



Studi Aliran Energi dalam Memproduksi Crude Palm Oil (CPO) di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Kebun Ophir, Sumatera Barat

Santosa^{1*}, Ashadi Hasan², Saddam Pebrianto², Maulana Ladira²

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Indonesia

² Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran energi dalam proses produksi Crude Palm Oil (CPO) di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Kebun Ophir, Sumatera Barat. Penelitian dilakukan melalui studi aliran energi terhadap seluruh tahapan proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi CPO, meliputi input energi manusia, energi listrik, dan energi bahan bakar. Data diperoleh dari pengamatan langsung, pengukuran alat, serta penggunaan perangkat Garmin dan HRM untuk mengukur energi manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan energi tertinggi berasal dari energi bahan bakar (fiber dan cangkang sawit), dengan dominasi penggunaan fiber sebesar 78,26%. Energi output manusia tertinggi tercatat pada stasiun boiler/kamar mesin sebesar 31,52%, diikuti oleh stasiun sortasi dan rebusan. Konsumsi energi listrik relatif lebih kecil dibandingkan dua jenis energi lainnya, namun tetap penting dalam menunjang kinerja peralatan pabrik. Rendemen CPO yang dihasilkan mencapai 22,63%, dan energi spesifik rata-rata tercatat sebesar 14.782,25 kJ/kg. Temuan ini menunjukkan pentingnya manajemen energi dalam proses produksi CPO untuk mencapai efisiensi dan efektivitas produksi. Informasi ini, perusahaan dapat mengidentifikasi titik-titik konsumsi energi terbesar dan menyusun strategi efisiensi yang berkelanjutan.

KATA KUNCI

Crude palm oil; aliran energi; energi manusia; energi bahan bakar; energi listrik.

PENULIS KORESPONDEN

Alamat e-mail penulis koresponden: santosa@ae.unand.ac.id

1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas strategis dalam pembangunan ekonomi Indonesia karena perannya yang signifikan sebagai sumber devisa negara. Sebagai komoditas ekspor unggulan nonmigas, kelapa sawit berkontribusi besar terhadap neraca perdagangan nasional serta menjadi penopang perekonomian di berbagai daerah sentra perkebunan. Posisi Indonesia sebagai produsen dan eksportir minyak sawit terbesar di dunia menunjukkan bahwa komoditas ini tidak hanya penting dalam skala nasional, tetapi juga memiliki pengaruh besar dalam pasar global [1]. Oleh karena itu, keberlanjutan dan efisiensi industri kelapa sawit menjadi isu krusial yang perlu mendapat perhatian serius.

Industri pabrik kelapa sawit (PKS) memegang peranan sentral dalam rantai nilai kelapa sawit, khususnya pada tahap pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi produk utama berupa Crude Palm Oil (CPO) dan inti kelapa sawit (IKS). Produk-produk ini selanjutnya menjadi bahan baku setengah jadi bagi berbagai industri hilir, baik di dalam maupun luar negeri. Keberhasilan proses pengolahan di PKS sangat menentukan kualitas, kuantitas, serta nilai ekonomi produk kelapa sawit yang dihasilkan [2].

Seiring dengan meningkatnya permintaan global terhadap minyak sawit, aktivitas pengolahan TBS di pabrik juga mengalami peningkatan intensitas. Proses pengolahan tersebut melibatkan berbagai tahapan teknis, mulai dari penerimaan dan penimbangan TBS, perebusan (sterilisasi), perontokan buah, pengepresan, pemurnian minyak, hingga penyimpanan CPO. Setiap tahapan proses tersebut memerlukan penggunaan energi yang tidak sedikit, baik dalam bentuk energi panas maupun energi listrik [3].

Produk turunan kelapa sawit dimanfaatkan secara luas dalam berbagai sektor industri, seperti industri pangan, kosmetik, sabun, deterjen, farmasi, hingga cat dan pelumas. Selain itu, dalam beberapa dekade terakhir, minyak kelapa



sawit juga mulai dikembangkan sebagai bahan baku energi terbarukan, khususnya biodiesel, sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Hal ini menunjukkan bahwa kelapa sawit tidak hanya berperan sebagai komoditas pangan dan industri, tetapi juga sebagai bagian dari solusi ketahanan energi nasional [4].

Energi merupakan faktor utama yang sangat menentukan keberlangsungan proses produksi di sektor industri. Secara konsep, energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha, dan berdasarkan hukum kekekalan energi, energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, melainkan hanya dapat diubah bentuknya. Dalam konteks industri, energi digunakan untuk mengoperasikan mesin, peralatan, serta mendukung proses produksi secara keseluruhan. Oleh sebab itu, ketersediaan dan pengelolaan energi yang efektif menjadi aspek vital dalam industri kelapa sawit [5].

Saat ini, sebagian besar kebutuhan energi industri masih bergantung pada sumber energi fosil, seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketergantungan ini tidak hanya menimbulkan dampak lingkungan, tetapi juga berimplikasi pada tingginya biaya operasional akibat fluktuasi harga energi. Dalam industri pabrik kelapa sawit, penggunaan energi dalam jumlah besar—baik sebagai bahan bakar boiler maupun sebagai listrik—menyumbang porsi biaya produksi yang cukup signifikan [6].

Tingginya konsumsi energi dalam proses produksi menuntut perusahaan untuk melakukan upaya efisiensi energi secara berkelanjutan. Efisiensi energi tidak hanya bertujuan untuk menekan biaya operasional, tetapi juga untuk meningkatkan daya saing industri serta mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan. Upaya efisiensi ini memerlukan pemahaman yang komprehensif mengenai pola penggunaan energi pada setiap tahapan proses produksi [7].

Salah satu pendekatan sistematis yang dapat digunakan untuk mengevaluasi penggunaan energi adalah melalui audit energi. Audit energi memberikan gambaran menyeluruh mengenai kebutuhan energi, tingkat konsumsi, serta efisiensi peralatan dan mesin yang digunakan dalam proses produksi. Hasil audit energi dapat mengidentifikasi adanya pemborosan energi, ketidakefisienan sistem, serta potensi penghematan yang dapat diterapkan oleh perusahaan [8].

Temuan dari audit energi selanjutnya dapat dijadikan dasar dalam perencanaan dan pengambilan keputusan manajerial, khususnya dalam pengembangan sistem produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan demikian, audit energi tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai instrumen strategis dalam meningkatkan kinerja industri kelapa sawit secara keseluruhan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan guna mengetahui besarnya kebutuhan energi dalam proses produksi Crude Palm Oil (CPO). Secara khusus, penelitian ini berfokus pada analisis penggunaan energi di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Unit Kebun Ophir, Sumatera Barat. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran nyata mengenai tingkat konsumsi dan efisiensi energi, serta menjadi referensi bagi perusahaan dalam upaya pengelolaan energi yang lebih optimal dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Mei - Juli 2025 yang berlokasi di PKS Ophir, PT Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Ophir yang secara administratif berada di Kecamatan Luhak Nan Duo dan Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman Barat, Provinsi Sumatera Barat.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah stopwatch, clampmeter, alat tulis, garmin forerunner 35, timbangan, laptop, Heart Rate Monitor (HRM), dan smartphone. Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar untuk mesin pabrik dan Crude Palm Oil (CPO).



2.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan menggunakan analisis langsung terhadap proses pembuatan kelapa sawit menjadi CPO. Menggunakan beberapa data meliputi data utama dan data tambahan yang didapatkan melalui pengamatan dan penelitian langsung, termasuk perhitungan dan pengukuran. Data utama diperoleh dari pengamatan langsung dengan melakukan pengukuran dan perhitungan, sementara data tambahan berupa informasi mengenai kebutuhan energi tidak langsung dari setiap mesin dalam proses pengolahan kelapa sawit. Waktu yang diperlukan untuk setiap tahapan, jenis alat dan mesin beserta jumlahnya, total tenaga kerja, serta semua sumber daya produksi yang digunakan dikumpulkan dari literatur dan observasi langsung. Proses pengumpulan, analisis data dan pengolahan merupakan langkah-langkah yang diterapkan dalam penelitian ini. Pengumpulan data dilakukan untuk mengamati jadwal kegiatan kerja, jumlah tenaga kerja, jenis alat, dan waktu yang digunakan dalam setiap proses pembuatan CPO, yang mencakup perhitungan total nilai analisis energi dari proses tersebut guna menentukan tahapan untuk penghematan dan efisiensi energi.

2.3.1. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tiga kali proses produksi dengan jumlah bahan yang sesuai dengan kapasitas pabrik agar mendapatkan hasil yang akurat.

2.3.2. Rancangan Penelitian

Sebelum mengumpulkan data dalam penelitian ini, maka terlebih dahulu dilakukan rancangan penelitian dengan pengambilan data langsung di lapangan. Berikut merupakan parameter-parameter yang akan diukur :

1. Kebutuhan Energi Listrik

Variabel seperti jumlah dan jenis peralatan, durasi operasi, tegangan listrik, arus listrik, jumlah produksi CPO (Crude Palm Oil) dan daya yang digunakan pada peralatan produksi adalah komponen yang membentuk parameter ini.

2. Kebutuhan Tenaga Manusia

Parameter ini menggunakan variabel-variabel seperti jumlah karyawan yang bekerja di unit produksi, lama waktu kerja untuk setiap tahapan proses, nilai kalor biologis manusia, dan jumlah CPO yang diproduksi.

3. Kebutuhan Bahan Bakar

Parameter ini menggunakan variabel-variabel seperti nilai kalor bahan bakar, jumlah produksi CPO dan data konsumsi bahan bakar.

4. Efisiensi penggunaan energi

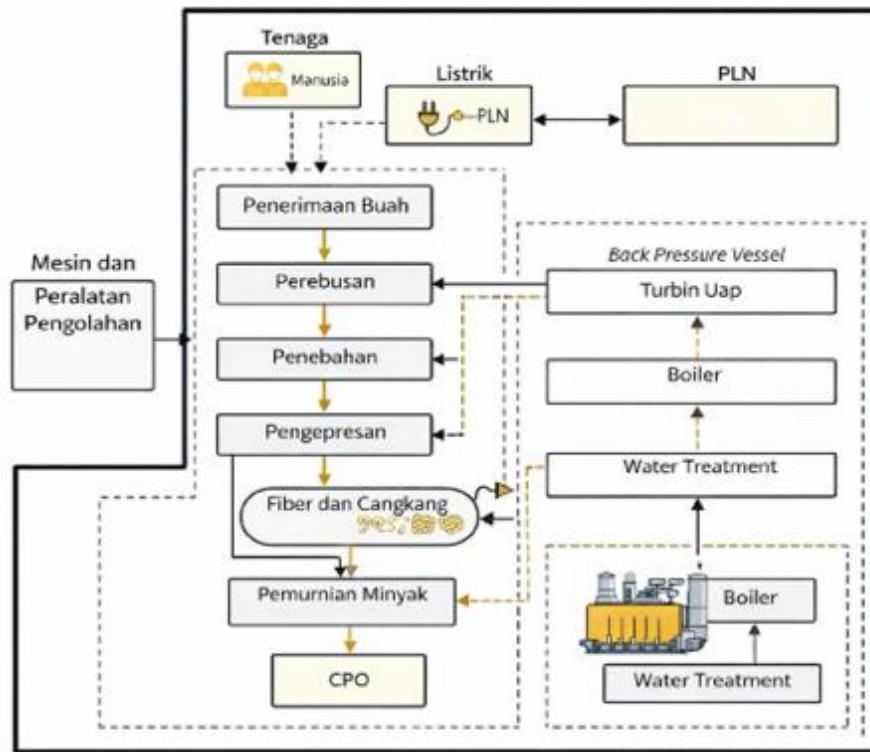
Parameter ini membandingkan energi output (kapasitas pengukuran) dan energi input dengan kapasitas terpasang. Hal ini akan membantu dalam evaluasi efisiensi energi dalam sistem pengolahan kelapa sawit.

Penelitian dimulai dari proses penerimaan kelapa sawit hingga proses distribusi CPO. Data energi yang dibutuhkan pada setiap kegiatan proses pengolahan kelapa sawit disajikan pada blangko Tabel 1. Kemudian, seluruh input energi yang diperoleh di lapangan disajikan pada Gambar 1.



Tabel 1. Konsumsi Energi pada Tahapan Pengolahan TBS

Kegiatan	Ulangan	Sumber Energi Input (J)		
		Manusia	Bahan Bakar	Listrik
Penimbangan	1			
	2			
	3			
Sortasi	1			
	2			
	3			
<i>Loading ramp</i>	1			
	2			
	3			
Perebusan	1			
	2			
	3			
Penebahan (<i>threshing</i>)	1			
	2			
	3			
Pengempaan/ Ekstraksi Minyak	1			
	2			
	3			
<i>Kernel Plant</i>	1			
	2			
	3			
Klarifikasi	1			
	2			
	3			
<i>Boiler/ Kamar Mesin</i>	1			
	2			
	3			
Penimbunan CPO	1			
	2			
	3			
<i>Water Plant Treatment</i>	1			
	2			
	3			



Keterangan Garis:

Batasan Sistem Yang di Audit	=
Aliran Energi Mesin	=
Input Listrik	=
Input Bahan Bakar	=
Input Manusia	=

Gambar 2. Input Energi pada Proses Pembuatan Crude Palm Oil (CPO)

2.3.3. Metode Pengumpulan Data

Data penelitian didapatkan melalui observasi dan eksperimen di lapangan. Untuk setiap input energi, datanya harus dikumpulkan. Ini termasuk energi mesin (jenis, massa, umur ekonomis, waktu kerja mesin), energi bahan bakar (jenis bahan bakar yang digunakan, massa, volume bahan bakar yang tersisa di tangki), dan energi manusia (jumlah tenaga kerja dan waktu kerja). Data yang telah diambil dapat dikelompokkan menjadi data primer dan sekunder. Variabel yang diperlukan dapat diambil dengan cara sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan setelah melakukan preliminary energy audit. Data primer yaitu data yang diambil dari energi listrik, energi bahan bakar, dan energi mesin. Pengambilan data dilakukan sebanyak 1 kali sehari kapasitas

pabrik selama 3 hari untuk setiap proses pengolahan TBS. Pengamatan yang dilakukan pada energi listrik yaitu besarnya daya aliran listrik yang digunakan pada setiap proses pengolahan TBS. Kemudian pengamatan yang dilakukan pada energi bahan bakar yaitu menghitung berapa banyak bahan bakar yang digunakan pada mesin. Selain itu, pengamatan yang dilakukan pada energi mesin yaitu menghitung waktu kerja efektif pada mesin.

2. Pengumpulan Data Sekunder

Ketika pengumpulan data primer tidak memungkinkan dan tidak memadai, pengambilan data sekunder dilakukan sebagai alternatif. Bisa mendapatkan informasi tambahan yang relevan dan mendukung analisis yang dilakukan dengan menggunakan data sekunder. Perlu diingat bahwa setiap tahapan produksi menghasilkan jumlah energi yang berbeda. Diagram alir pelaksanaan penelitian Gambar 2 menunjukkan persamaan dan prosedur produksi CPO.



Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

2.3.4. Pengamatan

1. Tenaga Kerja dan Jumlah Jam Kerja

Menghitung tenaga kerja dan jam kerja harian di pabrik tanpa membedakan berdasarkan jenis kelamin. Pengukuran dilakukan menggunakan garmin forerunner 35 dan HRM untuk menghitung tenaga manusia yang terlibat dalam proses pengolahan kelapa sawit. Data yang diperoleh membantu untuk memantau dan mengelola efisiensi tenaga kerja dengan lebih baik. Garmin forerunner 35 dan HRM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Garmin Forerunner 35 dan HRM

Pada proses pengolahan TBS kelapa sawit, pengukuran energi dapat dilakukan dengan menggunakan HRM yang dipasang di dada operator dan Garmin Forerunner 35 yang dipasang di pergelangan tangan operator. Sebelum digunakan, Garmin harus disesuaikan dengan usia operator, tinggi badan dan berat badan. tinggi badan. HRM dan Garmin Forerunner 35 akan saling terhubung. Fungsi dari Garmin Forerunner 35 dan HRM adalah untuk memantau detak jantung operator dalam bentuk grafik, serta menghitung kalori yang terbakar dan total waktu kerja. Nilai energi yang diperoleh dari alat tersebut akan ditampilkan dalam satuan kilo kalori, kemudian dikalikan dengan faktor konversi $4,1868 \times 10^{-3}$ untuk mengubahnya menjadi satuan MJ [2].

2. Konsumsi Energi Listrik

Untuk menghitung total konsumsi energi listrik bulanan dari mesin-mesin dan lampu penerangan, bisa dilihat nilai akhir bulan pada KWh-meter. Kemudian, untuk menghitung konsumsi energi spesifik dari mesin, dapat menggunakan clampmeter yang berfungsi untuk mengukur arus kerja mesin tersebut. Dengan menggunakan alat-alat pada proses pengolahan TBS kelapa sawit, dapat diperoleh informasi yang akurat mengenai konsumsi energi yang terjadi.

3. Konsumsi Bahan Bakar

Energi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang digunakan pada proses pengolahan TBS kelapa sawit. Konsumsi bahan bakar dapat diukur dengan mengukur jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk proses pengolahan TBS kelapa sawit. Pengukuran dilakukan dengan mengukur selisih volume awal dan volume akhir pada tangki bahan bakar.

2.3.5. Kebutuhan Energi

Data yang diperoleh melalui perhitungan input energi menggunakan rumus-rumus tertentu. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui konsumsi energi pada setiap tahap proses produksi CPO. Rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan energi adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan Energi Manusia

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Kerja Manusia (20-50 tahun)

Kelompok Beban Kerja	Denyut Jantung (Beats/min)
Sangat ringan	Kurang dari 75
Kerja ringan	75 – 100
Kerja agak berat	100 – 125
Kerja berat	125 – 150
Sangat berat	150 – 175
Terlalu berat	Lebih dari 175

Sumber : [15]

Kebutuhan daya pekerja yang terpakai dapat dihitung dengan persamaan:

Keterangan :

a = hasil pengeluaran daya (kW)

b = batas bawah pengeluaran daya(kW)

c = batas atas pengeluaran daya (kW)

d = denyut jantung terukur (bpm)

e = batas bawah denyut jantung (bpm)

f = batas atas denyut jantung (bpm)

Proses produksi CPO, dapat mengukur besarnya tenaga manusia dengan menggunakan persamaan:

Keterangan :

Etm = Konsumsi energi tenaga manusia dalam kegiatan pengolahan CPO (Joule)

P = Daya/Detak Jantung (Watt)

t = Jam kerja per hari (Detik)

2. Kebutuhan Energi Bahan Bakar

Jumlah bahan bakar yang digunakan suatu mesin dapat dihitung dengan mengurangkan jumlah bahan bakar yang tersedia sebelum mesin mulai beroperasi dengan jumlah bahan bakar yang tersisa setelah mesin mulai beroperasi. Bahan bakar yang digunakan dalam proses pembuatan CPO ini menggunakan dua bahan bakar yaitu fiber (4502,983 kcal/kg) dan cangkang kelapa sawit (4710,477 kcal/kg) [8]. Energi yang terkandung dalam bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

Energi bahan bakar dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{BB} = m_{BB} \times Q_{BB} \quad (3)$$

Keterangan:

- E_{BB} = Energi bahan bakar (kJ)
 - m_{BB} = Massa bahan bakar (kg)
 - Q_{BB} = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

Catatan: Jika sebelumnya tertulis *massa jenis*, yang benar adalah **massa bahan bakar**, bukan massa jenis.

Energi listrik yang dibutuhkan dalam proses produksi CPO dihitung dengan persamaan:



$$E_{\text{Listrik}} = P \times t \quad (4)$$

dengan daya listrik dihitung menggunakan:

$$P = V \times I \quad (5)$$

Keterangan:

- E_{Listrik} = Energi listrik yang digunakan (Joule)
- P = Daya motor/mesin (Watt)
- t = Waktu pemakaian (detik)
- V = Tegangan listrik (Volt)
- I = Arus listrik (Ampere)

2.3.6. Pengamatan Lanjutan

Rendemen

Rendemen dilakukan dengan mengukur persentase massa hasil CPO setelah dilakukan proses produksi untuk melihat berapa hasil CPO yang dihasilkan. Rendemen dapat dihitung sebagai berikut.

Rendemen CPO dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

- R = Rendemen CPO (%)
- Output = Massa CPO hasil produksi (kg)
- Input = Massa tandan buah segar (TBS) yang diolah (kg)

Energi Spesifik Pengolahan CPO. Energi spesifik pengolahan CPO merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengolah CPO dari TBS hingga menjadi produk akhir. Energi spesifik dapat dihitung sebagai berikut:

Energi spesifik produksi CPO dihitung menggunakan persamaan:

$$EC = \frac{E_{\text{total}}}{\text{Output}} \quad (7)$$

Keterangan:

EC = Energi spesifik produksi CPO (kJ/kg)

E_{total} = Total kebutuhan energi proses produksi (kJ)

Output = Massa CPO yang dihasilkan (kg)

2.3.7. Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan meliputi berbagai parameter terkait penggunaan energi yang dianalisis untuk menghasilkan informasi kuantitatif berupa nilai rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi yang diperoleh melalui pengulangan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

Nilai Rata-rata (*Mean*)

Keterangan:

\bar{X} = nilai rata-rata data

X_i = nilai data ke- i

n = jumlah total data

Simpangan Baku (*Standard Deviation*)

Keterangan:

SD = simpangan baku

\bar{X} = nilai rata-rata data

X_i = nilai data ke- i

n = jumlah total data

Koefisien Variasi (*Coefficient of Variation*)

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

Keterangan:

CV = koefisien variasi (%)

SD = simpangan baku

\bar{X} = nilai rata-rata

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Energi Manusia

Energi manusia merupakan energi yang berasal dari manusia. Proses produksi CPO memerlukan energi manusia pada setiap prosesnya yakni mulai dari proses penerimaan buah sampai ke proses penimbunan CPO. Energi manusia ini dapat diukur dengan menggunakan alat berupa Garmin dan HRM (*Heart Rate Monitor*) ataupun bisa menggunakan cara manual yaitu menghitung denyut jantung per menit [8]. Berikut proses penggunaan energi manusia pada setiap stasiun, di antaranya :

3.1.1. Stasiun Penimbangan

Jembatan timbangan adalah tempat untuk menentukan berat material yang akan ditimbang. Material yang ditimbang yaitu Tandan Buah Segar (TBS), *Crude Palm Oil* (CPO), Bahan Bakar Minyak (BBM), kernel, dan tandan kosong. TBS dari afdeling diangkut ke truk, lalu truk masuk ke jembatan timbang untuk ditimbang. Penimbangan dilakukan dua kali untuk setiap kendaraan yang masuk ke pabrik, yaitu pada saat masuk (berat truk dan TBS yang dibawa) yaitu berat bruto serta keluar (berat truk) berat tara. Dari selisih timbangan saat truk masuk dan keluar, diperoleh berat bersih material yang masuk ke pabrik yaitu berat netto. Pada timbangan ini terdapat 2 operator yang memiliki tugasnya masing-masing.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi (dalam Joule) yang dihasilkan oleh dua orang pekerja pada stasiun penimbangan dalam proses pengolahan CPO selama tiga hari berturut-turut, dihitung berdasarkan denyut jantung



keduanya. Pada hari pertama, energi yang tercatat sebesar 278.604 Joule, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 230.234 Joule, sebelum kembali meningkat pada hari ketiga mencapai 281.794 Joule. Fluktuasi nilai energi ini dapat mencerminkan variasi beban kerja, kondisi fisik pekerja, ataupun faktor eksternal seperti suhu lingkungan dan ritme produksi di pabrik.

3.1.2. Stasiun Sortasi

Tandan buah segar yang akan diolah harus disortasi terlebih dahulu. Sortasi adalah penentuan kualitas dari tandan buah segar yang masuk ke pabrik kelapa sawit. Fungsi dari sortasi adalah untuk mengetahui kondisi buah yang akan diolah sehingga dapat diperkirakan kualitas hasil yang akan didapat. Buah yang diterima oleh PT. Perkebunan Nusantara IV Regional IV Kebun Ophir berasal dari kebun sendiri yang berada di Unit Usaha Ophir, yaitu Afdeling 1, Afdeling II, Afdeling III dan Afdeling IV dan menerima TBS dari pihak ketiga lokal yaitu Kebun Plasma III, Plasma IV dan Plasma V. Pada sortasi ini memiliki pekerja yang paling banyak yakni 8 karyawan.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dikeluarkan oleh delapan pekerja di stasiun sortasi dalam proses produksi CPO selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, tercatat energi sebesar 4.797.857 Joule, lalu turun menjadi 3.731.666 Joule di hari kedua, dan kembali meningkat menjadi 4.065.811 Joule pada hari ketiga. Perubahan angka energi ini dapat mengindikasikan adanya variasi beban kerja, jumlah buah yang harus disortir, atau faktor-faktor lain seperti kelelahan maupun kondisi lingkungan kerja.

3.1.3. Stasiun *Loading Ramp*

Buah yang telah selesai di timbang dan di sortasi akan di bawa ke *loading ramp* dan dituang ke tiap- tiap bag dari *loading ramp*. *Loading ramp* adalah tempat penampungan kriteria tandan buah segar dari kebun sebelum diproses di pabrik yang bersifat sementara. Sebelum diangkut menuju tempat proses, buah ditampung atau dikumpulkan pada *loading ramp* yang mempunyai 42 pintu, dengan kemiringan 45° dengan kapasitas daya tampung 7,5 ton, pintu-pintu *loading ramp* digerakkan dengan semacam *handle* menggunakan *system hidraulic* yang dioperasikan oleh seorang operator.

Hasil pengukuran energi yang dihasilkan oleh dua orang pekerja pada stasiun *loading ramp* selama tiga hari kegiatan pengolahan CPO. Pada hari pertama, total energi yang tercatat sebesar 633.600 Joule, kemudian mengalami penurunan menjadi 507.038 Joule pada hari kedua, dan kembali naik ke angka 581.645 Joule di hari ketiga. Fluktuasi energi ini bisa disebabkan oleh variasi beban kerja harian, kondisi fisik para pekerja, atau faktor operasional lain seperti jumlah TBS yang diterima di *loading ramp*. Data tersebut memberikan gambaran penting mengenai seberapa besar aktivitas fisik yang harus dilakukan pekerja dalam menjalankan tugasnya, sehingga dapat dijadikan acuan untuk mengevaluasi beban kerja agar tetap berada dalam batas yang wajar.

3.1.4. Stasiun Rebusan

PKS PTPN IV Kebun Ophir ini menggunakan rebusan vertikal yang disebut *Vertical sterilizer*. *Vertical sterilizer* merupakan bejana tekanan uap tegak yang berfungsi untuk melakukan perebusan TBS yang dilengkapi dengan pipa uap masuk, pipa uap keluar, pipa kondensat, dan *safety valve*. *Vertical sterilizer* ini juga dilengkapi dengan alat pengukur tekanan (manometer) dan alat pengukur suhu (termometer). PKS Unit Usaha Ophir memiliki 4 buah *vertical sterilizer* dengan kapasitas masing-masing adalah 25 ton TBS.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dikeluarkan oleh empat pekerja yang bertugas di stasiun rebusan dalam proses pengolahan CPO selama periode tiga hari. Pada hari pertama, energi yang tercatat mencapai



3.713.926 Joule, kemudian turun menjadi 3.036.132 Joule di hari kedua, dan sedikit meningkat menjadi 3.309.768 Joule pada hari ketiga. Perubahan nilai energi ini menunjukkan adanya variasi aktivitas fisik yang dijalani pekerja, yang bisa dipengaruhi oleh jumlah muatan yang direbus, waktu kerja, serta kondisi lingkungan kerja.

3.1.5. Stasiun Thresher

Thresher (penebah atau bantingan) adalah alat berupa tromol berdiameter 1,9 - 2,0 meter dan panjang 3 - 5 meter yang dindingnya berupa kisi-kisi dengan jarak 50 mm untuk memisahkan brondolan dan tandan. Melalui kisi-kisi brondolan jatuh ke conveyor (bottom fruit conveyor) dan tandan ter dorong keluar ke conveyor tandan kosong (empty bunch conveyor) menuju hopper. Dengan kecepatan putaran \pm 23 rpm. Cara kerja Thresher adalah dengan membanting tandan masak pada tromol yang berputar (dibantu siku penahan) akibat gaya sentrifugal putaran tromol.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dihasilkan oleh tiga pekerja yang bekerja pada stasiun thresher selama tiga hari proses pengolahan CPO. Pada hari pertama, tercatat energi sebesar 2.751.646 Joule, mengalami penurunan cukup signifikan menjadi 2.360.081 Joule di hari kedua, dan kembali naik ke angka 2.656.724 Joule pada hari ketiga. Fluktuasi data ini mengindikasikan adanya perbedaan tingkat aktivitas fisik yang dijalani para pekerja, yang mungkin dipengaruhi oleh volume tandan buah segar yang diolah, kecepatan kerja mesin thresher, ataupun faktor kelelahan tenaga kerja.

3.1.6. Stasiun Ekstraksi Minyak

Pada ekstraksi minyak ini terdapat banyak proses yang terjadi, hal yang paling penting adalah proses press ada yang press daging buah dan ada yang press pada tandanya. Untuk dapat memisahkan (mengambil) bagian minyak dari ampas, dengan cara pengempaan (*press*), dimana memisahkan minyak kasar (*crude oil*) dari serat – serat dalam daging buah. Proses ini dilakukan dengan cara menekan dan memeras serat tankos, sehingga minyak yang terperangkap dapat dikeluarkan secara optimal. Adapun ampas hasil ekstraksi akan dibuang ke limbah tankos melalui *conveyor*, ampas tankos dapat digunakan sebagai pupuk kompos.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dicapai oleh tiga orang karyawan yang bekerja pada stasiun ekstraksi minyak dalam proses produksi CPO selama tiga hari pengamatan. Pada hari pertama, energi yang tercatat mencapai 3.303.828 Joule, lalu menurun menjadi 2.968.060 Joule pada hari kedua, sebelum kembali meningkat menjadi 3.193.344 Joule di hari ketiga. Variasi angka energi tersebut menunjukkan adanya perbedaan intensitas aktivitas fisik yang mungkin disebabkan oleh volume kerja, banyaknya bahan yang diolah, kondisi alat ekstraksi, atau faktor kelelahan pekerja [9].

3.1.7. Stasiun Kernel Plant

Unit kerja yang berfungsi untuk mengolah inti sawit (kernel) yang diperoleh setelah proses pemisahan serat (fiber) dan biji (*nut*) pada tahap sebelumnya, yaitu di stasiun *thresher* dan *nut & Fibre Separator*. Pada stasiun ini, *nut* yang telah dipisahkan akan diproses lebih lanjut melalui alat *ripple mill* atau *nut cracker* untuk memecah cangkang (*shell*) sehingga diperoleh inti sawit (kernel). Kernel kemudian dipisahkan dari pecahan cangkang menggunakan alat seperti *claybath* atau *hydrocyclone* yang memanfaatkan perbedaan berat jenis. Setelah terpisah, kernel akan mengalami proses pengeringan (*kernel dryer*) untuk menurunkan kadar air agar sesuai standar penyimpanan dan mutu.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dikeluarkan oleh dua orang pekerja yang bertugas di stasiun kernel plant pada proses pengolahan CPO selama tiga hari pengamatan. Pada hari pertama, energi tercatat sebesar 1.651.716 Joule, kemudian mengalami penurunan menjadi 1.452.211 Joule pada hari kedua, dan kembali meningkat sedikit menjadi 1.519.848 Joule di hari ketiga. Fluktuasi data ini mengindikasikan adanya variasi beban kerja yang mungkin berkaitan dengan jumlah kernel yang harus diolah, kondisi peralatan, atau stamina para pekerja. Informasi mengenai



energi kerja ini sangat penting untuk mengevaluasi tingkat aktivitas fisik dan memastikan agar beban kerja tetap dalam batas aman, sehingga dapat mencegah kelelahan maupun risiko kecelakaan.

3.1.8. Stasiun Klarifikasi

Unit kerja yang berfungsi memisahkan minyak kelapa sawit kasar (crude oil) dari campuran kotoran, air, dan padatan lain (solid impurities) yang masih terbawa setelah proses ekstraksi. Minyak hasil pengepresan (pressing) dari stasiun ekstraksi akan dialirkan ke crude oil tank atau sand trap tank untuk pengendapan partikel padat yang berat, kemudian melewati serangkaian proses seperti pemanasan, pengadukan (agitasi), serta pemisahan menggunakan alat clarifier tank (tangki klarifikasi). Proses ini memanfaatkan prinsip perbedaan berat jenis antara minyak, air, dan sludge (lumpur) sehingga minyak dapat mengapung dan mudah dipisahkan. Selanjutnya, minyak bersih dialirkan ke vibrating screen untuk menyaring sisa kotoran halus, sebelum disimpan di tangki timbun minyak (oil storage tank) dengan suhu tertentu untuk menjaga kualitas. Stasiun klarifikasi sangat penting karena menentukan mutu minyak sawit mentah (CPO) yang dihasilkan, sekaligus memengaruhi efisiensi proses produksi dan nilai ekonomi produk akhir.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dihasilkan oleh dua orang pekerja yang bertugas di stasiun klarifikasi selama tiga hari berturut-turut. Energi tertinggi tercatat pada hari pertama sebesar 1.411.344 Joule, kemudian mengalami penurunan signifikan menjadi 1.216.829 Joule di hari kedua, dan sedikit meningkat kembali pada hari ketiga menjadi 1.261.260 Joule. Perbedaan jumlah energi ini mencerminkan variasi beban kerja yang kemungkinan dipengaruhi oleh volume minyak kasar yang harus diklarifikasi serta kondisi operasional peralatan seperti *clarifier tank* atau *vibrating screen* [10].

3.1.9. Stasiun Boiler / Kamar Mesin

Boiler adalah bejana bertekanan penghasil uap dalam suatu pabrik kelapa sawit yang diibaratkan sebagai jantung pabrik. Hal ini disebabkan karena uap yang dihasilkan *boiler* merupakan sumber energi potensial uap untuk menggerakkan turbin dan kebutuhan proses yang diperlukan pabrik. Oleh karena itu, kestabilan tekanan uap di *boiler* merupakan faktor yang sangat penting diperhatikan untuk keberhasilan proses pengolahan. Adapun kamar mesin berfungsi untuk mengubah energi potensial uap ke dalam energi kinetik. Kemudian energi kinetik diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan alternator. Mendistribusikan energi listrik ke semua instalasi yang membutuhkannya. Menyimpan dan mendistribusikan uap dengan tekanan rendah untuk proses pengolahan di pabrik.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dikeluarkan oleh enam orang pekerja yang bertugas di stasiun boiler atau kamar mesin selama tiga hari proses pengolahan CPO. Pada hari pertama, energi yang tercatat mencapai 8.766.446 Joule, kemudian turun menjadi 7.426.267 Joule di hari kedua, sebelum kembali meningkat menjadi 8.029.138 Joule pada hari ketiga. Variasi nilai energi ini mencerminkan fluktuasi aktivitas fisik yang bisa disebabkan oleh perbedaan beban kerja operasional, seperti kebutuhan uap proses, pemeliharaan mesin, atau kondisi peralatan boiler itu sendiri [11].

3.1.10. Stasiun Penimbunan CPO

Crude Palm Oil (CPO) yang telah dimurnikan kemudian disalurkan ke *storage tank*. *Storage tank* merupakan tangki yang berfungsi sebagai tempat penimbunan sementara CPO sebagai minyak hasil produksi sebelum dikirim ke pabrik pengolahan selanjutnya (pembeli). Didalam tangki diinjeksi uap yang Bersuhu 50°C yang bertujuan agar tidak terjadi oksidasi yang dapat mengakibatkan naiknya Asam Lemak Bebas (ALB). Untuk menjaga temperature pada tanki di pasang *steam coil* dimana temperatur yang di harapkan di tangki adalah berkisar 45 °C - 55 °C PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Kebun Ophir memiliki 3 *storage tank* dengan kapasitas masing-masing 2.000 ton.

Hasil pengukuran energi memperlihatkan total energi yang dikeluarkan oleh dua orang pekerja yang bertugas di stasiun penimbunan CPO selama tiga hari kegiatan produksi. Pada hari pertama, energi yang tercatat sebesar 576.180

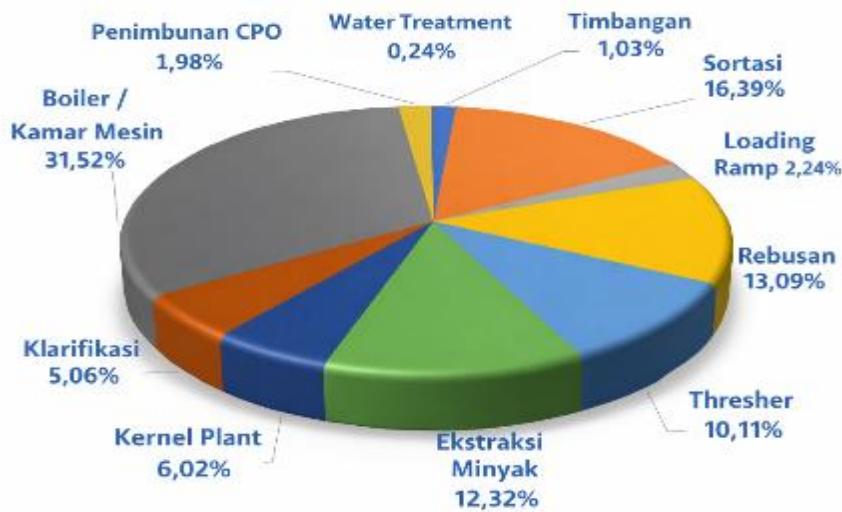
Joule, kemudian turun menjadi 453.262 Joule pada hari kedua, dan sedikit meningkat kembali menjadi 491.357 Joule di hari ketiga. Fluktuasi nilai energi ini kemungkinan berkaitan dengan variasi volume CPO yang ditangani setiap hari, aktivitas pengecekan kualitas minyak, hingga kegiatan pemeliharaan tangki penyimpanan.

3.1.11. Stasiun Water Treatment Plant (WTP)

Water treatment plant adalah stasiun pendukung pada pabrik kelapa sawit yang mempunyai fungsi untuk mengolah air dari sumber air sehingga memenuhi persyaratan untuk digunakan di pabrik dan domestik. Air yang digunakan berasal dari Sungai yang berada di Pasaman Barat. Kemudian air dipompaan dengan mesin ke Clarifier untuk ditampung sementara. Setelah air di Clarifier lanjut dipompaan ke Water Basin dengan kapasitas penampungan yaitu 90 - 100 ton. Adapun pemakaian standar pabrik untuk penggunaan air adalah 700 – 1000 m³ dengan rata-rata 800 m³ per harinya. Setelah air ditampungan Water Basin maka dipompaan menuju Sand Filter untuk dilakukan penyaringan terhadap air. Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dihasilkan oleh satu orang pekerja yang bertugas di stasiun Water Treatment Plant selama tiga hari pengamatan di pabrik kelapa sawit. Pada hari pertama, energi yang tercatat sebesar 213.444 Joule, lalu mengalami penurunan menjadi 198.594 Joule di hari kedua, dan kembali turun menjadi 184.615 Joule pada hari ketiga. Penurunan energi ini dapat disebabkan oleh berkurangnya intensitas aktivitas fisik, perubahan jumlah air yang harus diolah, atau stabilitas kondisi peralatan yang mungkin memengaruhi beban kerja operator.

3.1.12. Total Kebutuhan Energi Output Manusia dalam Pengolahan CPO

Total kebutuhan energi output manusia merupakan nilai keseluruhan dari keluaran energi manusia yang dihasilkan selama proses produksi CPO selama 3 hari berturut-turut dari proses penerimaan buah hingga proses penimbunan CPO. Total kebutuhan energi manusia dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Total Penggunaan Energi Output Manusia pada Pengolahan CPO

Pada Gambar 4 ditampilkan distribusi total energi output manusia yang dihasilkan oleh seluruh tenaga kerja di setiap stasiun Pabrik Kelapa Sawit (PKS) selama tiga hari pengamatan berturut-turut. Dari grafik terlihat bahwa stasiun Boiler/Kamar Mesin mendominasi kontribusi energi tertinggi, yaitu sebesar

31,52 % dari total energi seluruh stasiun. Hal ini cukup wajar karena aktivitas di stasiun boiler melibatkan pekerjaan dengan intensitas fisik tinggi, seperti pengawasan tekanan uap, pengisian bahan bakar, pengecekan suhu, serta



pemeliharaan rutin peralatan yang berjalan selama proses pengolahan berlangsung, sehingga membutuhkan tenaga kerja yang relatif lebih besar baik dari sisi kuantitas maupun aktivitas fisik.

Posisi berikutnya ditempati oleh stasiun Sortasi dengan kontribusi sebesar 16,39 %, menunjukkan bahwa proses pemilahan Tandan Buah Segar (TBS) memerlukan banyak aktivitas manual, misalnya memindahkan, mengangkat, atau memilah buah berdasarkan kualitas. Stasiun Rebusan tercatat menyumbang 13,09 % energi total, yang juga tergolong tinggi karena pekerja harus mengawasi proses sterilisasi TBS dalam autoclave, membuka pintu rebusan, dan mengatur proses muat-bongkar buah setelah perebusan.

Selanjutnya, stasiun Ekstraksi Minyak memberikan kontribusi 12,32 % dari total energi, sejalan dengan aktivitas pengoperasian screw press, pengecekan mesin, dan pembersihan peralatan untuk memastikan proses ekstraksi berjalan optimal. Stasiun Thresher menempati angka 10,11 %, di mana pekerja terlibat dalam pemantauan proses pemisahan buah dari tandanya serta penanganan alat ripple mill. Kernel Plant juga memberikan kontribusi signifikan sebesar 6,02 %, karena meskipun di sana jumlah pekerja lebih sedikit, proses pemecahan nut, pemisahan kernel dari cangkang, hingga pengeringan kernel tetap memerlukan aktivitas fisik cukup tinggi.

Stasiun Klarifikasi menyumbang 5,06 % dari total energi, mencerminkan aktivitas pekerja dalam mengawasi proses pemurnian minyak, mengoperasikan clarifier tank, serta membersihkan saringan (vibrating screen). Sementara itu, stasiun Loading Ramp tercatat menyumbang 2,24 %, berhubungan dengan aktivitas bongkar muat TBS dari truk ke loading ramp yang meskipun berat, tidak memerlukan waktu lama jika dibandingkan stasiun lain. Stasiun Penimbunan CPO menyumbang 1,98 %, karena aktivitas di sini lebih banyak melibatkan pengawasan kualitas CPO dan pengecekan tangki penyimpanan yang tidak terlalu intens secara fisik.

Adapun stasiun Timbangan hanya mencatat 1,03 % dari total energi, karena aktivitas di sini lebih dominan bersifat administratif seperti pencatatan berat TBS yang masuk ke pabrik. Terakhir, stasiun Water Treatment Plant (WTP) menyumbang energi paling kecil yakni 0,24 %, disebabkan oleh jumlah tenaga kerja yang sedikit dan aktivitas yang lebih bersifat pengawasan dan pengendalian proses pengolahan air yang relatif tidak terlalu menguras energi fisik.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa beban kerja fisik pekerja di PKS sangat bervariasi antar stasiun, bergantung pada jenis proses yang dijalankan dan intensitas aktivitas manual yang terlibat. Data distribusi energi output manusia ini penting sebagai dasar untuk evaluasi keseimbangan beban kerja, perencanaan tenaga kerja, serta penerapan program keselamatan dan kesehatan kerja guna mencegah kelelahan berlebih dan menjaga produktivitas pabrik [12].

3.2. Energi Bahan Bakar

Energi bahan bakar pada PKS ini merupakan energi yang diperoleh dari proses pembakaran fiber dan cangkang sawit untuk pembentukan uap air yang dapat menghasilkan panas. Bahan tersebut merupakan hasil sisa dari pengolahan sawit di PKS. Energi bahan bakar ini sangat penting dalam sektor industri kelapa sawit yang digunakan pada boiler untuk proses perebusan dan lain lain.

3.2.1. Fiber

Fiber pada sawit adalah serat yang dihasilkan sebagai limbah padat dari proses pengolahan kelapa sawit di pabrik kelapa sawit (PKS). Serat ini berasal dari bagian mesokarp atau daging buah kelapa sawit setelah minyak sawit (CPO) diperas melalui mesin screw press. Bentuk fiber berupa serat kasar berwarna cokelat kehitaman dan masih mengandung sedikit sisa minyak. Meskipun dianggap limbah, fiber memiliki nilai ekonomi karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler di pabrik untuk menghasilkan uap, yang digunakan dalam proses produksi. Selain itu, fiber juga berpotensi diolah menjadi briket, pellet bahan bakar, pupuk organik, atau bahan baku industri seperti pulp dan papan partikel. Dengan nilai kalor yang cukup tinggi, sekitar 4502,983 kcal/kg, fiber menjadi sumber energi alternatif yang membantu mengurangi limbah padat di industri kelapa sawit.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fiber sawit selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, penggunaan fiber menghasilkan energi paling tinggi, yaitu sebesar 1.094.273.919 kJ. Pada hari kedua terjadi penurunan signifikan hingga 734.778.720 kJ, yang kemungkinan disebabkan oleh penurunan jumlah fiber yang dibakar atau penurunan aktivitas operasional pabrik. Namun, pada hari ketiga, jumlah energi kembali meningkat menjadi 857.241.840 kJ, meskipun belum mencapai jumlah seperti hari pertama. Pola ini menunjukkan adanya fluktuasi dalam pemanfaatan energi dari fiber yang mungkin berkaitan dengan volume produksi, ketersediaan bahan bakar fiber, atau efisiensi operasional boiler pada masing-masing hari.

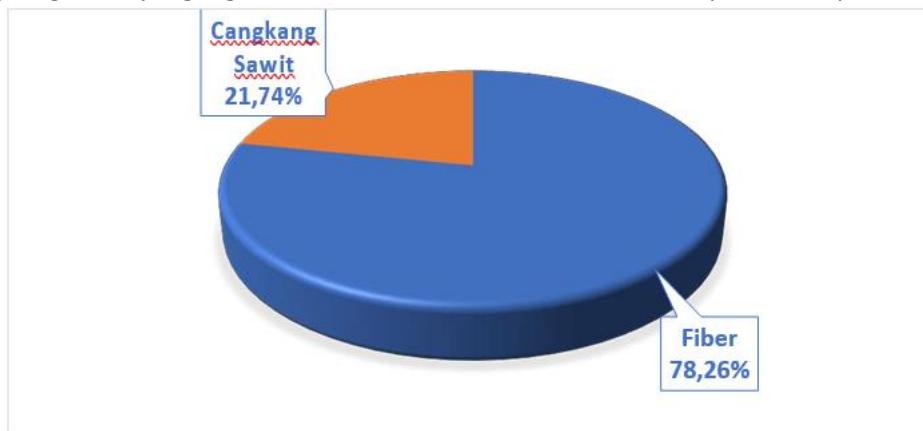
3.2.2. Cangkang Sawit

Cangkang sawit adalah limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit, tepatnya berasal dari bagian keras yang membungkus biji atau kernel buah kelapa sawit. Setelah kernel dipisahkan untuk diolah menjadi minyak inti sawit (PKO), cangkang tertinggal sebagai hasil samping. Bentuknya keras, berwarna cokelat gelap hingga hitam, dan memiliki karakteristik fisik menyerupai pecahan tempurung. Meskipun merupakan limbah, cangkang sawit memiliki nilai ekonomi tinggi karena kandungan energinya yang cukup besar, dengan nilai kalor berkisar 4710,477 kcal/kg. Di pabrik kelapa sawit, cangkang banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap yang digunakan dalam proses produksi. Selain itu, cangkang sawit juga diekspor sebagai bahan bakar biomassa, dijadikan briket, pellet, atau bahkan bahan baku karbon aktif. Pemanfaatan cangkang sawit tidak hanya membantu mengurangi limbah padat tetapi juga memberikan kontribusi pada penghematan biaya energi serta mendukung penggunaan energi terbarukan.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar cangkang sawit selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, penggunaan cangkang sawit menghasilkan energi tertinggi, yaitu 352.232.814 kJ. Namun, pada hari kedua terjadi penurunan cukup drastis hingga hanya 118.251.840 kJ, yang mungkin disebabkan oleh kekurangnya kebutuhan energi, ketersediaan cangkang yang lebih sedikit, atau efisiensi pembakaran yang menurun. Pada hari ketiga, energi yang dihasilkan naik kembali menjadi 275.920.960 kJ, meskipun belum menyamai angka pada hari pertama. Data ini menunjukkan adanya fluktuasi pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar, yang kemungkinan berkaitan dengan variasi produksi, pasokan bahan bakar, atau kondisi operasional boiler di pabrik kelapa sawit.

3.2.3. Total Konsumsi Bahan Bakar

Total kebutuhan energi bahan bakar merupakan nilai keseluruhan dari keluaran energi bahan bakar yang dikonsumsi selama proses produksi CPO selama 3 hari berturut-turut di boiler. Total konsumsi bahan bakar ini merupakan total dari bahan fiber dan cangkang sawit yang digunakan. Total konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Total Konsumsi Energi Bahan Bakar



Gambar 5 menunjukkan komposisi total penggunaan bahan bakar selama proses produksi minyak kelapa sawit (CPO) di pabrik kelapa sawit. Terlihat bahwa fiber sawit mendominasi penggunaan bahan bakar dengan proporsi sebesar 78,26 %, sedangkan cangkang sawit hanya berkontribusi sebesar 21,74 % dari total energi yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa fiber lebih banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi di pabrik, karena ketersediaannya yang melimpah setelah proses pengepresan buah sawit serta nilai kalor yang cukup tinggi, sehingga efektif digunakan untuk bahan bakar boiler. Sementara itu, meskipun cangkang sawit juga memiliki nilai kalor tinggi, penggunaannya lebih sedikit, karena sebagian cangkang dijual sebagai komoditas ekspor atau dialokasikan untuk keperluan lain. Data ini mengilustrasikan bahwa dalam operasional pabrik kelapa sawit, fiber dan cangkang sawit menjadi sumber energi utama dalam mendukung proses produksi CPO [13].

3.3. Energi Listrik

Energi listrik adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan muatan listrik. Energi listrik ini digunakan sebagai energi penggerak pada motor-motor listrik yang digunakan pada pengolahan CPO. Energi ini sangat penting dalam kehidupan modern karena digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan atau mesin yang digunakan di PKS.

3.3.1. Stasiun Penimbangan

Stasiun timbangan digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan seperti timbangan digital, komputer pencatat data, printer, lampu penerangan, serta perangkat pendukung lainnya yang memastikan proses penimbangan tandan buah segar (TBS) berjalan akurat dan efisien. Ketersediaan listrik di stasiun ini sangat penting karena hasil penimbangan menjadi dasar perhitungan rendemen, pembayaran kepada pemasok, dan pencatatan produksi pabrik. Konsumsi listrik di stasiun timbangan biasanya relatif kecil dibandingkan stasiun proses lainnya, namun tetap berperan penting dalam menjaga kelancaran alur administrasi dan kontrol operasional di PKS.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan di stasiun penimbangan Pabrik Kelapa Sawit (PKS) selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat sebesar 639.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 513.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 594.000 J. Fluktuasi penggunaan energi listrik ini dapat disebabkan oleh variasi jumlah tandan buah segar (TBS) yang ditimbang setiap hari, durasi operasional timbangan digital, serta aktivitas administrasi dan pencatatan data yang menggunakan perangkat elektronik di stasiun tersebut. Meskipun nilai energinya relatif kecil dibandingkan konsumsi energi di stasiun proses lainnya, energi listrik di stasiun penimbangan memegang peranan penting karena memastikan akurasi data timbangan yang menjadi dasar pencatatan produksi, perhitungan rendemen, dan transaksi penerimaan TBS dari pemasok.

3.3.2. Stasiun Loading Ramp

Stasiun *loading ramp* mengoperasikan peralatan seperti motor listrik pada *hoist crane*, *vibrator hopper*, dan peralatan kontrol yang berfungsi membantu proses penerimaan, pengaturan aliran, serta penyaluran tandan buah segar ke tahap proses selanjutnya. Konsumsi listrik di stasiun ini penting karena *loading ramp* berperan sebagai titik awal penampungan TBS, di mana efisiensi penanganan sangat memengaruhi kelancaran produksi. Meski kebutuhan energinya tidak sebesar stasiun pengolahan utama, suplai listrik yang stabil di *loading ramp* tetap menjadi faktor pendukung untuk menjaga kecepatan bongkar muat TBS serta mencegah antrean truk yang dapat menghambat operasional pabrik.

Hasil pengukuran energi memperlihatkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun *loading ramp* di PKS selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi, yakni sebesar 6.415.920.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 4.345.110.000 J, dan kembali naik pada hari ketiga menjadi 4.979.520.000 J. Fluktuasi penggunaan energi ini dapat dipengaruhi oleh variasi jumlah tandan buah segar (TBS) yang



diterima dan diolah, intensitas penggunaan peralatan listrik seperti *hoist crane*, *vibrator hopper*, serta peralatan kontrol lainnya yang berperan dalam proses pengaturan dan pengaliran TBS menuju tahap pengolahan berikutnya. Meskipun stasiun *loading ramp* bukan stasiun proses utama, konsumsi listriknya cukup signifikan karena aktivitas bongkar muat dan penanganan TBS yang padat.

3.3.3. Stasiun Rebusan

Stasiun rebusan PKS digunakan untuk mengoperasikan peralatan seperti motor listrik penggerak SFB Conveyor, sistem kontrol otomatis sterilizer, dan panel-panel listrik yang mendukung proses perebusan tandan buah segar (TBS). Konsumsi listrik di stasiun ini penting karena meskipun energi panas utama berasal dari uap, berbagai peralatan listrik diperlukan untuk memastikan distribusi uap yang stabil, pengaturan tekanan, dan pengendalian waktu perebusan agar proses berjalan efisien dan kualitas minyak sawit tetap terjaga. Tanpa pasokan listrik yang memadai, proses rebusan dapat terganggu, sehingga memengaruhi kelancaran produksi dan mutu CPO yang dihasilkan.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun rebusan selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi, yaitu sebesar 2.722.880.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 1.844.040.000 J, dan sedikit meningkat kembali pada hari ketiga menjadi 2.113.280.000 J. Fluktuasi penggunaan energi listrik ini dapat disebabkan oleh variasi jumlah tandan buah segar yang direbus setiap hari, lama siklus perebusan, serta intensitas penggunaan peralatan listrik seperti pompa uap, blower, sistem kontrol otomatis sterilizer. Meskipun proses utama perebusan memanfaatkan energi panas dari uap, kebutuhan listrik tetap penting untuk mendukung kelancaran operasi peralatan, pengaturan tekanan dan suhu sterilizer, serta menjaga kestabilan proses.

3.3.4. Stasiun Thresher

Energi listrik di stasiun thresher digunakan terutama untuk menggerakkan motor listrik pada mesin thresher atau alat perontok, yang berfungsi memisahkan buah sawit dari tandanya setelah proses perebusan, serta untuk menjalankan peralatan pendukung seperti conveyor, auto feeder, dan sistem kontrol otomatis. Konsumsi listrik di stasiun ini cukup signifikan karena mesin thresher bekerja terus-menerus mengikuti kapasitas pabrik dan volume tandan buah segar (TBS) yang diolah, sehingga keandalan suplai listrik menjadi penting agar proses pemisahan buah berjalan lancar, efisien, dan tidak terjadi kemacetan yang dapat mengganggu alur produksi CPO.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun thresher selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi, yaitu sebesar 4.212.960.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 2.853.180.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 3.269.760.000 J. Fluktuasi penggunaan energi listrik ini disebabkan oleh variasi jumlah tandan buah segar yang diolah, intensitas operasi mesin thresher, serta penggunaan peralatan pendukung seperti conveyor, auto feeder, dan sistem kontrol. Mesin thresher berfungsi memisahkan buah sawit dari tandanya setelah proses perebusan, sehingga penggunaan listrik di stasiun ini cukup signifikan untuk mendukung kelancaran proses pemisahan buah secara efisien.

3.3.5. Stasiun Ekstraksi Minyak

Energi listrik di stasiun ekstraksi minyak digunakan untuk mengoperasikan peralatan utama seperti screw press yang mengekstraksi minyak dari daging buah sawit, motor-motor penggerak pompa, vibrating screen, digester dan mesin pemisah minyak dan sludge, serta berbagai alat kontrol otomatis. Konsumsi listrik di stasiun ini tergolong tinggi karena proses ekstraksi memerlukan tenaga mekanis yang besar dan beroperasi secara terus-menerus seiring dengan kapasitas olah pabrik. Keandalan suplai listrik sangat penting agar proses pemerasan minyak berjalan lancar dan efisien, karena gangguan listrik dapat menghentikan proses produksi CPO, menurunkan rendemen minyak, serta memengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.



Hasil pengukuran energi memperlihatkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun ekstraksi minyak selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi yaitu 24.988.320.000 J, lalu mengalami penurunan signifikan pada hari kedua menjadi 16.923.060.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 19.393.920.000 J. Fluktuasi ini dapat disebabkan oleh variasi volume tandan buah segar yang diproses, intensitas penggunaan screw press, vibrating screen, pompa, dan alat pemisah minyak lainnya, serta waktu operasi peralatan tersebut. Stasiun ekstraksi merupakan titik kritis dalam pengolahan CPO karena proses pemisahan minyak dari daging buah membutuhkan tenaga mekanik yang besar dan berkelanjutan, sehingga konsumsi energi listrik di stasiun ini menjadi yang tertinggi dibandingkan stasiun lainnya.

3.3.6. Stasiun Kernel Plant

Energi listrik di stasiun kernel plant digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan seperti ripple mill untuk memecah cangkang dan kernel, claybath atau hydrocyclone untuk memisahkan kernel dari cangkang berdasarkan perbedaan berat jenis, mesin pengering kernel, conveyor, elevator, serta peralatan kontrol otomatis. Konsumsi listrik di stasiun ini cukup signifikan karena proses pemisahan dan pengolahan kernel memerlukan tenaga mekanis yang kontinu agar kernel dapat dihasilkan dengan kadar kotoran dan kadar air rendah, sehingga memenuhi standar mutu untuk penjualan atau pengolahan lebih lanjut. Keandalan suplai listrik menjadi faktor penting agar proses kernel recovery berjalan efisien, tidak menimbulkan kemacetan peralatan, serta mendukung tercapainya target rendemen kernel yang optimal.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun kernel plant di PKS selama tiga hari berturut-turut. Konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada hari pertama, yaitu sebesar 9.648.000.000 J, kemudian menurun pada hari kedua menjadi 6.534.000.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 7.488.000.000 J. Fluktuasi ini dapat disebabkan oleh variasi jumlah biji sawit (kernel) yang diproses, durasi kerja peralatan, serta intensitas penggunaan mesin seperti ripple mill, claybath, elevator, dan alat pengering kernel. Stasiun kernel plant memerlukan pasokan energi listrik yang cukup besar karena proses pemisahan dan pengeringan kernel membutuhkan operasi mekanis berkelanjutan

3.3.7. Stasiun Klarifikasi

Energi listrik di stasiun klarifikasi digunakan untuk mengoperasikan peralatan seperti pompa minyak, pompa sludge, vacuum oil drier, serta alat kontrol otomatis yang berfungsi memisahkan minyak sawit dari kotoran, air, dan solid lainnya agar diperoleh CPO yang bersih dan memenuhi standar mutu. Konsumsi listrik di stasiun ini cukup signifikan karena sebagian besar proses klarifikasi melibatkan pemompaan fluida dan pengoperasian mesin pemisah yang bekerja secara kontinu mengikuti kapasitas produksi pabrik. Ketersediaan listrik yang stabil menjadi sangat penting agar proses pemisahan minyak berjalan efisien, meminimalkan kehilangan minyak dalam sludge, serta memastikan mutu CPO yang dihasilkan tetap tinggi.

Hasil pengukuran energi memperlihatkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun klarifikasi di PKS selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi sebesar 2.379.840.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 1.611.720.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 1.847.040.000 J. Fluktuasi penggunaan energi ini dapat disebabkan oleh variasi volume minyak sawit yang diproses setiap hari, frekuensi penggunaan pompa minyak, pompa sludge, separator, vibrating screen, dan peralatan pemisah lainnya yang berperan dalam memisahkan minyak sawit dari kotoran, air, dan solid. Stasiun klarifikasi memerlukan suplai energi listrik yang stabil agar proses pemisahan berjalan efisien, meminimalkan kehilangan minyak dalam sludge, serta menjaga kualitas CPO yang dihasilkan.



3.3.8. Stasiun Boiler / Kamar Mesin

Energi listrik di stasiun boiler atau kamar mesin digunakan untuk mengoperasikan peralatan penting seperti motor pompa air umpan boiler, blower udara pembakaran, sistem kontrol otomatis, serta motor- motor penggerak lainnya yang mendukung proses pembangkitan uap. Meskipun sumber energi utama di boiler adalah bahan bakar padat seperti fiber dan cangkang sawit yang dibakar untuk menghasilkan panas, listrik tetap diperlukan agar semua peralatan mekanis dan sistem kendali bekerja optimal, menjaga tekanan dan suhu uap sesuai kebutuhan proses pengolahan CPO. Tanpa suplai listrik yang stabil, operasi boiler dapat terganggu, memengaruhi kelancaran produksi karena uap merupakan media panas utama yang digunakan hampir di seluruh stasiun di PKS.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun boiler dan kamar mesin selama tiga hari berturut-turut. Konsumsi energi listrik tertinggi terjadi pada hari pertama sebesar 12.616.046.400 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 8.544.076.200 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 9.791.558.400 J. Fluktuasi ini disebabkan oleh variasi beban kerja boiler yang berhubungan langsung dengan jumlah tandan buah segar (TBS) yang diolah, serta intensitas penggunaan peralatan listrik seperti pompa air umpan boiler, blower udara pembakaran, motor- motor penggerak, dan sistem kontrol otomatis yang memastikan operasi boiler berjalan stabil. Meskipun energi panas utama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar padat seperti fiber dan cangkang sawit, energi listrik tetap memegang peranan penting untuk mendukung kelancaran proses pembangkitan uap yang menjadi media panas utama dalam pengolahan CPO [14].

3.3.9. Stasiun Penimbunan CPO

Energi listrik di stasiun penimbunan CPO digunakan untuk mengoperasikan peralatan seperti pompa transfer minyak. Konsumsi listrik di stasiun ini relatif lebih rendah dibandingkan stasiun proses lainnya, namun tetap penting karena suhu minyak harus dijaga stabil agar kualitas CPO tidak menurun akibat pengentalan atau pengendapan padatan. Tanpa suplai listrik yang memadai, proses pemompaan dan pemeliharaan suhu di tanki timbun dapat terganggu, yang berpotensi memengaruhi mutu produk dan kelancaran pengiriman minyak sawit ke konsumen atau pelabuhan ekspor.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun Penimbunan CPO selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi, yakni sebesar 836.160.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 566.280.000 J, dan kembali meningkat pada hari ketiga menjadi 648.960.000 J. Fluktuasi penggunaan energi listrik ini disebabkan oleh variasi aktivitas pemompaan minyak ke tangki timbun. Meskipun konsumsi listrik di stasiun ini relatif lebih rendah dibandingkan stasiun proses lainnya, energi listrik tetap berperan penting untuk menjaga kualitas minyak sawit selama penyimpanan dan memastikan proses transfer CPO berjalan lancar.

3.3.10. Stasiun Water Treatment Plant (WTP)

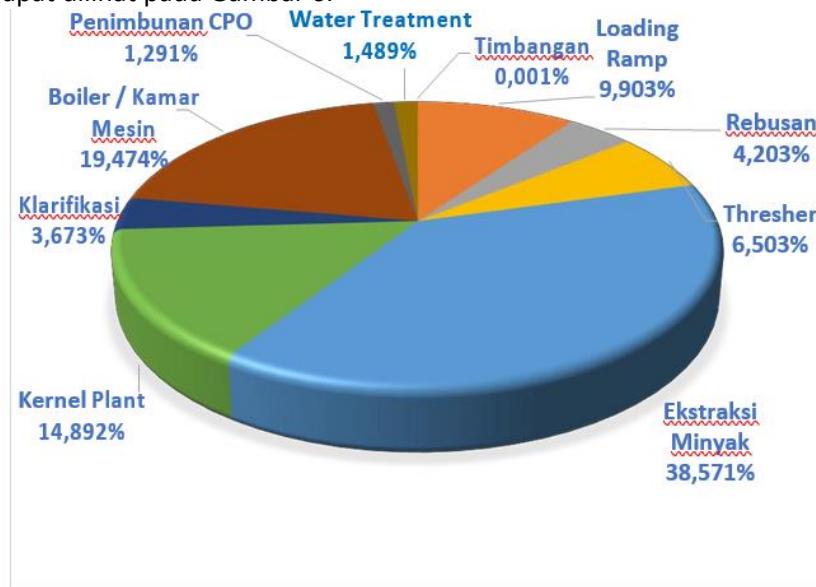
Energi listrik di stasiun water treatment plant digunakan untuk mengoperasikan peralatan seperti raw water pump, serta sistem kontrol otomatis yang mengatur proses penyaringan dan penjernihan air yang akan digunakan dalam berbagai tahap pengolahan CPO, termasuk di boiler dan proses sterilisasi. Konsumsi listrik di WTP tergolong penting meskipun tidak sebesar stasiun produksi utama, karena kualitas air yang dihasilkan berpengaruh langsung pada efisiensi operasi pabrik dan umur peralatan, khususnya boiler yang memerlukan air dengan standar tertentu agar tidak mengalami kerusakan akibat kerak atau korosi. Tanpa suplai listrik yang memadai, proses pengolahan air dapat terhenti, yang berpotensi mengganggu kontinuitas operasi PKS secara keseluruhan.

Hasil pengukuran energi menunjukkan total energi listrik yang digunakan pada stasiun Water Treatment Plant selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, konsumsi energi listrik tercatat paling tinggi, yakni sebesar 964.800.000 J, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 653.400.000

J, dan kembali mengalami kenaikan pada hari ketiga menjadi 748.800.000 J. Fluktuasi ini dapat dipengaruhi oleh variasi volume air yang diolah setiap hari, serta intensitas penggunaan peralatan listrik seperti pompa air baku dan sistem kontrol otomatis yang memastikan air memenuhi standar kualitas untuk kebutuhan proses di PKS, terutama untuk keperluan boiler dan sterilisasi. Meskipun energi listrik yang digunakan di WTP relatif lebih rendah dibandingkan stasiun proses utama, peran listrik di stasiun ini sangat penting agar pasokan air bersih tetap terjaga, mendukung kelancaran proses produksi, serta menjaga umur panjang peralatan pabrik.

3.3.11. Total Kebutuhan Energi Listrik dalam Pengolahan CPO

Total kebutuhan energi listrik merupakan nilai keseluruhan dari keluaran energi listrik yang dihasilkan selama proses produksi CPO selama 3 hari berturut-turut dari proses penerimaan buah hingga proses penimbunan CPO. Total kebutuhan energi listrik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Total Penggunaan Energi Listrik pada Pengolahan CPO

Gambar 6 menunjukkan distribusi total energi listrik yang digunakan di seluruh stasiun PKS selama tiga hari berturut-turut, yang diukur dalam persentase terhadap total konsumsi energi listrik pabrik. Gambar 6 terlihat bahwa stasiun Ekstraksi Minyak menjadi penyumbang konsumsi energi listrik terbesar, yaitu sebesar 38,571 %. Hal ini wajar karena proses ekstraksi memerlukan tenaga mekanis tinggi, seperti pengoperasian screw press, vibrating screen, dan separator yang bekerja terus-menerus untuk memisahkan minyak dari daging buah sawit. Posisi kedua adalah stasiun Boiler/Kamar Mesin dengan kontribusi sebesar

19,474 %, karena meskipun panas dihasilkan dari pembakaran fiber dan cangkang, berbagai pompa, blower, dan sistem kontrol otomatis tetap memerlukan energi listrik dalam jumlah besar untuk mendukung proses pembangkitan uap. Stasiun Kernel Plant menyumbang 14,892 %, mengingat di sana banyak peralatan mekanis seperti ripple mill, claybath, dan pengering kernel yang bekerja untuk memisahkan dan mengolah biji sawit [15].

Selanjutnya, Loading Ramp mencatat konsumsi energi sebesar 9,903 %, yang digunakan untuk operasi motor conveyor, dan elevator yang memindahkan tandan buah segar menuju proses perebusan. Stasiun Thresher mengonsumsi 6,503 %, karena mesin perontok bekerja intens untuk memisahkan buah dari tandannya setelah perebusan. Rebusan mencatat penggunaan energi listrik sebesar 4,203 %, yang meskipun proses utamanya menggunakan energi panas uap, tetapi masih memerlukan listrik untuk pompa uap, blower, dan sistem kontrol otomatis. Stasiun Klarifikasi berada pada

posisi berikutnya dengan konsumsi 3,673 %, karena proses pemisahan minyak, sludge, dan impurities melibatkan pompa dan separator yang terus beroperasi.

Stasiun Water Treatment Plant (WTP) mencatat penggunaan energi listrik sebesar 1,489 %, meskipun tergolong kecil, namun sangat vital karena air hasil pengolahan di stasiun ini digunakan untuk proses produksi, termasuk boiler. Stasiun Penimbunan CPO mengonsumsi 1,291 %, yang diperlukan untuk menjaga suhu CPO agar tetap cair di tangki timbun, menjalankan pompa transfer minyak. Yang paling kecil adalah stasiun Timbangan, dengan konsumsi hanya 0,001 %, karena peralatan di stasiun ini bersifat elektronik ringan, seperti timbangan digital dan sistem pencatatan.

Dari data ini terlihat bahwa konsumsi energi listrik di PKS sangat bervariasi antar stasiun, dipengaruhi oleh kompleksitas peralatan dan intensitas proses di masing-masing stasiun. Data ini sangat penting sebagai bahan analisis efisiensi energi, identifikasi peluang penghematan energi, serta perhitungan biaya operasional di PKS secara menyeluruh. Gambar 6 ini juga membantu manajemen PKS menentukan prioritas perbaikan atau investasi teknologi yang lebih efisien di stasiun dengan konsumsi energi terbesar [16].

3.4. Total Kebutuhan Energi

Total kebutuhan energi merupakan jumlah keseluruhan energi yang diperlukan untuk menjalankan seluruh proses produksi CPO, mulai dari proses penerimaan buah sampai dengan proses penimbunan CPO. Berikut total kebutuhan energi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Studi Total Kebutuhan Energi

Gambar 7 menunjukkan komposisi total energi yang digunakan di seluruh stasiun PKS selama tiga hari berturut-turut, yang terdiri dari tiga sumber energi utama, yaitu Bahan Bakar, Listrik, dan Energi Manusia. Dari gambar 7, terlihat bahwa porsi terbesar energi berasal dari Bahan Bakar, yakni sebesar 95,573 % atau rata-rata perharinya sekitar 1.144.233,364 MJ, yang umumnya berupa fiber (serat) dan cangkang sawit hasil sampingan proses pengolahan sawit sendiri. Bahan bakar ini digunakan sebagai sumber energi panas di boiler untuk menghasilkan uap (steam), yang menjadi media pemanas utama dalam berbagai proses produksi seperti perebusan tandan buah segar, pemanasan minyak sawit, dan kebutuhan lainnya. Pemanfaatan bahan bakar padat ini sangat efisien secara ekonomi karena memanfaatkan limbah produksi internal, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mendukung keberlanjutan industri PKS.

Energi Listrik berkontribusi sebesar 4,425 % atau rata-rata perharinya sekitar 52.980,792 MJ dari total energi, yang digunakan untuk mengoperasikan berbagai mesin penggerak, motor listrik, pompa, blower, separator, screw press,



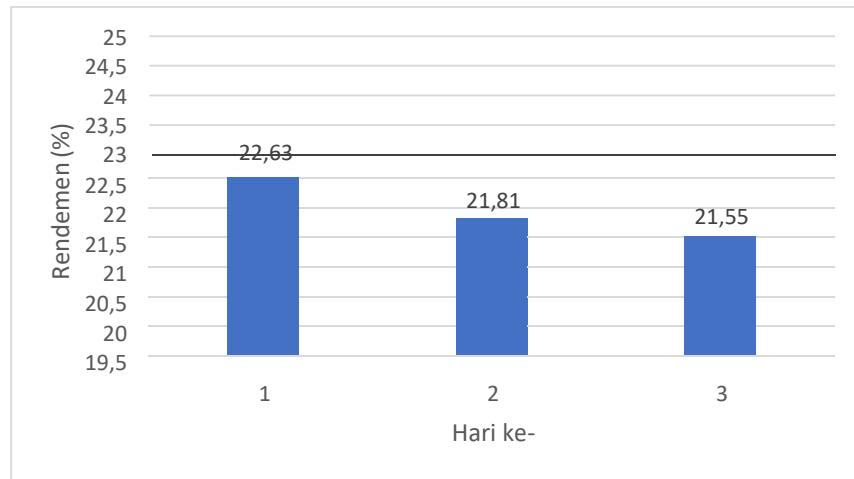
conveyor, elevator, alat kontrol otomatis di seluruh stasiun PKS, mulai dari loading ramp, thresher, rebusan, klarifikasi, kernel plant, boiler, hingga penimbunan CPO dan water treatment plant. Meskipun persentasenya kecil dibandingkan bahan bakar, listrik sangat penting karena hampir semua peralatan mekanik dan kontrol di PKS bergantung padanya agar proses berjalan efisien dan stabil. Gangguan suplai listrik dapat berdampak signifikan pada kelancaran produksi serta kualitas CPO yang dihasilkan.

Sementara itu, energi yang berasal dari Manusia tercatat hanya sebesar 0,002 % atau 25,751 MJ dari total energi. Ini meliputi tenaga kerja yang melakukan aktivitas manual seperti pengawasan, pengoperasian alat, pemeliharaan, penimbangan, serta kegiatan penunjang lainnya. Nilai energi manusia memang sangat kecil secara kuantitatif dibandingkan energi mesin, tetapi peran manusia tetap sangat krusial sebagai pengendali, pengawas proses, serta pengambil keputusan saat terjadi kendala operasional.

Secara keseluruhan, ini menggambarkan bahwa proses pengolahan CPO di PKS sangat dominan memanfaatkan energi bahan bakar dari hasil samping produksi sawit sendiri, sedangkan listrik menjadi komponen pendukung penting, dan tenaga manusia walau kecil secara energi, tetap esensial untuk memastikan kelancaran dan keamanan seluruh operasi pabrik. Informasi ini sangat penting untuk analisis efisiensi energi, pengendalian biaya produksi, serta evaluasi keberlanjutan operasional PKS [17].

3.5. Rendemen

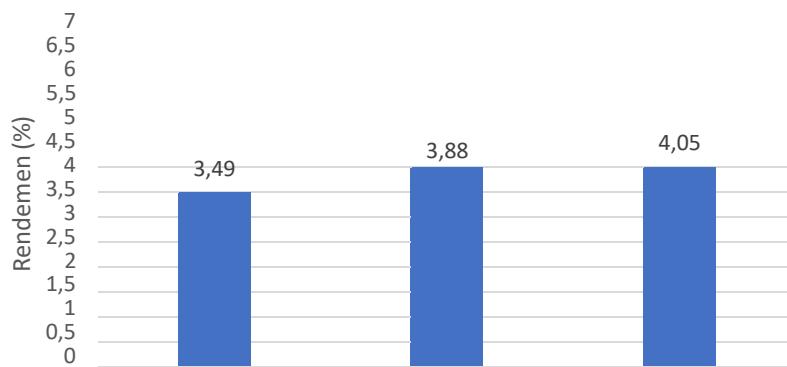
Rendemen dilakukan dengan mengukur persentase massa hasil CPO setelah dilakukan proses pengolahan TBS untuk melihat berapa hasil produksi CPO yang dihasilkan. Berikut studi rendemen CPO dan kernel yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Rendemen CPO

Gambar 8 menunjukkan rendemen CPO yang dihasilkan PKS selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, rendemen tercatat sebesar 22,63 %, kemudian turun menjadi 21,81 % pada hari kedua, dan sedikit menurun lagi menjadi 21,55 % pada hari ketiga. Fluktuasi rendemen ini dapat dipengaruhi oleh kualitas dan kematangan TBS, tingkat kebersihan buah, efisiensi kerja peralatan proses seperti sterilizer, thresher, screw press, serta kondisi operasional pabrik, misalnya suhu perebusan dan tekanan uap. Rendemen CPO di atas 21 % hingga 23 % masih tergolong cukup baik, mengingat standar industri PKS umumnya berkisar antara 20 % hingga 24 % tergantung varietas kelapa sawit, kondisi kebun, dan teknologi proses yang digunakan [14]. Rendemen hari pertama (22,63 %) dapat dikategorikan bagus karena mendekati batas atas standar, sementara rendemen hari kedua dan ketiga sedikit lebih rendah, namun masih termasuk rendemen wajar dan tidak terlalu rendah. Nilai ini tetap menunjukkan bahwa proses ekstraksi minyak di PKS relatif berjalan baik,

namun perlu perhatian lebih agar faktor-faktor penyebab penurunan rendemen dapat segera dikendalikan untuk menjaga stabilitas produksi dan memaksimalkan profitabilitas pabrik [18].

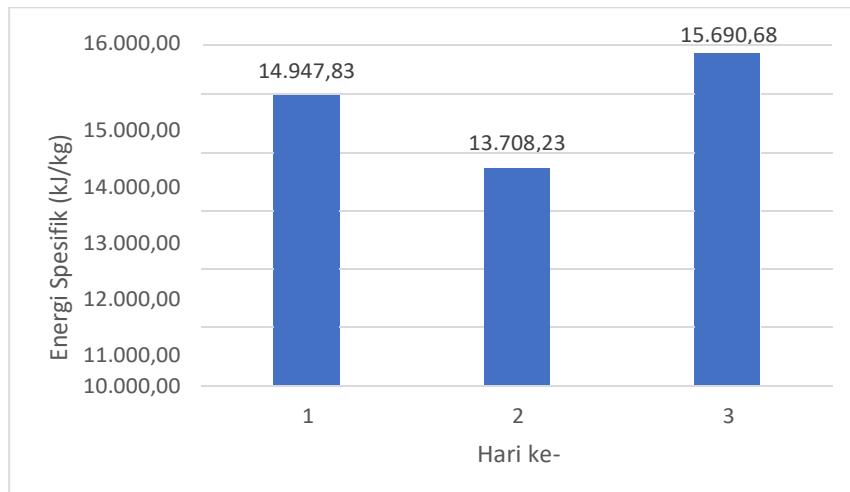


Gambar 9. Rendemen Kernel

Gambar 9 menunjukkan rendemen kernel yang dihasilkan PKS selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, rendemen kernel tercatat sebesar 3,49 %, kemudian mengalami kenaikan pada hari kedua menjadi 3,88 %, dan terus meningkat pada hari ketiga hingga mencapai 4,05 %. Peningkatan rendemen ini menunjukkan adanya perbaikan dalam efisiensi proses pemisahan inti sawit (kernel) dari cangkang dan serat pada stasiun kernel plant, yang melibatkan peralatan seperti ripple mill, claybath, nut polishing drum, dan sistem pemisah lainnya. Secara umum, rendemen kernel berkisar antara 3 % hingga 5 % tergantung varietas kelapa sawit, kualitas TBS, serta efisiensi peralatan pemrosesan. Oleh karena itu, nilai rendemen kernel pada grafik ini tergolong cukup baik, terutama pada hari ketiga yang mencapai lebih dari 4 %, menunjukkan proses pemisahan kernel berjalan lebih optimal. Data rendemen kernel sangat penting karena kernel merupakan salah satu produk samping bernilai ekonomi tinggi yang dapat diolah lebih lanjut menjadi minyak kernel sawit (Palm Kernel Oil) atau dijual sebagai komoditas, sehingga peningkatan rendemen kernel secara langsung berdampak pada peningkatan keuntungan ekonomi PKS [19].

3.6. Energi Spesifik

Energi spesifik pengolahan CPO merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengolah TBS dari bahan mentah hingga menjadi produk akhir perkilogramnya. Berikut studi energi spesifik pengolahan CPO yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Energi Spesifik Pengolahan CPO



Gambar 10 memperlihatkan energi spesifik yang digunakan dalam proses pengolahan CPO di PKS selama tiga hari berturut-turut. Pada hari pertama, energi spesifik tercatat sebesar 14.947,83 kJ/kg, kemudian mengalami penurunan pada hari kedua menjadi 13.708,23 kJ/kg, dan kembali naik cukup signifikan pada hari ketiga hingga mencapai 15.690,68 kJ/kg. Fluktuasi nilai energi spesifik ini menunjukkan adanya variasi dalam efisiensi proses produksi, yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kualitas bahan baku TBS, kondisi peralatan pabrik, stabilitas operasi boiler dan mesin-mesin proses, serta variasi rendemen minyak. Semakin rendah energi spesifik, menunjukkan proses pengolahan yang lebih efisien karena energi yang digunakan per satuan berat produk CPO lebih sedikit. Nilai energi spesifik PKS umumnya berkisar 13.000 – 16.000 kJ/kg, sehingga data pada grafik ini masih berada dalam batas normal, meskipun hari ketiga tercatat paling tinggi yang mungkin menandakan konsumsi energi lebih besar untuk menghasilkan CPO, misalnya akibat kualitas TBS yang kurang baik atau adanya gangguan teknis yang membuat proses berjalan kurang optimal. Data energi spesifik ini sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi energi pabrik, menghitung biaya produksi, serta menjadi dasar untuk program penghematan energi di PKS [5]. Konsumsi energi primer pada proses pengolahan TBS bisa dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Energi Primer pada Proses Pengolahan TBS

Energi	Energi Spesifik (kJ/kg)	Percentase
Manusia	0,32	0,002%
Bahan Bakar	14.186,98	95,573%
Listrik	656,89	4,425%
Total	14.844,19	100%

Tabel 3 menunjukkan energi spesifik yang dibutuhkan untuk memproduksi satu kilogram CPO di PKS. Total energi spesifik yang digunakan dalam proses pengolahan CPO tercatat sebesar 14.844,19 kJ/kg, yang berasal dari tiga sumber energi utama, yaitu manusia, bahan bakar, dan listrik. Sumber energi terbesar adalah bahan bakar, dengan nilai energi spesifik sebesar 14.186,98 kJ/kg, yang menyumbang 95,573% dari total energi, mencerminkan dominasi pemakaian bahan bakar padat seperti fiber dan cangkang sawit yang digunakan untuk proses perebusan, pembangkitan uap, dan kebutuhan termal lainnya. Energi listrik menyumbang sebesar 656,89 kJ/kg atau 4,425 %, digunakan untuk menggerakkan motor listrik, pompa, conveyor, mesin pemrosesan, dan sistem kontrol pabrik. Sementara itu, energi manusia hanya sebesar 0,32 kJ/kg atau 0,002 %, karena sebagian besar proses di PKS bersifat mekanis dan otomatis, sehingga peran tenaga kerja manusia relatif kecil dalam konsumsi energi langsung. Komposisi energi ini menunjukkan bahwa pengolahan CPO sangat bergantung pada energi termal dibandingkan energi listrik atau tenaga manusia, sehingga efisiensi bahan bakar menjadi faktor krusial dalam menekan biaya operasional dan meningkatkan profitabilitas pabrik. Data ini juga dapat digunakan sebagai indikator efisiensi energi serta sebagai bahan evaluasi untuk program konservasi energi dan peningkatan kinerja proses di PKS [20].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil Studi Aliran Energi Dalam Memproduksi CPO (Crude Palm Oil) di PT. Perkebunan Nusantara IV Regional IV Kebun Ophir, Sumatera Barat, didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Total konsumsi energi dalam produksi CPO di PKS Ophir didominasi oleh energi bahan bakar, yang mencapai lebih dari 95,573 % dari keseluruhan kebutuhan energi, sementara energi listrik 4,425 % dan energi manusia 0,002 % hanya menyumbang sebagian kecil. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar sangat menentukan biaya produksi dan keberlanjutan operasional pabrik. Penggunaan fiber lebih dominan dibandingkan cangkang sebagai bahan bakar karena ketersediaan yang lebih tinggi dan nilai kalor yang cukup besar



2. Rendemen CPO yang diperoleh selama penelitian berkisar antara 21,55 % hingga 22,63 %, sementara rendemen kernel berkisar 3,49 % hingga 4,05 %. Rendemen tersebut menunjukkan kualitas proses yang cukup baik, namun masih dapat ditingkatkan melalui perbaikan teknis dan pemeliharaan peralatan. Kualitas bahan baku TBS serta kontrol proses di tiap stasiun sangat berpengaruh terhadap stabilitas rendemen
3. Konsumsi energi spesifik (Specific Energy Consumption/SEC) dalam pengolahan CPO tercatat bervariasi tiap hari, berkisar antara sekitar 13.708,23 hingga 15.690,68 kJ/kg. Nilai SEC ini menunjukkan tingkat efisiensi energi yang sudah cukup baik meski masih terdapat peluang untuk penghematan lebih lanjut. Faktor fluktuasi SEC dapat dipengaruhi oleh jumlah TBS yang diolah, kondisi peralatan, serta efektivitas proses di setiap stasiun.
4. Stasiun ekstraksi minyak menjadi stasiun dengan konsumsi energi listrik tertinggi di PKS Ophir, diikuti oleh *boiler*/kamar mesin dan *kernel plant*. Hal ini menunjukkan bahwa titik-titik proses mekanis yang melibatkan mesin berkapasitas besar merupakan kontributor utama kebutuhan energi listrik. Pengawasan dan pemeliharaan rutin pada mesin-mesin besar sangat penting untuk mencegah lonjakan konsumsi energi yang berlebihan.

5. Referensi

- [1] A. A. Solikah and B. Bramastia, "Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 1, pp. 27–43, Mar. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.21742.
- [2] F. N. Appy and P. A. Wicaksono, "Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Crude Palm Oil (CPO) dengan Metode Six Sigma (Studi Kasus : PT Sampoerna Agro TBK)," *Industrial Engineering Online Journal*, 2025, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/51958>
- [3] D. A. Efriansyah, A. Herawati, I. N. Anggraini, R. S. Rinaldi, and Y. Rodiah, "Analisis Potensi Energi Matahari dan Pembangkitan Daya pada PLTS Sebagai Sumber Rumah Energi Terbarukan Sederhana di Kota Bengkulu," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 8258–8267, Feb. 2024, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/56>
- [4] L. F. Sihaloho, Z. Lubis, and B. Sibuea, "Analisis Faktor-Faktor Penentu Harga Pokok Pengolahan Produksi Di Pabrik Kelapa Sawit Sei Silau PTPN IV Regional 1 Palmco," *JURNAL AGRICA*, vol. 18, no. 1, pp. 1–11, 2025, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://ojs.uma.ac.id/index.php/agrica/article/view/13587>
- [5] A. L. Siregar *et al.*, "Korelasi TBS Inti dan TBS Masyarakat terhadap Rendemen Minyak Kelapa Sawit di Kotawaringin Lama, Kalimantan Tengah," *AGRIFOR*, vol. 23, no. 2, p. 241, Jul. 2024, doi: 10.31293/agrifor.v23i2.7626.
- [6] E. Yulistika, M. R. Ramadhan, D. R. Erika, and B. Baihaqi, "Analisis dan Perancangan Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Metode Klasifikasi – Decision Tree," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 14, no. 2, pp. 2329–2338, Oct. 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i2.15414.
- [7] H. S. Fiagi and D. Nurkertamanda, "Analisis Beban Kerja Fisik dan Mental Menggunakan Metode Cardiovascular Load (%CVL) dan Konsumsi Energi, Serta Nasa-Task Load Index (TLX) (Studi Kasus: PT Bimuda Karya Teknik)," *Industrial Engineering Online Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 1–11, 2025, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/49964>
- [8] R. K. Manggala and Siswanto, "Pengaruh Stres Kerja dan Beban Kerja terhadap Turnover Intention pada Sumber Daya Manusia (SDM) Generasi Z di Provinsi D.I. Yogyakarta," *Jurnal Akuntansi, Manajemen, dan Perencanaan Kebijakan*, vol. 2, no. 2, pp. 1–10, Nov. 2024, doi: 10.47134/jampk.v2i2.489.
- [9] S. S. F. Dhany, S. Asrida, D. Aprilia, and N. Syafriani, "Analisa Kehilangan Minyak Kelapa Sawit pada Proses Perebusan (Sterilizer) dengan Menerapkan Metode Fishbone di PT. Anugrah Fajar Rezeki," *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, vol. 8, no. 1, pp. 899–908, Jul. 2025, doi: 10.32734/EE.V8I1.2657.



- [10] L. Gusri, P. A. Putri, A. Manab, and A. Rabiula, "Potensi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Upaya Meningkatkan Efisiensi Energi di Pabrik Kelapa Sawit," *Jurnal Ecocentrism*, vol. 5, no. 2, pp. 119–130, Nov. 2025, doi: 10.36733/jeco.v5i2.12914.
- [11] E. Tambarta, I. Sinta, W. I. Nasution, S. Safitri, and E. Arnas, "Kajian Potensi Komoditi Perkebunan sebagai Bahan Baku Biodiesel untuk Pengembangan Energi Terbarukan," *Jurnal Agriuma*, vol. 7, no. 1, pp. 30–41, Apr. 2025, doi: 10.31289/agri.v7i1.13230.
- [12] D. J. Siagian, D. J. A. Pardede, I. R. Septarini, and W. F. Putri, "Optimasi Parameter Suhu Pemanasan Silo Dryer untuk Meningkatkan Produktivitas dan Efisiensi dalam Proses Pengeringan Kernel Sawit," *Geoteknik*, vol. 2, no. 1, pp. 56–63, Sep. 2025, Accessed: Dec. 29, 2025. [Online]. Available: <https://eng.arbain.co.id/index.php/geoteknik/article/view/9>
- [13] M. A. Saukani *et al.*, "Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) pada Proses Produksi di Pabrik Kelapa Sawit," *Jurnal Agro Fabrica*, vol. 7, no. 1, pp. 84–94, Jul. 2025, doi: 10.47199/JAF.V7I1.307.
- [14] M. A. Saukani *et al.*, "Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) pada Proses Produksi di Pabrik Kelapa Sawit," *Jurnal Agro Fabrica*, vol. 7, no. 1, pp. 84–94, Jul. 2025, doi: 10.47199/JAF.V7I1.307.
- [15] Suherman, M. Nur, and A. Alya, "Analisis Oil Losses pada Ampas Press Produksi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 105–114, May 2024, doi: 10.55826/jtmit.v3i2.198.
- [16] E. Ariyanto, M. F. Alqorni, and M. Mardwita, "Efisiensi Thermal Alat Economizer pada Pre-Treatment Section dalam Pengolahan Crude Palm Oil (CPO)," *Eksperi*, vol. 21, no. 1, p. 48, Jan. 2024, doi: 10.31315/e.v21i1.9974.
- [17] B. C. Hoe, P. Arumugam, I. C. M. L., J. Tan, and C. W. Ooi, "Extraction of Palm Carotene from Crude Palm Oil by Solvolytic Micellization: Economic Evaluation and Life Cycle Assessment," *Chem Eng Commun*, vol. 211, no. 3, pp. 336–349, Mar. 2024, doi: 10.1080/00986445.2022.2047664.
- [18] M. Raketh, P. Kongjan, S. O-Thong, C. Mamimin, R. Jariyaboon, and K. Promnuan, "Life Cycle Assessment (LCA) and Economic Analysis of Two-Stage Anaerobic Process of Co-Digesting Palm Oil Mill Effluent (POME) with Concentrated Latex Wastewater (CLW) for Biogas Production," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 192, pp. 450–459, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.10.079.
- [19] S. Hartini, S. Saptadi, Nurmilatina, D. P. Sari, and P. A. Wicaksono, "Improving Eco-Efficiency of Crude Palm Oil Production Process Using Life Cycle Assessment," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 1414, no. 1, p. 1, Dec. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1414/1/012058.
- [20] E. Ariyanto, M. F. Alqorni, and M. Mardwita, "Efisiensi Thermal Alat Economizer pada Pre-Treatment Section dalam Pengolahan Crude Palm Oil (CPO)," *Eksperi*, vol. 21, no. 1, p. 48, Jan. 2024, doi: 10.31315/e.v21i1.9974.