

PEMANFAATAN DAN POTENSI ENERGI LISTRIK DARI LIMBAH PADAT DAN CAIR PROSES PENGOLAHAN KELAPA SAWIT

Utilization and Potential of Electricity Energy from Waste Processing of Palm Oil

Bintang Sipartogi Panjaitan^{1*}, Armansyah Halomoan Tambunan²

¹ Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

² Teknik Pertanian dan Biosistem, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

* Email: bintang.saipartogi@lecturer.unri.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2025.6.1.15749>

Naskah ini diterima pada 23 Maret 2025; revisi pada 3 Juni 2025; disetujui untuk dipublikasikan pada 12 Juni 2025

ABSTRAK

Proses pengolahan pabrik kelapa sawit menghasilkan produk awal berupa minyak sawit mentah (CPO) dan inti sawit (Kernel). Selain produk utama, kegiatan pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan produk samping berupa limbah yaitu TKKS, serat, cangkang inti sawit dan POME. Tujuan dari makalah ini untuk mempelajari proses pemanfaatan limbah dan menghitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari limbah padat dan cair proses pengolahan kelapa sawit di PT X unit pabrik kelapa sawit Riau. Metodologi analisis potensi limbah ini terdiri dari pengamatan, pengukuran dan pengambilan data, dan analisis perhitungan sesuai kesetimbangan massa. Penanganan limbah yang dilakukan PT X berlangsung dengan menyalurkan TKKS menuju *incenerator*. Serabut dan cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar boiler. Sedangkan POME dialirkan menuju kolam-kolam terbuka (*lagoon*) dan dimanfaatkan sebagai pupuk cair pada lahan perkebunan perusahaan. Berdasarkan nilai kalor pada limbah dan data harian di PT X menunjukkan potensi energi panas yang dihasilkan oleh TKKS sebesar 18174559.55 MJ, cangkang sebesar 7538070.26 MJ dan biogas sebesar 2125525.40 MJ. Jika proses kerja PLTU berlangsung selama 720 jam/bulan maka PT X mampu membangkitkan PLTU dengan kapasitas 2.63 MW. Oleh karena itu, perlu dikembangkan unit pengolahan limbah lebih lanjut di PT X untuk memenuhi kebutuhan listrik internal pabrik maupun wilayah disekitarnya.

Kata kunci: pabrik kelapa sawit, limbah, teknologi konversi, potensi energi, biogas

ABSTRACT

The palm oil production process yields crude palm oil (CPO) and palm kernel as its main products, along with byproducts such as empty fruit bunches (EFB), fiber, palm kernel shells, and palm oil mill effluent (POME). This study aims to analyze waste utilization and estimate the potential electrical energy that can be generated from these solid and liquid wastes at PT X. The analysis involves observation, measurement, data collection, and calculations based on mass balance principles. At PT X, EFB is incinerated, while fiber and shells are utilized as boiler fuel. POME is treated in open lagoons and used as liquid fertilizer for company-owned plantations. Based on daily operational data and calorific values, the estimated potential energy is 18,174,559.55 MJ from EFB, 7,538,070.26 MJ from palm kernel shells, and 2,125,525.40 MJ from biogas. With an operational time of 720 hours per month, PT X has the potential to generate 2.63 MW of electricity. The findings highlight the significant energy potential of palm oil waste. Therefore, further development of waste processing technologies is essential to maximize energy recovery, support internal energy needs, and potentially supply electricity to surrounding areas.

Keywords: Palm oil mill, waste, conversion technology, energy potential, biogas

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas strategis nasional yang memiliki peran penting dalam perekonomian. Indonesia dikenal sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi minyak kelapa sawit Indonesia pada tahun 2023 mencapai sekitar 30,86 juta ton, naik dari 30,51 juta ton pada tahun 2022 (BPS, 2024). Dari total produksi tersebut, sekitar 16,3 juta ton dihasilkan oleh perkebunan rakyat, menunjukkan kontribusi signifikan dari petani kecil dalam industri ini. Pengolahan tandan buah segar kelapa sawit menghasilkan dua produk utama, yaitu minyak sawit mentah (CPO) dan biji sawit (kernel) (Ageta & Purwaningsih, 2023). Namun, kegiatan ini juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar, baik limbah padat seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut, dan cangkang inti sawit, maupun limbah cair berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME mengandung padatan, minyak, BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) tinggi yang dapat mencemari lingkungan serta membahayakan makhluk hidup jika dibuang langsung tanpa pengolahan (Abdullah, Hassan, & Othman, 2021).

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa limbah kelapa sawit memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Limbah padat seperti TKKS dan cangkang memiliki nilai kalor tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler atau dikonversi menjadi listrik melalui teknologi pembakaran langsung maupun *gasification* (Yuliansyah *et al.*, 2019). POME mengandung bahan organik seperti karbohidrat, protein, dan asam lemak yang dapat diubah menjadi biogas melalui proses anaerobik dengan digester, sehingga potensial untuk dikembangkan secara berkelanjutan (Ohimain & Izah, 2017). Studi menunjukkan bahwa instalasi biogas dari POME dapat mengurangi kadar COD hingga 91% dan menghasilkan listrik sebesar 696.163 kWh per bulan, dengan pengurangan emisi gas rumah kaca sebesar 1.131 ton CO₂-eq per bulan (Sodri & Septriana, 2022).

Studi yang dilakukan di berbagai Pabrik Kelapa Sawit (PKS) menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah ini tidak hanya mendukung efisiensi energi, tetapi juga menjadi solusi pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Misalnya, implementasi teknologi biogas dari POME di beberapa PKS telah berhasil menyuplai kebutuhan listrik internal dan bahkan menyumbangkan kelebihan daya ke jaringan listrik lokal (Surya *et al.*, 2021). Selain energi, POME dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi bioplastik seperti polyhydroxyalkanoates (PHA) melalui proses fermentasi mikroba (Low *et al.*, 2024) ataupun diolah menjadi pupuk cair (Chin *et al.*, 2015), sehingga memberikan nilai tambah sekaligus mendukung ekonomi sirkular. Limbah padat dan cair di pabrik kelapa sawit PT X di Riau belum dimanfaatkan dengan baik, sehingga perlu dianalisis untuk melihat potensi listrik yang bisa dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari proses pemanfaatan limbah dan menghitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari limbah padat dan cair proses pengolahan kelapa sawit di PT X, Riau. Kajian mengenai potensi dan mekanisme pemanfaatan limbah kelapa sawit menjadi sangat penting untuk mendukung pembangunan industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT X unit pabrik kelapa sawit Sei Galuh, yang terletak di Desa Mekar Jaya, Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus, yang bertujuan untuk menganalisis potensi energi listrik dari limbah padat dan cair hasil proses pengolahan kelapa sawit.

Jenis dan Sumber Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi dan pengelolaan limbah di lapangan, wawancara dengan teknisi dan operator pabrik, serta pencatatan volume

limbah padat dan cair yang dihasilkan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumentasi teknis pabrik, laporan produksi, serta literatur yang memuat nilai kalor limbah kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut, cangkang inti, dan Palm Oil Mill Effluent (POME).

Tahapan Penelitian

Tahapan dalam pelaksanaan penelitian meliputi observasi lapangan, pengukuran volume limbah, perhitungan potensi energi, serta konversi energi ke dalam bentuk listrik. Observasi dilakukan untuk memperoleh gambaran langsung mengenai proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi Crude Palm Oil (CPO) dan sistem pengelolaan limbahnya. Selanjutnya, dilakukan pencatatan volume limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh pabrik untuk digunakan dalam perhitungan potensi energi. Perhitungan potensi energi dilakukan menggunakan persamaan dasar

$$E = m \times CV \dots \dots \dots (1)$$

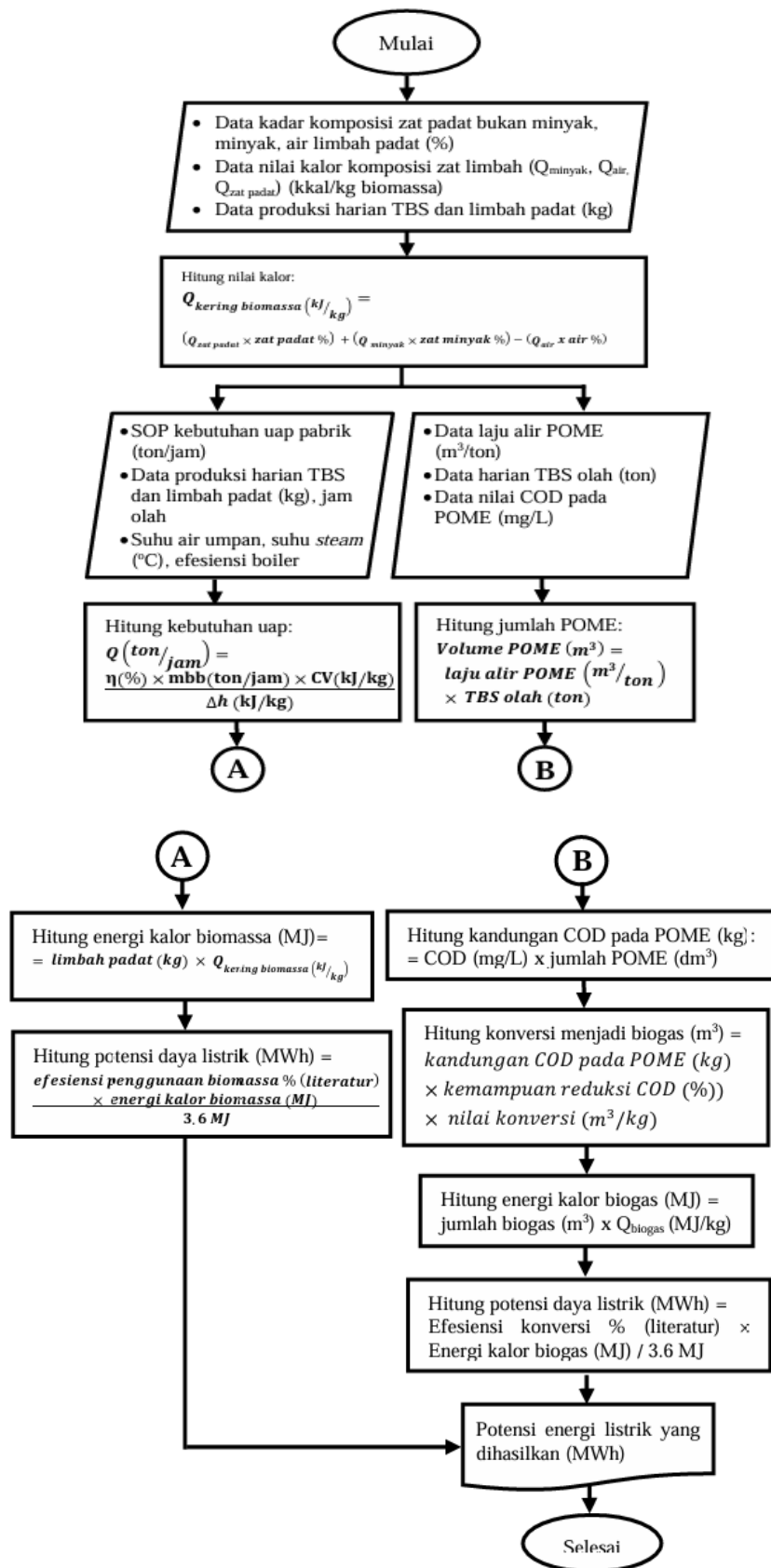
Keterangan:

E adalah energi dalam satuan megajoule (MJ),
m adalah massa limbah dalam kilogram, dan
CV adalah nilai kalor limbah dalam MJ/kg.

Nilai kalor limbah diperoleh dari data literatur dan hasil pengujian di laboratorium pabrik. Untuk limbah cair seperti POME, perhitungan dilakukan berdasarkan estimasi produksi biogas dan kandungan metana yang dikonversi menjadi energi panas (Chin *et al.*, 2013). Selanjutnya, energi panas tersebut dikonversi ke energi listrik dengan memperhitungkan efisiensi konversi sistem pembangkit listrik, yang umumnya berada pada kisaran 20–35% (Ali *et al.*, 2014). Estimasi kapasitas listrik juga mempertimbangkan jam kerja operasional pabrik, yaitu 720 jam per bulan.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode neraca massa (mass balance), yang digunakan untuk mengetahui jumlah limbah yang dihasilkan dari total bahan baku yang diolah. Data dianalisis secara kuantitatif dan disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan deskripsi naratif untuk menggambarkan potensi pemanfaatan limbah secara komprehensif. Analisis perhitungan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari limbah padat dan cair proses pengolahan kelapa sawit di PT X secara sistematis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir analisis potensi limbah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah proses pengolahan minyak kelapa sawit memberikan potensi dan kontribusi yang cukup besar terhadap pencemaran lingkungan yang terdiri dari limbah padat, cair, dan gas. Pengolahan limbah yang telah diterapkan di unit pabrik kelapa sawit PT X Riau lebih diupayakan untuk pemenuhan kebutuhan perusahaan dan perkebunan melalui penggunaan secara langsung ataupun penjualan kepada pihak lain, namun masih terdapat limbah yang belum termanfaatkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Limbah proses pengolahan kelapa sawit

No.	Tahap Proses	Limbah
1	Sterilisasi (Perebusan)	Limbah cair sisa perebusan (POME)
2	Perontokan (Treshing)	Limbah padat tandan kosong
3	Pengepresan (Pressing)	Limbah padat serabut yang bercampur inti sawit Limbah cair panas (POME)
4	Pemurniaan (Klarifikasi)	Limbah cair panas (POME) Limbah padat (Sludge)
5	Pemecahan biji sawit (Milling)	Limbah padat cangkang
6	Pencucian inti sawit	Limbah cair (POME)
7	Proses pembakaran pada boiler	Limbah padat arang Limbah padat abu

Kuantitas limbah yang besar menuntut pihak pengelola untuk memiliki metode penanganan limbah dengan memberikan nilai tambah menjadi produk bernilai jual atau dapat dimanfaatkan langsung untuk kebutuhan perusahaan. Menurut Ali *et al.* (2014), limbah pabrik kelapa sawit dapat menjadi sumber energi terbarukan karena kandungan bahan organiknya yang berlimpah. Limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar menjadi CPO dan biji kernel terdiri dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut (fiber), dan cangkang (*shell*). Hanya sekitar 30% dari Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah menjadi produk utama seperti CPO dan PKO, sedangkan sekitar 70% sisanya dihasilkan sebagai limbah padat maupun cair (Ishak, 2019).. Setiap ton TBS yang diolah, dihasilkan sekitar 14% serat, 6% cangkang, 4,2% *decanter cake*, dan 24% TKKS (Tepsour *et al.*, 2019).. Limbah biomassa kelapa sawit memiliki karakteristik kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang bervariasi pada setiap bagiannya (Rahayu, 2017).. Komponen bahan terbesar dari limbah padat adalah selulosa disamping hemiselulosa dan lignin.



Gambar 2. Serabut



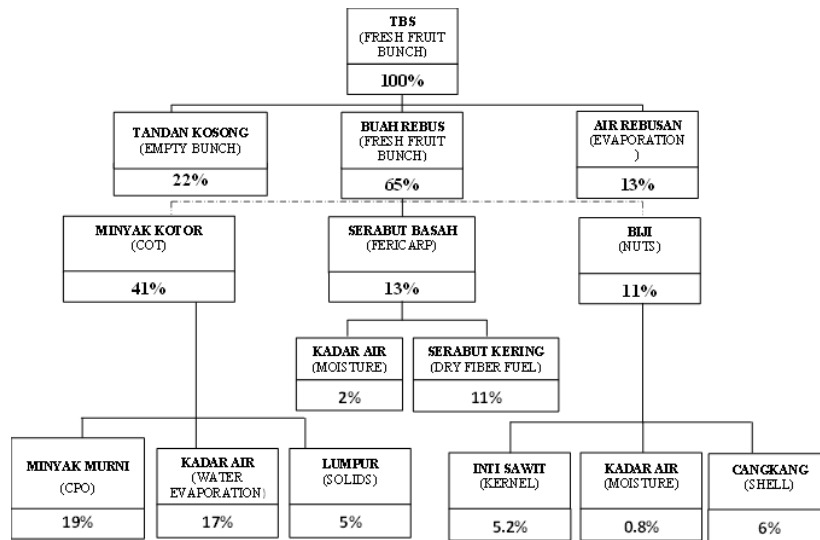
Gambar 3. Cangkang



Gambar 4. TKKS

TKKS dihasilkan dari proses perontokan buah dan menjadi limbah padat terbesar yang dihasilkan dalam pengolahan kelapa sawit. Berdasarkan data *material balance* seperti yang terlihat pada Gambar 5, tandan kosong dari proses produksi berjumlah 22% dari TBS yang diolah. Penanganan limbah tandan kosong hasil proses pengolahan kelapa sawit di unit PKS berlangsung dengan menyalurkan tandan kosong hasil proses perontokan oleh *thresher* dari stasiun perontokan menuju *hopper* tandan kosong dan *incenerator*. Penampungan akhir berupa *hopper empty bunch*

berfungsi untuk menampung dan menyalurkan tandan buah kosong yang akan dibawa oleh truk pengangkut menuju kebun inti dan plasma. Sebagian dari tandan kosong tersebut dijual kepada pihak ketiga atau masyarakat untuk kebutuhan kebun pribadi. Tandan kosong kelapa sawit (janjangan) akan dimanfaatkan sebagai kebutuhan pupuk untuk tanaman sawit. Kebutuhan akan tandan kosong terhadap tanaman sawit menjadi pupuk utama yang harus diberikan minimal 1 kali dalam setahun yang dikenal dengan proses pemulsaan.



Gambar 5. Diagram *material balance* PT X

Potensi ini didasarkan pada kandungan tandan kosong kelapa sawit yang merupakan bahan organik dan memiliki kadar hara yang cukup tinggi. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai pupuk untuk bahan pembenah tanah dan sumber hara ini dapat dilakukan dengan cara aplikasi langsung sebagai mulsa atau dibuat menjadi kompos. Tandan kosong akan diletakkan dan disusun mengelilingi tanaman sawit diantara barisan tanaman dengan jumlah ± 450 kg tandan kosong/tanaman sawit/tahun. Pemberian tandan kosong ini harus merata dan tidak menumpuk. Tandan kosong akan terus disalurkan menuju *hopper empty bunch* dari pukul 08.00 WIB – 18.00 WIB, selebihnya akan disalurkan menuju *incenerator* untuk dibakar. Sebagian tandan kosong disalurkan menuju *incenerator* dengan menggunakan *inclined empty bunch conveyor* pada kegiatan pengolahan di malam hari. Apabila kapasitas *incenerator* penuh maka tandan kosong akan ditampung pada *hopper empty bunch*. Tandan kosong akan dibakar di *incenerator*, dengan hasil berupa abu pembakaran yang digunakan sebagai pengganti pupuk; pembersih lantai pabrik, mesin, dan kebutuhan lainnya karena sangat mudah mengikat minyak; serta dijual kepada pihak luar. Abu hasil pembakaran TKKS dapat berfungsi sebagai pupuk yang baik. Hal ini karena Kompos TKKS mengandung unsur hara makro seperti C-organik (14,50%), N-total (2,15%), P_2O_5 -total (1,54%), dan K_2O (0,15%), serta unsur hara mikro seperti Cu, Zn, Mn, Fe, B, dan Mo yang penting untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Kurniawan et al., 2021).

Limbah kelapa sawit yang memiliki nilai energi panas tinggi adalah cangkang dan serat. Pada proses pengempaan (ekstraksi) dihasilkan ampas (*press cake*) yang terdiri dari serabut dan biji. Serabut dan biji tersebut kemudian dipisahkan. Hasil dari pemisahan tersebut menghasilkan serabut sebesar 13 % dari bobot TBS. Cangkang yang dihasilkan dari proses pemecahan biji sebesar 6 % dari total TBS diolah. Pabrik kelapa sawit menggunakan energi listrik dalam jumlah yang besar, konsumsi energi listrik di pabrik kelapa sawit adalah sebesar 17–19 kWh per ton TBS (Situmorang, 2020). Kebutuhan energi PKS dipasok dari pemanfaatan serabut dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar ketel uap (*boiler*). Kedua bahan bakar padat ini mampu menghasilkan energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi pabrik kelapa sawit

(Ali et al. 2014). Kebutuhan uap Unit PKS adalah 0,6 ton uap/ton TBS dengan tekanan yang keluar dari *boiler* sebesar 18-20 kg/cm². Efisiensi *boiler* yang digunakan adalah 70 % (Data PT X). Perubahan entalpi air umpan *boiler* pada suhu 90 °C dan *steam* pada suhu 280 °C adalah 2603,9376 kJ/kg (Tabel uap A-2 dan A-4 Moran & Shapiro 2011). Penggunaan bahan bakar pada bulan Juli 2024 menghabiskan ketersediaan limbah serabut seluruhnya sebanyak 2065,83 ton dan ditambah dengan penggunaan sebagian limbah cangkang sebanyak 519,92 ton untuk memenuhi kebutuhan uap pabrik, sehingga menyisakan ketersediaan akhir limbah cangkang sebanyak 433,53 ton.

Limbah cair pabrik kelapa sawit disebut sebagai *palm oil mill effluent* (POME). Limbah cair yang dihasilkan PKS tergolong sangat tinggi karena PKS memerlukan air dalam jumlah yang besar untuk proses pengolahan tandan buah segar menjadi minyak sawit mentah (CPO) (Ahmed et al. 2014). POME adalah kombinasi limbah yang dihasilkan dari tiga sumber utama, yaitu proses klarifikasi (60%), proses sterilisasi (36%) dan proses hidrosiklon (4%). Unit pabrik kelapa sawit PT X Riau menghasilkan limbah cair sebanyak 360–560 m³ per hari dengan kapasitas produksi 45 ton/hari. POME mengandung sejumlah asam amino, nutrisi anorganik, serat, senyawa nitrogen, asam organik bebas dan karbohidrat (Ahmed et al. 2014). POME mengandung nilai pH yang kecil, padatan tersuspensi, dan kandungan nitrogen seperti nitrogen amonia dan nitrogen total. Limbah cair tidak dapat dibuang langsung ke perairan, karena akan sangat berbahaya bagi lingkungan. Penanganan limbah cair yang dilakukan unit pabrik kelapa sawit PT X Riau yaitu dengan menampung limbah cair tersebut di dalam kolam-kolam terbuka (lagoon) dengan beberapa tahap penyaluran sebelum diaplikasikan pada lahan. Limbah cair ini nantinya akan dirombak secara anaerobik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, yang disalurkan untuk aplikasi pada lahan perkebunan perusahaan atau pembibitan.

Potensi dari pemanfaatan TKKS, sisa cangkang, dan POME berlangsung dengan memprosesnya menjadi sumber energi dasar yaitu listrik. Konversi limbah padat kelapa sawit menjadi energi listrik memudahkan pemanfaatan energi lebih lanjut untuk kebutuhan sehari-hari. Energi listrik dapat diperoleh dengan berbagai cara menggunakan teknologi konversi. Pembakaran langsung merupakan teknologi konversi energi paling sederhana untuk mendapatkan energi panas dari limbah padat. Proses konversi energi memanfaatkan panas hasil pembakaran limbah biomassa menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip PLTU. Limbah padat dan biogas akan dimasukkan ke ruang bakar sebagai energi primer tingkat pertama. Biomassa yang dikonversikan untuk pembakaran langsung digunakan menjadi bahan bakar pada tungku *boiler*. Sistem yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik dari TKKS dan cangkang limbah kelapa sawit terdiri dari sistem pembakaran menggunakan *boiler*, turbin uap dan generator (Shuit et al., 2009).

Tabel 2. Kadar komposisi pada *shell* (cangkang), *fiber* (serabut), dan TKKS (tandan kosong)

Komposisi	<i>Shell</i> (%)	<i>Fiber</i> (%)	TKKS (%)
Kadar zat padat bukan minyak	87,85	72,94	32,16
Kadar minyak	1,06	4,38	2,18
Kadar air	11,09	22,68	65,66

Merujuk pada data yang diperoleh dari PT X, setiap jenis limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit memiliki kandungan nilai kalor yang berbeda, tergantung pada komposisi zat padat dan kandungan minyaknya. Pada cangkang (*shell*), nilai kalor dari zat padat non-minyak tercatat sebesar 4700 kKal per kilogram, sedangkan serabut (*fiber*) memiliki nilai kalor sebesar 3850 kKal per kilogram. Sementara itu, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menunjukkan nilai kalor tertinggi untuk zat padat non-minyak, yaitu 14597 kKal per kilogram. Ketiga jenis limbah ini memiliki kandungan minyak dengan nilai kalor yang sama, yaitu sebesar 8800 kKal per kilogram. Adapun kebutuhan panas untuk proses penguapan air juga seragam, yaitu sebesar 600 kKal per kilogram air. Data ini menjadi landasan penting dalam analisis efisiensi energi dan estimasi potensi listrik dari limbah padat kelapa sawit.

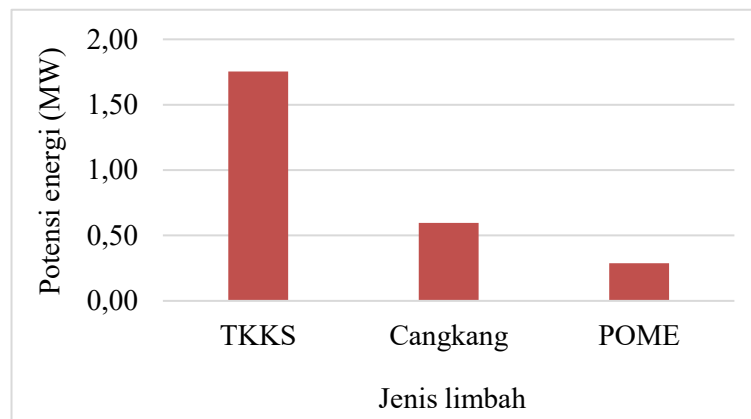
Hasil perhitungan nilai kalor yang diperoleh dari komposisi masing-masing jenis limbah padat kelapa sawit pada Tabel 2 menunjukkan variasi potensi energi yang signifikan. *Shell* (cangkang) memiliki kadar zat padat bukan minyak tertinggi sebesar 87,85%, yang mengindikasikan potensi energi paling besar di antara ketiga jenis limbah. Kandungan airnya juga paling rendah, yaitu 11,09%, sehingga lebih efisien untuk proses pembakaran atau konversi energi. Cangkang (*shell*) tercatat memiliki nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan jenis limbah lainnya, yaitu sebesar 4155,69 kKal/kg dalam kondisi kering, yang setara dengan 17387,40 kJ/kg. Sementara itu, fiber (serabut) memiliki kadar zat padat bukan minyak sebesar 72,94% dan kandungan air 22,68%, menunjukkan potensi energi yang cukup besar namun tidak sebaik *shell*. Kandungan minyak pada fiber juga lebih tinggi (4,38%) dibandingkan *shell*, yang dapat berkontribusi terhadap nilai kalor, meskipun dalam jumlah kecil. Serabut (fiber) memiliki nilai kalor sebesar 3057,55 kKal/kg atau 12792,78 kJ/kg. Di sisi lain, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menunjukkan nilai kalor terendah, yakni 1242,50 kKal/kg atau 5198,62 kJ/kg. TKKS (tandan kosong) memiliki kadar air tertinggi (65,66%) dan zat padat bukan minyak terendah (32,16%), yang membuatnya menjadi jenis limbah dengan potensi energi paling rendah. Kandungan air yang tinggi membuat proses pengolahan menjadi kurang efisien karena kandungan energi yang dialihkan untuk pengeringan bahan. Temuan ini menunjukkan bahwa cangkang memiliki potensi terbesar sebagai bahan bakar biomassa dalam konteks konversi energi, disusul oleh serabut dan TKKS.

Berdasarkan nilai kalor yang terdapat pada limbah dan data harian di Unit PKS pada bulan Juli tahun 2024, dengan jumlah limbah padatan sebesar 953,46 ton cangkang, 2065,83 ton serabut, dan 3496,04 ton tandan kosong sehingga dapat dihasilkan energi sebesar 1691,37 MWh. Nilai potensi energi listrik dapat diketahui menggunakan nilai kalor dari tiap biomassa. Efisiensi total pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sangat bergantung pada jenis bahan bakar biomassa yang digunakan. Menurut Harris *et al.* (2013), penggunaan cangkang inti sawit sebagai bahan bakar menghasilkan efisiensi konversi sebesar 20,5%. Sementara itu, efisiensi yang lebih rendah tercatat saat menggunakan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar, yaitu sekitar 13%. Sebaliknya, Yokoyama (2008) melaporkan bahwa pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam sistem PLTU dapat mencapai efisiensi yang lebih tinggi, yaitu sebesar 25%. Perbedaan efisiensi ini dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan nilai kalor masing-masing limbah padat, yang berdampak pada performa pembakaran dan konversi energi termal menjadi energi listrik.

Nilai energi listrik didapat berdasarkan kesetaraan 1 kWh dengan 3,6 MJ. Energi kalor potensial pada bulan Juli 2024 di PT X yaitu TKKS 18174559,55 MJ, dan cangkang 7538070,26 MJ. Jika waktu proses kerja PLTU 720 jam/bulan, unit pabrik kelapa sawit PT X mampu menghasilkan daya listrik 1,75 MW dari TKKS, dan 0,596 MW dari cangkang. Energi listrik tersebut dapat membangkitkan PLTU dengan kapasitas 2346 MW. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan internal pabrik maupun wilayah disekitarnya. Limbah cair kelapa sawit / *Palm Oil Mill Effluent* (POME) memiliki laju alir 0,7 m³/ton TBS (Rahayu, 2015). Potensi lain dari pemanfaatan limbah cair PKS (POME) sebagai sumber energi listrik dapat dilakukan dengan proses konversi biokimiawi memanfaatkan kemampuan mikroorganisme secara anaerobik untuk menghasilkan gas metan. Metana merupakan komponen utama biogas yang dapat terbakar dengan oksigen. Energi yang dilepaskan dari pembakaran menjadikan biogas berpotensi sebagai bahan bakar. Pabrik kelapa sawit umumnya menggunakan dua jenis *digester* untuk menghasilkan biogas dari POME, yaitu kolam tertutup dan CSTR. Kebanyakan pabrik menggunakan jenis kolam tertutup karena desainnya yang sederhana dan biaya yang lebih rendah. Potensi limbah cair padatan kelapa sawit secara mendasar melalui analisa energi yang dapat dihasilkan dari limbah tersebut. Berdasarkan nilai kalor yang terdapat pada limbah dan data harian di Unit PKS pada bulan Juli tahun 2024 dengan jumlah limbah cair (POME) sebesar 11123,75 m³, sehingga dapat dihasilkan energi sebesar 206,65 MWh.

Anaerobic digestion menggunakan prinsip reduksi COD dan BOD. COD dan BOD dapat direduksi sampai 80 % dengan potensi biogas 0,35 m³ tiap 1 kg reduksi COD. Biogas ini memiliki kandungan metan 60 % dengan nilai kalor sekitar 4695 kkal/m³ (Rahayu, 2015). Hasil pengujian

lab menunjukkan nilai COD dari POME tersebut sebesar 34740 mg/L. Proses konversi energi limbah cair menjadi energi listrik menggunakan prinsip PLTU layaknya pemanfaatan limbah padat sebelumnya. Sistem konversi yang digunakan yaitu menggunakan PLTU dengan efisiensi 35 % (Sukimin, 2007). Nilai energi listrik didapat berdasarkan kesetaraan 1 kWh dengan 3,6 MJ. Energi kalor potensial biogas pada bulan Juli 2024 di unit pabrik kelapa sawit PT X Riau sebesar 2125525,40 MJ. Jika waktu proses kerja PLTU 720 jam/bulan, pabrik kelapa sawit PT X Riau mampu menghasilkan daya listrik dari biogas sebesar 0,29 MW. Hasil perhitungan analisis potensi pemanfaatan limbah sebagai sumber energi listrik didapatkan bahwa konversi limbah pabrik kelapa sawit memiliki potensi yang sangat tinggi dan menjadi sumber ketersediaan energi alternatif dalam sudut pandang energi. Pabrik kelapa sawit PT X mampu menghasilkan daya listrik 1,75 MW dari TKKS, 0,596 MW dari cangkang dan 0,29 MW dari biogas dengan proses kerja selama 720 jam/bulan, sehingga limbah tersebut berpotensi menghasilkan 2,63 MW energi listrik.



Gambar 2. Grafik potensi energi listrik hasil konversi dari limbah PT X

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa limbah pabrik kelapa sawit memiliki potensi yang cukup besar, sehingga harus dikelola dengan cara yang paling efisien dan berkelanjutan untuk memperoleh manfaat ekonomi yang maksimal, aman bagi manusia, dan ramah bagi lingkungan. Perlu dikembangkan industri atau alur proses pengolahan lebih lanjut di unit pabrik kelapa sawit PT X Riau yang memanfaatkan limbah pabrik kelapa sawit. Penerapan ke depan dalam analisis potensi dan pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit dapat dilakukan dengan memperhitungkan kriteria seperti skala prioritas, investasi, dan faktor penunjang layaknya faktor ekonomi, sosial, lingkungan dan lain-lain.

KESIMPULAN

Pabrik Kelapa Sawit PT X merupakan pabrik yang bergerak di bidang pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (*Crude Palm Oil*) dan *kernel*. Selama proses pengolahan kelapa sawit dihasilkan produk sampingan berupa limbah. Limbah padatan (biomassa) yang dihasilkan yaitu serabut dan cangkang dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada tungku pembakaran *boiler* sebanyak 2065,83 ton serabut dan 519,92 ton cangkang setiap bulan untuk memenuhi kebutuhan uap pabrik sebesar 0.6 ton uap/ton TBS. Penggunaan cangkang sebagai bahan bakar masih menyisakan ketersediaan sebanyak 433,53 ton. Tandan kosong didistribusikan ke lahan perkebunan kelapa sawit untuk digunakan sebagai pupuk dan sebagian dibakar pada *incenerator* untuk pembuatan abu gosok. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan kemudian diolah kembali untuk diendapkan menjadi pupuk dan dialirkan ke perkebunan kelapa sawit sebagai pupuk cair. Hasil analisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari limbah padat dan cair proses pengolahan kelapa sawit membuktikan bahwa limbah pabrik kelapa sawit memiliki potensi yang tinggi sebagai sumber energi alternatif. Berdasarkan hasil analisis PT X berpotensi untuk dapat menghasilkan daya listrik 1,75 MW dari TKKS, 0,596 MW dari cangkang dan 0,29 MW dari biogas dengan proses kerja selama 720 jam/bulan, sehingga limbah tersebut berpotensi menghasilkan 2,63 MW energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. S. S., Hassan, M. A., & Othman, M. Z. (2021). Palm oil mill effluent treatment processes—A review. *Processes*, 9(5), 739. <https://doi.org/10.3390/pr9050739>
- Ahmed, A. L., Suzylawati, I., & Subhash, B. (2014). Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157, 87–95.
- Ali, S., Jusoh, M. L. C., & Tan, W. S. (2014). Renewable energy from palm oil mill waste: Potential of anaerobic digestion technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 521–531. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.008>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Produksi minyak kelapa sawit menurut jenis perkebunan 2022–2023*. <https://www.bps.go.id>
- Chin, M. J., Poh, P. E., Tey, B. T., Chan, E. S., & Chin, K. L. (2015). Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 717–726. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.008>
- Harris, S. A., & Syafruddin, M. (2013). Studi pemanfaatan limbah padat perkebunan kelapa sawit pada PLTU 6 MW di Bangka Belitung. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(1). <https://jurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/354>
- Ishak, A. (2019). Processing of palm oil waste based on alternative energy sources through briquette technology for farmers in palm oil production center: Efforts to reduce the potential of environmental pollution from waste abundance towards environmental sustainable. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 506(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012015>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2016). *Statistik perkebunan Indonesia: Kelapa sawit 2015–2017*. Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kurniawan, A., Siregar, M. F., & Lubis, R. A. (2021). Pengaruh pemberian kompos TKKS dan pupuk N, P, K terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Saingro*, 9(1), 45–52.

- Low, L. E., Chin, B. L. F., Lim, C. S., & Teo, P. Y. (2024). Valuable resources recovery from palm oil mill effluent (POME). *Environmental Advances*, 14, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100104>
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2011). *Fundamentals of engineering thermodynamics* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Nasution, D., Napitupulu, R. A., & Lubis, E. (2018). Utilization of palm oil mill effluent (POME) for biogas production: A case study in North Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(1), 012125.
- Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221>
- Rahayu, A., Fauzi, A., Santosa, B., & Rahman, F. (2015). Konversi POME menjadi biogas. *Winrock International*.
- Rahayu, D. (2017). Karakteristik adsorben karbon aktif dari limbah padat kelapa sawit. *Jurnal Purifikasi*, 17(1), 23–29.
- Situmorang, D. (2020). Analisa pemanfaatan biomassa pabrik kelapa sawit untuk sumber energi listrik. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 45–52.
- Sodri, A., & Septriana, F. E. (2022). Biogas power generation from palm oil mill effluent (POME): Techno-economic and environmental impact evaluation. *Energies*, 15(19), 7265. <https://doi.org/10.3390/en15197265>
- Sukimin. (2007). *Pendayagunaan kelebihan fiber dan cangkang untuk meminimalkan penggunaan bahan bakar minyak*. Winata Media.
- Surya, R., Fauzi, H., & Nugroho, H. (2021). Evaluation of electricity generation potential from palm oil mill effluent (POME) based on methane emission reduction. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 8(3), 45–52.
- Tepsour, M., Usmanbaha, N., Rattanaya, T., Jariyaboon, R., O-Thong, S., Prasertsan, P., & Kongjan, P. (2019). Biogas production from oil palm empty fruit bunches and palm oil decanter cake using solid-state anaerobic co-digestion. *Energies*, 12(22), 4368. <https://doi.org/10.3390/en12224368>
- Yokoyama, S. (2008). *The Asian biomass handbook*. The Japan Institute of Energy.
- Yuliansyah, Y., Syamsiro, M., & Saptoadi, H. (2019). Characteristics and combustion behavior of palm kernel shell and palm empty fruit bunch. *Waste and Biomass Valorization*, 10(8), 2301–2310. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0251-0>