



## ANALISIS EKONOMI PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT (PKS) SEBAGAI BAHAN BAKAR *BOILER* (STUDI KASUS PT. MEDCO PAPUA HIJAU SELARAS)

### *ECONOMIC ANALYSIS OF PALM OIL FACTORY WASTE UTILIZATION AS BOILER FUEL (CASE STUDY OF PT. MEDCO PAPUA HIJAU SELARAS)*

Lion F. Marini<sup>1\*</sup>, Pandung Sarungallo<sup>2</sup>, Rio O. Pramanagara<sup>3</sup>, Humam A. S. Budi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Fakultas Teknik Universitas Papua  
Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, Papua Barat 98314

Dikirim: 23 November 2021; Disetujui: 31 Mei 2022; Diterbitkan : 24 Juni 2022

DOI: [10.47039/ish.4.2022.53-65](https://doi.org/10.47039/ish.4.2022.53-65)

#### Inti Sari

Energi terbarukan merupakan salah satu alternatif di tengah krisis energi. Salah satu sumber energi terbarukan adalah Biomassa. Biomassa berasal dari organisme seperti tumbuhan dan hewan serta limbahnya. Salah satu contoh penerapan biomassa sebagai sumber energi adalah limbah pabrik kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keekonomisan dari pemanfaatan limbah padat dari pengolahan kelapa sawit yaitu serabut (*fiber*) dan cangkang (*shell*) kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler* untuk membangkitkan listrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menganalisis produksi dan pemanfaatan serabut dan cangkang sawit untuk disesuaikan dengan kebutuhan listrik pabrik sehingga bisa diketahui biaya energi dari pemanfaatan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PKS beroperasi selama 10 jam dengan kapasitas pengolahan 45 ton/jam. Setiap kelapa sawit yang diolah menghasilkan 6% cangkang dan 13% *fiber*, maka produksi cangkang sebesar 2.700 kg/ jam dan *fiber* sebesar 5.850 kg/jam. Bahan bakar yang masuk ke *Boiler* adalah 1.735,08 kg/jam untuk cangkang dan 5.189,34 kg/jam untuk *fiber*. Rata-rata penggunaan listrik pabrik adalah 783 kWh maka bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan listrik adalah sebesar 6,63 kg serat dan 2,22 kg cangkang per kWh. Biaya Energi dari pemanfaatan serabut dan cangkang kelapa sawit lebih mahal dibandingkan dengan solar yaitu sebesar Rp32.050.425/hari.

**Kata Kunci:** analisis ekonomi, energi terbarukan, *fiber*, cangkang, *boiler*, kelapa sawit

#### Abstract

Renewable energy is an alternative during the energy crisis. One of the renewable energy sources is biomass. Biomass comes from organisms such as plants and animals and their waste. One example of the application of biomass as an energy source is palm oil mill waste. This study aims to determine the economics of utilizing solid waste from palm oil processing, namely fiber and oil palm shell as Boiler fuel to generate electricity. The method used in this study is to analyze the production and utilization of palm fiber and shells to suit the electricity needs of the factory so that the energy costs of the utilization can be known. The study result shows that PKS operates for 10 hours with a processing capacity of 45 tons/hour. Each processed palm oil produces 6% shell and 13% fiber, so the shell production is 2,700 kg/hour and fiber is 5,850 kg/hour. The fuel that enters the Boiler is 1,735.08 kg/hour for the shell and 5,189.34 kg/hour for the fiber. The average use of factory electricity is 783 kWh, so the fuel needed to generate electricity is 6.63 kg of fiber and 2.22 kg of shells per kWh. Energy costs from the use of palm fiber and shells are more expensive than diesel, which is Rp. 32,050,425/day.

**Keywords :** economic analysis, renewable energy, fiber, shells, boilers, palm oil.

\* Korespondensi Penulis

Tlp : +6285244541049

Email : l.marini@unipa.ac.id

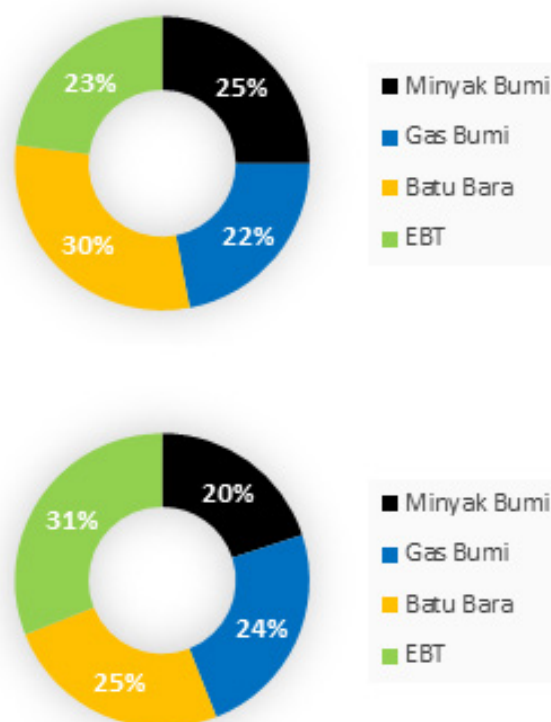


## I. PENDAHULUAN

Energi sangat berperan penting bagi manusia, terutama dalam kehidupan modern seperti sekarang ini dimana manusia tidak bisa hidup tanpa energi. Aktifitas manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi untuk berbagai keperluan yaitu transportasi, kelistrikan, kebutuhan rumah tangga dan kebutuhan industri mikro maupun makro. Energi sangat luas jika dilihat dari sumbernya, yang paling umum adalah energi fosil yang berupa minyak, gas bumi dan batubara. Namun akhir-akhir ini terdapat energi baru dan energi terbarukan. Ketiga energi ini sangat dibutuhkan oleh dunia sejak awal revolusi industri. Di Indonesia sendiri terjadi naik-turun ketahanan energi, dimana yang pertama era kebangkitan energi di tahun 1966, produksi minyak bumi mulai melonjak dengan produksi tertinggi pada tahun 1977 dan 1991 (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Namun produksi minyak bumi Indonesia mengalami penurunan hingga hari ini yang terlihat dari mulai tidak seimbang tingkat konsumsi masyarakat dan hasil produksi (Marini, 2018). Harga minyak dunia yang mulai turun dalam beberapa tahun terakhir menjadi titik balik dimana Energi Baru dan Terbarukan (EBT) mulai dilirik oleh dunia luas, termasuk Indonesia. Pengembangan sumber Energi Terbarukan tidak serta merta menghilangkan pemakaian migas dan batu bara, karena dalam skala besar dunia masih sangat bergantung pada energi fosil (Renstra Dirjen EBTKE 2020-2024, 2020). Dengan mengacu pada Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang tertuang pada Peraturan Pemerintah No.79/2014, realisasi penggunaan EBT dalam bauran energi nasional ditargetkan mencapai paling tidak 23% pada tahun 2025 dan 31,2% pada tahun 2050. Rencana Umum energi Nasional (RUEN) merupakan turunan dari KEN yang telah ditetapkan melalui Peraturan Presiden No. 22/2017. Pada Gambar 1 tentang Bauran Energi Nasional tahun 2025 dan 2050 akan memperlihatkan target bauran energi Indonesia berdasarkan KEN dan RUEN. Dari target pemerintah tersebut dinyatakan bahwa Indonesia membutuhkan paling tidak 92,3 MTOE energi yang berasal dari sumber EBT dari total energi nasional sebesar 400,3 MTOE untuk mencapai target 23% penggunaan EBT ini pada tahun 2025. Sementara untuk tahun 2050, penggunaan EBT ditargetkan mencapai

325 MTOE dari total kebutuhan energi nasional sebesar 1.012,3 MTOE. Untuk mencapai target ditahun 2025, pemerintah telah menetapkan rencana pengembangan EBT sebesar 42GW yang berasal dari sumber panas bumi, air, minihidro, mikrohidro, bioenergi, surya dan angin (Dirjen EBTKE, 2017).

Salah satu contoh sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa adalah energi yang bersumber dari bahan-bahan organik seperti kayu, limbah tanaman, dan limbah hewan. Penggunaan energi biomassa sudah ada sejak dahulu seperti penggunaan kayu bakar untuk memasak (Sanjaya et al., 2018).



Gambar 1. Target Bauran Energi Nasional 2025 (atas) dan 2050 (bawah)

Sumber: Perpres 22, 2017

Berdasarkan Potensi biomassa di Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1, Indonesia memiliki keanekaragaman sumber daya energi listrik yang berasal dari hasil perkebunan terutama perkebunan kelapa sawit yang memiliki total potensi untuk menghasilkan listrik sebesar 12.772,7 Mega Watt electricity (MWe). Khusus Provinsi Papua memiliki potensi 41 MWe dan Provinsi Papua Barat 33,1 MWe (Dirjen EBTKE, 2017).

Indonesia merupakan negara penghasil

kelapa sawit terbesar di dunia. Pertumbuhan produksi kelapa sawit yang semakin meningkat memiliki konsekuensi berupa peningkatan limbah kelapa sawit yang dihasilkan (Alkusma et al., 2016). Agroindustri kelapa sawit di Indonesia telah memberikan banyak kontribusi pada ekonomi negara. Wujudnya antara lain, perluasan kesempatan kerja dan berusaha bagi masyarakat dan pengusaha, serta pemasukan devisa, penggerak ekonomi daerah dan pajak bagi negara (Sipayung, 2012). Namun demikian, sawit masih harus berhadapan dengan isu-isu pengrusakan lingkungan dan aspek sosial seperti akibat konversi hutan menjadi perkebunan, pencemaran akibat limbah sawit yang tidak terolah bahkan sampai pada perampasan lahan petani oleh perusahaan

perkebunan (Jusuf, 2014).

Hasil pengukuran potensi biomassa dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama menjelaskan tentang potensi biomassa yang bersumber dari residu primer hasil pertanian, diantaranya: 1) Jerami padi sawah, 2) Jerami padi ladang, 3) Batang jagung dan 4) Batang ubi kayu. Kelompok kedua merupakan potensi biomassa yang bersumber dari residu sekunder pertanian, yang terdiri dari: 1) Sekam padi sawah, 2) Sekam padi ladang, dan 3) Tongkol jagung. Sedangkan kelompok ketiga adalah potensi biomassa yang bersumber dari perkebunan kelapa sawit, yang terdiri dari: 1) Tandan kosong kelapa sawit, 2) Serabut, 3) Cangkang dan 4) Limbah cair (POME) (Papilo et al., 2015).

Tabel 1.  
Potensi Biomassa (Kelapa Sawit, Tebu, Karet, Kelapa dan Padi)

Provinsi	Potensi (Mwe)					Total
	Kelapa Sawit	Tebu	Karet	Kelapa	Padi	
Riau	2889,2	0	429,7	23,9	87,6	3430,4
Sumatera Utara	1926,9	30,4	220,3	5,2	471,5	2654,3
Jawa Timur	0	638,9		11,2	1475,6	2125,7
Jawa Barat	19,1	62,2	0	5,8	1772,4	1859,5
Sumatera Selatan	1186,8	42,6	69,8	3	492,2	1794,4
Jambi	839,7	0	687,4	6,3	95,9	1629,3
Jawa Tengah	0	138	0	9,8	1430,8	1578,6
Kalimantan Tengah	1213,6	0	149	3,9	99,1	1465,6
Kalimantan Barat	758,3	0	284,9	4,1	204,7	1252
Kalimantan Selatan	574,3	0	386	1,6	280,6	1242,5
Aceh	646,5	0	233,3	2,5	24,2	1122,5
Lampung	179,3	325,8	114,5	5,7	448	1073,3
Kalimantan Timur	837,4	0	42,5	0,6	57,6	938,1
Sumatera Barat	485,1	0	55,1	4,8	336,9	881,9
Sulawesi Selatan	25,3	21,7	0	4,6	696,3	747,9
Bengkulu	434,2	0	108,1	0,4	78,7	621,4
Banten	41	0	0	3,1	297	341,1
Nusa Tenggara Barat	0	0	0	3,3	314,9	318,2
Sulawesi Tengah	117,5	0	0	11,1	158,7	287,3
Bangka Belitung	214,3	0	0	0,2	3,4	217,9
Sulawesi Barat	133,8	0	0	2,3	55,7	191,8
DI Yogyakarta	0	15	0	3,1	125,5	143,6
Bali	0	0	0	3,9	130,8	134,7
Kalimantan Utara	118,5	0	0	0	0	118,5
Sulawesi Tenggara	46,7	0	0	2,2	69,3	118,2
Sulawesi Utara	0	0	0	14,7	89	103,7

Nusa Tenggara Timur	0	0	0	3,4	90,1	93,5
Papua	41,7	0	0	13,3	15,6	70,6
Gorontalo	0	20,3	0	3,3	41,7	65,3
Papua Barat	33,1	0	0	1	4,5	38,6
Maluku Utara	0	0	0	14,1	9,4	23,5
Maluku	0	0	0	4,5	12,8	17,3
Kepulauan Riau	10,4	0	0	0,7	0,2	11,3
DKI Jakarta	0	0	0	0	0,6	0,6
<b>Total</b>	<b>12772,7</b>	<b>1294,9</b>	<b>2780,6</b>	<b>177,6</b>	<b>9687,3</b>	<b>26713,1</b>

Salah satu sumber energi biomassa adalah limbah kelapa sawit. Ada enam jenis limbah yang diperoleh dari perkebunan dan pabrik kelapa sawit yang memiliki potensi energi dengan nilai energi panas (*calorific value*) terkandung didalamnya, yaitu:

1. Tandan Kosong Sawit (TKS) – *Empty Fruit Bunches* (EFB).

Persentase TKKS terhadap TBS sekitar 22 % (220 kg) dari setiap tonnya, mengandung unsur hara N, P, K, dan Mg berturut-turut setara dengan 3 kg Urea; 0,6 kg CIRP; 12 kg MOP; dan 2 kg Kieserit, serta dengan nilai kalor sebesar 18.795 kJ/kg dalam kondisi kering (Kementerian Pertanian, 2019; Nur & Jusuf, 2014).

2. Serabut Sawit - *Mesocarp Fiber*.

Biomassa lain yang dihasilkan dari ekstraksi minyak sawit adalah serat yang disebut serabut sawit (*mesocarp fiber*). Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (lignin 26%), Untuk setiap ton TBS diperoleh 130 kg Serabut (13%), dengan nilai kalor sebesar 19.055 kJ/kg dalam kondisi kering (Kementerian Pertanian, 2019; Nur & Jusuf, 2014)

3. Cangkang Kelapa Sawit (CKS) – *Palm Kernel Shell*.

Cangkang sawit biasanya digunakan sebagai bahan bakar bersama dengan tandang kosong dan serabut sawit. Untuk setiap ton TBS diperoleh 60 kg cangkang (6%), dengan nilai kalor sebesar 20.093 kJ/kg dalam kondisi kering.

4. Batang Kelapa Sawit (BKS) - *Oil Palm Trunk* (OPT).

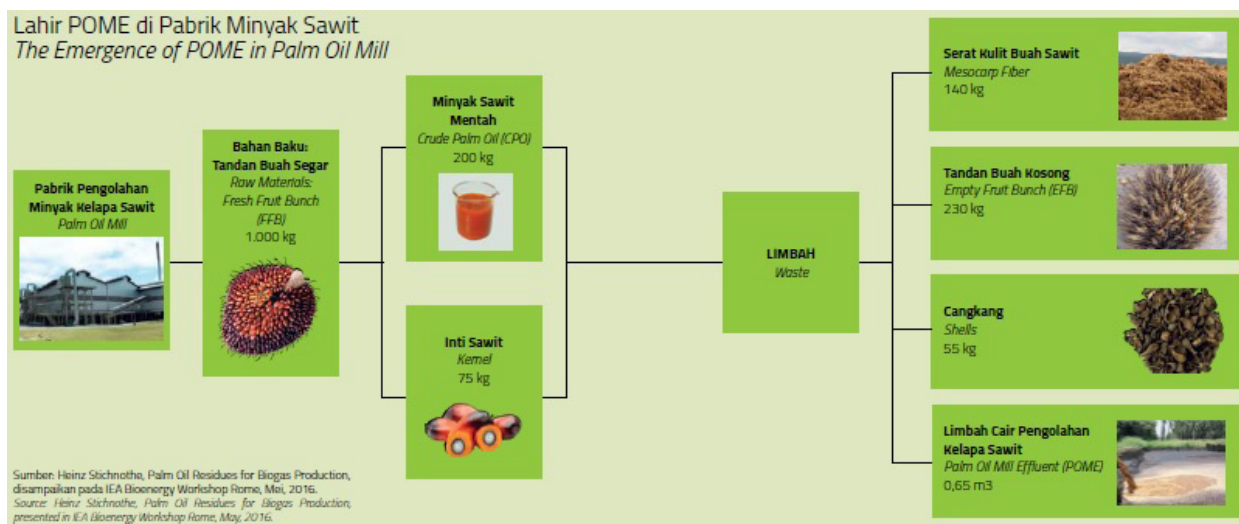
Batang Kelapa Sawit (BKS) yang dihasilkan dari proses peremajaan perkebunan kelapa sawit (berumur diatas 20-25 tahun) ditebang, kemudian diparut dan dibawa ke lapangan untuk terurai secara alami. BKS mengandung kadar air yang sangat tinggi (antara 60% sampai 300% tergantung pada ketinggian dan usianya). Batang terdiri dari bahan lignoselulosa dan memiliki potensi untuk menjadi bahan baku berharga, dengan nilai kalor sebesar 17.471 kJ/kg dalam kondisi kering (Jusuf, 2014).

5. Daun Kelapa Sawit (DKS) - *Oil Palm Frond* (DPF).

Daun sawit digunakan sebagai mulsa di lapangan. Ketika mereka membusuk, mereka melepaskan nutrisi ke dalam tanah. Selain itu, mulsa mengurangi erosi tanah, melestarikan kelembaban tanah, dan kegiatan peningkatan mikroorganisme. Hal ini dapat memperbaiki struktur tanah dan sifat biokimia. Para daun kelapa sawit kaya akan nitrogen dan dianggap menjadi sumber pakan ruminansia dengan nilai kalor sebesar 15.719 kJ/kg dalam kondisi kering (Jusuf et al., 2014).

6. Limbah Cair Kelapa Sawit (LCKS) - *Palm Oil Mill Effluent* (POME).

POME adalah cairan oleh produk yang dihasilkan dari pemurnian minyak mentah. Hal ini kaya nutrisi tanaman dan sedimen yang biasanya digunakan untuk pupuk di perkebunan kelapa sawit maupun sebagai pembangkit listrik. Limbah cair yang dihasilkan tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuat tindakan



Gambar 2. Proses Pengolahan Kelapa Sawit Hingga Menjadi Limbah

pengendalian limbah cair melalui sistem kolam yang kemudian dapat diaplikasikan ke lahan. Untuk setiap ton TBS diperoleh 280 kg ( $0,6 \text{ m}^3$ ) POME, dengan nilai kalor sebesar  $22.000 \text{ kJ/m}^3$  (Jusuf et al., 2014). Proses pengolahan kelapa sawit hingga menjadi limbah dapat dilihat pada Gambar 2.

Penerapan biomassa sebagai sumber energi pembangkit listrik telah dilakukan, salah satunya di pabrik kelapa sawit milik PT. Medco Papua Hijau Selaras yang merupakan pabrik pengolahan kelapa sawit dengan produk utamanya adalah *Crude Palm Oil* (CPO) dan kernel atau inti sawit.

## II. METODE

### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 6 Januari 2021 hingga 7 Maret 2021 di Pabrik Kelapa Sawit PT. Medco Papua Hijau Selaras (*The Capitol Group* Desa Sidey Jaya SP IX Manokwari (Gambar 3). PT. Medco merupakan tempat pengolahan kelapa sawit yang memanfaatkan limbah padat hasil pengolahan yaitu fiber dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler* untuk menghasilkan uap dan membangkitkan listrik.



Gambar 3. Peta Lokasi Perusahaan  
Sumber: PT. Medco, 2021

## B. Stasiun Pendukung Pengolahan Limbah

Selain stasiun pengolahan, pabrik kelapa sawit memiliki stasiun pendukung yang berfungsi menunjang proses produksi dan pengolahan kelapa sawit. Keberadaan stasiun-stasiun pendukung sangat penting karena perannya yang memperlancar jalannya pengolahan.

### 1. Stasiun Penyediaan Air (*Water Treatment*)

Stasiun penyediaan air bertugas meningkatkan kualitas air dari sumber terdekat untuk diolah menjadi uap yang dibutuhkan dalam pembangkitan energi listrik dan kebutuhan pengolahan. Standar kualitas air dinilai melalui persyaratan yang didasarkan pada bahan-bahan kimia dan padatan terlarut didalamnya. Stasiun ini terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu :

#### a. Kolam Penampungan

Pabrik milik PT. Medco Papua Hijau Selaras menggunakan air dari sungai Waramui yang berlokasi sekitar 8 km dari stasiun penyediaan air. Air dipompakan ke kolam penampungan dimana lumpur dan kotoran akan mengendap di dasar kolam.

#### b. *Clarifier Tank*

Air kolam penampungan selanjutnya dialirkan ke *Clarifier Tank* yang bertujuan untuk memisahkan kotoran yang masih ada di air. Air di dalam *Clarifier Tank* akan dicampur dengan bahan kimia yaitu tawas (*Aluminium Sulfat*) dan soda ash (*Sodium Carbonate*). Kedua bahan kimia tersebut dilarutkan kedalam air dengan tujuan menggumpalkan kotoran agar memudahkan proses pengendapan. Air kemudian dipompakan ke *reservoir tank* untuk ditampung sementara yang bertujuan menjaga kontinuitas masukkan ke *sand filter*.

#### c. *Sand Filter*

Pada *sand filter* air dialirkan ke bagian atas untuk menyaring pasir yang masih terkandung di dalamnya dan kemudian dipompakan menuju *tower* air untuk ditampung. Air yang ditampung siap digunakan untuk keperluan air di *boiler*, sanitasi pabrik, kegiatan pengolahan dan lainnya.

#### d. *Water Softener*

*Water Softener* merupakan tangki

yang berfungsi untuk mengurangi tingkat kandungan kalsium dan magnesium didalam air yang dapat menimbulkan pipa berkerak dan menurunkan efisiensi kerja dari *boiler*. PT Medco menggunakan 2 unit *Water Softener* dengan tugas berbeda. *Water Softener* pertama berisi Resin kation yang akan bereaksi dengan air dan menukarkan kation dalam kalsium dan magnesium dengan kation hidrogen. *Water Softener* kedua berisi resin anion yang berfungsi menyerap asam sulfat, asam karbonat dan asam silikat dalam air yang terbentuk karena reaksi pada *Water Softener* pertama.

#### e. *Boiler Feed Tank*

*Boiler Feed Tank* merupakan tangki air yang berfungsi untuk menjaga kontinuitas masukkan air *boiler*. Air dalam *Boiler Feed Tank* dipanaskan dengan temperatur 80°-90°C. Selain sebagai penampung air, *Boiler Feed Tank* juga berfungsi sebagai pemanas air tahap pertama untuk air umpan *boiler*.

#### f. *Deaerator*

*Deaerator* adalah alat yang berfungsi mengurangi kadar gas terlarut dan oksigen pada air yang bisa menyebabkan terjadinya karat dan kerak pada pipa *boiler*. Proses menghilangkan kadar oksigen dalam air dilakukan dengan cara pemanasan air menggunakan uap dan suhu dalam *Deaerator* dijaga konstan antara 80°-90°C.

### 2. Stasiun *Boiler*

Stasiun *Boiler* adalah stasiun yang bertugas menyediakan kebutuhan uap untuk pengoperasian turbin pembangkit listrik dan keperluan kegiatan produksi. Alat yang digunakan untuk memproduksi uap disebut *Boiler*. *Boiler* adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air dengan tujuan untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap yang dihasilkan *Boiler* merupakan bentuk energi kalor yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan suatu proses. Energi kalor dalam uap memiliki nilai temperatur, tekanan dan laju aliran massa yang mengacu pada pemakaian uap.

Mengenai nilai-nilai tersebut, terdapat dua keadaan pada sistem kerja *Boiler* yaitu *low pressure/LP* (tekanan-temperatur rendah) dan *high pressure/HP* (tekanan-temperatur tinggi). Berdasarkan perbedaan tersebut, uap

yang dibangkitkan *Boiler* dalam bentuk energi kalor dikonversi menjadi energi mekanik yang kemudian dimanfaatkan untuk menjalankan mesin dan membangkitkan listrik. Pada prakteknya, terdapat penggabungan dari kedua keadaan pada sistem *Boiler* tersebut yaitu memanfaatkan *high pressure* untuk membangkitkan listrik dan uap bekas dalam keadaan *low pressure* digunakan untuk proses industri.

### 3. Power House

*Power House* merupakan stasiun yang bertugas membangkitkan, mengontrol dan mendistribusikan listrik untuk memenuhi kebutuhan proses pengolahan dan domestik. PT. Medco menggunakan dua sistem pembangkit listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). PLTU memanfaatkan tekanan uap untuk memutar mesin turbin yang dikopel dengan generator. PKS ini memiliki satu unit turbin uap berkapasitas 1.200 kW dan tekanan uap kerja 22 kg/cm<sup>2</sup>.

Pembangkit listrik tenaga diesel adalah mesin pembangkit berbahan bakar solar sebagai sumber tenaganya. Mesin diesel di PKS ini merupakan pembangkit listrik pendukung turbin uap terutama saat proses awal pemanasan air menjadi uap di *Boiler*, pemakaian listrik PKS meningkat dan tekanan uap dari *Boiler* kurang dari tekanan kerja yang dibutuhkan oleh turbin uap. Mesin diesel yang dimiliki oleh PT. MPHS berjumlah 2 unit dengan kapasitas masing-masing 400 kW.

Terdapat juga panel control didalam *power house* yang berfungsi untuk mendistribusikan listrik dan mengontrol sistem kelistrikan di pabrik maupun domestik. Selain itu panel kontrol juga berfungsi sebagai alat untuk mensinkronkan antara turbin uap dengan mesin diesel. Uap yang keluar dari turbin selanjutnya akan ditampung di sebuah tabung yang disebut *Back Pressure Vessel* (BPV). Uap tersebut kemudian akan didistribusikan ke stasiun-stasiun pengolahan yang membutuhkan uap. BPV dilengkapi dengan *safety valve* yang mana akan secara otomatis membuang uap pada tekanan 3,2 bar.

### 4. Pengolahan Limbah

Limbah merupakan sisa atau sampah dari suatu proses kegiatan atau aktifitas

manusia yang bisa menjadi bahan polutan di suatu lingkungan (Karmana, 2007). PKS PT. Medco mengolah langsung limbah padat dan cair yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit. Limbah padat yang dihasilkan oleh proses pengolahan yaitu fiber, cangkang, tandan kosong dan abu *Boiler*. Tandan kosong digunakan sebagai penutup tanah untuk dijadikan pupuk tambahan pada perkebunan kelapa sawit. Fiber dan cangkang digunakan untuk bahan bakar *Boiler*. Sedangkan abu *Boiler* atau sisa-sisa bahan pembakaran dimanfaatkan untuk meningkatkan pH tanah Ultisol dan juga sebagai sumber hara kalium.

Limbah cair dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit yang menggunakan uap dan air panas dalam prosesnya. Proses yang dimaksud seperti perebusan, pengempaan dan pemurnian minyak. Proses pengolahan limbah cair dilakukan menggunakan kolam-kolam penampungan yang memiliki tugas masing-masing. Tugas dari kolam-kolam pengolahan limbah cair tersebut seperti pendinginan, penetralan, pembiakan bakteri, dan pengendapan. Limbah cair yang telah diolah dapat digunakan untuk pakan ternak dan juga pupuk cair.

### C. Jenis Data

Penelitian ini menggunakan jenis data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dari observasi di lapangan dan diskusi dengan pihak perusahaan, PT. Medco. Data sekunder diperoleh dari dokumentasi perusahaan dan untuk menunjang data-data tersebut diperlukan literatur yang berhubungan dengan penelitian ini. Data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Produksi pengolahan kelapa sawit.
2. Kebutuhan energi listrik pabrik.
3. Penggunaan limbah kelapa sawit yaitu *fiber* dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler*.
4. Spesifikasi pembangkit listrik pabrik.
5. *Software Water and Steam Properties* (WASP)

### D. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

## 1. Observasi

Menurut Sudjana & Ibrahim (1989) observasi adalah pengamatan dan pencatatan yang sistematis terhadap gejala-gejala yang diteliti. Observasi dilakukan dengan terjun langsung ke lapangan guna mengamati objek yang berhubungan dengan penelitian. Observasi dilakukan pada lokasi pemanfaatan fiber dan cangkang sebagai bahan bakar *Boiler* yaitu di Pabrik Kelapa Sawit PT. Medco Papua Hijau Selaras.

## 2. Wawancara

Wawancara dilakukan guna memperoleh keterangan yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dalam hal ini pihak yang langsung terlibat adalah Asisten Elektrikal yang diarahkan oleh Asisten Manajer. Data dikumpulkan dengan kuisisioner terbuka melalui wawancara.

Sedangkan objek penelitian yang dilakukan adalah pemanfaatan limbah padat kelapa sawit dengan metode secara langsung berupa: Serabut (*fiber*) dengan nilai kalor (basah) sebesar 3.068 kcal/kg. Cangkang (*shell*) dengan nilai kalor (basah) sebesar 3.893 kcal/kg (Erivianto et al., 2020). Sehingga efisiensi dan ekonomis pemanfaatan limbah tersebut sebagai bahan bakar *boiler* dapat diketahui.

Adapun ketersediaan produk samping PKS yang dihasilkan dalam 1 jam kapasitas yang diolah dalam kondisi pengolahan normal sebesar (PKS 30 ton/jam) adalah: Serabut (*fiber*) sekitar 3.900 kg/jam dari pengolahan. Cangkang (*shell*) sekitar 1.800 kg/jam dari pengolahan. TKKS sekitar 3.771 kg/jam (kadar air 30 %). Briket TKKS 1.980 kg/jam.

## E. Analisis Ekonomi

Metode Perhitungan yang digunakan adalah analisis ekonomi, yaitu membandingkan biaya produksi listrik menggunakan bahan bakar fosil, solar, dan bahan bakar biomasa, yaitu serat dan cangkang kelapa sawit. Untuk menjawab analisis ekonomi yang akan dilakukan dibutuhkan:

### 1. Analisa produksi Serat dan cangkang sawit

Proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO menghasilkan limbah padat berupa serat dan cangkang yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar *Boiler* untuk memanaskan air dan menghasilkan uap untuk membangkitkan

listrik. Persentase limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yaitu sebesar 13% untuk serat dan 6% untuk cangkang. Total produksi serat dan cangkang dari pengolahan kelapa sawit dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Produksi limbah} = \text{Kapasitas pengolahan pabrik} \times \text{Persentase produksi} \quad (1)$$

### 2. Analisa pemanfaatan limbah sawit

Dalam proses pemanfaatan serat dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler* hingga menjadi energi listrik, *Boiler* memerlukan energi panas yang sesuai dengan kebutuhan guna menghasilkan uap yang cukup dan stabil. Energi panas tersebut berasal dari proses pembakaran bahan bakar dimana ketersediaan serat dan cangkang menjadi hal yang sangat diperhatikan dalam proses ini (Basuki & Nugroho, 2008). Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar *Boiler* digunakan persamaan berikut: Kebutuhan energi panas *Boiler*:

$$Q_{\text{Kalor Boiler}} = \frac{m (H_v - H_i)}{\eta} \quad (2)$$

Keterangan:

$Q_{\text{Kalor Boiler}}$  = Kebutuhan energi panas *Boiler*(kJ/jam)

$m$  = Kapasitas uap *Boiler* (kg/jam)

$H_v$  = Entalpi uap keluar (kJ/kg)

$H_i$  = Entalpi air umpan (kJ/kg)

$\eta$  = Efisiensi *boiler*

Kebutuhan bahan bakar *Boiler*:

$$Q_{\text{Bbb}} = \frac{Q_{\text{Kalor Boiler}}}{\text{LHV}} \quad (3)$$

Keterangan:

$Q_{\text{Bbb}}$  = Kebutuhan bahan bakar *Boiler* (kg/jam)

$Q_{\text{Kalor Boiler}}$  = Kebutuhan energi panas *Boiler* (kJ/jam)

$\text{LHV}$  = *Low Heating Value*/ Nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

Penggunaan bahan bakar:

$$\text{Fiber} = Q_{\text{Bbb}} \times \% \text{ fiber} \quad (4)$$

$$\text{Cangkang} = Q_{\text{Bbb}} \times \% \text{ Cangkang} \quad (5)$$



### 3. Data konsumsi bahan bakar

Total penggunaan bahan bakar merupakan besar daya listrik yang dihasilkan berdasarkan banyaknya bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan listrik per kWh (Basuki & Nugroho, 2008). Total penggunaan fiber dan cangkang kelapa sawit dihitung dengan persamaan.:

$$SFC = \frac{Q_f}{kwh} \quad (6)$$

Keterangan:

SFC = Konsumsi spesifik bahan bakar (kg/kWh)

$Q_f$  = Bahan bakar yang masuk ke *Boiler* (kg/jam)

kwh = Listrik yang dibangkitkan generator (kW)

### 4. Perbandingan biaya energi biomasa (*fiber* dan cangkang sawit) dan energi fosil (solar)

Biaya energi merupakan biaya pengeluaran yang harus dibayar untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dalam suatu sistem. Membandingkan biaya pengeluaran untuk *fiber* dan cangkang dengan solar bertujuan untuk mengetahui nilai keekonomisan dari kedua jenis bahan bakar tersebut. Biaya pengeluaran bahan bakar dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Kebutuhan bahan bakar perhari:

Penggunaan bahan bakar x Lama penggunaan (7)

Biaya pengeluaran bahan bakar:

Kebutuhan bahan bakar perhari x Harga bahan bakar (8)

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Produksi Limbah Kelapa Sawit

Pabrik kelapa sawit PT. Medco Papua Hijau Selaras mengolah kelapa sawit menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) dan kernel, dimana kapasitas pengolahan pabrik adalah 45 ton/jam. Pabrik beroperasi selama 10 jam per harinya dalam satu pekan (Senin - Sabtu). Selain CPO dan kernel sebagai produk utama, terdapat produk sampingan atau limbah berupa *fiber*, cangkang dan tandan kosong dari proses pengolahan. Tandan kosong digunakan sebagai mulsa pada kebun kelapa sawit, sedangkan *fiber* dan

cangkang dimanfaatkan untuk bahan bakar *Boiler*. Persentase hasil produksi *fiber* dan cangkang dari proses pengolahan berdasarkan data pengolahan PT. Medco adalah 13% untuk *fiber* dan 6% untuk cangkang.

Untuk mendapatkan jumlah *fiber* dan cangkang yang diproduksi dari proses pengolahan, maka perhitungan adalah sebagai berikut:

#### 1) Produksi *fiber*

Produksi = Kapasitas pengolahan pabrik x persentase *fiber* = 45.000 kg/jam x 13% = 5.850 kg/jam

#### 2) Produksi cangkang

Produksi = Kapasitas pengolahan pabrik x persentase cangkang = 45.000 kg/jam x 6% = 2.700 kg/jam

Maka total produksi *fiber* dan cangkang adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total} &= \text{Fiber} + \text{Cangkang} \\ &= 5.850 \text{ kg/jam} + 2.700 \text{ kg/jam} \\ &= 8.550 \text{ kg/jam.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diuraikan berdasarkan kapasitas pengolahan pabrik PT. Medco yaitu 45 ton/jam dihasilkan produk sampingan berupa *fiber* sebesar 5.850 kg/jam dan cangkang sebesar 2.700 kg/jam. Maka total ketersediaan bahan bakar *boiler* sebesar 8.550 kg/jam.

### B. Pemanfaatan *Fiber* dan Cangkang Sebagai Bahan Bakar *Boiler*

Dalam proses pemanfaatan *fiber* dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler* hingga menjadi energi listrik, *Boiler* memerlukan energi panas yang sesuai dengan kebutuhan guna menghasilkan uap yang cukup dan stabil. Energi panas tersebut berasal dari proses pembakaran bahan bakar dimana ketersediaan *fiber* dan cangkang menjadi hal yang sangat diperhatikan dalam proses ini (Ginanjar, 2019).

Berdasarkan data yang diperoleh dari dokumen PKS PT. Medco, seluruh hasil produksi *fiber* dan cangkang sawit dimanfaatkan sepenuhnya untuk kebutuhan bahan bakar *Boiler*. Komposisi antara *fiber* dan cangkang yang masuk kedalam *Boiler* adalah 70% *fiber* dan 30% cangkang untuk setiap 1 kg. Untuk menghitung jumlah bahan bakar

yang dibutuhkan *boiler* adalah dengan mencari nilai kebutuhan panas *boiler* terlebih dahulu berdasarkan parameter-parameter berikut.

**Tabel 2.** Parameter *Boiler*

No	Parameter	Nilai
1	Kapasitas uap <i>Boiler</i>	30.000 kg/jam
2	Tekanan kerja	22 bar
3	Temperatur uap keluar	30°C
4	Temperatur air umpan	90°C
5	Efisiensi <i>Boiler</i>	75%
6	Nilai kalor <i>fiber</i>	3.402,08 kkal/kg
7	Nilai kalor cangkang	4.360,74 kkal/kg

Sumber: PT. Medco, 2021

#### a) Kebutuhan Panas *Boiler*

Untuk mendapatkan nilai entalpi dari uap keluar dan air umpan, maka harus menggunakan alat bantu atau perangkat lunak *Water and Steam Properties* (WASP). Aplikasi ini bertujuan untuk membantu kerja para ahli mekanik dan kimia. Program ini dapat menghitung karakteristik fisik untuk kondisi suhu dan tekanan yang diketahui atau mencari kondisi yang menimbulkan sifat tertentu. Aplikasi ini berisi data 15 konstanta dan 17 variabel dari 100°C hingga 800°C untuk temperatur dan tekanan hingga 1000 bar.

Property	Units	Vapor
Enthalpy	kJ/kg	3018.48
Entropy	kJ/kg.K	6.7168
Internal Energy	kJ/kg	2768.9
Density / Volume	kg/m <sup>3</sup>	8.81589
Saturation Pressure (abs)	bar	85.8771
Viscosity	Pa.s	2.0070e-5
Heat Capacity @ Const Press	kJ/kg.K	2.3610
Heat Capacity @ Const Vol	kJ/kg.K	1.7150
Velocity of Sound	m/s	568.10
Thermal Conductivity	kW/m.K	4.7456e-5
Thermal Expansion Coefficient	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .K	2.1927e-3
Isothermal Compressibility	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .kPa	4.8386e-4
Isonropic Exponent	-	1.2933
Compressibility Factor "Z"	-	0.94339
Dielectric Constant	-	1.0598
Refractive Index (@ 589.3 nm)	-	1.0028
Boiling Point (@ pressure)	Celsius	217.26

**Gambar 4** Perhitungan Entalpi Uap Keluar (Hv)

Sumber: PT. Medco, 2021

Pada Gambar 4 diatas dapat dilihat data yang diinput pada kolom temperatur dan tekanan masing-masing temperatur 300°C dan tekanan 22 bar mengikuti tabel 2, maka nilai entalpi uap keluar yang didapat melalui software WASP adalah 3.018,48 kJ/kg uap. Sedangkan untuk perhitungan air umpan (Hi) melauai software WASP dengan menginput data temperatur 90°C dan tekanan 22 bar adalah 378,617 kJ/kg *liquid*.

Property	Units	Liquid
Enthalpy	kJ/kg	378.617
Entropy	kJ/kg.K	1.1911
Internal Energy	kJ/kg	376.34
Density / Volume	kg/m <sup>3</sup>	966.275
Saturation Pressure (abs)	bar	0.701824
Viscosity	Pa.s	3.1475e-4
Heat Capacity @ Const Press	kJ/kg.K	4.2004
Heat Capacity @ Const Vol	kJ/kg.K	3.8153
Velocity of Sound	m/s	1556.9
Thermal Conductivity	kW/m.K	6.7395e-4
Thermal Expansion Coefficient	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .K	6.9398e-4
Isothermal Compressibility	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .kPa	4.7007e-7
Isonropic Exponent	-	1064.6
Dielectric Constant	-	58.226
Refractive Index (@ 589.3 nm)	-	1.3214
Melting Point (@ pressure)	Celsius	-0.15339
Boiling Point (@ pressure)	Celsius	217.26

**Gambar 5** Perhitungan Air Umpan (Hi)

Sumber: PT. Medco, 2021

Menurut Basuki, C et al (2008) untuk menghitung kebutuhan bahan bakar *Boiler* digunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Kalor Boiler}} &= (m (H_v - H_i)) / \eta \\
 &= (30.000(3.018,48 - 378,617)) / 0,75 \\
 &= 105.594.520 \text{ kJ / jam} \\
 &= 25.220.818 \text{ kkal / jam}
 \end{aligned}$$

#### b) Kebutuhan Bahan Bakar *Boiler*

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Bbb}} &= \frac{Q_{\text{Kalor Boiler}}}{\text{LHV}} \\
 &= \frac{25.220.818}{3.402,08}
 \end{aligned}$$

$$\text{Fiber} = 7.413,35 \text{ kg / jam}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Bbb}} &= \frac{Q_{\text{Kalor Boiler}}}{\text{LHV}} \\
 &= \frac{25.220.818}{4.360,74}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cangkang} = 5.783,61 \text{ kg / jam}$$

Dari perhitungan diatas, dapat dijelaskan bahwa energi panas yang dibutuhkan *Boiler* untuk memanaskan air adalah sebesar 25.220.818 kkal/jam. Untuk menghasilkan energi panas tersebut, bahan bakar *fiber* yang dibutuhkan adalah sebesar 7.413,35 kg/jam dan cangkang sebesar 5.783,61 kg/jam. Total bahan bakar yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan panas *Boiler* tidak sebanding dengan ketersediaan bahan bakar, dimana bahan bakar *fiber* yang tersedia setiap jam nya hanya sebanyak 5.850 kg/jam dan cangkang sebanyak 2.700 kg/jam. Maka untuk tetap memenuhi kebutuhan panas *Boiler* dengan jumlah bahan bakar yang tersedia adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan Fiber} &: 7.413,35 \times 0,7 = 5.189,34 \text{ kg/jam} \\ \text{Penggunaan Cangkang} &: 5.783,61 \times 0,3 = 1.735,08 \text{ kg/jam} \\ \text{Total bahan bakar} &: 5.189,34 + 1.735,08 = 6.924,42 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka untuk memenuhi kebutuhan panas *Boiler*, total bahan bakar yang digunakan adalah sebesar 6.924,42 kg/jam dengan campuran antara *fiber* sebanyak 5.189,34 kg/jam dan cangkang sebanyak 1.735,08 kg/jam.

### C. Data Konsumsi Bahan Bakar

Diketahui rata-rata penggunaan listrik pabrik selama beroperasi adalah 783 kWh, maka untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah serat dan cangkang kelapa sawit, yaitu dengan menghitung konsumsi spesifik bahan bakar untuk memproduksi daya listrik per kWh nya yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SFC Fiber} &= \frac{Q_f}{\text{kwh}} \\ &= \frac{5.189,34}{783} \\ &= 6,63 \text{ kg/kWh} \\ \text{SFC Cangkang} &= \frac{Q_f}{\text{kwh}} \\ &= \frac{1.735,08}{783} \\ &= 2,22 \text{ kg/kWh} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas untuk memproduksi energi listrik sebesar 1 kWh dibutuhkan *fiber* sebanyak 6,63 kg dan cangkang sebanyak 2,22 kg.

### D. Perbandingan Biaya Energi Fiber dan Cangkang dengan Solar

Kebutuhan energi listrik PKS PT. Medco dipasok oleh PLTU berbahan bakar *fiber* dan cangkang kelapa sawit sebagai pembangkit utama. Selain PLTU, pihak pabrik pun menggunakan PLTD berbahan bakar solar sebagai pembangkit cadangan yang dioperasikan untuk penyalaan awal *Boiler* dan saat terjadi penurunan tekanan uap dari batas minimal tekanan kerja turbin untuk membantu memasok energi listrik pabrik. Penyalaan awal *Boiler* membutuhkan waktu sekitar 2,3 jam dengan konsumsi bahan bakar solar sebesar 89,3 liter/jam. Karena waktu dan durasi penurunan tekanan uap yang terjadi tidak menentu, maka pemakaian PLTD diasumsikan selama 3.5 jam per harinya.

Apabila pihak perusahaan membeli bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik baik itu *fiber* dan cangkang kelapa sawit maupun solar maka biaya pengeluaran yang harus ditanggung perusahaan per harinya adalah:

Harga <i>fiber</i> kelapa sawit	: Rp300/kg
Harga cangkang kelapa sawit	: Rp750/kg
Harga solar industri	: Rp11.100/liter
Kebutuhan <i>fiber</i>	: 5.189,34 kg x 10jam = 51.893,4 kg/hari
Kebutuhan cangkang	: 1.735,08 kg x 10 jam = 17.350,8 kg/hari
Kebutuhan solar	: 89,3 liter x 3,5 jam = 312,55 liter/hari
Biaya pengeluaran <i>fiber</i>	: 51.893,4 kg x Rp300 = Rp15.568.020
Biaya pengeluaran cangkang	: 17.350,8 kg x Rp750 = Rp13.013.100
Biaya pengeluaran solar	: 312,55 liter x Rp11.100 = Rp3.469.305
<b>Total biaya bahan bakar</b>	<b>: Rp15.568.020 + Rp13.013.100 + Rp3.688.090 = Rp32.050.425</b>

Dari perhitungan diatas total biaya pengeluaran bahan bakar *fiber*, cangkang dan solar untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik adalah Rp 32.050.425/hari. Apabila

pihak perusahaan hanya menggunakan PLTD berbahan bakar solar untuk kebutuhan kegiatan pengolahan pabrik maka Biaya pengeluaran solar 89,3 liter x 10 jam x Rp11.100 = Rp 9.912.300.

Total biaya pengeluaran untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik melalui pembelian bahan bakar berupa *fiber* dan cangkang untuk PLTU dan solar untuk PLTD jauh lebih mahal dibandingkan dengan biaya pengeluaran apabila pabrik hanya menggunakan PLTD untuk sehari-harinya. Namun karena *fiber* dan cangkang merupakan produk sampingan atau limbah dari hasil pengolahan kelapa sawit itu sendiri maka pihak pabrik tidak perlu mengeluarkan biaya bahan bakar untuk *Boiler*. Dengan kata lain pabrik hanya mengeluarkan biaya untuk pembelian solar yaitu sebesar Rp3.469.305.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa jumlah produksi fiber dan cangkang dari hasil pengolahan kelapa sawit sebesar 5.850 kg/jam untuk *fiber* dan 2.700 kg/jam untuk cangkang. Untuk *fiber* dan cangkang yang digunakan sebagai bahan bakar *boiler* adalah sebanyak 5.189,34 kg/jam untuk fiber dan 1.735,08 kg/jam untuk cangkang. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk memproduksi energi listrik sebesar 1 kWh adalah 6,63 kg fiber dan 2,22 kg cangkang. Biaya pengeluaran untuk pembelian bahan bakar fiber, cangkang dan solar lebih mahal yaitu Rp32.050.425/hari dibandingkan dengan solar saja yaitu sebesar Rp9.912.300/hari.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT. Medco Papua Hijau Selaras yang telah memperkenankan penulis untuk mengakses data limbah kelapa sawit sebagai bahan bakar *Boiler* di Pabrik perusahaan. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Civitas Akademik Fakultas Teknik Universitas Papua yang memberikan saran maupun kritik untuk menyelesaikan penulisan ini. Juga terima kasih kepada reviewer Jurnal Igya Ser Hanjop yang telah memberikan saran untuk perbaikan tulisan ini.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Alkusma, Y. M., Hermawan, H., & Hadiyanto, H. (2016). Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 96. <https://doi.org/10.14710/jil.14.2.96-102>
- Basuki, C Adi[1], Ir. Agung Nugroho[2], I. B. W. (2008). *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan menggunakan Metode Least Square*. <http://eprints.undip.ac.id/25596/1/ML2F004464.pdf>
- Dirjen EBTKE, 2017. (2017). *Buku Panduan Investasi Energi Baru, terbarukan dan Konservasi Energi Indonesia*. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Eriyanto, D., P, B. A., & Notosudjono, D. (2020). Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 26(2), 85–93. <https://doi.org/10.37277/stch.v26i2.514>
- GINANJAR, T. (2019). Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler Dengan Melakukan Uji Kalori Pada Pabrik Kelapa Sawit Pt. Sentosa Prima Agro. *Jurnal Mahasiswa Prodi Teknik Mesin*. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/36930>
- Jusuf, S. M. N. dan J. (2014). *UBAH PARADIGMA AGROINDUSTRI SAWIT MENUJU KE ENERGI TERBARUKAN*.
- Karmana, O. (2007). *Cerdas Belajar Biologi*. Grafindo.
- Kementerian Pertanian. (2019). Statistik Pertanian 2019. In *Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian Republik Indonesia*.
- Marini, L. F. (2018). *Perencanaan Strategis Pemanfaatan Energi Terbarukan Di Kabupaten Manokwari 2018- Strategic Planning of Renewable Energy Utilization in Manokwari Regency 2018-2025 To Support West Papua Province As a Conservation Province*.

- Nur, S. M., & Jusuf, J. (2014). *Biomassa: Bahan Baku & Teknologi Konversi Untuk Energi Terbarukan*. September, 1–54. [http://www.academia.edu/attachments/35426734/download\\_file?s=portfolio](http://www.academia.edu/attachments/35426734/download_file?s=portfolio)
- Papilo, P., Hambali, E., Nurmiati, & Rizfi Fariz Pari. (2015). Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Alternatif Energi Kelistrikan. *Jurnal PASTI, IX(2)*, 164–176.
- Renstra Dirjen EBTKE, 2020. (2020). *Buku Rencana Strategis (Renstra) Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (Ditjen EBTKE) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2020-2024*. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/05/18/2540/rencana-strategis.renstra.ditjen.ebtke.2020-2024>
- Sanjaya, D., Notosudjono, D., & Fiddiansyah, D. B. (2018). Perencanaan gasifikasi dari limbah kelapa sawit sebagai energi alternatif di ptpn viii cikasukngka Kabupaten Bogor. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik*, 1–14. <http://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/977>
- Sipayung, T. (2012). *Ekonomi Agribisnis Minyak Sawit*. IPB Press, Bogor:205p.
- Sudjana Nana dan Ibrahim. (1989). *Penelitian dan Penilaian Pendidikan*. Sinar Baru.
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Out Look 2019*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.