalam dua unit sekaligus. Untuk Memenuhi kebutuhan energi listrik, maka daya disuplai dari Genset (Diesel) dan Listrik PLN.

### 1.1. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang diatas, Rumusan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah Besar Kapasitas Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi yang dioptimalkan sebagai bahan bakar boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap ?
2. Bagaimana Analisis Energi listrik dan Daya yang dihasilkan pada proses pengolahan cangkang dan serabut kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi ?

### 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa Besar Kapasitas Pemanfaatan Cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler pada pembangkit listrik tenaga uap di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi
2. Menganalisis Energi Listrik dan Daya yang dihasilkan pada proses pengolahan cangkang dan serabut kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Limbah Kelapa Sawit

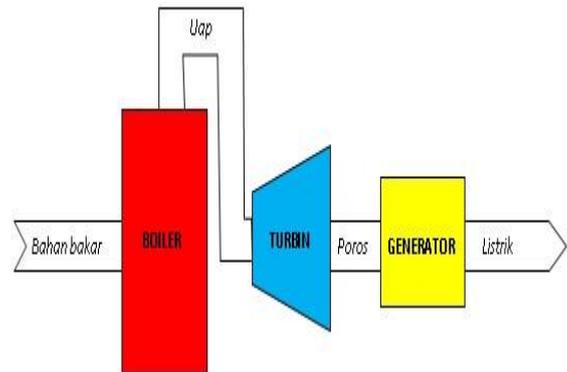
Limbah pabrik kelapa sawit yang berupa Serbut (*fiber*) dan cangkang dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar boiler sebagai penghasil uap yang digunakan untuk penggerak turbin pembangkit tenaga listrik, juga sumber uap digunakan untuk proses pengolahan dan perebusan. Limbah *fiber* dan cangkang sawit dapat dimanfaatkan secara optimal untuk peningkatan efisiensi boiler di mana perbandingan pemakaian *fiber* dan cangkang yang tepat akan mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam boiler.



Gambar 2.1. Cangkang dan serabut Kelapa Sawit

### B. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan sebuah pembangkit dengan memanfaatkan energi panas dan dikonversikan menjadi uap yang digunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan bahan bakar primer seperti batubara, gas, bbm, dan bahan bakar primer lainnya . Dalam konversi energi tingkat yang pertama yang terjadi di pembangkit listrik tenaga uap adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam



Gambar 2.2. Proses Konversi Uap

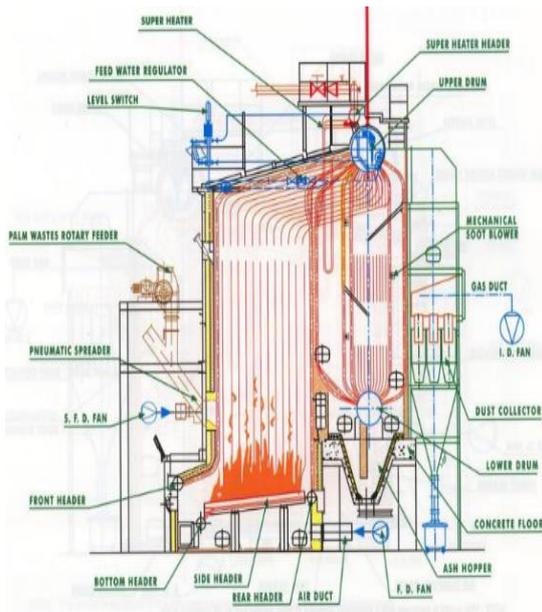
### C. Boiler Pada Pabrik

Dalam pabrik kelapa sawit ketel uap (*Boiler*) merupakan jantung dari sebuah pabrik kelapa sawit. Dimana, ketel uap ini lah yang menjadi sumber tenaga dan sumber uap yang akan dipakai untuk mengolah kelapa sawit.

### D. Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit

Poros turbin berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi direduksi kecepatan putarnya oleh reduction gear yang dipasang antara turbin dan generator sehingga diperoleh sinkronisasi kecepatan antara turbin dan generator. Dan karena generator berputar maka akan menimbulkan medan magnet listrik sehingga akan membangkitkan tenaga listrik. Hasil sisa pembakaran dari cangkang dan serabut yaitu ash (debu) dibuang, debu hasil sisa pada pembakaran cangkang dan serabut

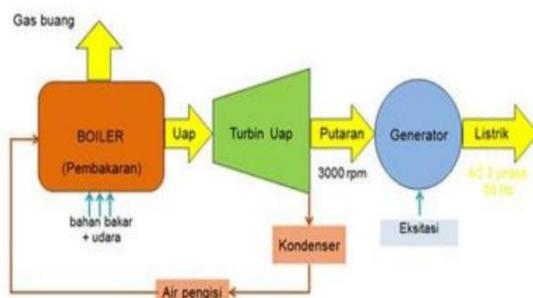
Ketel uap merupakan suatu alat konversi energi yang merubah air menjadi uap dengan cara pemanasan dan panas yang dibutuhkan air untuk penguapan diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap. ruang bakar dari ketel uap. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam yang ada dalam steam drum.



Gambar 2.3. Boiler dan Siklus Air Pada Pipa Boiler Yang digunakan Pabrik Kelapa Sawit

### E. Proses Konversi Energi Limbah Padat Kelapa Sawit

Poros turbin berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi direduksi kecepatan putarnya oleh reduction gear yang dipasang antara turbin dan generator sehingga diperoleh sinkronisasi kecepatan antara turbin dan generator. berputar maka akan menimbulkan medan magnet listrik sehingga akan membangkitkan tenaga listrik. Hasil sisa pembakaran dari cangkang dan serabut yaitu ash (debu) dibuang. debu hasil sisa pada pembakaran cangkang dan serabut ini masih banyak mengandung kalori yang saat ini sedang diteliti untuk dipergunakan menjadi pupuk,



Gambar 2.4 Proses Konversi Limbah Padat kelapa sawit menjadi energi listrik dan energi uap panas (kalor)

### F. Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit

Proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO melalui beberapa tahapan yang memerlukan konsumsi energi listrik. Semakin besar kapasitas produksi, kompleksitas proses dan *automation*, konsumsi energi listrik yang di perlukan semakin tinggi. Penggunaan

konsumsi energi listrik yang tinggi otomatis mempengaruhi biaya operasional yang semakin tinggi. Bila biaya operasional terhadap pemenuhan energi listrik yang tinggi lantas tidak diimbangi dengan peningkatan Produksi dan kapasitas pabrik, maka bakal menimbulkan kerugian yang besar. Oleh karenanya perlu dilakukan upaya guna mengidentifikasi penyebab tingginya penggunaan energi listrik di PKS.

### G. Analisis Bahan Bakar

Dipabrik kelapa sawit bahan bakar yang digunakan untuk boiler adalah cangkang dan *fiber* yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit itu sendiri. Dengan manajemen energi yang benar, operasional pabrik kelapa sawit tidak perlu dibantu genset, kecuali pada awal dan akhir olah, masing – masing selama  $\pm 1$  jam. Secara umum jumlah produksi uap yang dihasilkan dari nilai kalori bahan bakar yang tersedia, dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = \frac{\eta \times BBB \times NK}{\Delta \text{Enthalphy}}$$

Dimana :

- Q = Produksi Uap (Kg/Jam)
- $\eta$  = Efisiensi Boiler (Kg uap/Kg BB)
- BBB = Berat Bahan Bakar (Kg/jam)
- NK = Nilai Kalor (kcal/kg Serabut)
- $\Delta \text{enthalphy} = 620,87 \text{ kkal/kg}$

### H. Analisis Energi Listrik

Analisis energi listrik bertujuan untuk menghitung nilai energi listrik yang digunakan dalam setiap tahap di dalam suatu sistem produksi secara keseluruhan. Analisis tersebut dapat digunakan untuk memahami dan memperbaiki bagaimana, dimana, dan bila energi listrik digunakan secara efektif dan efisiensi. Pelaksanaan metode analisis energi listrik keseluruhan yaitu sejak penerimaan bahan baku hingga proses pengolahan atau sejak proses penerimaan tandan buah segar (TBS) di pabrik hingga proses pengolahan minyak sawit (CPO).

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU  
Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik, turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBS}}{30}$$

Dimana :

- W = Energi Listrik (joule)
- $Q_{BBS}$  = Berat Bahan Bakar Serabut (kg uap/jam)
- 30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

Secara umum energi listrik didekati dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$EL = \frac{P \times E_{fm} \times PF \times 3600}{M}$$

Dimana :

EL = Energi Listrik (Kj/Kg)  
P = Daya Peralatan / Motor (kW)  
E<sub>fm</sub> = Faktor Efisiensi (%)  
M = Kapasitas Produksi (Kg/jam)

Untuk menghitung daya listrik (fasa tiga) digunakan rumus:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

P = Daya listrik (kW)  
V = Tegangan (volt)  
I = Arus (ampere)  
Cos φ = Faktor daya

### I. Sarana Pendukung Pengolahan Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Unit PKS Bah Jambi

Sarana pendukung adalah sarana yang diperlukan untuk memperlancar jalannya proses produksi PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Sarana pendukung di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi diantaranya adalah stasiun penyediaan uap (*boiler*), stasiun kamar mesin (*power house*), pembangkit tenaga listrik (*steam enginer*), stasiun penyedia air (*water treatment & demin plant*).

### J. Manejemen Energi

Energi dalam dunia industri sangat penting karena energi tersebut dapat dikonversikan ke berbagai bentuk energi lain. Untuk memenuhi kebutuhan uap pada bagian pengolahan dan pembangkit tenaga listrik, dibutuhkan mesin pendukung yang dapat menghasilkan uap panas. Sarana penyediaan energi di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi adalah Stasiun Ketel Uap (*boiler*) dan Stasiun Kamar Mesin (*power house*).

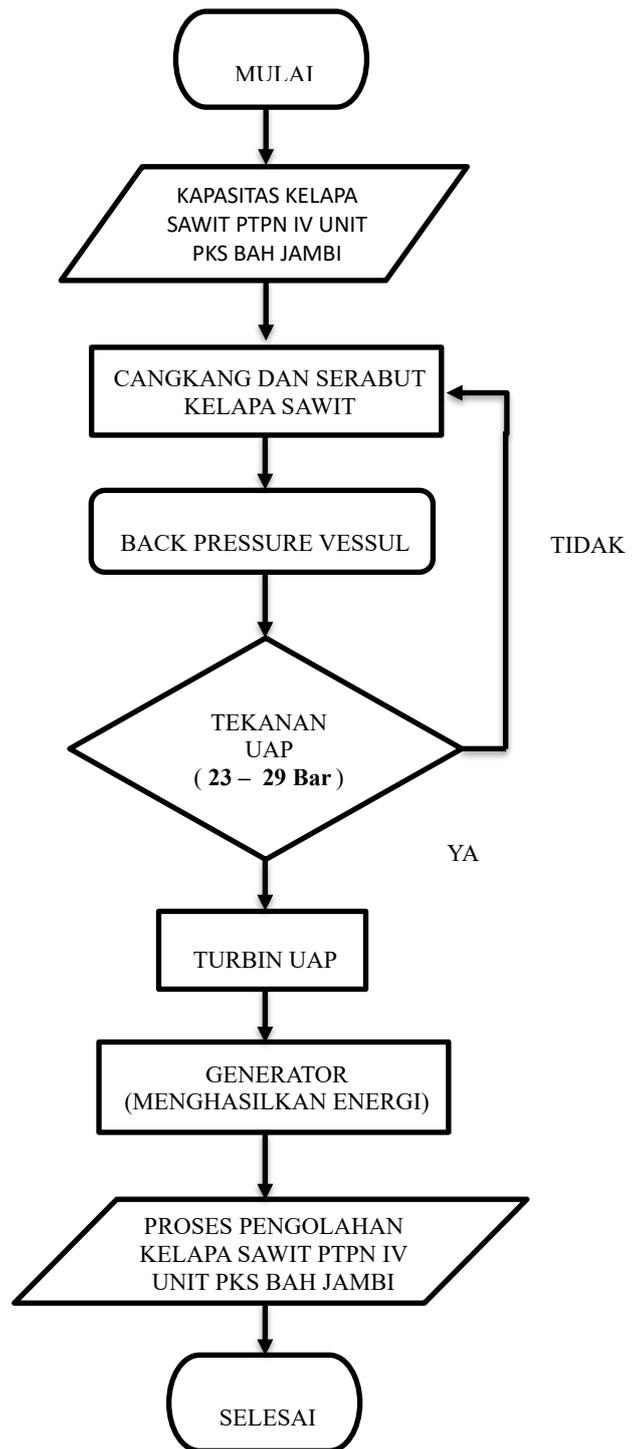
## III. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, yang dimulai dari sejak 24 November 2022 s/d 12 Mei 2023 yang meliputi studi Pustaka, Pengambilan data dan Analisa data, sedangkan tempat penelitian di PTPN IV UNIT PKS BAH JAMBI Kec. Jawa Maraja Bah Jambi, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara 21174.

### B. Flowchart

Adapun Flowchart dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :



#### IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

##### A. Analisa Pemanfaatan Cangkang Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar

PKS Bah Jambi mempunyai kapasitas pengolahan pabrik sebesar 60 ton Tbs/Jam yang terdiri dari dua line TBC. Bahan Bakar yang dihasilkan dari cangkang dan serabut yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler. Untuk mengetahui jumlah kapasitas cangkang dan serabut menjadi bahan bakar boiler pada PLTU di PKS Bah Jambi diuraikan perhitungan sebagai berikut:

###### 1. Perhitungan Ketersediaan Bahan bakar Cangkang

$$\begin{aligned} \text{Produksi} &= \text{Kapasitas Tbs perhari} \times \text{Rendeman Cangkang} \\ &= 66.079.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 7\% \\ &= 4.625.530 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

###### Perhitungan Ketersediaan Bahan bakar Serabut

$$\begin{aligned} \text{Produksi} &= \text{Kapasitas Tbs perhari} \times \text{Rendeman Serabut} \\ &= 132.158.000 \text{ Kg Tbs/jam} \times 14\% \\ &= 18.502.120 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Maka, Total Ketersediaan bahan bakar Cangkang dan Serabut adalah :

$$\begin{aligned} \text{Biomassa} &= \text{Cangkang} + \text{Serabut} \\ &= 4.625.530 \text{ kg/jam} + 18.502.120 \text{ kg/jam} \\ &= 23.127.650 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Dari Perhitungan diatas dapat dikatakan jumlah bahwa kapasitas produksi Cangkang dan Serabut kelapa sawit cukup besar. Dengan kapasitas olah pabrik 60 ton /jam dihasilkan Cangkang dan serabut kelapa sawit. cangkang sebesar 4.625.530 kg/jam dan Serabut Sebesar 18.502.120 kg/jam. Maka, total ketersediaan bahan bahan bakar cangkang dan serabut sebesar 23.127.650 Kg/jam.

Tabel 4.1.1. Jumlah Kapasitas Cangkang Dan Serabut Berdasarkan Pengolahan Boiler 35 Ton Tbs/jam

Hari	Kapasitas Boiler (Kg/jam)	Bahan Bakar	% Terhadap TBS	Jumlah Bahan Bakar (Kg/Jam)	Total (Kg/jam)
1	35.000	Cangkang	7%	4.625.530	23.127.650
		Serabut	14%	18.502.120	

Kebutuhan bahan bakar boiler dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler (dokumen internal PKS Bah Jambi). Adapun perhitungan kebutuhan bahan bakar boiler adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$\eta = 70 \%$$

$$\text{NK Cangkang} = 3.890 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{NK Serabut} = 2.020 \text{ kkal/kg}$$

$$\Delta \text{enthalpy} = 620,87 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{BBB cangkang} = 1.950 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{BBB Serabut} = 4.200 \text{ kkal/kg}$$

Perhitungan :

a. Komposisi cangkang dan serabut dalam Analisa ampas kempa diperoleh kandungan bahan bakar. Maka nilai kalor bahan bakar umpan yaitu:

- Cangkang
 
$$\begin{aligned} &= (4.700 \times 82,85\%) + (8.800 \times 1,06\%) - (600 \times 16,09\%) \\ &= 3.893,95 + 93,28 - 96,54 \\ &= 3.890 \text{ kkal /kg cangkang} \end{aligned}$$

- Serabut
 
$$\begin{aligned} &= (3.850 \times 56,14\%) + ((8.800 \times 1,06\%) - (600 \times 39,48\%)) \\ &= 2.161,39 + 93,28 - 236,88 \\ &= 2.020 \text{ kkal/kg serabut} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang

$$Q = \frac{\eta \times \text{BBB} \times \text{NK}}{\Delta \text{Entalphy}}$$

$$Q = \frac{70\% \times 1.950 \times 3.890}{620,87}$$

$$= 8.552 \text{ Kg uap/jam}$$

c. Kebutuhan Bahan Bakar Serabut

$$Q = \frac{\eta \times \text{BBB} \times \text{NK}}{\Delta \text{Entalphy}}$$

$$Q = \frac{70\% \times 4.200 \times 2.020}{620,87}$$

$$= 9.565 \text{ Kg uap/jam}$$

Dengan Komposisi yaitu :

- Cangkang = 3.890 Kcal Kg/jam
- Serabut = 2.020 Kcal Kg/jam

d. Sisa Bahan Bakar

- Ketersediaan Bahan Bakar = 23.127.650 Kg/jam
- Cangkang = 4.625.530 Kg/jam
- Serabut = 18.502.120 Kg/jam
- Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang = 8.552 Kg/jam
- Kebutuhan Bahan Bakar Serabut = 9.565 Kg/jam
- Sisa Bahan Bakar Serabut = 18.502.120 - 9.565 = 18.492.552 Kg/jam
- Sisa Bahan Bakar Cangkang = 4.635.530 - 8.552 = 4.616.978 Kg/jam.

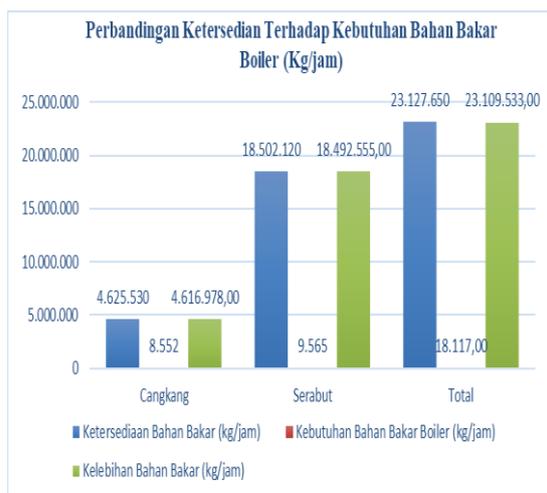
Perbedaan jumlah kebutuhan bahan bakar boiler dengan bahan bakar yang dihasilkan mengakibatkan adanya sisa bahan bakar cangkang dan serabut. Dan ini bisa dimanfaatkan untuk kebutuhan energi lainnya seperti misalnya dipasarkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di luar PKS itu sendiri.

Tabel.4.1.2. Kebutuhan Bahan Bakar

Keterangan	Nilai	
Kapasitas Uap Boiler (Q)	35	Ton Uap/jam
$\Delta t$ alphy	620,87	kkal/jam
Efisiensi Teknis Boiler ( $\eta$ )	70.	%
Jam Kerja Boiler	24	jam
Nilai Kalor Cangkang	3.890	kkal/kg
Nilai Kalor Serabut	2.020	kkal/kg
Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang	8.552	Kg/jam
Kebutuhan Bahan Bakar Serabut	9.565	Kg/jam

Tabel. 4.1.3. Perbandingan Ketersediaan Bahan Bakar Terhadap Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

Keterangan	Cangkang	Serabut	Total
Ketersediaan	4.625.530	18.502.120	23.127.650
Bahan Bakar (kg/jam)	Kg/jam	Kg/jam	Kg/jam
Kebutuhan Bahan Bakar Boiler (kg/jam)	8.552, Kg/jam	9.565 Kg/jam	18.117 Kg/jam
Kelebihan Bahan Bakar (kg/jam)	4.616.978	18.492.555	23.109.533
Bakar (kg/jam)	Kg/jam	Kg/jam	Kg/jam



Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Ketersediaan Terhadap Kebutuhan bahan bakar Boiler

Dari pembahasan diatas maka didapatkan kesimpulan bahwa dengan kapasitas produksi cangkang dan serabut tersebut, sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan bahan

bakar boiler. Dimana bahan bakar yang di hasilkan limbah padat kelapa sawit berupa cangkang dan serabut sebesar 23.127.650 kg/jam, sedangkan kebutuhan bahan bakar boiler sebesar 18.117 kg/jam, maka didapatkan kelebihan (sisa) bahan bakar boiler sebesar 23.109.533 kg/jam. Hal ini juga terbukti dengan pengamatan yang dilakukan bahwa untuk memenuhi bahan bakar boiler, cangkang dan serabut dikirim langsung ke ruang bakar pada ketel uap (boiler) setelah dihasilkan dari proses pengolahan TBS, sehingga tidak ada pembatasan pemakaian bahan bakar hanya dengan menjaga laju uap pada boiler sebesar 23 Bar sampai 29 Bar.

### B. Analisa Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU  
Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik, turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBS}}{30}$$

Dimana :

W = Energi Listrik (joule)

$Q_{BBS}$  = Berat Bahan Bakar Serabut (kg uap/jam)

30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

$$1. W = \frac{Q_{BBS}}{30}$$

$$W = \frac{9.565}{30} = 319 \text{ kW}$$

- Energi Listrik yang dihasilkan PLTU  
Jika Kebutuhan uap untuk pembangkit listrik turbin uap adalah 30 Kg Uap/kW, maka akan dihasilkan energi listrik sebesar :

$$W = \frac{Q_{BBC}}{30}$$

Dimana :

W = Energi Listrik (joule)

$Q_{BBC}$  = Berat Bahan Bakar Cangkang (kg uap/jam)

30 = Kebutuhan turbin uap (Kg Uap/kW)

$$2. W = \frac{Q_{BBC}}{30}$$

$$W = \frac{8.552}{30} = 285 \text{ kW}$$

Apabila Energi listrik yang dihasilkan oleh kebutuhan uap bahan bakar serabut sebesar 319 kW dan apabila menggunakan bahan bakar Cangkang maka dihasilkan energi listrik sebesar 285 kW dan jika menggunakan kedua bahan bakar maka energi listrik sebesar 604 kW.

- Pengamatan untuk menganalisis kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Bah Jambi.

Dilakukan dengan melihat atau membaca pada alat ukur yang terpasang pada panel utama di stasiun kamar mesin. Beberapa alat ukur yang diamati seperti nilai arus listrik, tegangan listrik, dan  $\cos \varphi$ .

Perhitungan daya listrik terukur pada panel listrik utama adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

Dimana:

- P = Daya listrik (kW/jam)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)
- $\cos \varphi$  = Faktor daya

1. Perhitungan Daya Listrik Terukur Pada Kegiatan Pengolahan TBS

- Stasiun Penerimaan Buah & Perebusan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 7,9 \times 0,8 \\ &= 4,082 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

- Stasiun Penebahan

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 2,4 \times 0,8 \\ &= 1.240 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

- Stasiun Kempa

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 7,5 \times 0,8 \\ &= 3.876 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

- Stasiun Minyak (Clarification)

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 8,5 \times 0,8 \\ &= 4.392 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

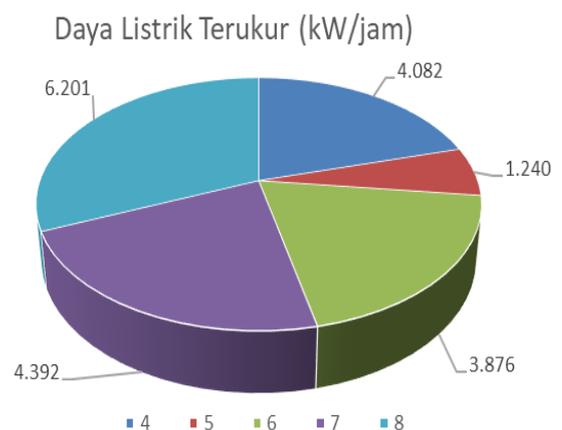
- Stasiun Pengupas Biji

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \\ &= 1,7 \times 380 \times 12 \times 0,8 \\ &= 6.201 \text{ kW/Jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Daya Listrik Terukur Pada Panel Listrik Utama

Kegiatan	Tegangan Listrik Terukur (V)	$\cos \varphi$	Arus Listrik	Daya Listrik Terukur (kW/jam)
<b>Pengolahan TBS</b>				
Penerima buah & Perebusan	380	0.8	7,9	4.082
St.Penebah	380	0.8	2,4	1.240
St.Kempa	380	0.8	7,5	3.876
St.Minyak	380	0.8	8,5	4.392
St.Biji	380	0.8	12	6.201
Jumlah			38	19.791

Dari perhitungan diatas didapatkan daya listrik terukur pada setiap kegiatan proses pengolahan kelapa sawit yang dihitung dengan menggunakan rumus daya listrik secara umum. Pengukuran arus terukur dilakukan dengan alokasi waktu per-jam, sehingga dihasilkan daya listrik terukur (kW/jam) sama dengan energi listrik terpakai dalam waktu 1 jam (kWh).



Gambar 4.2. Grafik Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi

Dengan data-data hasil pembahasan analisa diatas, diharapkan dapat membantu pengelola pabrik untuk mengantisipasi dan mengamati lebih lanjut keadaan di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi. Hal utama yang harus diperhatikan adalah penyediaan bahan bakar boiler dengan mencoba meningkatkan kapasitas produksi pabrik sehingga keseimbangan proses dapat berjalan dengan baik dan kebutuhan energi listrik pada pabrik tetap terpenuhi/tercukupi.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. PTPN IV Unit PKS Bah Jambi memanfaatkan ampas serabut (fiber) & cangkang (shell) sebagai bahan bakar pada stasiun boiler sehingga menghasilkan uap digunakan pembangkitan tenaga listrik untuk menggerakkan mesin-mesin pabrik pada proses pengolahan kelapa sawit. Sedangkan kapasitas bahan bakar yang dihasilkan dari cangkang dan serabut dengan kapasitas pabrik 60 ton TBS/jam sebesar 23.127.650 kg/jam, dan kebutuhan bahan bakar boiler yang digunakan sebesar 18.117 kg Uap/jam.
2. Energi Listrik yang dihasilkan pembangkit listrik turbin uap adalah 604 kW dan kebutuhan daya listrik sebesar 19.791 kWh, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Unit PKS Bah Jambi.

### B. Saran

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Untuk lebih menekan biaya operasional pabrik, maka disarankan untuk penggunaan turbin uap lebih dimaksimalkan agar penggunaan genset atau listrik PLN tidak terlalu sering digunakan.
2. Untuk lebih memaksimalkan keluaran daya listrik turbin, maka disarankan pihak pabrik untuk mengganti turbin uap dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi, sehingga daya listrik yang dihasilkan dapat mencukupi kebutuhan daya listrik pabrik tanpa harus menghidupkan turbin lain dan genset/PLN.
3. Disarankan PTPN IV Unit PKS Bah Jambi lebih meningkatkan produksi kelapa sawit (TBS) untuk di PKS dan tidak tergantung kepada produksi kelapa sawit dari pihak lain agar kegiatan pengolahan kelapa sawit tetap lancar.
4. Dari pengamatan langsung dilapangan, perlu dilakukan audit kelayakan instalasi kelistrikan pabrik, mengingat kondisi kelistrikan pabrik saat ini kurang baik agar dapat segera dilaksanakannya perbaikan instalasi listrik pabrik.
5. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih memaksimalkan pendataan setiap peralatan/mesin produksi agar didapatkan data kapasitas terpasang dengan kapasitas terukur sehingga diketahui nilai efisiensi teknis pada setiap peralatan/mesin produksi.
6. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisa biaya bahan bakar pembangkitan tenaga listrik agar dapat diketahui perbandingan biaya bahan biomassa dengan bahan bakar minyak (solar) sehingga didapatkan penghematan (efisiensi) dari kedua bahan bakar tersebut.

## DAFTAR ISI

- [1] Analisa Dan Simulasi Efisiensi Energi Listrik PT. XYZ Dengan Menggunakan Regresi Linier. (2023). *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(2). <https://doi.org/10.30596/rele.v5i2.13085>
- [2] Dewi, R., Djufri, U., & Wijaya, H. (2022). Pemanfaatan Biomassa Padat Kelapa Sawit Sebagai Energi Baru Terbarukan DI PLTU Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara VI Unit Usaha Bunut. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPKA)*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.33087/jepca.v5i1.71>
- [3] Madejski, P., & Żymelka, P. (2020). Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling. *Energy*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117221>
- [4] *Pedoman oprasional pengolahan kelapa sawit*. (n.d.).
- [5] Prasartkaew, B., & Sukpancharoen, S. (2021). An experimental investigation on a novel direct-fired porous boiler for the low-pressure steam applications. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101454>
- [6] Rinto, D., Yantoro, Y., & Riyadi, T. (n.d.). *PENGEDALIAN MOTOR LISTRIK 3 PHASA HUBUNGAN BINTANG SEGITIGA (STAR DELTA) SECARA OTOMATIS*.
- [7] Roza, I. (n.d.). *Journal of Electrical and System Control Engineering Analisis Penurunan Cos phi dengan menentukan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Decrease Analysis of Cos phi by determining the Capacitive Capacity of Banks in Oil Palm Pabrik Kelapa Sawit (PKS)*. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- [8] Sathish, T., Mohanavel, V., Afzal, A., Arunkumar, M., Ravichandran, M., Khan, S. A., Rajendran, P., & Asif, M. (2021). Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of

experiments. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101247>

- [9] Sihombing, V., Haryanto, N., & Saodah, S. (2014). Analisis Perhitungan Ekonomi dan Potensi Penghematan Energi Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap di Pabrik Kelapa Sawit PT. X. In *Jurnal Reka Elkomika ©Teknik Elektro | Itenas* | (Vol. 2).
- [10] Siswanto, J. E. (2020a). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- [11] Siswanto, J. E. (2020b). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>
- [12] Srasri, S., Bhudsarakam, N., Limsutthiphong, P., Ratanapitag, T., & Julsereewong, A. (2022). Design of step grate firing by utilizing palm empty-fruit-bunch fuel for industrial steam boiler construction. *Energy Reports*, 8, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.142>
- [13] Untung Surya Dharma. (2019). 643-1223-1-SM. *ANALISA PEMANFAATAN SERABUT SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF PADA BOILER*.
- [14] Wibisono, G., Ismail Yusuf, M., Hie Khwee, K., Studi Teknik Elektro, P., & Teknik Elektro, J. (n.d.). *ANALISIS POTENSI FIBER DAN CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI SUMBER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI PT. PUNDI LAHAN KHATULISTIWA*.
- [15] Wisnaningsih. (2019). PERENCANAAN TURBIN UAP PENGGERAK GENERATOR DENGAN DAYA 100 MW PADA 3000 RPM. In *Jurnal Teknika Sains* (Vol. 04, Issue 01).