

Analisis Neraca Massa dan Potensi Limbah Pengolahan Kelapa Sawit menjadi Minyak Sawit Mentah

An Analysis on Mass Balance Calculation and Potential Processing Waste of The Conversion of Crude Palm Oil (CPO)

Egi Yosua Apriando, Efri Mardawati*), dan Aisyah Hanifah

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno km. 21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia

*) Alamat E-mail Korespondensi: efri.mardawati@unpad.ac.id

Informasi Artikel

Diterima: 12-08-2025

Disetujui: 15-12-2025

Terbit : 01-01-2026

Kata Kunci:

Efisiensi proses; Minyak kelapa sawit mentah (CPO); Neraca massa; Pabrik kelapa sawit.

Keywords:

Process efficiency; Crude palm oil; Mass balance; Palm Oil Mill.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca massa pada proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit mentah (CPO) serta mengidentifikasi potensi pemanfaatan produk samping dan limbah yang dihasilkan. Penelitian dilaksanakan di pabrik kelapa sawit PT Sari Lembah Subur, Kabupaten Labuhan Batu, Sumatera Utara, dengan kapasitas produksi ± 60 ton TBS/jam, pada periode Februari hingga April 2025. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif berbasis prinsip keseimbangan massa, dengan asumsi bahwa total massa input sama dengan total massa output yang terdiri atas produk utama, produk samping, limbah, dan kehilangan. Perhitungan dilakukan menggunakan basis 1.000 kg TBS untuk memudahkan evaluasi efisiensi konversi dan distribusi massa pada setiap unit proses. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari pengolahan TBS diperoleh CPO sebagai produk utama, kernel sebagai produk samping, serta limbah padat berupa tandan kosong, serat, dan cangkang, serta limbah cair berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Neraca massa memberikan gambaran kuantitatif yang jelas mengenai distribusi material dan efisiensi proses produksi. Selain itu, limbah yang dihasilkan memiliki potensi pemanfaatan sebagai sumber energi biomassa, bahan baku kompos, dan produksi biogas. Dengan demikian, analisis neraca massa dapat digunakan sebagai alat evaluasi untuk meningkatkan efisiensi proses dan mendukung pengelolaan limbah berbasis prinsip keberlanjutan dalam industri kelapa sawit.

Abstract. This study aims to analyze the mass balance of fresh fruit bunch (FFB) processing into crude palm oil (CPO) and to identify the potential utilization of by-products and waste generated during the process. The research was conducted at the palm oil mill of PT Sari Lembah Subur, located in Labuhan Batu Regency, North Sumatra, with a production capacity of approximately 60 tons FFB/hour, from February to April 2025. A quantitative approach based on the mass balance principle was applied, assuming that total input mass equals total output mass consisting of main products, by-products, waste, and losses. The calculation was performed using 1,000 kg FFB as the reference basis to facilitate efficiency evaluation and mass distribution analysis across processing units. The results showed that FFB processing produced CPO as the main product, kernel as a by-product, solid waste including empty fruit bunches, fiber, and shells, and liquid waste in the form of Palm Oil Mill Effluent (POME). The mass balance analysis provided a clear quantitative representation of material distribution and process efficiency. Furthermore, the generated waste has significant potential for utilization as biomass energy, compost feedstock, and biogas production. Therefore, mass balance analysis serves as an effective evaluation tool to improve process efficiency and support sustainable waste management in the palm oil industry.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia dan

menjadi salah satu penyumbang devisa utama negara. Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai lebih dari 16 juta hektar dengan produksi minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*

atau CPO) sekitar 50 juta ton per tahun [1]. CPO memiliki peran penting sebagai bahan baku berbagai sektor industri, termasuk pangan, kosmetik, oleokimia, dan energi terbarukan seperti biodiesel [2]. Tingginya produksi tersebut mencerminkan kontribusi besar industri kelapa sawit dalam mendukung ketahanan energi dan pertumbuhan ekonomi nasional. Namun, peningkatan aktivitas industri ini juga diikuti oleh meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan selama proses pengolahan. Oleh karena itu, pengelolaan limbah yang efektif menjadi aspek penting dalam mendukung keberlanjutan industri kelapa sawit.

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO menghasilkan limbah dalam jumlah besar, baik dalam bentuk padat maupun cair. Limbah padat meliputi tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat, dan cangkang, sedangkan limbah cair utama berupa *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dengan volume sekitar 0,5–0,7 m³ per ton TBS yang diolah [3,4]. Limbah-limbah ini berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat, seperti pencemaran air, tanah, dan udara [5]. Di sisi lain, limbah tersebut masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi, bahan baku kompos, atau produk bernilai tambah lainnya. Pemanfaatan limbah secara optimal dapat mengurangi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi dan nilai ekonomi proses produksi. Dengan demikian, diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu mengidentifikasi dan mengkuantifikasi aliran material secara menyeluruh dalam sistem produksi CPO.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi aliran material dalam sistem proses adalah analisis neraca massa. Neraca massa merupakan pendekatan kuantitatif yang didasarkan pada prinsip kekekalan massa, yaitu massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, melainkan hanya berubah bentuk atau berpindah tempat dalam suatu sistem [6]. Melalui analisis ini, distribusi massa dari bahan baku, produk, dan limbah dapat dihitung secara sistematis sehingga memungkinkan evaluasi efisiensi proses dan identifikasi kehilangan material [7]. Penerapan neraca massa pada industri kelapa sawit memungkinkan pemetaan aliran material pada setiap tahapan proses, termasuk sterilisasi, pengepresan, pemurnian, dan pemisahan inti sawit [8]. Informasi tersebut sangat penting dalam upaya optimalisasi proses produksi dan pengelolaan limbah secara efisien. Selain itu, analisis ini juga mendukung pengembangan sistem produksi yang lebih berkelanjutan dan berbasis ekonomi sirkular.

Sebagian besar limbah kelapa sawit memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai produk bernilai tambah, seperti TKKS sebagai bahan kompos, serat dan cangkang sebagai bahan bakar, serta POME sebagai sumber energi biogas atau pupuk cair. Pemanfaatan limbah ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan industri. Untuk mewujudkan hal tersebut, diperlukan pemahaman yang komprehensif mengenai distribusi massa dalam sistem produksi CPO. Analisis neraca massa memberikan dasar ilmiah untuk mengidentifikasi potensi pemanfaatan limbah dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Selain itu, pendekatan ini dapat mendukung perencanaan strategi pengelolaan limbah yang lebih terintegrasi dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca massa proses produksi CPO dari TBS, mengidentifikasi kuantitas limbah yang dihasilkan pada setiap tahapan proses, serta mengevaluasi potensi pemanfaatannya sebagai sumber energi dan produk bernilai tambah.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik kelapa sawit milik PT Sari Lembah Subuh (SLS) yang berlokasi di Kabupaten Labuhan Batu, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena merupakan salah satu pabrik kelapa sawit dengan kapasitas produksi menengah (± 60 ton TBS/jam) dan telah menerapkan sistem produksi berkelanjutan. Waktu pelaksanaan penelitian adalah selama bulan Februari hingga April 2025, yang mencakup kegiatan pengumpulan data primer, dokumentasi proses produksi, serta wawancara dengan pihak operasional dan teknis pabrik.

Observasi Lapangan

Pengamatan langsung dilakukan untuk mengetahui secara detail alur proses produksi CPO, mulai dari penerimaan TBS hingga tahap akhir pemurnian. Selain itu, dilakukan pencatatan pada timbangan bahan baku dan produk guna memperoleh data kuantitatif untuk analisis neraca massa. Sistem pengelolaan limbah padat dan cair juga diamati secara langsung untuk mengidentifikasi jenis, jumlah, serta potensi pemanfaatannya. Observasi dilakukan pada berbagai shift operasional untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai variasi proses dan praktik pengelolaan limbah. Hasil pengamatan dicatat dalam lembar kerja lapangan serta didokumentasikan melalui foto dan video sebagai bukti pendukung. Informasi yang diperoleh menjadi

dasar penting dalam menyusun strategi pemanfaatan limbah yang efisien dan berkelanjutan.

Pengumpulan data kuantitatif dilakukan dengan menelaah laporan operasional perusahaan yang mencakup informasi penting terkait proses produksi. Data yang dikumpulkan meliputi total tandan buah segar (TBS) yang diolah per hari, jumlah *crude palm oil* (CPO) dan kernel yang dihasilkan, serta volume limbah seperti POME, TKKS, serat, dan cangkang per ton TBS. Data ini digunakan sebagai dasar untuk menyusun neraca massa dan menganalisis potensi pemanfaatan limbah. Ketepatan dan konsistensi data sangat penting untuk memastikan akurasi perhitungan serta validitas hasil analisis. Selain itu, data ini membantu dalam mengidentifikasi efisiensi proses produksi serta potensi optimalisasi sistem pengelolaan limbah yang ada.

Perhitungan Neraca Massa

Neraca massa disusun untuk setiap tahapan proses produksi CPO dengan menggunakan pendekatan kuantitatif yang mengacu pada prinsip keseimbangan massa [9]. Dalam pendekatan ini, seluruh massa bahan yang masuk ke dalam sistem diasumsikan akan keluar dalam bentuk produk utama, produk samping, limbah, dan kehilangan (*losses*), sehingga dirumuskan sebagai: “***Input = Produk utama + Produk samping + Limbah + Losses***”.

Perhitungan neraca massa dilakukan berdasarkan satuan 1.000 kg tandan buah segar (TBS) sebagai dasar standar. Pendekatan ini memudahkan perbandingan antar unit proses dan evaluasi efisiensi konversi bahan. Selain itu, metode ini juga membantu mengidentifikasi titik kritis dalam sistem yang dapat ditingkatkan efisiensinya maupun dimanfaatkan limbahnya secara lebih optimal.

Potensi Limbah dan Pemanfataannya

Limbah dalam proses pengolahan kelapa sawit diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat meliputi TKKS, fiber, dan *shell*, sedangkan limbah cair berupa POME. Potensi masing-masing limbah dihitung dalam satuan kilogram atau liter per ton TBS, berdasarkan rasio aktual yang diperoleh dari data primer dan sekunder [10]. Penghitungan ini menjadi dasar penting dalam menentukan strategi pemanfaatan limbah yang efisien dan berkelanjutan.

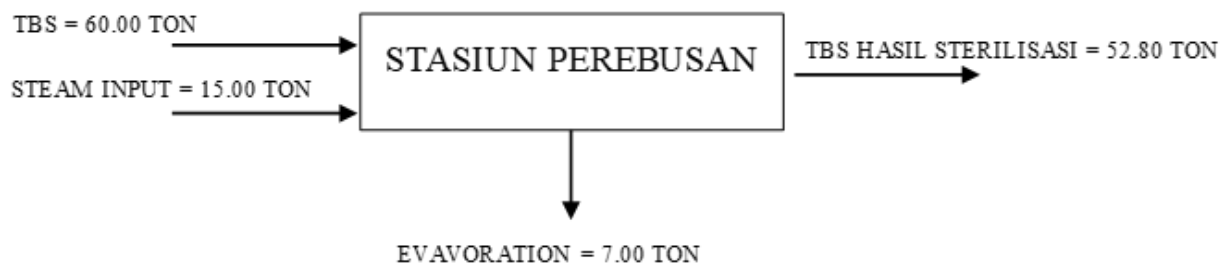
Analisis potensi pemanfaatan limbah dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis. Pertama, dilakukan identifikasi terhadap karakteristik fisik dan kimia dari masing-masing jenis limbah, baik padat maupun cair, guna memahami komposisi dan sifat dasar yang memengaruhi kelayakan pemanfaatannya. Selanjutnya, hasil identifikasi tersebut dibandingkan dengan referensi dari literatur ilmiah untuk menilai kesesuaian dan potensi aplikatif limbah sebagai bahan baku alternatif, seperti kompos, bahan bakar, biogas, atau pupuk cair. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, disusun rekomendasi pemanfaatan limbah yang mengacu pada praktik terbaik (*best practice*) di industri kelapa sawit maupun sektor agroindustri lain yang relevan, dengan mempertimbangkan aspek teknis, lingkungan, dan keberlanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stasiun Perebusan TBS

Stasiun perebusan merupakan tahap awal yang sangat penting dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO. Di stasiun ini, TBS direbus menggunakan uap bertekanan tinggi dalam alat yang disebut *sterilizer*. Tujuan perebusan adalah untuk memudahkan pelepasan buah dari tandannya, menghentikan aktivitas enzim lipase yang dapat merusak kualitas minyak, serta melunakkan daging buah agar mudah diekstraksi. Proses ini biasanya berlangsung pada tekanan 2.8–3.0 kg/cm² dan suhu 130–140°C selama 85–95 menit, tergantung jenis sterilizer yang digunakan.

Perebusan yang optimal sangat menentukan efisiensi dan kualitas hasil akhir, terutama dalam meningkatkan rendemen CPO dan menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA). Setelah proses perebusan selesai, TBS yang telah mengalami pelunakan akan dipindahkan ke tahap selanjutnya, yaitu proses perontokan buah dari tandan. Proses ini dilakukan di stasiun *thresher*, di mana buah sawit akan dipisahkan secara mekanis dari tandannya. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh kualitas perebusan sebelumnya, karena buah yang telah matang dan melunak akan lebih mudah terlepas tanpa menyebabkan kerusakan. Dengan demikian, proses perebusan yang terkendali menjadi kunci untuk memastikan kelancaran proses lanjutan serta menjaga kualitas minyak sawit yang dihasilkan.



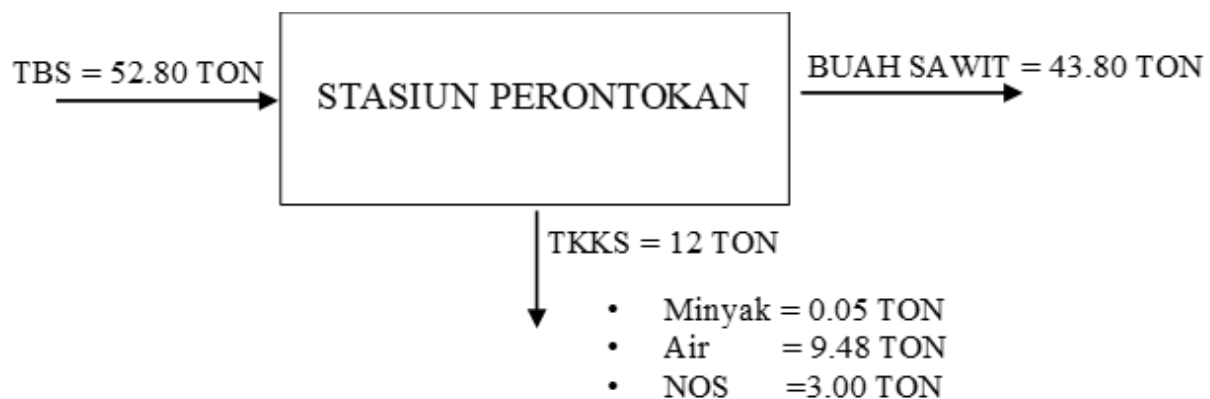
Gambar 1. Neraca massa stasiun perebusan.

Stasiun Perontokan TBS

Stasiun perontokan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan kelapa sawit setelah perebusan. Pada tahap ini, buah sawit yang telah direbus dipisahkan dari tandannya menggunakan alat yang disebut *thresher* atau mesin bantingan. Proses ini bertujuan untuk memperoleh buah lepas (*loose fruit*) yang akan dilanjutkan ke tahap pelumatan dan pengepresan, sementara TKKS dipisahkan sebagai limbah padat. Mesin *thresher* biasanya berupa silinder berputar dengan kisi-kisi di mana tandan dibanting secara mekanis

sehingga buah terlepas karena gaya tumbukan dan gravitasi.

Keberhasilan proses perontokan sangat dipengaruhi oleh kualitas perebusan sebelumnya, karena buah yang tidak cukup lunak akan sulit terlepas dari tandan. Efisiensi dari stasiun ini juga berdampak langsung terhadap rendemen minyak sawit, karena buah yang tertinggal di tandan kosong akan menjadi kehilangan potensial (*oil loss*). Oleh karena itu, pengaturan kecepatan putaran *thresher*, sudut bantingan, dan waktu operasi harus dioptimalkan agar proses perontokan berlangsung maksimal dengan tingkat kehilangan buah yang rendah.



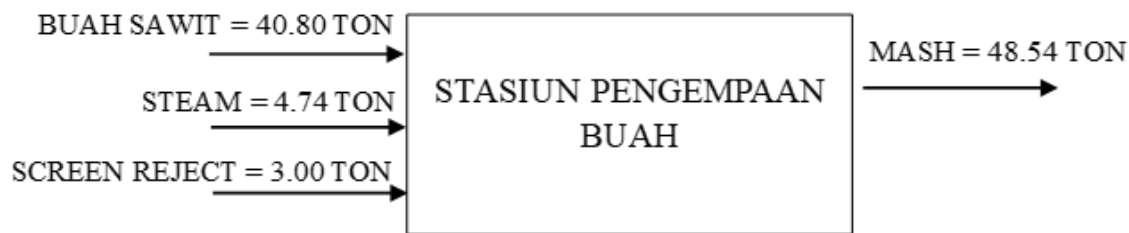
Gambar 2. Neraca massa stasiun perontokan.

Stasiun Pengempaan Buah

Stasiun pengempaan buah merupakan tahap krusial dalam proses ekstraksi minyak sawit, di mana buah sawit yang telah dilumatkan (*mash*) dari digester diproses menggunakan alat *screw press* untuk memisahkan minyak dari bahan padatnya. *Screw press* bekerja dengan prinsip tekanan mekanis; *mash* dimasukkan ke dalam tabung yang memiliki ulir berputar, lalu ditekan secara bertahap hingga minyak keluar melalui celah-celah kecil, sementara ampas (*press cake*) dikeluarkan melalui ujung lainnya. Minyak yang diperoleh pada tahap ini masih berupa minyak kasar (*crude oil*) yang

mengandung kotoran, serat, dan air, sehingga perlu dilanjutkan ke proses klarifikasi.

Efisiensi pengempaan sangat memengaruhi rendemen (rendemen) minyak sawit, sehingga pengaturan tekanan, suhu *mash*, dan kapasitas *screw press* harus dikendalikan dengan tepat. Pengempaan yang tidak optimal dapat menyebabkan kehilangan minyak dalam ampas atau menghasilkan minyak dengan kadar kotoran tinggi. Oleh karena itu, stasiun ini menjadi titik penentu dalam menjaga kuantitas dan kualitas CPO yang dihasilkan. Ampas yang keluar dari proses ini kemudian dialirkan ke stasiun pemisahan serat dan biji untuk diolah lebih lanjut, sementara minyak kasar diteruskan ke stasiun klarifikasi.

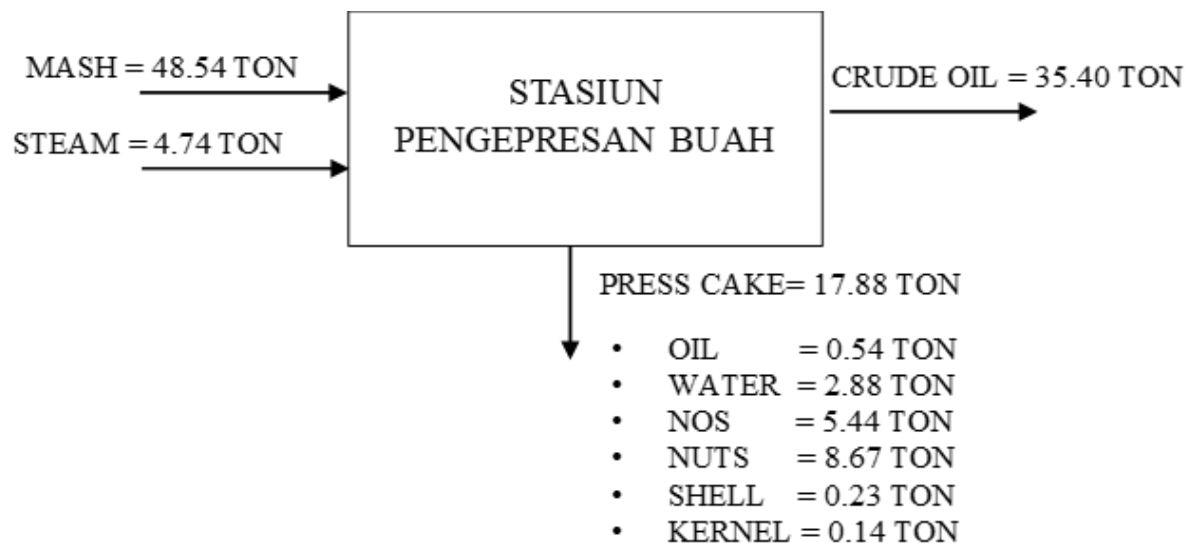


Gambar 3. Neraca massa stasiun pengempaan buah.

Stasiun Pengepresan Buah

Stasiun pengepresan buah merupakan salah satu tahapan utama dalam proses ekstraksi minyak sawit, yang bertujuan untuk memisahkan minyak dari daging buah sawit. Buah yang telah dilumatkan di digester dialirkan ke alat pengepres, umumnya menggunakan screw press. Alat ini bekerja dengan sistem ulir berputar di dalam tabung tertutup, yang memberikan tekanan tinggi secara bertahap pada massa buah. Tekanan ini menyebabkan minyak keluar melalui lubang-lubang kecil, sementara ampasnya (*press cake*) terdorong keluar melalui ujung mesin. Minyak yang dihasilkan dari proses ini disebut minyak kasar (*crude palm oil*), yang masih mengandung air, serat halus, dan kotoran lainnya.

Efisiensi proses pengepresan sangat berpengaruh terhadap hasil produksi, baik dari segi rendemen minyak maupun kualitas CPO. Oleh karena itu, pengaturan suhu mash, tekanan alat, dan laju umpan harus dijaga dengan baik. Ampas hasil pengepresan masih mengandung biji sawit (*kernel*) dan serat, yang kemudian dipisahkan pada stasiun berikutnya untuk dimanfaatkan lebih lanjut. Sementara itu, minyak kasar hasil pengepresan akan diteruskan ke stasiun klarifikasi untuk dilakukan pemurnian sebelum menjadi produk CPO siap jual. Stasiun pengepresan buah merupakan titik kunci dalam proses produksi, karena menentukan seberapa maksimal minyak dapat diambil dari setiap kilogram buah sawit yang diolah.



Gambar 4. Neraca massa stasiun pengepresan buah.

Stasiun Vibrating Screen

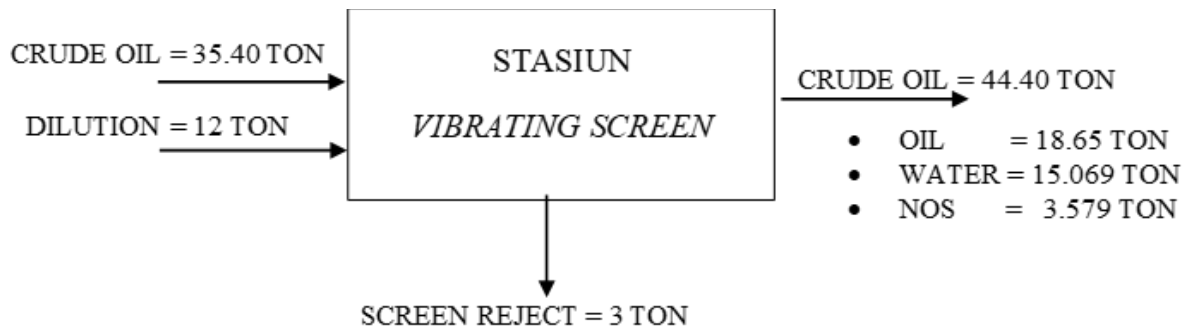
Stasiun vibrating Screen merupakan tahap awal dalam proses pemurnian minyak kasar (CPO) yang dihasilkan dari pengepresan. Pada tahap ini, minyak sawit kasar yang masih mengandung kotoran padat seperti serabut, pasir, dan partikel buah disaring menggunakan alat bergetar yang disebut *vibrating screen*. Alat ini terdiri dari ayakan logam berlubang yang bergetar dengan frekuensi tertentu, sehingga partikel padat yang lebih besar dari ukuran lubang akan tertahan sebagai *screen reject*, sementara

minyak dan partikel halus akan lolos ke tahap selanjutnya. Proses ini sangat penting untuk memastikan bahwa kotoran kasar tidak terbawa ke sistem pemurnian berikutnya yang lebih sensitif.

Efisiensi *vibrating screen* sangat bergantung pada ukuran mesh ayakan, frekuensi getaran, dan aliran minyak yang masuk. Pengoperasian yang optimal akan mengurangi beban kerja pada stasiun klarifikasi dan mencegah kerusakan pada pompa serta alat-alat pemrosesan lanjutan. Selain itu, *screen reject* yang dihasilkan masih dapat diperiksa

untuk memastikan tidak ada minyak yang terbangun secara signifikan. Dengan demikian, stasiun vibrating screen memegang peran penting dalam

menjaga kualitas minyak sawit kasar, sekaligus mendukung efisiensi keseluruhan proses produksi CPO di pabrik kelapa sawit.



Gambar 5. Neraca massa stasiun *vibrating screen*.

Efisiensi Proses Pengolahan

Efisiensi proses pada setiap stasiun pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak sawit mentah (CPO) menunjukkan variasi yang mencerminkan karakteristik operasional dan dinamika aliran massa pada masing-masing unit proses. Stasiun perebusan TBS memiliki efisiensi sebesar 88,00%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar massa TBS berhasil diproses dengan baik, meskipun masih terdapat kehilangan massa yang kemungkinan disebabkan oleh penguapan air, pelepasan kondensat, atau kehilangan minor selama penanganan material. Pada stasiun perontokan TBS, efisiensi tercatat sebesar 82,96%, yang mengindikasikan bahwa proses pemisahan buah dari tandan berlangsung cukup efektif, namun masih terdapat buah yang tidak terlepas secara sempurna atau kehilangan massa akibat tercecceh selama proses mekanis. Efisiensi yang lebih rendah ditemukan pada stasiun pengepresan buah sebesar 72,95%, yang menunjukkan bahwa masih terdapat fraksi minyak yang tertinggal dalam ampas atau serat, sehingga proses ekstraksi minyak belum berlangsung secara optimal. Sebaliknya, efisiensi yang melebihi 100% pada stasiun pengempaan buah (110,82%) dan vibrating screen (128,70%) mengindikasikan adanya penambahan massa dari aliran material lain, seperti penambahan air proses, kondensat, atau fraksi cair yang sebelumnya tidak terhitung pada aliran masuk, sehingga menyebabkan peningkatan massa pada aliran keluar. Secara keseluruhan, variasi efisiensi ini menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar stasiun telah beroperasi secara efektif, masih terdapat peluang untuk optimalisasi proses, khususnya pada tahap ekstraksi minyak dan pengendalian aliran massa, guna meningkatkan efisiensi produksi CPO secara keseluruhan.

Potensi Limbah dan Pemanfaatannya

Selama proses pengolahan TBS menjadi CPO, dihasilkan limbah padat dalam jumlah signifikan yang terutama terdiri dari TKKS, serat, dan cangkang. TKKS merupakan sisa tandan setelah buah terlepas pada stasiun perontokan, sedangkan serat berasal dari ampas hasil pengepresan daging buah dan cangkang dihasilkan dari pemisahan inti sawit. Ketiga jenis limbah padat ini merupakan fraksi utama hasil samping proses pengolahan dan menyumbang proporsi besar dari total massa bahan baku yang diolah. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah tersebut berpotensi menimbulkan dampak lingkungan seperti pencemaran dan akumulasi limbah padat di sekitar pabrik. Oleh karena itu, pengelolaan limbah padat menjadi aspek penting dalam mendukung efisiensi dan keberlanjutan industri kelapa sawit.

Secara kuantitatif, pengolahan kelapa sawit menghasilkan proporsi limbah padat yang cukup besar dibandingkan dengan produk utama CPO. Setiap 100 ton TBS menghasilkan sekitar 22–23% TKKS, 13–14% serat, dan 5–7% cangkang [11,12]. Dengan demikian, pengolahan 60 ton TBS diperkirakan menghasilkan sekitar 13,2–13,8 ton TKKS, 7,8–8,4 ton serat, dan 3,0–4,2 ton cangkang, sehingga total limbah padat mencapai sekitar 24–26 ton atau sekitar 40–43% dari total bahan baku. Jumlah ini menunjukkan bahwa sebagian besar massa bahan baku tidak dikonversi menjadi CPO, melainkan menjadi limbah atau produk samping. Kondisi ini menegaskan pentingnya strategi pengelolaan dan pemanfaatan limbah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Selain itu, pemanfaatan limbah padat secara optimal dapat memberikan nilai tambah ekonomi bagi industri.

Meskipun tergolong limbah, TKKS, serat, dan cangkang memiliki potensi pemanfaatan yang

tinggi dalam mendukung konsep produksi berkelanjutan. TKKS dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos, pupuk organik, dan mulsa untuk meningkatkan kesuburan tanah di perkebunan. Serat dan cangkang memiliki nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan dalam proses produksi. Pemanfaatan ini tidak hanya mengurangi volume limbah yang harus dibuang, tetapi juga membantu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Dengan demikian, limbah padat kelapa sawit dapat berfungsi sebagai sumber daya sekunder yang mendukung efisiensi energi dan ekonomi sirkular.

Selain limbah padat, proses pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan limbah cair utama yang dikenal sebagai Palm Oil Mill Effluent (POME), yang berasal dari kondensat perebusan, proses klarifikasi, dan pencucian peralatan. POME memiliki karakteristik kandungan bahan organik yang tinggi, dengan nilai COD sebesar 40.000–60.000 mg/L dan BOD sebesar 25.000–35.000 mg/L, serta dihasilkan dalam jumlah sekitar 0,5–0,75 m³ per ton TBS. Dengan demikian, pengolahan 60 ton TBS dapat menghasilkan sekitar 30–45 m³ POME, yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Namun, melalui pengolahan yang tepat, seperti proses anaerobik, POME dapat dimanfaatkan sebagai sumber biogas atau pupuk cair. Pemanfaatan limbah cair ini memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari industri kelapa sawit.

Limbah hasil pengolahan minyak kelapa sawit menjadi CPO tidak hanya menjadi permasalahan lingkungan, tetapi juga memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tambah melalui pendekatan *waste-to-wealth*. Limbah padat seperti TKKS, serat, dan cangkang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa, pupuk organik, papan partikel, serta bahan baku industri kimia melalui teknologi seperti *shredding*, *pelleting*, dan karbonisasi. Selain itu, limbah tersebut juga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol, nanofiber, dan komposit plastik biodegradable yang ramah lingkungan dan mendukung pengurangan penggunaan bahan berbasis fosil. Pemanfaatan limbah sawit dalam bentuk kompos juga terbukti meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Dengan dukungan riset, inovasi teknologi, dan kebijakan yang tepat, pengelolaan limbah kelapa sawit dapat berkontribusi pada peningkatan efisiensi sumber daya, pengurangan dampak lingkungan, serta penciptaan peluang ekonomi baru dalam sektor energi, pertanian, dan industri berbasis biomassa.

KESIMPULAN

Analisis neraca massa pada pengolahan TBS di PKS PT Sari Lembah Subur (60 ton/jam) menunjukkan produksi CPO sebesar 20,58 ton/jam (rendemen 34,30%) dan kernel 3,52 ton/jam, yang mencerminkan efisiensi proses sesuai standar industri. Selain produk utama, dihasilkan limbah padat berupa tandan kosong 23,07 ton/jam, serat 9,81 ton/jam, cangkang 3,92 ton/jam, serta limbah cair POME sekitar 36 m³/jam. Limbah tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa, kompos, dan biogas. Hasil ini menegaskan bahwa neraca massa efektif untuk evaluasi efisiensi dan mendukung pengelolaan limbah berbasis ekonomi sirkular guna meningkatkan keberlanjutan industri kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Azida, M. Yamin, and R. Riswani, "Analisis Daya Saing Crude Palm Oil (CPO) Indonesia di pasar Internasional", AGRICA, vol. 16, no. 1, pp. 84–94, Jun. 2023, doi: 10.37478/agr.v16i1.2732.
- [2] 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.
- [3] H. Alpendari and T. Prakoso, "Tindakan pengembalian limbah pabrik kelapa sawit sebagai upaya memaksimalkan zero waste.," Agrisintech (Journal of Agribusiness and Agrotechnology), vol. 2, no. 2, p. 48, Mar. 2022, doi: 10.31938/agrisintech.v2i2.349.
- [4] H. U. Azzahro, N. S. Indrasti, and A. Ismayana, "PENERAPAN PRODUKSI BERSIH PADA INDUSTRI KELAPA SAWIT DI PT YZ," Jurnal Teknologi Industri Pertanian, pp. 1–11, Jan. 2022, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.1.
- [5] A. Haryanti, N. Norsamsi, P. S. F. Sholiha, and N. P. Putri, "STUDI PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT," Konversi, vol. 3, no. 2, p. 20, Oct. 2014, doi: 10.20527/k.v3i2.161.
- [6] W. J. Hidayat and A. Chalim, "EVALUASI PERHITUNGAN NERACA MASSA PRENEUTRALIZER TANK-GRANULATOR PADA UNIT PHONSKA 4 PABRIK II B PT PETROKIMIA GRESIK," DISTILAT JURNAL TEKNOLOGI

- SEPARASI, vol. 8, no. 4, pp. 791–796, Dec. 2022, doi: 10.33795/distilat.v8i4.421.
- [7] H. Kartika and N. Wahyuni, “Model Proses Produksi Tertutup pada Industri Karet Remah (Crumb rubber) SIR,” *Jambura Industrial Review (JIREV)*, vol. 4, no. 1, pp. 18–28, May 2024, doi: 10.37905/jirev.v4i1.24598.
- [8] Nugroho, *Teknologi Agroiindustri Kelapa Sawit*. Lambung Mangkurat University Press, 2019.
- [9] Harahap, Dewantoro, and Alfajri, “EVALUASI DAN PERBAIKAN PROSES PRODUKSI MINYAK ATSIRI NILAM BERBASIS NERACA MASSA (STUDI KASUS CV ANUGERAH ESSENTIAL OIL, SUMEDANG),” *Jurnal Industri Pertanian*, vol. 1, no. 2, pp. 21–27, 2019.
- [10] A. I. Dewantoro, and S. H. Putri, "Evaluasi Kehilangan Bahan selama Proses Produksi Gondorukem Berdasarkan Analisis Neraca Massa," *METANA*, vol. 18, no. 1, pp. 29-38, Jun. 2022. doi: 10.14710/metana.v18i1.43762
- [11] R. N. Yanti and I. L. Hutasuhut, “POTENSI LIMBAH PADAT PERKEBUNAN KELAPA SAWIT DI PROVINSI RIAU,” *Wahana Forestra Jurnal Kehutanan*, vol. 15, no. 2, pp. 1–11, Nov. 2020, doi: 10.31849/forestra.v15i2.4696.
- [12] Agustiar, “Palm Oil Solid Waste an Alternatif as an Energy Source of Electricity generation in The South West of Aceh (Barsela),” *Jurnal Keteknikan Pertanian*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, May 2022, doi: 10.19028/jtep.010.1.1-10