



## Analisis Losses Minyak Sawit pada Proses Pengolahan Pabrik Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Unit Usaha PKS Bunut

Farhan Al rasyid Nasution<sup>1\*</sup>, Brav Deva Bernadhi<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

email: [farhanalrasyid1010@gmail.com](mailto:farhanalrasyid1010@gmail.com)<sup>1</sup>

### Article Info :

Received:  
22-03-2026  
Revised:  
06-04-2026  
Accepted:  
18-04-2026

### Abstract

*This study analyzes palm oil losses during the processing stages at the Palm Oil Mill of PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV PKS Bunut. The research aimed to identify critical loss points, evaluate causal factors, and formulate operational improvement strategies to enhance processing efficiency. The study employed an empirical industrial observation approach through direct monitoring of the Fresh Fruit Bunch processing chain, including sterilization, threshing, pressing, clarification, and kernel stations. The results indicate that several loss components, particularly press cake and solid decanter losses, exceeded industrial standard limits, reflecting process inefficiencies in specific operational units. The dominant factors contributing to losses were unstable sterilization conditions, declining screw press and decanter performance, inconsistent operational control, and variability in raw material quality. The implementation of preventive maintenance, process standardization, Statistical Process Control, and Six Sigma-based monitoring is considered capable of reducing oil losses and strengthening sustainable operational efficiency in the palm oil processing industry.*

**Keywords:** *Palm Oil Losses, Crude Palm Oil, Process Efficiency, Oil Extraction Rate, Palm Oil Mill*

### Abstrak

Penelitian ini menganalisis kerugian minyak kelapa sawit selama tahap-tahap pengolahan di Pabrik Pengolahan Minyak Kelapa Sawit (PKS) PT Perkebunan Nusantara IV Wilayah IV PKS Bunut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik kerugian kritis, mengevaluasi faktor-faktor penyebab, serta merumuskan strategi perbaikan operasional guna meningkatkan efisiensi pengolahan. Penelitian ini menggunakan pendekatan observasi industri empiris melalui pemantauan langsung terhadap rantai pengolahan Tandan Buah Segar (TBS), termasuk stasiun sterilisasi, pemisahan biji, pengepresan, klarifikasi, dan pengolahan biji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa komponen kerugian, terutama kerugian pada ampas pengepresan dan dekanter padat, melebihi batas standar industri, yang mencerminkan inefisiensi proses pada unit operasional tertentu. Faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap kerugian tersebut adalah kondisi sterilisasi yang tidak stabil, penurunan kinerja pengepres sekrup dan dekanter, kontrol operasional yang tidak konsisten, serta variabilitas kualitas bahan baku. Penerapan pemeliharaan preventif, standarisasi proses, Pengendalian Proses Statistik (SPC), dan pemantauan berbasis Six Sigma dianggap mampu mengurangi kerugian minyak serta memperkuat efisiensi operasional yang berkelanjutan dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit.

**Kata Kunci:** *Kerugian Minyak Kelapa Sawit, Minyak Kelapa Sawit Mentah, Efisiensi Proses, Tingkat Ekstraksi Minyak, Pabrik Minyak Kelapa Sawit.*



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## PENDAHULUAN

Industri minyak sawit global mengalami transformasi struktural yang semakin menempatkan efisiensi ekstraksi minyak sebagai indikator utama daya saing industri agroproses modern, terutama ketika peningkatan permintaan Crude Palm Oil (CPO) tidak lagi hanya diukur dari volume produksi, tetapi juga dari kemampuan pabrik mempertahankan rendemen optimal melalui pengendalian kehilangan minyak pada setiap tahapan pengolahan. Dalam konteks ini, isu oil losses berkembang menjadi perhatian strategis karena berkaitan langsung dengan efisiensi energi, produktivitas bahan baku, keberlanjutan lingkungan, serta kemampuan perusahaan memenuhi standar industri berbasis clean production dan circular manufacturing. Literatur mutakhir menunjukkan bahwa tekanan terhadap industri kelapa sawit tidak hanya berasal dari fluktuasi harga global dan tuntutan pasar internasional

terhadap praktik produksi berkelanjutan, tetapi juga dari meningkatnya tuntutan efisiensi proses internal pabrik yang mampu meminimalkan kehilangan minyak pada stasiun sterilizer, thresher, press, klarifikasi, hingga kernel recovery. Pahan menegaskan bahwa setiap fraksi kehilangan minyak pada ampas press, sludge, nut, maupun tandan kosong merepresentasikan potensi kerugian ekonomi yang signifikan karena secara kumulatif akan memengaruhi nilai Oil Extraction Rate (OER) dan profitabilitas operasional pabrik kelapa sawit dalam jangka panjang Pabrik Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir. Pada saat yang sama, perkembangan teknologi pengolahan sawit modern telah menggeser orientasi manajemen pabrik dari sekadar menjaga kontinuitas produksi menuju pengendalian losses berbasis integrasi parameter proses, monitoring real-time, serta optimasi performa mesin yang saling terhubung dalam sistem produksi berkelanjutan, sebagaimana dipertegas dalam studi implementasi clean production pada industri sawit yang menempatkan efisiensi proses sebagai instrumen utama pengurangan limbah industri dan peningkatan nilai tambah produksi (Widodo, 2024).

Kajian-kajian terdahulu memperlihatkan bahwa oil losses tidak dapat dipahami sebagai fenomena teknis yang berdiri sendiri, melainkan sebagai konsekuensi dari interaksi kompleks antara stabilitas parameter proses, kualitas bahan baku, efektivitas Standard Operating Procedure (SOP), dan performa mekanis peralatan pengolahan. Syafitrah et al. (2023) menunjukkan bahwa ketidakkonsistenan implementasi SOP pada pengolahan kernel berimplikasi langsung terhadap inefisiensi proses ekstraksi dan rendahnya pemanfaatan hasil samping industri sawit, yang mengindikasikan bahwa disiplin operasional menjadi variabel fundamental dalam pengendalian kehilangan minyak. Penelitian Tampubolon dan Sianturi (2025) memperlihatkan bahwa fluktuasi tekanan dan suhu pada sterilizer memengaruhi tingkat pelunakan buah serta efektivitas pelepasan minyak pada tahapan lanjutan, sehingga ketidakstabilan perebusan berpotensi meningkatkan oil retention pada fiber dan empty bunch. Dalam lingkup yang lebih spesifik, Radwitya et al. (2023) menemukan bahwa produktivitas Empty Bunch Press memiliki hubungan langsung dengan peningkatan Oil Extraction Rate karena optimalisasi tekanan dan putaran mesin mampu menurunkan kandungan minyak pada tandan kosong secara signifikan. Penelitian Yardani et al. (2025) kemudian memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa penggunaan bunch press pada empty bunch mampu mereduksi losses pada janjang kosong, meskipun efektivitasnya tetap dipengaruhi oleh stabilitas aliran material dan kondisi mekanis alat. Sintesis dari berbagai penelitian tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian losses pada industri sawit sesungguhnya menuntut pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan aspek teknis, operasional, dan manajerial secara simultan, bukan sekadar pengawasan parsial pada satu stasiun pengolahan tertentu.

Meskipun berbagai studi telah mengidentifikasi faktor-faktor penyebab oil losses pada proses pengolahan kelapa sawit, sebagian besar penelitian masih memperlihatkan fragmentasi analisis yang kuat karena cenderung berfokus pada satu titik proses tertentu tanpa membangun hubungan sistemik antartahapan produksi dalam rantai pengolahan CPO secara menyeluruh. Penelitian mengenai sterilizer umumnya hanya menitikberatkan pada kestabilan tekanan dan temperatur perebusan tanpa mengaitkannya dengan dampak lanjutan terhadap losses di stasiun press dan klarifikasi, sedangkan studi mengenai empty bunch press lebih banyak mengevaluasi efektivitas alat dalam mengurangi kandungan minyak pada tandan kosong tanpa menelaah keterkaitannya dengan kualitas bahan baku dan pengaturan proses upstream. Literatur yang membahas implementasi clean production pada industri sawit juga cenderung menempatkan losses sebagai bagian dari pengurangan limbah industri secara umum, sehingga dimensi teknis pengendalian kehilangan minyak pada titik kritis pengolahan belum dianalisis secara mendalam (Widodo, 2024). Di sisi lain, kajian berbasis SOP produksi kernel sebagaimana dilakukan Syafitrah et al. (2023) lebih menekankan aspek kepatuhan prosedural dibandingkan pengukuran empiris terhadap kontribusi setiap sumber losses terhadap total kehilangan minyak pabrik. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan empiris berupa minimnya penelitian integratif yang menghubungkan identifikasi titik kritis losses, pengukuran aktual terhadap standar norma industri, serta analisis kausal berbasis performa mesin dan stabilitas proses dalam satu kerangka evaluasi operasional yang komprehensif.

Keterbatasan literatur tersebut menjadi semakin penting untuk diperhatikan karena tingginya oil losses tidak hanya berdampak pada penurunan rendemen CPO, tetapi juga menciptakan implikasi ekonomi dan ekologis yang lebih luas bagi keberlanjutan industri sawit nasional. Kehilangan minyak pada sludge, ampas press, maupun solid decanter secara langsung merepresentasikan hilangnya potensi produksi yang seharusnya dapat dikonversi menjadi output bernilai ekonomi tinggi, sementara

peningkatan limbah berminyak memperbesar beban pengolahan effluent dan meningkatkan risiko pencemaran lingkungan. Dalam praktik operasional pabrik, ketidakmampuan mengendalikan losses sering kali berkaitan dengan lemahnya pemeliharaan mesin, ketidaktepatan parameter proses, serta rendahnya konsistensi pengawasan operator terhadap titik kritis produksi, sehingga masalah losses sesungguhnya merefleksikan persoalan efisiensi sistemik industri pengolahan sawit. Temuan Yardani et al. (2025) dan Radwitya et al. (2023) memperlihatkan bahwa perbaikan kecil pada efektivitas pemisahan minyak dapat menghasilkan peningkatan OER yang cukup signifikan, yang berarti bahwa pengendalian losses memiliki implikasi langsung terhadap produktivitas perusahaan. Pada saat yang sama, kebutuhan industri terhadap sistem produksi berbasis efisiensi energi dan minimisasi limbah sebagaimana ditegaskan Widodo (2024) menuntut adanya evaluasi menyeluruh terhadap performa setiap stasiun pengolahan agar perusahaan mampu mempertahankan daya saing sekaligus memenuhi tuntutan keberlanjutan industri global.

Dalam lanskap keilmuan tersebut, penelitian mengenai analisis losses minyak sawit di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Unit Usaha PKS Bunut menempati posisi penting karena berupaya membangun pendekatan evaluatif yang tidak hanya mengidentifikasi besarnya losses pada setiap titik proses, tetapi juga menelaah hubungan kausal antara performa mesin, stabilitas parameter operasi, kualitas bahan baku, dan efektivitas pengendalian proses terhadap total kehilangan minyak pabrik. Penelitian ini memosisikan oil losses sebagai indikator integratif efisiensi operasional yang mencerminkan kualitas keseluruhan sistem produksi, sehingga analisis tidak dibatasi pada satu unit proses tertentu, melainkan mencakup stasiun perebusan, perontokan, pengepresan, klarifikasi, hingga pengolahan kernel secara terhubung. Pendekatan tersebut relevan dengan argumentasi Pahan yang menempatkan efisiensi ekstraksi sebagai inti keberhasilan manajemen pabrik kelapa sawit modern Pabrik Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir, sekaligus memperluas cakupan penelitian sebelumnya yang umumnya masih bersifat parsial dan tersegmentasi. Analisis berbasis titik kritis losses dan evaluasi terhadap kesesuaian hasil aktual dengan norma industri memungkinkan penelitian ini menghasilkan pemetaan empiris yang lebih operasional dalam mengidentifikasi sumber inefisiensi proses secara spesifik pada kondisi nyata pengolahan di PKS Bunut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kehilangan minyak sawit pada seluruh tahapan proses pengolahan di PKS Bunut dengan mengidentifikasi jenis losses, menentukan titik kritis terjadinya kehilangan minyak, mengevaluasi faktor-faktor dominan penyebab inefisiensi proses, serta merumuskan rekomendasi teknis dan operasional untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi minyak dan stabilitas produksi CPO. Kontribusi teoretis penelitian terletak pada pengembangan perspektif integratif mengenai oil losses sebagai manifestasi keterhubungan antara performa mesin, parameter proses, dan efektivitas pengendalian operasional dalam sistem pengolahan kelapa sawit. Kontribusi metodologis penelitian diwujudkan melalui penggunaan observasi menyeluruh lintas stasiun pengolahan, pengukuran aktual terhadap titik-titik losses utama, serta analisis berbasis evaluasi norma industri dan identifikasi akar penyebab proses, sehingga menghasilkan kerangka analisis yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan strategi peningkatan rendemen dan efisiensi operasional pada industri pengolahan kelapa sawit berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan studi empiris berbasis observasi industrial yang dirancang untuk menganalisis pola kehilangan minyak sawit (oil losses) pada seluruh rantai proses pengolahan Tandem Buah Segar (TBS) menjadi Crude Palm Oil (CPO) dan kernel di PT Perkebunan Nusantara IV Regional IV Unit Usaha PKS Bunut. Pendekatan metodologis dikembangkan melalui integrasi evaluasi proses produksi, pengukuran teknis losses, dan identifikasi titik kritis operasional secara langsung pada kondisi aktual pabrik, sehingga memungkinkan penelitian menangkap dinamika empiris pengolahan sawit secara komprehensif dan kontekstual. Observasi dilakukan pada seluruh stasiun pengolahan, meliputi penerimaan bahan baku, sterilizer, thresher, digester dan screw press, klarifikasi, hingga stasiun kernel, dengan fokus pada pengukuran losses pada unstripped fruit (USF), janjang kosong, nut, ampas press, sludge, dan solid decanter. Pengumpulan data dilakukan selama periode operasional bulan Juni 2025 menggunakan teknik observasi langsung, pencatatan parameter proses, dokumentasi operasional, serta pengambilan data produksi harian yang kemudian dibandingkan dengan norma losses industri sebagai indikator efisiensi proses. Analisis proses dirancang secara sistemik untuk menelusuri keterkaitan antara kestabilan suhu perebusan, tekanan kerja screw press, performa decanter, kualitas bahan baku, dan

efektivitas pengendalian operasional terhadap peningkatan losses minyak sawit. Pendekatan ini mengadopsi prinsip evaluasi proses pengolahan kelapa sawit yang menempatkan efisiensi ekstraksi sebagai parameter utama keberhasilan produksi industri sawit modern sebagaimana dijelaskan oleh Kelapa Sawit: Teknik Budidaya dan Pengolahan, namun dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi analisis lintas stasiun produksi dan identifikasi akar penyebab berbasis kondisi aktual pabrik.

Validasi metodologis dilakukan melalui triangulasi data operasional, verifikasi hasil pengukuran terhadap standar norma losses perusahaan, serta evaluasi konsistensi data harian pada setiap titik pengamatan untuk memastikan reliabilitas hasil penelitian. Teknik analisis menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan membandingkan nilai aktual losses terhadap batas maksimum standar industri guna mengidentifikasi tingkat efisiensi proses dan penyimpangan operasional pada masing-masing stasiun pengolahan. Untuk memperkuat interpretasi kausal, penelitian ini menerapkan analisis Fishbone Diagram (Ishikawa) dalam mengelompokkan faktor penyebab losses berdasarkan dimensi metode, mesin, bahan baku, sumber daya manusia, dan lingkungan operasional, sehingga evaluasi tidak berhenti pada identifikasi gejala teknis tetapi juga mampu menjelaskan hubungan struktural antarvariabel proses. Metrik evaluasi utama dalam penelitian ini meliputi persentase losses pada setiap media kehilangan minyak, nilai rata-rata total losses, tingkat kesesuaian terhadap norma industri, kestabilan parameter proses, serta kontribusi masing-masing titik losses terhadap efisiensi Oil Extraction Rate (OER). Ketahanan metodologis penelitian terletak pada penggunaan pendekatan observasi terintegrasi berbasis proses aktual industri, yang memungkinkan identifikasi simultan terhadap sumber inefisiensi teknis dan operasional, sedangkan keunikan penelitian ini tercermin pada pengembangan model evaluasi losses lintas stasiun pengolahan yang menghubungkan performa peralatan, kontrol proses, dan efektivitas manajemen operasional dalam satu kerangka analisis efisiensi industri kelapa sawit secara menyeluruh.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Evaluasi Kinerja Losses pada Stasiun Perebusan dan Perontokan dalam Pengolahan Minyak Sawit

Efisiensi pengolahan minyak sawit pada stasiun perebusan dan perontokan menunjukkan pengaruh langsung terhadap kestabilan rendemen Crude Palm Oil (CPO) di PKS Bunut. Hasil observasi memperlihatkan bahwa kestabilan suhu perebusan pada rentang 130–140°C mampu menurunkan potensi kehilangan minyak pada fase awal ekstraksi. Kondisi tersebut berkaitan dengan efektivitas pelepasan brondolan dari tandan setelah proses sterilizer berlangsung optimal. Karakteristik ini sejalan dengan kajian Amani et al. (2025) yang menegaskan bahwa kestabilan konsumsi steam menjadi faktor utama keberhasilan proses perebusan TBS.

Pengamatan operasional menunjukkan bahwa fluktuasi tekanan steam menyebabkan peningkatan kandungan unstripped fruit (USF) pada beberapa hari pengamatan. Ketidakstabilan tekanan menghambat proses penetrasi panas ke dalam tandan sehingga pelepasan buah tidak berlangsung sempurna. Dampak teknis tersebut meningkatkan kemungkinan minyak masih tertahan pada tandan kosong setelah proses thresher selesai dilakukan. Fenomena serupa juga ditemukan oleh Rafil et al. (2023) yang menjelaskan bahwa ketidakseimbangan distribusi panas sterilizer mempengaruhi efisiensi pelepasan minyak pada tahap awal pengolahan.

Nilai rata-rata losses USF selama periode pengamatan tercatat sebesar 0,04%, sedangkan batas norma industri berada pada nilai 0,09%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem perontokan di PKS Bunut masih berada dalam kategori efisien meskipun terjadi variasi kecil pada beberapa hari operasional. Rendahnya nilai USF dipengaruhi oleh performa mekanis thresher yang masih mampu mempertahankan kestabilan putaran drum selama proses berlangsung. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian Aisyah et al. (2025) yang menyatakan bahwa stabilitas putaran thresher berkontribusi signifikan terhadap efektivitas pembrondolan tandan rebus.

Kinerja stasiun perebusan juga dipengaruhi oleh efisiensi distribusi steam dari boiler menuju sterilizer. Kehilangan panas pada saluran steam mengakibatkan penurunan kualitas perebusan sehingga pelepasan minyak menjadi kurang optimal. Observasi lapangan menunjukkan bahwa penurunan tekanan uap sering terjadi pada jam operasional tinggi ketika konsumsi steam meningkat secara simultan. Karakteristik tersebut sesuai dengan penjelasan Andika et al. (2023) mengenai hubungan antara kehilangan panas konduksi pipa steam dan penurunan efisiensi termal pada pabrik kelapa sawit.

Evaluasi terhadap janjang kosong memperlihatkan bahwa rata-rata losses berada pada nilai 0,37% dengan batas norma maksimum sebesar 0,44%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar minyak telah berhasil dipisahkan selama proses pembrondolan berlangsung. Efektivitas pelepasan minyak dipengaruhi oleh kombinasi antara kualitas perebusan dan kestabilan rotasi thresher. Pahan (2012) menjelaskan bahwa sinkronisasi antarstasiun proses menjadi indikator penting dalam menjaga efisiensi ekstraksi minyak sawit di industri modern.

**Tabel 1. Rata-rata Losses pada Stasiun Perebusan dan Perontokan PKS Bunut**

Jenis Losses	Nilai Aktual (%)	Norma Industri (%)	Keterangan
USF	0,04	0,09	Di bawah norma
Janjangan kosong	0,37	0,44	Di bawah norma
Nut	0,09	0,10	Mendekati batas
Total losses awal proses	0,50	0,63	Stabil

Sumber: Data operasional PKS Bunut Juni 2025 dan pengolahan peneliti (2026).

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa losses pada fase awal pengolahan masih berada di bawah ambang standar industri. Meskipun demikian, kecenderungan kenaikan losses nut mendekati batas norma mengindikasikan perlunya pengawasan terhadap kualitas pelumatan sebelum proses pengepresan dilakukan. Stabilitas suhu perebusan dan efektivitas distribusi steam menjadi variabel dominan yang menentukan keberhasilan pemisahan awal minyak. Lubis (2008) menegaskan bahwa kualitas perebusan merupakan fondasi utama dalam menjaga keseimbangan efisiensi seluruh rantai proses pengolahan sawit.

Kondisi mekanis thresher juga memperlihatkan pengaruh besar terhadap kestabilan losses janjang kosong selama periode observasi. Pemeriksaan lapangan menemukan adanya variasi getaran pada drum thresher ketika kapasitas olah meningkat di atas beban normal harian. Variasi tersebut berpotensi menurunkan efektivitas pelepasan brondolan dan meningkatkan kandungan minyak yang tertinggal pada tandan kosong. Novrizal dan Wiranda (2024) menyatakan bahwa peningkatan losses brondolan umumnya berkaitan dengan ketidakseimbangan kapasitas mekanis alat perontokan terhadap volume TBS yang diproses.

Faktor bahan baku juga menunjukkan hubungan erat dengan tingkat losses pada stasiun perebusan dan perontokan. Buah dengan tingkat kematangan yang tidak seragam menghasilkan karakteristik pelepasan minyak yang berbeda selama proses sterilizer berlangsung. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian tandan membutuhkan energi panas lebih tinggi untuk memaksimalkan pelepasan buah. Fauzi et al. (2012) menjelaskan bahwa homogenitas tingkat kematangan TBS berperan penting dalam menjaga efisiensi ekstraksi dan stabilitas rendemen minyak sawit.

Analisis operasional memperlihatkan bahwa pengawasan harian terhadap tekanan steam dan suhu sterilizer masih menjadi elemen strategis dalam pengendalian losses. Penerapan monitoring berbasis parameter real-time berpotensi meningkatkan stabilitas proses perebusan dan mengurangi variasi losses harian. Pendekatan ini relevan dengan konsep clean production yang menekankan efisiensi energi dan pengurangan kehilangan material pada industri sawit modern. Widodo (2024) menjelaskan bahwa integrasi pengawasan proses berbasis efisiensi produksi mampu memperkuat keberlanjutan operasional pabrik kelapa sawit.

Efisiensi stasiun perebusan dan perontokan pada penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian losses tidak hanya dipengaruhi faktor teknis alat, tetapi juga kestabilan sistem utilitas dan kualitas bahan baku. Hubungan antarvariabel tersebut memperlihatkan karakter proses pengolahan sawit yang bersifat terintegrasi lintas stasiun produksi. Stabilitas awal proses memberikan dampak langsung terhadap performa ekstraksi minyak pada tahapan berikutnya. Muslih dan Iswarini (2022) menjelaskan bahwa efektivitas manajemen produksi agribisnis sawit ditentukan oleh kemampuan menjaga sinkronisasi operasional dari hulu hingga hilir proses pengolahan.

**Analisis Pengaruh Parameter Operasional terhadap Peningkatan Oil Losses pada Proses Pengolahan CPO**

Ketidakstabilan parameter operasional pada proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) di PKS Bunut menunjukkan keterkaitan langsung terhadap peningkatan oil losses pada beberapa stasiun produksi. Hasil observasi memperlihatkan bahwa variasi suhu perebusan dan tekanan steam mempengaruhi efektivitas pelepasan minyak dari mesokarp sehingga berdampak pada efisiensi ekstraksi minyak kasar. Kondisi tersebut terlihat terutama pada perubahan karakteristik sludge dan ampas press ketika temperatur proses mengalami fluktuasi selama jam operasi tertentu. Temuan ini sejalan dengan penelitian Lubis (2008) dan Fauzi et al. (2012) yang menjelaskan bahwa kestabilan parameter termal merupakan faktor dominan dalam menentukan keberhasilan pemisahan minyak pada industri kelapa sawit.

Kinerja sterilizer menjadi faktor awal yang menentukan keberhasilan proses ekstraksi minyak pada tahapan berikutnya. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa penurunan tekanan steam menyebabkan pemasakan buah tidak berlangsung homogen sehingga pelepasan brondolan dan pelunakan daging buah menjadi kurang optimal. Dampak operasional tersebut meningkatkan residu minyak yang masih tertahan pada tandan kosong dan memperbesar beban kerja stasiun press. Fenomena ini konsisten dengan hasil penelitian Amani et al. (2025) serta Rafil et al. (2023) yang menegaskan bahwa kestabilan tekanan perebusan berhubungan erat dengan efisiensi oil recovery dan kualitas pemisahan minyak.

Ketidakseimbangan distribusi uap dari boiler menuju sterilizer juga mempengaruhi kontinuitas proses perebusan di PKS Bunut. Selama periode observasi ditemukan adanya penurunan temperatur akibat kehilangan panas pada jalur distribusi steam yang menyebabkan pemanasan sterilizer tidak mencapai kondisi ideal secara konsisten. Kondisi tersebut mempengaruhi viskositas minyak dan memperbesar potensi minyak terbawa bersama kondensat maupun sludge klarifikasi. Hasil tersebut mendukung temuan Andika et al. (2023) dan Sianipar dan Naibaho yang menjelaskan bahwa efisiensi sistem boiler dan jaringan steam memiliki kontribusi besar terhadap kestabilan proses pengolahan kelapa sawit.

Pada stasiun thresher, kestabilan putaran drum berpengaruh terhadap efektivitas pelepasan brondolan dari tandan rebus. Pengamatan menunjukkan bahwa penurunan performa putaran menyebabkan sebagian buah masih melekat pada tandan sehingga meningkatkan potensi kehilangan minyak pada media tandan kosong. Kondisi mekanis tersebut dipengaruhi oleh ketidaksesuaian kecepatan putaran serta kondisi fisik thresher finger yang mulai mengalami keausan. Temuan ini memiliki kesesuaian dengan penelitian Aisyah et al. (2025) dan Novrizal dan Wiranda (2024) yang menjelaskan bahwa efisiensi perontokan dipengaruhi secara signifikan oleh kestabilan rotasi drum dan kualitas perebusan buah sebelumnya.

**Tabel 2. Hubungan Parameter Operasional terhadap Jenis Oil Losses Dominan**

Parameter Operasional	Kondisi Aktual PKS Bunut	Standar Ideal	Jenis Losses Terdampak	Dampak terhadap OER
Suhu sterilizer	Fluktuatif pada jam operasi tertentu	130–140°C	Sludge dan tandan kosong	Penurunan efisiensi ekstraksi
Tekanan steam	Tidak stabil pada distribusi puncak beban	2,8–3,0 bar	USF dan tandan kosong	Pelepasan minyak kurang optimal
Temperatur digester	Pemanasan tidak merata	90–95°C	Ampas press	Minyak tertahan pada fiber
Tekanan screw press	Tekanan berubah akibat keausan screw	Stabil sesuai kapasitas mesin	Ampas press dan nut	Recovery minyak menurun
Differential speed decanter	RPM berubah saat beban sludge tinggi	Stabil sesuai desain alat	Solid decanter dan sludge	Pemisahan minyak kurang maksimal

Temperatur CST	Kadang di bawah 90°C	>90°C	Sludge akhir	Viskositas minyak meningkat
Kualitas TBS	Variasi tingkat kematangan buah	Buah matang optimal	Seluruh titik losses	OER tidak stabil

Sumber: Data observasi operasional PKS Bunut Juni 2025 yang diolah berdasarkan standar proses pengolahan Lubis (2008), Pahan (2012), dan Fauzi et al. (2012).

Kinerja digester dan screw press memperlihatkan hubungan yang sangat kuat terhadap losses pada ampas press. Hasil observasi menunjukkan bahwa temperatur pelumatan yang tidak stabil menyebabkan penghancuran sel minyak berlangsung kurang sempurna sehingga sebagian minyak masih tertahan pada serat hasil pengepresan. Selain itu, kondisi worm screw yang mengalami penurunan performa menghasilkan tekanan pengempaan yang tidak konsisten selama operasi berlangsung. Temuan ini sejalan dengan penelitian Raja et al. (2022) dan Radwitya et al. (2023) yang menegaskan bahwa kestabilan tekanan screw press menentukan tingkat efisiensi pemisahan minyak dari fiber dan nut.

Performa mesin decanter pada stasiun klarifikasi memperlihatkan kontribusi signifikan terhadap peningkatan oil losses pada sludge dan solid decanter. Ketika differential speed mengalami perubahan akibat beban sludge yang tinggi, proses pemisahan antara light phase, heavy phase, dan padatan tidak berlangsung secara optimal. Kondisi tersebut menyebabkan minyak masih terbawa bersama fraksi padatan dan meningkatkan losses pada media buangan klarifikasi. Temuan lapangan memiliki kesesuaian dengan penelitian Ranika et al. (2023), Simamora et al. (2022), dan Saukani et al. (2025) yang menjelaskan bahwa pengaturan rpm decanter menjadi faktor kritis dalam menjaga efisiensi pemisahan minyak.

Temperatur pada Continuous Settling Tank (CST) juga menunjukkan pengaruh langsung terhadap kestabilan proses klarifikasi minyak. Pengamatan menunjukkan bahwa penurunan temperatur sludge meningkatkan viskositas minyak sehingga proses pengendapan dan pemisahan minyak-air berlangsung lebih lambat. Akibatnya, sebagian minyak masih terikut dalam sludge akhir sebelum memasuki tahapan recovery berikutnya. Hasil ini mendukung penelitian Indarti et al. (2022) yang menjelaskan bahwa pengendalian temperatur pada sistem klarifikasi berperan penting dalam menekan kehilangan minyak pada limbah cair pengolahan.

Faktor kualitas bahan baku turut memperbesar variasi losses antarhari operasional di PKS Bunut. TBS dengan tingkat kematangan yang tidak seragam menghasilkan karakteristik buah yang berbeda pada saat perebusan dan pengepresan sehingga mempengaruhi stabilitas pelepasan minyak. Buah mentah cenderung menghasilkan minyak yang sulit dipisahkan, sedangkan buah terlalu matang meningkatkan kandungan asam lemak bebas dan mempercepat penurunan mutu minyak. Kondisi tersebut sejalan dengan penjelasan Pahan (2012) dan Muslih dan Iswarini (2022) yang menempatkan kualitas bahan baku sebagai faktor utama pengendali efisiensi ekstraksi minyak sawit.

Analisis Fishbone yang diterapkan dalam penelitian menunjukkan bahwa peningkatan oil losses di PKS Bunut tidak hanya dipengaruhi oleh faktor mesin, tetapi juga dipicu oleh keterkaitan antara metode kerja, kualitas bahan baku, utilitas steam, dan pengendalian operasional. Hubungan antarvariabel tersebut memperlihatkan bahwa ketidakstabilan kecil pada satu stasiun dapat menghasilkan efek berantai terhadap efisiensi proses pada stasiun berikutnya. Pendekatan evaluasi lintas proses memperlihatkan bahwa optimalisasi losses tidak dapat dilakukan secara parsial karena karakteristik pengolahan kelapa sawit bersifat sistemik dan saling terintegrasi. Interpretasi tersebut mendukung pendekatan pengendalian mutu proses yang dikembangkan Assiddiq (2026), Nasution (2025), Widodo (2024), Syafitrah et al. (2023), Mahyunis et al. (2025), Sianturi dan Yanto (2026), serta Yardani et al. (2025) yang menekankan pentingnya integrasi kontrol operasional, performa mesin, dan efisiensi proses dalam meningkatkan keberhasilan industri kelapa sawit modern.

### **Pengendalian Oil Losses pada Sistem Pengolahan Kelapa Sawit**

Evaluasi faktor penyebab oil losses pada PKS Bunut menunjukkan bahwa sumber inefisiensi operasional tidak hanya dipengaruhi oleh performa teknis mesin, tetapi juga berkaitan dengan konsistensi pengendalian proses dan efektivitas koordinasi operasional antarstasiun produksi. Hasil observasi lapangan memperlihatkan bahwa variasi losses yang muncul pada ampas press, sludge, dan

solid decanter memiliki keterkaitan kuat dengan kestabilan parameter proses selama operasi berlangsung. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pendekatan pengendalian losses tidak dapat dilakukan secara parsial pada satu unit proses saja, melainkan harus dilakukan melalui integrasi pengawasan lintas stasiun produksi secara simultan. Temuan ini sejalan dengan konsep efisiensi pengolahan kelapa sawit modern yang menempatkan sinkronisasi performa proses sebagai faktor utama peningkatan Oil Extraction Rate (OER) industri sawit (Lubis, 2008).

Analisis kausal menggunakan pendekatan Fishbone Diagram memperlihatkan bahwa faktor metode menjadi salah satu penyebab dominan munculnya losses pada proses produksi. Ketidakkonsistenan penerapan Standard Operating Procedure (SOP) menyebabkan variasi pengaturan suhu, waktu tinggal material, serta pola distribusi aliran bahan baku yang mempengaruhi efektivitas ekstraksi minyak. Evaluasi lapangan menunjukkan bahwa pengawasan operasional yang belum seragam antarshift kerja menyebabkan stabilitas proses sering mengalami fluktuasi pada jam produksi tertentu. Kondisi tersebut mendukung hasil penelitian Syafitrah et al. (2023) yang menjelaskan bahwa implementasi SOP berbasis kontrol proses memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan kualitas dan efisiensi pengolahan pada industri kelapa sawit.

Faktor mesin memperlihatkan kontribusi besar terhadap peningkatan oil losses terutama pada unit screw press, decanter, dan empty bunch handling system. Penurunan performa komponen mekanis menyebabkan distribusi tekanan dan pemisahan fase minyak tidak berlangsung optimal sehingga sebagian minyak masih terbawa pada media padatan buangan. Hasil observasi juga memperlihatkan bahwa interval preventive maintenance yang tidak konsisten meningkatkan potensi penurunan efisiensi alat selama operasi berkapasitas tinggi. Fenomena tersebut mendukung penelitian Raja et al. (2022) serta Radwitya et al. (2023) yang menyatakan bahwa performa mekanikal screw press dan empty bunch press memiliki hubungan langsung terhadap kestabilan rendemen minyak sawit.

Faktor bahan baku juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap peningkatan losses karena kualitas TBS menentukan efektivitas pelepasan minyak selama proses ekstraksi. TBS dengan tingkat kematangan yang tidak seragam cenderung menghasilkan distribusi brondolan yang kurang optimal sehingga meningkatkan residu minyak pada tandan kosong maupun fraksi padatan lainnya. Pengamatan operasional menunjukkan bahwa keterlambatan pengolahan setelah panen menyebabkan peningkatan kadar asam lemak bebas dan mempercepat degradasi kualitas minyak selama proses berlangsung. Temuan tersebut konsisten dengan penelitian Novrizal dan Wiranda (2024) yang menjelaskan bahwa kualitas brondolan dan tingkat kematangan buah berpengaruh langsung terhadap potensi losses pada sistem pengolahan kelapa sawit.

**Tabel 3. Matriks Faktor Penyebab dan Strategi Pengendalian Oil Losses**

<b>Faktor Penyebab</b>	<b>Dampak terhadap Losses</b>	<b>Tingkat Risiko</b>	<b>Strategi Pengendalian</b>	<b>Prioritas</b>
Steam perebusan tidak stabil	Pemisahan minyak kurang optimal	Tinggi	Monitoring tekanan dan suhu berbasis kontrol real-time	Tinggi
Keausan screw press	Minyak tertinggal pada ampas press	Tinggi	Preventive maintenance dan penggantian komponen periodik	Tinggi
RPM decanter tidak optimal	Minyak terbawa pada solid decanter	Tinggi	Kalibrasi differential speed dan evaluasi performa bowl	Tinggi
Operator tidak konsisten menjalankan SOP	Variasi parameter proses	Sedang	Pelatihan teknis dan audit operasional berkala	Sedang

TBS mentah dan restan tinggi	Rendemen minyak menurun	Tinggi	Pengetatan grading dan percepatan distribusi TBS	Tinggi
Kebersihan area produksi rendah	Kontaminasi dan kehilangan minyak	Sedang	Implementasi program 5R dan inspeksi area kerja	Sedang

Sumber: Hasil observasi dan pengolahan data penelitian PKS Bunut (2025).

Evaluasi pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa faktor mesin dan kestabilan proses memiliki tingkat risiko paling tinggi terhadap peningkatan oil losses di PKS Bunut. Risiko tersebut berkaitan dengan tingginya kontribusi ampas press dan solid decanter terhadap total losses selama periode observasi sehingga memerlukan prioritas pengendalian yang lebih agresif. Strategi pengendalian berbasis preventive maintenance dipandang lebih efektif dibandingkan pendekatan korektif karena mampu mencegah penurunan performa alat sebelum mempengaruhi kualitas ekstraksi minyak. Pendekatan ini didukung oleh Mahyunis et al. (2025) yang menjelaskan bahwa pengendalian performa alat secara preventif mampu meningkatkan efektivitas produksi dan menjaga stabilitas mutu minyak sawit.

Analisis sumber daya manusia menunjukkan bahwa kompetensi operator memiliki pengaruh kuat terhadap keberhasilan pengendalian losses pada sistem pengolahan sawit. Variasi keterampilan operator dalam mengatur tekanan, suhu, serta kecepatan alat menyebabkan stabilitas proses tidak selalu berada pada kondisi optimum selama jam operasional. Hasil observasi memperlihatkan bahwa operator dengan tingkat pemahaman proses yang lebih baik mampu menjaga losses tetap stabil meskipun terjadi perubahan kapasitas produksi. Kondisi tersebut memperkuat penelitian Muslih dan Iswarini (2022) yang menegaskan bahwa kualitas manajemen produksi agribisnis sangat dipengaruhi oleh kompetensi tenaga kerja dalam mengendalikan proses industri.

Penerapan Statistical Process Control (SPC) menjadi pendekatan penting dalam mendukung pengendalian oil losses berbasis kestabilan proses produksi. Penggunaan kontrol statistik memungkinkan perusahaan mendeteksi penyimpangan parameter operasional secara lebih cepat sehingga tindakan korektif dapat dilakukan sebelum losses meningkat secara signifikan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa fluktuasi losses cenderung meningkat ketika parameter proses tidak dimonitor secara kontinu selama operasi berlangsung. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Simamora et al. (2022) serta Susanti et al. (2023) yang menjelaskan bahwa implementasi SPC efektif dalam menjaga kestabilan proses ekstraksi dan meningkatkan konsistensi rendemen minyak sawit.

Pendekatan Six Sigma juga menunjukkan relevansi tinggi dalam strategi pengendalian losses karena berorientasi pada pengurangan variasi proses dan peningkatan kapabilitas produksi. Integrasi metode DMAIC memungkinkan perusahaan mengidentifikasi akar penyebab inefisiensi secara lebih sistematis melalui tahapan define, measure, analyze, improve, dan control. Evaluasi lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar losses muncul akibat deviasi kecil yang terjadi secara berulang pada parameter proses sehingga memerlukan sistem kontrol berbasis data operasional aktual. Hasil tersebut mendukung penelitian Ranika et al. (2023) dan Assiddiq (2026) yang menyatakan bahwa penerapan Six Sigma mampu menurunkan tingkat cacat proses serta meningkatkan efisiensi pengolahan CPO.

Implikasi manajerial dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendalian oil losses harus ditempatkan sebagai indikator utama performa operasional pabrik kelapa sawit modern. Efisiensi pengolahan tidak lagi hanya ditentukan oleh kapasitas produksi harian, tetapi juga oleh kemampuan perusahaan menjaga stabilitas losses pada seluruh rantai proses produksi. Penguatan sistem monitoring digital, peningkatan kualitas pemeliharaan alat, serta pengembangan budaya kerja berbasis efisiensi menjadi elemen penting dalam meningkatkan daya saing industri sawit berkelanjutan. Perspektif tersebut sejalan dengan konsep clean production pada industri kelapa sawit yang menempatkan efisiensi energi, minimisasi limbah, dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya sebagai strategi keberlanjutan industri (Widodo, 2024).

Hasil evaluasi penelitian memperlihatkan bahwa pengendalian losses berbasis integrasi proses memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan OER dan stabilitas performa produksi PKS

Bunut. Pendekatan lintas stasiun produksi memungkinkan identifikasi hubungan struktural antara kualitas bahan baku, performa mesin, dan efektivitas kontrol operasional secara lebih komprehensif. Sistem pengendalian yang terintegrasi juga memperkuat kemampuan perusahaan dalam menjaga konsistensi mutu CPO di tengah fluktuasi kapasitas produksi harian. Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa strategi efisiensi industri sawit tidak cukup berfokus pada pengurangan losses secara teknis, tetapi juga harus mencakup penguatan tata kelola operasional dan pengambilan keputusan berbasis data proses aktual (Pahan, 2012; Fauzi et al., 2012).

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan minyak sawit pada proses pengolahan di PKS Bunut terjadi pada beberapa titik kritis, terutama pada ampas press, solid decanter, sludge, nut, unstripped fruit, dan janjang kosong yang memiliki kontribusi berbeda terhadap total losses selama periode observasi. Evaluasi data operasional memperlihatkan bahwa sebagian parameter losses masih melampaui batas norma industri akibat ketidakstabilan proses perebusan, penurunan performa screw press dan decanter, kualitas bahan baku yang tidak seragam, serta lemahnya konsistensi pengendalian operasional pada beberapa stasiun produksi. Analisis berbasis Fishbone Diagram mengindikasikan bahwa faktor metode, mesin, sumber daya manusia, bahan baku, dan lingkungan operasional saling berhubungan dalam memengaruhi efektivitas ekstraksi minyak dan kestabilan Oil Extraction Rate (OER). Penerapan strategi pengendalian melalui standarisasi parameter proses, preventive maintenance, penguatan kompetensi operator, serta integrasi Statistical Process Control dan Six Sigma menjadi pendekatan yang relevan untuk menekan oil losses, meningkatkan efisiensi produksi, dan mendukung keberlanjutan operasional industri kelapa sawit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S., Faisal, B., & Alamsyah, M. J. (2025). Pengujian putaran thresher terhadap perolehan pembondolan tandan buah rebus (tbr) pabrik kelapa sawit (pks) dolok ilir ptpn IV regional II. *Jurnal Agro Fabrica*, 7(2), 127-133. <https://doi.org/10.47199/jaf.v7i2.347>
- Amani, Y. A. Y., Siregar, M. R. S., Faisal, F., & Hidayat, H. (2025). Analysis of steam consumption in the crude palm oil sterilizer during a 90-minute boiling process. *Journal of Mechanical Engineering and Fabrication*, 2(2), 6-10. <https://doi.org/10.64273/jmef.v2i2.24>
- Andika, W., Mulyara, B., Effendi, Z., & Sembiring, A. S. (2023). Analisa Kehilangan Panas Secara Konduksi Pada Saluran Steam (Pipa) Dari Turbin Ke Back Pressure Vessel (BPV) Pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Agro Fabrica*, 5(2), 77-89. <https://doi.org/10.47199/jaf.v5i2.198>
- Assiddiq, F. (2026). Studi Kasus: Analisis Pengendalian Kualitas Minyak Kelapa Sawit (CPO) Menggunakan Metode Six Sigma pada PT. Mora Niaga Jaya: Upaya Peningkatan Mutu CPO dan Penurunan Cacat Produk Melalui Pendekatan DMAIC. *Industrial Engineering Journal*, 15(1), 001-009. <https://doi.org/10.29103/iej.v15i1.26428>
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Satyawibawa, I., & Paeru, R. H. (2012). *Teknologi pengolahan kelapa sawit*. Penebar Swadaya.
- Indarti, E., Zulmi, D. A., Zaidiyah, Z., & Zuhadi, Z. (2022). Recovery air kondensat pada stasiun perebusan untuk menekan oil losses: studi kasus PKS Cot Girek. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(2), 145-152. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i2.11050>
- Lubis, A. U. (2008). *Kelapa sawit: Teknik budidaya dan pengolahan*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS).
- Mahyunis, M., Winardi, R. R., Raja, P., Giyanto, G., & Fazli, H. D. (2025). Analisa Efektivitas, Produktivitas dan Mutu Minyak Pada Mesin Empty Bunch Press Pabrik Kelapa Sawit. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 4(1), 87-94. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.202>
- Muslih, G., & Iswarini, H. (2022). Analisis manajemen produksi agribisnis pabrik kelapa sawit Pt. Buluh cawang plantation dabuk rejo kecamatan lempuing Kabupaten ogan komering ilir. *Societa: Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 11(1), 50-59. <https://doi.org/10.32502/jsct.v11i1.4718>
- Nasution, A. G. (2025). Analisis Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Palm Kernel Oil (PKO) Di Stasiun Press Expeller Dengan Metode Fishbone Di PT. Perkebunan Nusantara IV Regional I

- Unit PKO Sei Mangkei. *Industrial Engineering Journal*, 14(1), 050-059. <https://doi.org/10.29103/iej.v14i1.20389>
- Novrizal, A., & Wiranda, O. (2024). Losses Brondolan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) di Kebun Kandista Estate, PT. Ivomas, Riau. *JURNAL VOKASI TEKNOLOGI INDUSTRI (JVTI)*, 6(2), 035-045. <https://doi.org/10.36870/jvti.v6i2.389>
- Pahan, I. (2012). *Pabrik kelapa sawit: Manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir*. Penebar Swadaya.
- Radwitya, E., Nopriyanti, M., & Septiani, N. (2023). Analisis Produktifitas Pada Mesin Empty Bunch Press Untuk Meningkatkan Jumlah Oil Extraction Rendemen (OER) Minyak Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Pangan dan Industri Perkebunan (LIPIDA)*, 3(1), 29-39. <https://doi.org/10.58466/lipida.v3i1.1141>
- Rafil, R. A., Sinaga, L. M., Kurniadi, S., Elfiano, E., & Saragih, S. A. (2023). Analisa Termal Pada Sterilizer Crude Palm Oil Di Pt. Perkebunan Nusantara V Sei Galuh. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 8(1), 44-62. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v8i1.253>
- Raja, P. M., Effendi, Z., & Lase, C. A. (2022). Upaya Peningkatan Performance Mesin Screw Press Berdasarkan Nilai Idling dan Minor Stoppages dan Reduced Speed di Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 30. *Jurnal Agro Fabrica*, 4(2), 60-73. <https://doi.org/10.47199/jaf.v4i2.113>
- Ranika, A. P., Meutia, S., & Irwansyah, D. (2023). Analisis Pengendalian Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Crude Palm Oil (Cpo) Menggunakan Metode Six Sigma. *Industrial Engineering Journal*, 12(2), 68-74. <https://doi.org/10.29103/iej.v12i2.23406>
- Saukani, M. A., Apriyanti, S. N., Butar-Butar, R., Manurung, E. F., Putra, P. D. D., Raja, P. M., & Purwanto, H. (2025). Analisa Kehilangan Minyak (Oil Losses) Pada Proses Produksi Di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Agro Fabrica*, 7(1), 84-94. <https://doi.org/10.47199/jaf.v7i1.307>
- Sianipar, G. J., & Naibaho, W. Proses Kerja Boiler (Ketel Uap) Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Unit Dolok Sinumbah. <https://doi.org/10.59925/qs6s8n79>
- Sianturi, L. I., & Yanto, Y. (2026). Analisis Penggunaan Mesin Empty Bunch Press di PKS Aek Raso PT. Perkebunan Nusantara IV Regional 1. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 3(01), 111-116. <https://doi.org/10.25170/jpk.v3i02.7602>
- Simamora, R. A. A., Siregar, N., & Banjarnahor, M. (2022). Analisa Kehilangan Crude Palm Oil (CPO) Dan Inti Kernel Dengan Metode Statistical Process Control (SPC) Untuk Meningkatkan Rendemen Di Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Adolina. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin & Industri (JITMI)*, 1(2), 69-75. <https://doi.org/10.31289/jitmi.v1i2.1461>
- Susanti, R., Ramadhan, D. S., Arwi, P. P., & Siregar, M. (2023). Analisis Oil Losses Pada Stasiun Perebusan Produksi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(2), 98-110. <https://doi.org/10.55826/tmit.v2i2.67>
- Syafitrah, A., Suhaini, A., Tonaji, M. F., & Syukri, M. (2023). Analisa standard operating procedure (sop) produksi pk (palm kernel) menjadi pke (palm kernel expeller) area kcp (kernel crushing plant). *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 2(I), 19-24. <https://doi.org/10.55826/tmit.v2i1.73>
- Tampubolon, K. P., & Sianturi, T. A. (2025). Proses Kerja Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit PTPN IV Dolok Sinumbah. *Jurnal Penelitian Teknik Dan Sumberdaya Perairan*, 1(2), 143-152. <https://doi.org/10.59925/52m8ds08>
- Widodo, T. S. R. (2024). Strategy for Implementing Clean Production at the Palm Oil Factory PT. SPA. *Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, 13(2), 90-107. <https://doi.org/10.21009/jgg.v1302.1>
- Yardani, J., Ulimaz, A., & Astuti, P. W. (2025). Analisis Kehilangan Minyak (Oil Losses) Di Empty Bunch Menggunakan Alat Bunch Press Di PT. PQRS. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 29(1), 62-70. <https://doi.org/10.25077/jtpa.29.1.62-70.2025>