

Comparative analysis of oil, water, and solid separation performance using a three-phase decanter in palm oil mills: Case study at PKS A and B

M Sabri^{a,1}, Geubrina Hikmah^b, Faris Ahmad Mizanus S^c, M Salamul Fajar S^d

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan, 20155

^bProgram Studi Magister Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Medan, 20155

^cProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra, Langsa, 24416

^dProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111

¹Email korespondensi: m.sabri@usu.ac.id

Abstract. This study examines the performance of a three-phase decanter centrifuge in separating oil, water, and solids in palm oil mills. Efficient separation is critical to improving crude palm oil (CPO) yield and minimizing losses, yet many mills face challenges such as excessive sludge, unstable emulsions, and oil loss. The objective of this research is to compare the operational performance of decaners at A and B mills and to identify the dominant factors influencing oil loss. A case study approach was employed, combining sampling of light, heavy, and solid phases with operational data analysis and direct observations. The results indicate that PKS A experienced high non-oil solids (NOS) in the feed, leading to excessive oil loss in the sludge, whereas PKS B experienced unstable, high emulsion levels, resulting in greater oil loss in the heavy phase. These findings confirm that decanter performance is highly site-specific, even when identical machines are used. The study concludes that operational strategies must be tailored to reduce NOS in PKS A and control emulsions in PKS B. The main contribution of this research is providing empirical evidence of differing decanter challenges across mills, offering practical guidance for optimization. The limitation lies in the scope, which is restricted to two mills, suggesting that future research should include more sites and external variables to develop a comprehensive optimization model.

Keywords: palm oil mill, decanter centrifuge, oil loss, emulsion, non-oil solids

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/s8nras98>

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang berperan besar dalam perekonomian Indonesia. Salah satu tahapan krusial dalam proses pengolahannya adalah pemisahan minyak sawit mentah (Crude Palm Oil, CPO) dari campuran air dan padatan. Tahap ini sangat menentukan rendemen minyak, kualitas produk, serta efisiensi energi di pabrik kelapa sawit (PKS). Mesin centrifuge decanter tiga fasa (3-phase decanter) telah banyak diadopsi untuk meningkatkan efisiensi pemisahan. Dengan memanfaatkan gaya sentrifugal, decanter mampu memisahkan slurry menjadi tiga fraksi utama, yaitu minyak (light phase), air (heavy phase), dan padatan (solid phase). Keunggulan decanter tiga fasa antara lain mengurangi kebutuhan air pengencer, menurunkan volume sludge, serta mengurangi kandungan serat halus yang membebani unit klarifikasi (Loh et al., 2020). Namun demikian, implementasi mesin ini di lapangan tidak selalu menghasilkan kinerja optimal. Beberapa pabrik melaporkan masih tingginya kehilangan minyak pada sludge, meningkatnya emulsi pada light phase, serta fluktuasi kadar air dalam heavy phase. Kondisi serupa terjadi pada PKS A dan PKS B yang menggunakan mesin decanter tiga fasa, di mana hasil pemisahan belum konsisten dalam mencapai target operasional.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah berfokus pada faktor-faktor yang memengaruhi kinerja decanter. Ahmad et al. (2019) menemukan bahwa suhu operasi 90–95°C mampu menurunkan viskositas minyak dan meningkatkan efisiensi pemisahan. Ng et al. (2015) menekankan bahwa emulsi minyak-air menjadi tantangan utama karena minyak yang terperangkap dalam emulsi sulit dipisahkan sehingga meningkatkan oil loss pada heavy phase. Sementara itu, Suryadi et al. (2021) menunjukkan bahwa kandungan padatan (Non-Oil Solid/NOS) yang tinggi dalam umpan meningkatkan viskositas campuran dan menyebabkan lebih banyak minyak ikut terbuang ke sludge. Loh et al. (2020) menyoroti pentingnya pengaturan kecepatan bowl dan differential speed screw agar gaya sentrifugal sesuai dengan karakteristik umpan. Walaupun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu lokasi pabrik atau satu variabel tunggal, dan belum ada kajian komparatif yang mengamati dua PKS berbeda dengan mesin dan tipe decanter yang sama tetapi menunjukkan hasil operasional berbeda.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa studi komparatif antara dua PKS, yaitu A dan B, dengan kondisi mesin yang sama, tetapi kinerja berbeda. Analisis difokuskan pada keterkaitan parameter umpan (oil, emulsi, air, NOS)

dengan capaian pemisahan di setiap fase (light, heavy, solid). Penelitian ini juga memberikan rekomendasi teknis berbasis kasus lapangan yang dapat menjadi pedoman praktis dalam pengendalian parameter operasional decanter di PKS lain.

Permasalahan utama yang diteliti adalah analisis penyebab kinerja decanter tiga fasa di PKS A dan B belum mencapai target, faktor dominan apa yang menyebabkan tingginya oil loss di masing-masing pabrik, serta strategi pengendalian operasional yang tepat. Berdasarkan kondisi lapangan, hipotesis penelitian ini adalah bahwa tingginya kandungan padatan (NOS) pada umpan menjadi penyebab utama oil loss di PKS A, sedangkan fluktuasi kadar emulsi menjadi penyebab dominan oil loss di PKS B.

Pendekatan yang digunakan adalah studi kasus komparatif dengan tahapan pengumpulan data primer berupa sampel dari light, heavy, dan solid phase; analisis tren parameter umpan; serta evaluasi performa mesin berdasarkan standar oil loss ($OWB \leq 0,9\%$; $ODB \leq 14\%$). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis capaian pemisahan minyak, air, dan padatan menggunakan decanter di kedua PKS, mengidentifikasi faktor dominan penyebab oil loss, dan menyusun rekomendasi teknis. Kontribusi utama penelitian adalah memberikan pemahaman empiris mengenai perbedaan kinerja decanter pada kondisi lapangan berbeda, serta menghasilkan panduan operasional yang dapat diaplikasikan pada PKS lain. Adapun keterbatasan penelitian ini adalah ruang lingkupnya hanya mencakup dua PKS dengan merek

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan pola permasalahan pada kedua PKS. Pada PKS A, parameter umpan cenderung tidak stabil dengan kandungan minyak menurun dari 11% pada awal pengamatan menjadi rata-rata 6,1%. Kandungan air sangat fluktuatif, mencapai 21–56%, sedangkan padatan (NOS) rata-rata 53% dan cenderung meningkat saat kandungan minyak menurun. Kondisi ini menyebabkan tingginya oil loss pada sludge (solid phase), yang sering kali melampaui batas standar 14% ODB. Permasalahan utama di Air Batu adalah tingginya kandungan padatan dalam umpan yang meningkatkan viskositas, sehingga minyak sulit terpisah sempurna dari sludge.

Sementara itu, PKS B menunjukkan pola berbeda. Kandungan minyak dalam umpan relatif stabil (3–8%), namun emulsi sangat fluktuatif dengan lonjakan hingga 24%. Kadar air juga berfluktuasi antara 28–56%, sementara padatan (NOS) cenderung lebih stabil pada kisaran 29–50%. Tingginya emulsi menjadi faktor dominan yang menyebabkan minyak banyak terbawa ke fase air (heavy phase). Oil loss pada heavy phase di Bah Jambi jauh di atas standar $OWB (\leq 0,9\%)$,

mesin yang sama, sehingga faktor eksternal seperti variasi kualitas TBS dan desain unit pendukung tidak dianalisis secara mendalam.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus komparatif pada dua pabrik kelapa sawit (PKS) yaitu A dan B yang sama-sama mengoperasikan mesin decanter tiga fasa. Metodologi penelitian dibagi menjadi empat tahapan utama. Pertama, pengumpulan data, meliputi data primer berupa sampel dari light phase (minyak), heavy phase (air), dan solid phase (sludge), serta data sekunder berupa spesifikasi mesin, catatan operasional, dan manual book. Kedua, observasi lapangan dan wawancara, dilakukan dengan mengamati secara langsung proses operasional decanter serta melakukan diskusi dengan operator dan teknisi untuk mengidentifikasi kendala yang dihadapi. Ketiga, analisis data, meliputi evaluasi tren parameter umpan (oil, emulsi, air, dan NOS), analisis hasil pemisahan pada masing-masing fase, serta perhitungan oil loss yang dibandingkan dengan standar internasional ($OWB \leq 0,9\%$ dan $ODB \leq 14\%$). Keempat, evaluasi komparatif, yaitu membandingkan kinerja mesin di kedua PKS, mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi oil loss, serta menyusun rekomendasi teknis yang sesuai dengan kondisi lapangan.

menunjukkan rendahnya efisiensi pemisahan akibat terbentuknya emulsi minyak-air yang sulit dipisahkan secara sentrifugal.

Perbandingan lebih lanjut pada light phase menunjukkan bahwa PKS A menghasilkan kandungan minyak yang sangat bervariasi, antara 40–93%, dengan campuran air hingga 40%. Di sisi lain, PKS B menghasilkan light phase dengan kandungan minyak 38–70%, namun dengan emulsi tinggi (27–57%). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kadar minyak di PKS B lebih stabil dibandingkan dengan PKS A, kualitas light phase menurun akibat dominasi emulsi.

Secara keseluruhan, hasil komparatif menunjukkan bahwa mesin decanter tiga fasa akan bekerja optimal apabila parameter umpan dijaga dalam kisaran ideal, yaitu kandungan minyak 5–7%, emulsi $<5\%$, kadar air $<40\%$, dan padatan (NOS) $<50\%$. PKS A mengalami permasalahan utama pada tingginya padatan (NOS), sementara PKS B lebih dipengaruhi oleh tingginya emulsi. Temuan ini menegaskan bahwa kendala operasional decanter di setiap PKS dapat berbeda meskipun menggunakan mesin dengan spesifikasi yang sama. Dengan demikian, strategi peningkatan performa harus disesuaikan dengan kondisi spesifik masing-masing pabrik.

3.1. Karakteristik Umpan Inlet

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi umpan yang masuk ke mesin decanter di kedua PKS berbeda secara signifikan. Pada PKS A, kandungan minyak dalam umpan menurun dari 11% menjadi rata-rata

6,1%, kadar air sangat fluktuatif (21–56%), dan padatan (NOS) tinggi dengan rata-rata 53%. Sebaliknya, di PKS B, kandungan minyak lebih stabil (3–8%), namun kadar emulsi sangat bervariasi dengan lonjakan hingga 24%, sementara air juga berfluktuasi (28–56%). Data ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Karakteristik Umpan Inlet.

*Sumber: Loh et al. (2020); Suryadi et al. (2021)

Parameter	PKS Air Batu	PKS Bah Jambi	Standar Ideal*
Oil (%)	4 – 11 (rata-rata 6,1)	3 – 8	5 – 7
Emulsi (%)	3 – 9	8 – 24	< 5
Air (%)	21 – 56	28 – 56	< 40
NOS (%)	50 – 57 (rata-rata 53)	29 – 50	< 50

Dari tabel tersebut terlihat bahwa PKS A lebih bermasalah pada tingginya padatan (NOS), sementara PKS B lebih dipengaruhi oleh emulsi. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Suryadi et al. (2021) yang menyebutkan bahwa tingginya NOS meningkatkan viskositas slurry sehingga memperbesar oil loss pada sludge.

3.2. Kinerja Light Phase (Minyak)

Hasil analisis pada light phase menunjukkan bahwa kandungan minyak di PKS A sangat bervariasi, antara 40–93%, dan sering tercampur air hingga 40%. Pada PKS B, kandungan minyak relatif lebih stabil (38–70%), namun dengan kadar emulsi yang tinggi (27–57%). Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun kandungan minyak di PKS B lebih konsisten, kualitasnya menurun akibat dominasi emulsi.

Fenomena ini sesuai dengan temuan Ng et al. (2015), bahwa terbentuknya emulsi minyak-air yang stabil menghambat efisiensi separasi pada decanter. Namun, perbedaan signifikan antara hasil penelitian ini dengan studi Ahmad et al. (2019) adalah suhu umpan di kedua PKS belum terjaga pada kisaran ideal 90–95°C, sehingga viskositas minyak tetap tinggi dan proses pemisahan tidak optimal.

3.3. Kinerja Heavy Phase (Air)

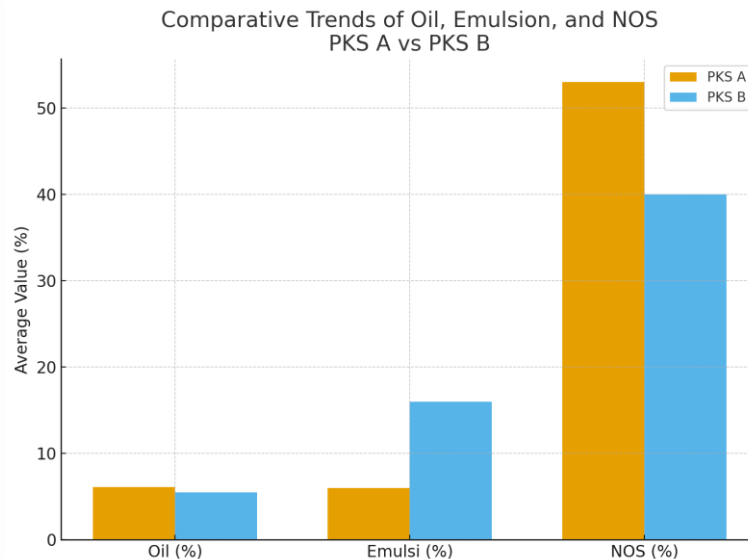
Kedua PKS masih menunjukkan oil loss pada heavy phase yang melebihi standar OWB $\leq 0,9\%$. Pada PKS B, oil loss lebih besar karena emulsi tinggi

menyebabkan minyak ikut terbawa dalam air. Hal ini berbeda dengan PKS A, di mana oil loss lebih dominan pada sludge dibandingkan heavy phase. Temuan ini menguatkan kajian Loh et al. (2020) bahwa kestabilan emulsi sangat menentukan kualitas heavy phase.

3.4. Kinerja Solid Phase (Padatan)

Pada PKS A, minyak yang terbawa dalam sludge rata-rata melebihi standar ODB $\leq 14\%$, sedangkan di PKS B lebih rendah namun masih fluktuatif. Tingginya oil loss di sludge PKS A dikaitkan dengan kadar NOS tinggi pada umpan yang mengikat minyak. Kondisi ini selaras dengan penelitian Suryadi et al. (2021) yang menyebutkan bahwa padatan halus (fine solids) dalam jumlah besar meningkatkan oil entrapment pada sludge.

Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan teori yang menyatakan bahwa efisiensi decanter dipengaruhi oleh kualitas umpan, khususnya kadar padatan, emulsi, dan stabilitas suhu (Ahmad et al., 2019; Ng et al., 2015). Namun, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih fokus pada optimasi satu variabel, penelitian ini menegaskan bahwa permasalahan dominan dapat berbeda antar-PKS meskipun menggunakan mesin yang sama. PKS A lebih dipengaruhi oleh NOS, sementara PKS B oleh emulsi. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh variasi kualitas TBS yang diolah, sistem pengolahan awal (pre-treatment), serta pengaturan laju alir umpan.



Gambar 1. Grafik Komparasi Minyak, Emulsi, dan NOS.

Grafik pada gambar di atas memperlihatkan perbandingan rata-rata kandungan minyak (oil), emulsi, dan non-oil solid (NOS) pada umpan decanter di PKS A dan PKS B. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa kandungan minyak di kedua pabrik relatif sebanding, yaitu 6,1% pada PKS A dan 5,5% pada PKS B. Namun, perbedaan yang signifikan terlihat pada parameter emulsi dan NOS. Pada PKS A, emulsi relatif rendah (sekitar 6%), tetapi kandungan NOS sangat tinggi (53%), sehingga berpotensi menyebabkan minyak terperangkap dalam padatan dan meningkatkan oil loss pada sludge. Sebaliknya, di PKS B, kandungan NOS lebih rendah (40%), tetapi emulsi jauh lebih tinggi (16%), yang mengakibatkan lebih banyak minyak terbawa ke heavy phase bersama air. Pola ini menegaskan bahwa meskipun kedua pabrik menggunakan tipe mesin decanter yang sama, faktor dominan penyebab oil loss berbeda: PKS A lebih dipengaruhi oleh padatan (NOS), sedangkan PKS B lebih dipengaruhi oleh emulsi. Dengan demikian, strategi pengendalian proses perlu disesuaikan secara spesifik pada masing-masing lokasi.

Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa strategi optimasi decanter harus bersifat site-specific, artinya setiap PKS harus menyesuaikan parameter operasional sesuai karakteristik umpan yang dihadapi. Pada PKS A, fokus perbaikan adalah menurunkan kandungan NOS melalui perbaikan proses homogenisasi dan pengendalian aliran slurry. Pada PKS B, strategi utama adalah mengendalikan emulsi dengan pengaturan suhu operasi pada 90–95°C dan penggunaan bahan kimia antifoam jika diperlukan.

Bagi industri, penelitian ini memberikan manfaat berupa pedoman praktis untuk mengurangi oil loss pada heavy dan solid phase, yang secara langsung meningkatkan rendemen minyak dan efisiensi pabrik. Selain itu, temuan ini juga relevan bagi pengembangan

teknologi decanter yang lebih adaptif terhadap variasi kualitas bahan baku.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu hanya dilakukan pada dua PKS dengan merek mesin yang sama sehingga hasilnya mungkin tidak sepenuhnya mewakili kondisi seluruh PKS di Indonesia. Selain itu, faktor eksternal seperti kualitas TBS, desain unit klarifikasi, dan kondisi lingkungan tidak dianalisis secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan ke lebih banyak PKS, serta mengintegrasikan faktor eksternal dalam model analisis agar diperoleh strategi optimasi decanter yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis capaian proses pemisahan minyak, air, dan padatan menggunakan mesin decanter tiga fasa pada PKS A dan PKS B. Hasil kajian menunjukkan bahwa kedua PKS sama-sama belum mencapai kinerja optimal, namun faktor dominan yang memengaruhi oil loss berbeda. Pada PKS A, oil loss tinggi terutama disebabkan oleh kandungan padatan (NOS) yang melampaui standar, sehingga banyak minyak terperangkap dalam sludge. Sementara itu, pada PKS B, masalah utama adalah kadar emulsi yang fluktuatif dan tinggi, sehingga minyak ikut terbawa ke heavy phase dan meningkatkan oil loss.

Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan pemahaman empiris bahwa permasalahan operasional decanter bersifat spesifik di setiap PKS, meskipun mesin yang digunakan sama. Dengan demikian, strategi optimasi perlu disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan. Pada PKS A, fokus perbaikan diarahkan pada pengendalian kadar padatan melalui homogenisasi dan kontrol laju alir umpan. Sementara itu, PKS B perlu mengendalikan pembentukan emulsi,

antara lain melalui pengaturan suhu operasi pada kisaran 90–95°C serta pengendalian kondisi aliran.

Batasan penelitian ini adalah ruang lingkupnya yang hanya mencakup dua PKS dengan merek mesin yang sama, sehingga temuan belum dapat digeneralisasi ke seluruh industri kelapa sawit di Indonesia. Faktor eksternal seperti kualitas TBS, desain unit pendukung, dan kondisi lingkungan tidak dianalisis secara detail. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan lebih banyak PKS

dengan kondisi operasional berbeda, sehingga dapat diperoleh model optimasi decanter yang lebih komprehensif dan aplikatif.

Dengan temuan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi industri kelapa sawit dalam meningkatkan rendemen CPO dan efisiensi pabrik, sekaligus menjadi referensi akademis untuk kajian lanjutan mengenai optimasi pemisahan menggunakan decanter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Sari, “Pengaruh Laju Umpan Masuk Decanter terhadap Losses Water Phase dan Solid Phase,” *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2025. [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/4056315>
- [2] F. I. Lubis, “Comparison Study of Sludge Separator and 3-Phase Decanter Performance in Palm Oil Mill (POM),” *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, vol. 30, no. 2, pp. 65–74, 2022. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/352234>
- [3] A. Nugroho, “Analisa Fungsi Decanter dalam Mengolah Minyak (CPO) di Pabrik Kelapa Sawit,” *Repository INSTIPER*, 2023. [Online]. Available: <https://repository.instiperjogja.ac.id/6642/>
- [4] M. A. B. M. Yusof, Y. J. Chan, C. H. Chong, and C. L. Chew, “Effects of operational processes and equipment in palm oil mills on characteristics of raw Palm Oil Mill Effluent (POME): A comparative study of four mills,” *Cleaner Waste Systems*, vol. 5, Art. no. 100101, 2023. doi: 10.1016/j.clwas.2023.100101.
- [5] H. F. Zahari, N. Y. H. Ismail, and M. A. Hassan, “Presence of residual oil in relation to solid particle distribution in POME,” *BioResources*, vol. 10, no. 3, pp. 5242–5255, 2015. [Online]. Available: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/presence-of-residual-oil-in-relation-to-solid-particle-distribution-in-pome/>
- [6] A. K. Ahmad, M. A. Hassan, and T. Shirai, “Physical and chemical separation of oil and suspended solids from POME,” *Asian Journal on Energy and Environment*, vol. 6, no. 2, pp. 105–116, 2005. [Online]. Available: <http://www.asian-energy-journal.info/2005/sep05/Vol6-2.pdf>
- [7] J. Zhang, X. Liu, and Y. Xu, “Investigation on the separation performance and comprehensive optimization of decanter centrifuges,” *Processes*, vol. 10, no. 6, p. 1061, 2022. doi: 10.3390/pr10061061
- [8] A. M. Sembiring, “Pemanfaatan Basculator dalam Operasional Decanter untuk Menghitung Tonase Oil in Heavy Phase,” *Jurnal Teknologi Pangan*, vol. 8, no. 1, pp. 55–62, 2017. [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1160781>
- [9] H. Choo, Y. K. Lee, and T. C. Ling, “Physicochemical characterization of oil palm decanter cake (OPDC) for residual oil recovery,” *BioResources*, vol. 13, no. 2, pp. 3421–3432, 2018. [Online]. Available: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/physicochemical-characterization-of-oil-palm-decanter-cake/>
- [10] V. S. Gunawan and A. Widodo, “Decanter brand selection using multi-criteria decision making,” *Jurnal Titra*, vol. 12, no. 1, pp. 45–54, 2024. [Online]. Available: <https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-industri/article/view/13979>