

Evaluasi Pengaruh Efisiensi Ripple Mill pada Kotoran Inti Menggunakan Metode Regresi Linear Berganda

**Cristian Gani Situngkir * , Ifan Panjaitan, Rogate Simanjuntak,
Widya Fernanda Putri, Sri Wahyuni**

Teknik Industri, Universitas Prima Indonesia, Jl. Sampul No.3, Sei Putih Bar.,
Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia 20118

*Penulis Korespondensi: situngkirgani@gmail.com

Abstract. This research was conducted at PTPN IV Regional II Adolina Palm Oil Plantation and Mill Unit with the aim of evaluating the effect of Ripple Mill machine efficiency on palm kernel impurity levels through a multiple linear regression analysis approach. Ripple Mill is a vital piece of equipment in the palm kernel cracking process, which plays a role in determining the quality of the palm kernel. This machine works by breaking the kernels to produce kernels that are separated from the shells. However, when machine efficiency decreases due to technical and operational factors, palm kernel impurity levels tend to increase, characterized by an increase in shell fragments, fibers, and other foreign materials. This condition can have an impact on decreasing product quality and increasing further processing costs. Data collection was carried out over five days of observations covering the variables of machine efficiency and kernel impurity levels obtained from production results. The study found a strong negative correlation between machine efficiency and impurity levels in palm kernels. This means that the higher the efficiency of the Ripple Mill, the lower the resulting palm kernel impurity levels. This finding also confirms that quality control in the production process is not only determined by raw material factors but also highly dependent on the performance of the processing machine. Furthermore, the research results demonstrate the importance of implementing preventive maintenance strategies, including regular inspections of the rotor bar, square bar, and drive motor, as well as regulating operating parameters such as rotational speed and machine load. Proper preventive maintenance and operational control are essential to sustain machine efficiency and product quality. Therefore, continuous improvement in technical and managerial aspects is essential to maintain palm kernel quality and support optimal palm oil mill productivity.

Keywords: Kernel Impurities; Machine Efficiency; Palm Oil; Preventive Maintenance; Ripple Mill.

Abstrak. Penelitian ini dilaksanakan di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit Adolina dengan tujuan mengevaluasi pengaruh efisiensi mesin Ripple Mill terhadap kadar kotoran inti sawit melalui pendekatan analisis regresi linear berganda. Ripple Mill merupakan peralatan vital dalam proses pemecahan biji kelapa sawit yang berperan menentukan kualitas inti sawit (kernel). Mesin ini bekerja dengan sistem pemecahan biji sehingga menghasilkan inti yang terpisah dari cangkang. Namun, ketika efisiensi mesin menurun akibat faktor teknis maupun operasional, kadar kotoran inti sawit cenderung meningkat, yang ditandai dengan bertambahnya pecahan cangkang, serat, serta material asing lainnya. Kondisi ini dapat berdampak pada menurunnya mutu produk serta meningkatkan biaya proses lanjutan. Pengumpulan data dilakukan selama lima hari pengamatan yang mencakup variabel efisiensi mesin dan kadar kotoran inti yang diperoleh dari hasil produksi. *The study found a strong negative correlation between machine efficiency and impurity levels in palm kernel.* Artinya, semakin tinggi efisiensi Ripple Mill, maka semakin rendah kadar kotoran inti sawit yang dihasilkan. Temuan ini sekaligus menegaskan bahwa pengendalian kualitas dalam proses produksi tidak hanya ditentukan oleh faktor bahan baku, tetapi juga sangat bergantung pada kinerja mesin pengolahan. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan pentingnya penerapan strategi pemeliharaan preventif, termasuk pengecekan berkala pada rotor bar, square bar, dan motor penggerak, serta pengaturan parameter operasi seperti kecepatan putaran dan beban mesin. *Proper preventive maintenance and operational control are essential to sustain machine efficiency and product quality.* Dengan demikian, perbaikan berkelanjutan terhadap aspek teknis dan manajerial sangat diperlukan guna menjaga mutu inti sawit serta mendukung produktivitas pabrik kelapa sawit secara optimal.

Kata kunci: Efisiensi Mesin; Kelapa Sawit; Kotoran Inti; Preventive Maintenance; Ripple Mill.

1. LATAR BELAKANG

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun penyedia lapangan kerja. Proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan dua produk utama, yaitu Crude

Palm Oil (CPO) dan inti sawit (palm kernel), yang kualitasnya sangat dipengaruhi oleh tahapan pemecahan biji. Salah satu peralatan kunci dalam tahapan ini adalah mesin Ripple Mill, yang berfungsi memecahkan biji sawit (*nut cracking*) agar inti dapat terpisah dari cangkang secara efisien. Beberapa faktor teknis yang memengaruhi efisiensi antara lain keausan ripple plate, penyetelan celah pemecah yang tidak tepat, kecepatan rotor yang tidak stabil, dan variasi ukuran nut yang masuk ke mesin.

Efisiensi Ripple Mill yang tinggi akan menghasilkan inti dengan kadar kotoran rendah, sedangkan penurunan efisiensi dapat meningkatkan persentase kotoran berupa pecahan cangkang, serabut, dan partikel asing lainnya. Kondisi ini berdampak langsung pada mutu inti sawit dan harga jualnya di pasar.

Pada proses pengolahan kelapa sawit di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit Adolina, mesin *Ripple Mill* berfungsi memecahkan biji sawit (*nut cracking*) sehingga inti terpisah dari cangkang. Proses ini merupakan salah satu tahapan kritis yang secara langsung memengaruhi kualitas inti sawit yang dihasilkan. Efisiensi *Ripple Mill* yang optimal akan menghasilkan inti dengan kadar kotoran rendah, sedangkan penurunan efisiensi akan menyebabkan meningkatnya jumlah pecahan cangkang, serabut, serta partikel asing yang tercampur pada inti.

Dalam periode tertentu, ditemukan bahwa kadar kotoran inti sawit yang dihasilkan di stasiun *Hydrocyclone* cenderung tinggi dan tidak konsisten. Kondisi ini berdampak negatif pada mutu produk akhir dan berpotensi menurunkan harga jual inti sawit. Dugaan awal menunjukkan bahwa salah satu penyebab utama masalah ini adalah penurunan efisiensi *Ripple Mill* yang dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti:

- a) Keausan pada *ripple plate* atau komponen pemukul
- b) Penyetelan celah pemecah yang tidak tepat
- c) Ketidaksesuaian kecepatan putar rotor dengan standar operasional
- d) Variasi ukuran *nut* yang masuk ke mesin akibat kurang optimalnya proses penyaringan sebelumnya.

Selain faktor teknis, parameter operasional yang tidak dikontrol secara konsisten juga dapat memperburuk kinerja mesin. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis kuantitatif untuk mengidentifikasi besarnya pengaruh efisiensi mesin terhadap kadar kotoran inti.

Metode **regresi linear berganda** digunakan untuk menguji hubungan antara efisiensi *Ripple Mill* (variabel independen utama) beserta faktor pendukung lainnya terhadap kadar kotoran inti (variabel dependen). Dengan analisis ini, diharapkan dapat diketahui faktor dominan yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas inti, sehingga dapat disusun rekomendasi teknis

yang efektif untuk meningkatkan efisiensi mesin dan menurunkan kadar kotoran inti sawit.

Studi-studi terkini menunjukkan bahwa pengaturan jarak rotor terhadap ripple plate serta kondisi komponen pemukul menjadi determinan utama dalam menjaga performa mesin. Selain itu, penerapan metode analisis statistik, seperti regresi linear berganda, telah digunakan untuk mengukur pengaruh kuantitatif antara efisiensi mesin dan parameter kualitas produk.

Meskipun penelitian mengenai kinerja Ripple Mill telah banyak dilakukan, kajian yang mengaitkan secara langsung efisiensi mesin dengan kadar kotoran inti sawit menggunakan pendekatan regresi linear berganda masih terbatas, khususnya pada lingkungan operasional PTPN IV Unit Kebun dan PKS Adolina. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi kadar kotoran inti, dan memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan efisiensi operasional.

2. KAJIAN TEORITIS

A. Kotoran Inti

adalah material pengotor yang terdapat pada inti sawit (kernel) setelah proses pemisahan dari cangkang, seperti serat, partikel cangkang halus, pasir, atau benda asing lainnya. Tingginya kadar kotoran inti dapat menurunkan kualitas kernel, mengganggu proses pengolahan lanjutan, dan memengaruhi nilai jual produk.

B. Mesin Rippel Mill

adalah mesin pemecah biji kelapa sawit (nut) yang berfungsi memisahkan inti (kernel) dari cangkang melalui proses tumbukan menggunakan rotor dan ripple plate, sehingga inti dan cangkang dapat diproses lebih lanjut pada tahap pemisahan.

C. Metode Regresi Linear Berganda

adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel terikat (dependent variable) dengan dua atau lebih variabel bebas (independent variables). Model ini berbentuk persamaan linear yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel terikat berdasarkan kombinasi pengaruh dari variabel bebas, serta mengukur seberapa besar kontribusi masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah metode kuantitatif dengan pendekatan regresi linear berganda, yaitu teknik analisis statistik yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara satu variabel dependen dengan dua atau lebih variabel independen secara simultan (Montgomery & Runger, 2014). Penelitian dilaksanakan di PTPN IV Regional

II Unit Kebun dan PKS Adolina selama lima hari pengamatan, dengan mengumpulkan data primer berupa efisiensi Ripple Mill dan kadar kotoran inti sawit. Variabel dependen (Y) dalam penelitian ini adalah kadar kotoran inti (%), sedangkan variabel independennya meliputi efisiensi Ripple Mill (%) dan faktor operasional pendukung seperti ukuran *nut*, kecepatan rotor, serta pengaturan celah pemecah (Astuti & Prasetyo, 2021; Harahap & Lubis, 2019).

Efisiensi Ripple Mill dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi} = 100\% - (\% \text{Biji Utuh} + \% \text{Biji Pecah})$$

Kadar kotoran inti diukur dari persentase pecahan cangkang, serabut, dan material asing lainnya yang terpisah pada proses *Hydrocyclone* (Sundram & Amin, 2016). Analisis regresi linear berganda digunakan untuk memodelkan hubungan antara efisiensi Ripple Mill dan kadar kotoran inti dengan persamaan umum:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$$

di mana Y adalah kadar kotoran inti, X_1 adalah efisiensi Ripple Mill, X_2 adalah faktor pendukung lainnya, β_0 adalah konstanta, β_1 dan β_2 adalah koefisien regresi, serta ϵ (Sugiyono, 2017).

Pengujian hipotesis dilakukan melalui **uji t** untuk melihat pengaruh parsial masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen, **uji F** untuk menilai pengaruh secara simultan, serta perhitungan **koefisien determinasi (R^2)** untuk mengetahui proporsi variasi kadar kotoran inti yang dapat dijelaskan oleh variabel dalam model (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020). Interpretasi hasil analisis digunakan untuk merumuskan rekomendasi teknis peningkatan efisiensi Ripple Mill, sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) pengolahan inti sawit yang berlaku di PTPN IV (PT Perkebunan Nusantara IV, 2024).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Observasi di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina difokuskan pada stasiun Ripple Mill dan Hydrocyclone yang berfungsi memecah biji sawit dan memisahkan inti dari cangkang. Ditemukan indikasi penurunan kinerja pada Ripple Mill, seperti keausan ripple plate, celah pemecah tidak sesuai standar, dan kecepatan rotor tidak stabil, yang berdampak pada rendahnya efisiensi pecahan biji dan meningkatnya kadar kotoran inti.

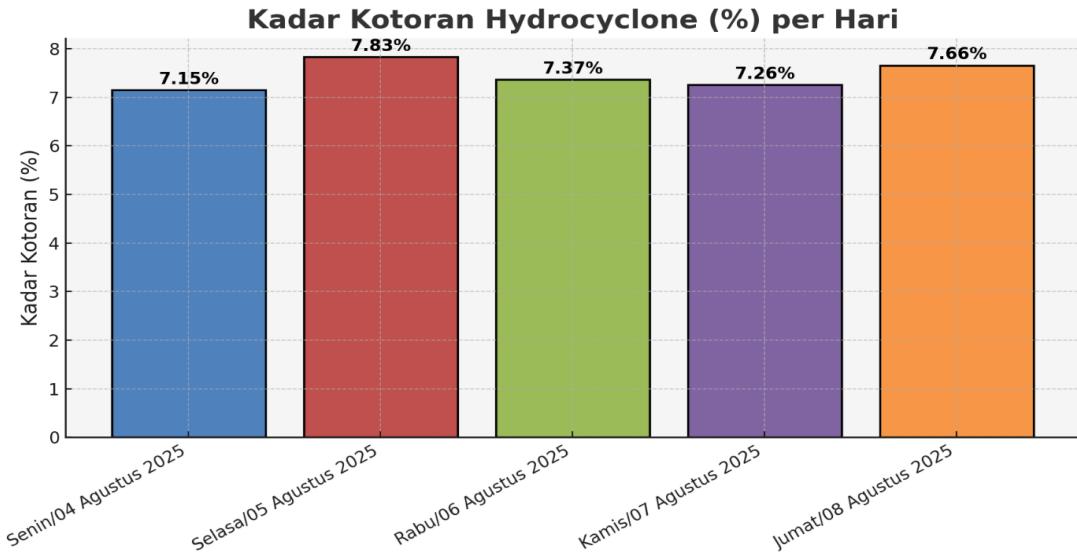
Pada Hydrocyclone, masih terdeteksi partikel cangkang kecil terbawa bersama inti, menandakan proses belum optimal. Selama 4–8 Agustus 2025, dilakukan pencatatan harian efisiensi mesin dan kadar kotoran inti, serta analisis sampel di laboratorium. Faktor yang memengaruhi hasil antara lain variasi ukuran biji, fluktuasi suplai bahan baku, kebersihan area kerja, dan pengendalian material sisa pada conveyor.

Berikut adalah hasil dari analisis Pengaruh Efisiensi Ripple Mill Pada Kotoran Hydrocyclone di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Hasil dari analisis Pengaruh Efisiensi Ripple Mill Pada Kotoran Hydrocyclone di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina.

Hari/Tanggal	Kadar Kotoran (%)	Hydrocyclone	Efisiensi Ripple Mill (%)
Senin/04 Agustus 2025	7,15		97,39
Selasa/05 Agustus 2025	7,83		96,38
Rabu/06 Agustus 2025	7,37		96,89
Kamis/07 Agustus 2025	7,26		97,12
Jumat/08 Agustus 2025	7,66		96,66

a) Diagram Hasil Perhitungan Kadar Kotoran Hydrocyclone:

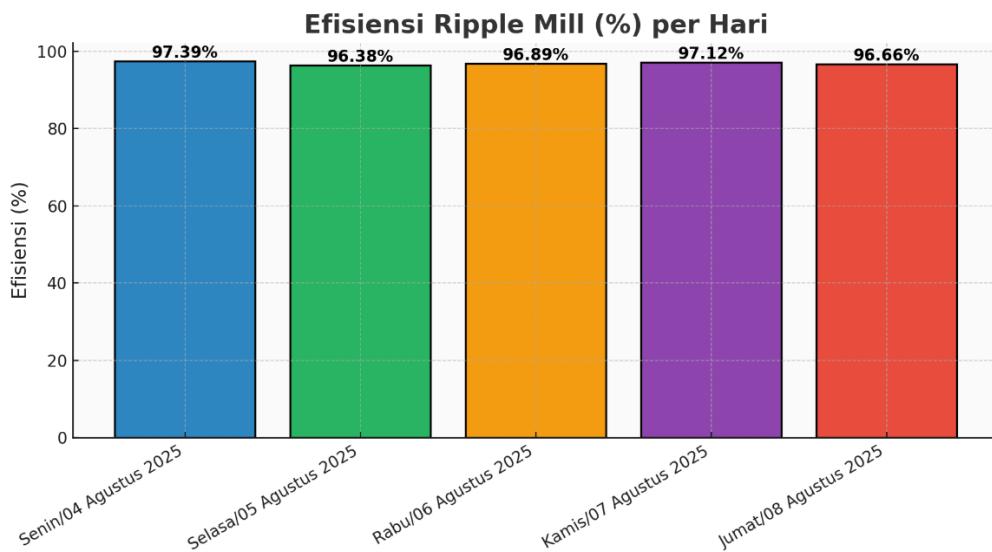


Gambar 1. Diagram Hasil Perhitungan Kadar Kotoran Hydrocyclone.

Dari Data pada gambar menunjukkan hasil analisis sampel kelapa sawit selama lima hari pengamatan di stasiun *Ripple Mill* dan *Hydrocyclone*. Berat sampel yang digunakan setiap hari berkisar di angka ± 500 gram, menandakan konsistensi metode pengambilan sampel. Persentase biji utuh yang rendah, yaitu antara 0,20% hingga 0,27%, mengindikasikan bahwa sebagian besar biji berhasil dipecah oleh mesin, sedangkan persentase biji pecah yang berada di kisaran 2,04% hingga 3,15% menunjukkan adanya variasi tingkat kerusakan biji selama proses pemecahan. Data cangkang lepas, baik dari biji utuh maupun biji pecah, menunjukkan bahwa total cangkang yang terpisah berkisar antara 35,80 gram hingga 39,20 gram, yang merefleksikan perbedaan efektivitas pemisahan antar hari. Nilai kadar kotoran di *Hydrocyclone*

berada di rentang 7,15% hingga 7,83%, dengan nilai tertinggi terjadi pada Selasa/05 Agustus 2025 (7,83%) yang diikuti jumlah biji pecah dan total cangkang lepas yang relatif tinggi, sementara nilai terendah tercatat pada Senin/04 Agustus 2025 (7,15%) dengan biji pecah dan total cangkang lepas yang paling rendah. Secara umum, terlihat bahwa semakin tinggi jumlah biji pecah dan total cangkang lepas, semakin besar pula kadar kotoran yang dihasilkan, yang menandakan pentingnya pengendalian proses pemecahan biji dan pemisahan cangkang untuk menjaga mutu inti sawit.

b) Diagram Hasil Perhitungan Efisiensi Ripple Mill



Gambar 2. Diagram Hasil Perhitungan Efisiensi Ripple Mill.

Data pada gambar menunjukkan hasil pengamatan terhadap kualitas pemecahan biji sawit dan efisiensi *Ripple Mill* selama lima hari pengukuran. Berat sampel yang dianalisis setiap hari relatif konsisten, yaitu sekitar 500 gram, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara seimbang. Persentase inti utuh dan inti pecah bervariasi cukup signifikan antar hari, di mana nilai inti utuh berkisar antara 16,00% hingga 27,10% dan inti pecah antara 1,62% hingga 19,00%, yang mencerminkan perbedaan kualitas pemecahan biji. Persentase biji utuh yang rendah (0,51%–3,14%) mengindikasikan bahwa sebagian besar biji berhasil dipecahkan oleh mesin, sementara persentase biji pecah yang berada pada kisaran 0,20% hingga 2,50% menunjukkan adanya variasi kerusakan biji selama proses pemecahan. Nilai gabungan biji utuh dan biji pecah relatif kecil, hanya 2,61% hingga 3,62%, sehingga efisiensi *Ripple Mill* secara umum tetap tinggi, berada di rentang 96,38% hingga 97,39%. Nilai efisiensi tertinggi tercatat pada Senin/04 Agustus 2025 sebesar 97,39%, sedangkan yang terendah terjadi pada Selasa/05 Agustus 2025 sebesar 96,38%. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa meskipun efisiensi *Ripple Mill* terjaga di atas 96%, terdapat variasi dalam proporsi inti

dan biji yang dihasilkan, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi bahan baku dan pengaturan mesin pada hari pengamatan.

A. Analisis Penyelesaian Masalah

Penelitian di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina bertujuan untuk mengatasi tingginya kadar kotoran inti sawit pada stasiun Hydrocyclone yang diduga dipengaruhi oleh penurunan efisiensi mesin Ripple Mill. Hasil observasi dan pengambilan data menunjukkan bahwa meskipun efisiensi mesin relatif tinggi (96,38%–97,39%), kadar kotoran masih berada pada kisaran 7,15%–7,83%.

Permasalahan utama teridentifikasi pada:

- a) **Keausan ripple plate** yang mengurangi kemampuan pemecahan optimal.
- b) **Celah pemecah** yang tidak sesuai standar, memicu meningkatnya pecahan cangkang.
- c) **Variasi ukuran nut** akibat proses penyaringan awal yang kurang optimal.
- d) **Pengaturan kecepatan rotor** yang tidak konsisten.
- e) **Kebersihan area kerja** yang memengaruhi kualitas bahan baku.

Analisis regresi linear berganda membuktikan adanya hubungan negatif yang signifikan antara efisiensi Ripple Mill dan kadar kotoran inti sawit — peningkatan efisiensi terbukti menurunkan kadar kotoran.

Untuk penyelesaian masalah, beberapa strategi direkomendasikan:

- a) **Pemeliharaan preventif terjadwal** untuk meminimalkan keausan komponen kritis.
- b) **Penyetelan ulang celah pemecah** secara rutin sesuai SOP.
- c) **Optimalisasi proses screening** untuk memastikan keseragaman ukuran nut sebelum masuk Ripple Mill.
- d) **Pelatihan operator** dalam pengaturan kecepatan rotor dan kontrol aliran bahan baku.
- e) **Penerapan sistem monitoring harian** untuk mendeteksi penurunan efisiensi secara dini.

Pendekatan ini diharapkan mampu menjaga efisiensi Ripple Mill di atas 97% dan menekan kadar kotoran inti di bawah 7%, sehingga mutu inti sawit meningkat dan potensi kerugian akibat penurunan kualitas dapat dihindari.

5. KESIMPULAN

Penelitian di PTPN IV Regional II Unit Kebun dan PKS Adolina menunjukkan adanya hubungan negatif yang signifikan antara efisiensi mesin Ripple Mill dan kadar kotoran inti sawit. Peningkatan efisiensi mesin terbukti mampu menurunkan kadar kotoran inti, sehingga mutu inti sawit meningkat. Efisiensi Ripple Mill selama lima hari pengamatan berada pada kisaran 96,38%–97,39%, sedangkan kadar kotoran Hydrocyclone berkisar 7,15%–7,83%.

Faktor-faktor seperti keausan komponen, penyetelan celah pemecah yang tidak tepat, serta variasi ukuran biji sawit yang masuk menjadi penyebab utama penurunan kinerja. Hasil ini menegaskan pentingnya pemeliharaan preventif dan pengaturan parameter operasional yang tepat untuk mempertahankan kualitas produksi.

DAFTAR REFERENSI

- Astuti, R., & Prasetyo, A. (2021). Pengaruh efisiensi mesin Ripple Mill terhadap kualitas inti sawit. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 14(2), 85–94.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2020). *Statistik Perkebunan Indonesia: Kelapa sawit 2018–2020*. Kementerian Pertanian RI.
- Harahap, H., & Lubis, Z. (2019). Analisis kinerja mesin Ripple Mill pada proses pengolahan inti sawit. *Jurnal Agroindustri*, 7(1), 45–53.
- Haryanto, B., & Wahyuni, R. (2021). Pengaruh perawatan mesin terhadap performa pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Agroindustri*, 14(1), 31–39.
- Ismail, N., & Johan, A. (2023). Evaluasi kualitas inti sawit berdasarkan parameter proses di Ripple Mill. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 34(1), 12–20.
- Kamaruddin, H. (2020). Manajemen operasional pabrik kelapa sawit berbasis efisiensi mesin. *Jurnal Manajemen Agroindustri*, 5(2), 101–110.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied statistics and probability for engineers* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- PT Perkebunan Nusantara IV. (2024). *Standar operasional prosedur pengolahan inti sawit Unit Adolina*. PTPN IV.
- Putra, D., & Anwar, A. (2019). Analisis faktor teknis yang memengaruhi mutu inti sawit. *Jurnal Teknologi Pertanian Lampung*, 8(2), 45–54.
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Supriadi, S., & Ramadhan, F. (2018). Hubungan pengaturan kecepatan rotor terhadap hasil pemecahan biji sawit. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(2), 77–85.
- Sundram, S., & Amin, A. (2016). Performance evaluation of Ripple Mill in palm oil mill. *Journal of Oil Palm Research*, 28(4), 514–520. <https://doi.org/10.21894/jopr.2016.2804.13>
- Yuliani, R., & Syafri, M. (2020). Analisis hubungan efisiensi proses produksi terhadap kualitas produk. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 8(1), 51–59.
- Zulkifli, M., & Hasan, R. (2022). Optimasi proses pemecahan inti sawit melalui pengaturan celah Ripple Mill. *Jurnal Industri Perkebunan*, 12(3), 201–210.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 01-0000: Mutu dan metode uji inti sawit*. BSN.