

Optimasi Celah Geometrik Ripple Mill dalam Menyeimbangkan Efisiensi Pemecahan Biji dan Integritas Inti Sawit di PKS Bah Jambi

Maren Sius Girsang, Jhon Supriadi Purba
Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar
Email: marengirsang31@gmail.com

Abstract

In the palm oil extraction process, the efficiency of the ripple mill is critical to maximizing kernel recovery while minimizing losses. This study aims to evaluate the impact of the clearance between the rotor bar and the ripple plate on the cracking efficiency and kernel quality at the PKS Bah Jambi palm oil mill. Experimental tests were conducted under normal industrial operating conditions by varying the rotor bar–ripple plate distance at four levels: 8 mm, 9 mm, 10 mm, and 11 mm. A 1000-gram sample of the cracked mixture was collected for each setting and manually separated into five fractions: whole nuts, cracked nuts, whole kernels, broken kernels, and shells to calculate the cracking efficiency and mass percentages. The results demonstrate that the geometric clearance significantly controls the quality and efficiency of nut cracking. Increasing the clearance from 8 mm to 11 mm led to a significant decrease in cracking efficiency from 98.05% to 94.57%, falling below the mill's minimum standard of 97%. While wider clearances offered better protection for the kernels (reducing broken kernels), they resulted in higher kernel losses due to the increased volume of uncracked and partially cracked nuts. To maintain optimal performance, the mill management should standardize the rotor-plate distance at 8–9 mm, which ensures an efficiency rate above 97% while maintaining acceptable kernel breakage levels. It is recommended that this setting be integrated into the Standard Operating Procedures (SOP), supported by routine wear inspections and the reactivation of nut grading drums to ensure feedstock uniformity and stable mill performance.

Keywords: Ripple Mill, Cracking Efficiency, Palm Oil Mill.

Abstrak

Dalam proses ekstraksi minyak kelapa sawit, efisiensi unit *ripple mill* sangat krusial untuk memaksimalkan perolehan inti (*kernel*) sekaligus meminimalkan kehilangan (*losses*). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak jarak antara *rotor bar* dan *ripple plate* terhadap efisiensi pemecahan dan mutu inti di PKS Bah Jambi. Pengujian eksperimental dilakukan pada kondisi operasi industri normal dengan memvariasikan jarak *rotor bar–ripple plate* pada empat nilai: 8 mm, 9 mm, 10 mm, dan 11 mm. Sampel *cracked mixture* seberat 1000 gram diambil untuk setiap variasi dan dipisahkan secara manual menjadi lima fraksi: biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, dan cangkang untuk menghitung efisiensi pemecahan dan persentase massa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa celah geometrik secara nyata mengendalikan mutu dan efisiensi pemecahan biji. Pelebaran jarak dari 8 mm ke 11 mm menyebabkan penurunan efisiensi pemecahan yang signifikan dari 98,05% menjadi 94,57%, sehingga tidak lagi memenuhi standar minimal pabrik sebesar 97%. Meskipun jarak yang lebih lebar cenderung melindungi inti (mengurangi inti pecah), hal ini berdampak pada meningkatnya *losses* inti yang terperangkap dalam biji yang tidak terpecah tuntas. Untuk menjaga kinerja optimal, manajemen pabrik perlu menetapkan standar jarak *rotor-plate* pada 8–9 mm yang menjamin efisiensi di atas 97% dengan tingkat kerusakan inti yang dapat diterima. Direkomendasikan agar pengaturan ini diintegrasikan ke dalam SOP, didukung dengan pemeriksaan rutin keausan komponen, dan pengaktifan kembali *nut grading drum* untuk memastikan keseragaman bahan baku dan stabilitas kinerja mesin.

Kata Kunci: *Ripple Mill*, Efisiensi Pemecahan, Pabrik Kelapa Sawit.

Pendahuluan

Dalam lanskap industri kelapa sawit global yang semakin kompetitif, efisiensi pengolahan inti sawit tidak lagi sekadar urusan teknis pabrik, melainkan faktor strategis yang menentukan daya saing produk di pasar internasional (Lai et al. 2024). Di tengah tekanan untuk menekan biaya produksi, memenuhi standar mutu minyak nabati, serta merespons tuntutan keberlanjutan, setiap kilogram inti sawit yang hilang atau mengalami kerusakan fisik berkontribusi pada degradasi kinerja ekonomi perusahaan dan menurunkan kepercayaan pihak pembeli hilir. Pada titik ini, stasiun ripple mill mengambil peran sentral karena proses pemecahan biji di unit ini secara langsung mempengaruhi besaran losses inti dan mutu kernel yang memasuki rantai pengolahan berikutnya di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) modern (Harianto, Aspiyansyah, and Faot 2024).

Namun, dinamika di lapangan sering menunjukkan jarak yang menganga antara apa yang seharusnya dicapai oleh teknologi dan apa yang benar-benar terjadi dalam operasi harian pabrik (John Martin et al. 2022). Teknologi ripple mill dirancang untuk menghasilkan pemisahan optimal antara cangkang dan inti, tetapi data pengamatan di PKS Bah Jambi mengindikasikan masih munculnya porsi biji utuh dan inti pecah yang signifikan dalam output pemecahan. Kondisi ini memicu kegelisahan akademik: di satu sisi, pabrik menargetkan efisiensi tinggi dan losses inti serendah mungkin; di sisi lain, pengaturan teknis seperti jarak rotor bar terhadap ripple plate kerap ditentukan secara empiris, mengikuti kebiasaan operator, bukan berdasarkan bukti eksperimental yang terukur dan sesuai karakteristik bahan baku lokal.

Berbagai kajian sebelumnya mengenai mesin ripple mill memang telah membahas kapasitas, desain rotor, maupun hubungan umum antara jarak rotor dan efisiensi pemecahan pada beragam tipe dan kapasitas mesin (Antia et al. 2013; Harianto et al. 2024; Looh et al. 2025; Sinaga et al. 2022). Meski demikian, banyak studi berhenti pada penetapan jarak optimal dalam konteks pabrik dan konfigurasi tertentu, tanpa menelaah secara rinci bagaimana variasi jarak rotor bar–ripple plate berinteraksi dengan kondisi operasi dan karakteristik biji di masing-masing

PKS, termasuk di lingkungan PT Perkebunan Nusantara IV Bah Jambi (Jayarullah and Rita Hartati 2023). Akibatnya, ruang penelitian yang mengkaji secara spesifik efek perubahan jarak rotor bar terhadap distribusi biji utuh, biji pecah, inti utuh, dan inti pecah di PKS ini masih terbuka dan relevan untuk ditelusuri.

Merespons celah tersebut, penelitian ini berargumen bahwa ketepatan pengaturan jarak antara rotor bar dan ripple plate berperan sebagai kunci utama dalam menekan kehilangan inti (*losses*) sekaligus menjaga keutuhan fisik inti sawit yang dihasilkan ripple mill di PKS Bah Jambi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak rotor bar–ripple plate terhadap persentase biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, serta efisiensi pemecahan biji, sehingga dapat diidentifikasi jarak operasi yang memberikan kompromi terbaik antara minimnya biji utuh yang lolos dan terbatasnya inti pecah yang mereduksi kualitas kernel (Umani et al. 2020).

Jika tujuan tersebut tercapai, penelitian ini menawarkan dua lapis kontribusi yang saling berkait. Pada ranah teoretis, temuan penelitian memperkaya pemahaman mengenai hubungan mikro antara parameter geometrik ripple mill dan respons material biji kelapa sawit dalam konteks pengolahan di PKS milik PT Perkebunan Nusantara IV, sehingga dapat menjadi rujukan untuk pengembangan model kinerja mesin pemecah biji berbasis bukti empiris. Pada ranah praktis, rekomendasi jarak rotor bar–ripple plate yang dihasilkan penelitian ini berpotensi memperbaiki prosedur penyetalan mesin, menurunkan losses inti, meningkatkan rendemen kernel, dan pada akhirnya menguatkan posisi PKS Bah Jambi dalam persaingan industri kelapa sawit yang menuntut efisiensi dan kualitas secara simultan. (RL Sinaga, J Purba, 2025).

Metode

1. Mesin dan pengaturan jarak rotor–ripple plate

Penelitian dilaksanakan pada unit ripple mill di stasiun pengolahan inti (kernel station) PKS Bah Jambi milik PT Perkebunan Nusantara IV yang berfungsi memecahkan biji kelapa sawit sehingga inti terlepas dari cangkang melalui tumbukan antara rotor bar dan ripple plate bergerigi.

Jarak antara ujung rotor bar dan permukaan ripple plate dapat diatur melalui mekanisme penyetel sehingga celah kerja dapat divariasikan dalam orde milimeter, serupa dengan konfigurasi pengaturan jarak rotor yang ditunjukkan pada artikel referensi mesin ripple mill CB Modipalm.

Dalam penelitian ini, jarak rotor bar-ripple plate diatur pada empat nilai, yaitu 8 mm, 9 mm, 10 mm, dan 11 mm, yang merepresentasikan variasi jarak yang selama ini digunakan secara praktis di PKS Bah Jambi. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi operasi normal pabrik (kapasitas olah dan putaran kerja sesuai operasi harian) sehingga data yang diperoleh mencerminkan kinerja mesin dalam konteks proses industri yang sesungguhnya, sebagaimana pendekatan eksperimental yang juga diterapkan pada kajian jarak rotor dan efisiensi ripple mill di artikel pembandingan.

2. Bahan baku dan lokasi pengambilan sampel

Bahan baku yang dianalisis berupa campuran biji dan inti (*cracked mixture*) hasil keluaran ripple mill yang mengalir melalui conveyor pada stasiun inti PKS Bah Jambi. *Cracked mixture* ini terdiri atas biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, dan cangkang yang belum dipisahkan lebih lanjut di unit pemurnian kernel, sehingga sangat representatif untuk menilai langsung kinerja pemecahan biji pada ripple mill. Untuk setiap variasi jarak rotor bar-ripple plate, sampel diambil dari pintu bawah conveyor *cracked mixture* setelah kondisi operasi dan aliran material dinyatakan stabil oleh operator pabrik.

3. Prosedur pengambilan sampel dan pemisahan fraksi

Pengambilan sampel dan pemisahan fraksi dilakukan dengan tahapan berikut:

- Mengatur jarak rotor bar-ripple plate pada nilai yang ditentukan (8 mm, 9 mm, 10 mm, atau 11 mm), kemudian mengoperasikan ripple mill hingga aliran *cracked mixture* stabil.
- Menampung *cracked mixture* dari pintu bawah conveyor menggunakan wadah/plastik, lalu membawa sampel ke laboratorium untuk dianalisis.

- Menghomogenkan sampel dan melakukan quartering sampai diperoleh sampel representatif seberat 1000 gram untuk setiap variasi jarak.
- Memisahkan sampel 1000 gram tersebut secara manual menjadi lima komponen: biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, dan cangkang, masing-masing ditempatkan dalam wadah terpisah.
- Menimbang massa setiap komponen menggunakan timbangan dengan ketelitian yang memadai untuk analisis persentase massa.

Prosedur ini paralel dengan langkah pengambilan data pada artikel referensi yang memisahkan biji utuh, biji pecah, kernel utuh, dan kernel pecah sebelum dianalisis secara kuantitatif.

4. Analisis data dan penentuan efisiensi

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan perhitungan:

a. Persentase fraksi

Massa masing-masing komponen (biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, cangkang) dibagi dengan massa sampel total (1000 gram) dan dikalikan 100% untuk memperoleh persentase massa tiap fraksi. Pendekatan ini sejalan dengan persamaan yang digunakan dalam artikel rujukan untuk menghitung persentase biji utuh, biji pecah, kernel utuh, dan kernel pecah terhadap massa sampel.

b. Efisiensi pemecahan biji

Efisiensi pemecahan ripple mill didefinisikan sebagaimana praktik di PKS Bah Jambi dan formulasi pada studi terdahulu, yaitu:

$$\text{Efisiensi} = 100\% - (\% \text{biji utuh} + \% \text{biji pecah})$$

Dengan definisi ini, biji utuh dan biji pecah diperlakukan sebagai indikator langsung ketidaksempurnaan pemecahan biji; semakin kecil jumlah kedua fraksi tersebut, semakin tinggi efisiensi pemecahan.

Tabulasi dan visualisasi

Hasil perhitungan massa, persentase fraksi, dan efisiensi ditabulasikan sebagaimana pada Tabel 4.2 laporan, lalu efisiensi diplot terhadap jarak rotor bar-ripple plate untuk menghasilkan kurva hubungan jarak-efisiensi seperti pada Gambar 4.1 “Jarak rotor bar dengan

ripple plate vs efisiensi pemecahan biji”. Visualisasi ini memungkinkan pembacaan pola penurunan efisiensi seiring pelebaran jarak, serupa dengan penyajian hasil pada artikel ripple mill Modipalm.

Hasil

Komposisi output ripple mill pada berbagai jarak

Pengujian pada empat variasi jarak rotor bar–ripple plate menghasilkan

Melalui rangkaian metode ini, hubungan antara jarak rotor bar–ripple plate dan kinerja pemecahan biji dapat dievaluasi secara kuantitatif sekaligus dikaitkan dengan standar efisiensi minimal 97% yang berlaku di PTPN IV Bah Jambi.

komposisi cracked mixture seperti pada tabel berikut.

(Tabel disarikan dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 laporan penelitian di PKS Bah Jambi).

N o	Jar ak (m m)	Bij i utu h (g)	Bij i utu h (%)	Biji pec ah (g)	Biji pec ah (%)	Inti utuh (g)	Inti utu h (%)	Inti peca h (g)	Inti pec ah (%)	Cangk ang (g)	Cangk ang (%)	Efisie nsi (%)
1	8	3,21	0,32	16,25	1,63	315,40	31,54	193,79	19,37	471,79	47,17	98,05
2	9	4,79	0,48	24,21	2,42	327,47	32,74	179,30	17,93	464,23	46,42	97,10
3	10	5,28	0,53	29,78	2,98	346,52	34,65	164,47	16,44	453,95	45,39	96,49
4	11	6,55	0,65	47,75	4,78	368,76	36,87	136,64	13,66	440,30	44,03	94,57

Secara umum, peningkatan jarak rotor bar–ripple plate dari 8 mm menjadi 11 mm memicu:

- Peningkatan biji utuh dari 0,32% menjadi 0,65% dan biji pecah dari 1,63% menjadi 4,78%.
- Peningkatan inti utuh dari 31,54% menjadi 36,87% dan penurunan inti pecah dari 19,37% menjadi 13,66%.
- Penurunan efisiensi pemecahan dari 98,05% menjadi 94,57%, sebagaimana terlihat pada kurva “Jarak rotor bar dengan ripple plate vs efisiensi pemecahan biji”.

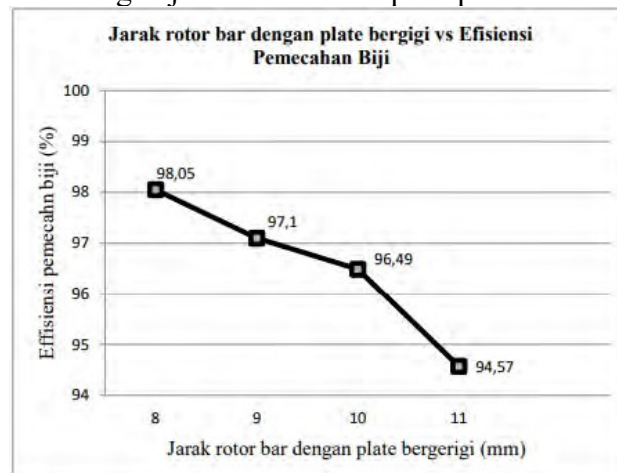
Pola efisiensi terhadap standar perusahaan

Dengan menggunakan definisi efisiensi yang mengurangkan persentase biji utuh dan biji pecah dari 100%, diperoleh efisiensi tertinggi pada jarak 8 mm (98,05%), kemudian menurun pada 9 mm (97,10%), 10 mm (96,49%), dan mencapai 94,57% pada jarak 11 mm. PTPN IV Bah Jambi menetapkan standar efisiensi minimal 97%, sehingga hanya jarak 8 mm dan 9 mm yang memenuhi standar operasi, sementara jarak 10 mm dan 11 mm menghasilkan efisiensi di bawah batas yang ditoleransi.

Tabulasi dan visualisasi

Hasil perhitungan massa, persentase fraksi, dan efisiensi ditabulasikan sebagaimana pada Tabel 4.2 laporan, lalu efisiensi diplot terhadap jarak rotor bar–ripple plate untuk

menghasilkan kurva hubungan jarak–efisiensi seperti pada Gambar 4.1



“Jarak rotor bar dengan ripple plate vs efisiensi pemecahan biji”. Visualisasi ini memungkinkan pembacaan pola penurunan efisiensi seiring pelebaran jarak, serupa dengan penyajian hasil pada artikel ripple mill Modipalm. Melalui rangkaian metode ini, hubungan antara jarak rotor bar–ripple plate dan kinerja pemecahan biji dapat dievaluasi secara kuantitatif sekaligus dikaitkan dengan standar efisiensi minimal 97% yang berlaku di PTPN IV Bah Jambi.

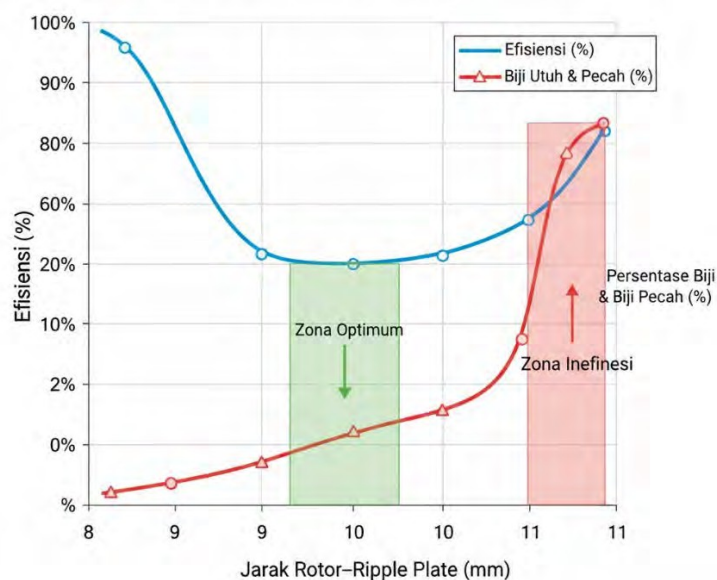
Pembahasan

Jarak rotor–plate sebagai parameter genggam kinerja pemecahan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak rotor bar–ripple plate berperan sebagai parameter geometrik yang

mengontrol intensitas interaksi antara biji dan permukaan pemecah di ripple mill. Pada jarak yang sempit (8–9 mm), biji bergerak lebih dekat dengan zona tumbukan utama sehingga cangkang lebih mudah pecah dan sebagian besar biji terkategori menjadi inti utuh dan inti pecah; konsekuensinya, fraksi biji utuh dan biji pecah relatif kecil sehingga efisiensi tinggi. Ketika jarak diperlebar (10–11 mm), lintasan biji menjauh dari zona tumbukan optimum, sehingga sebagian biji hanya menerima gaya yang tidak cukup untuk memecahkan cangkang; hal ini terkonfirmasi oleh meningkatnya biji utuh dan biji pecah, yang langsung menurunkan nilai efisiensi.

PENGARUH JARAK ROTOR TERHATAP EFISIENSI & HASIL PECAH
PT. PERKEBUNAN NUSNTARA IV PKS BAH JAMBI

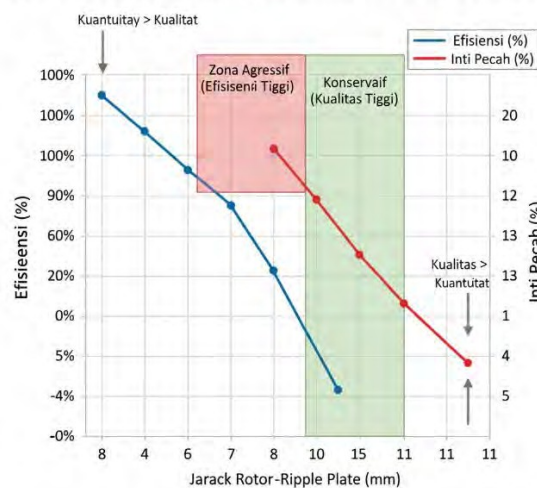


Secara mekanistik, temuan ini konsisten dengan penjelasan pada artikel ripple mill CB Modipalm yang menunjukkan bahwa penyetelan jarak rotor mempengaruhi tingkat pemecahan biji dan kerusakan kernel secara simultan. Di PKS

Bah Jambi, pola numerik yang muncul menguatkan bahwa jarak rotor bar-ripple plate tidak dapat dianggap sebagai variabel statis, melainkan harus dikelola sebagai parameter proses yang diukur dan dikendalikan

Menimbang trade-off: menekan biji utuh/biji pecah vs menjaga mutu inti

TRADE-OFF OPTIMALISTADIS RIPPLE MILL
EFISIENSI vs. KUALITA INTI (PT.JANTARA IV PKS BAH JAMBI)



Situasi ini merepresentasikan trade-off klasik antara efektivitas pemecahan dan kerusakan produk yang perlu dicari titik komprominya. Jika pengambilan keputusan hanya berfokus pada penurunan inti pecah, operator cenderung memperlebar jarak rotor-plate, tetapi langkah ini justru mengorbankan efisiensi dan meningkatkan peluang inti tetap terkurung dalam biji utuh atau biji pecah. Sebaliknya, bila hanya mengejar efisiensi tertinggi, pengaturan jarak terlalu rapat dapat memicu kerusakan inti yang berlebihan dan menurunkan nilai komersial kernel.

Dalam konteks ini, rentang 8–9 mm muncul sebagai kompromi yang paling rasional: kedua setting ini masih memenuhi standar efisiensi perusahaan ($\geq 97\%$) sembari menunjukkan tren penurunan inti pecah dari 19,37% menjadi 17,93%, sehingga keseimbangan antara efisiensi proses dan mutu inti relatif terjaga. Secara argumentatif, hal ini menegaskan bahwa “optimal” di sini bukan sekadar nilai efisiensi maksimum, tetapi titik seimbang antara dua kepentingan operasional yang saling tarik-menarik.

Penegasan posisi temuan dalam lanskap kajian ripple mill

Studi-studi terdahulu mengenai ripple mill dan mesin pemecah biji serupa melaporkan bahwa jarak kerja rotor-plate,

kecepatan putar, dan desain rotor mempengaruhi tingkat pemecahan dan kerusakan kernel, serta menekankan pentingnya penentuan jarak optimum berbasis data. Namun, sebagian besar kajian tersebut berfokus pada mesin dengan tipe dan kapasitas tertentu (misalnya CB Modipalm kapasitas 8 ton/jam) dan kondisi pabrik yang berbeda, sehingga nilai jarak optimum yang dilaporkan tidak dapat diadopsi begitu saja di PKS lain.

Kontribusi penelitian di PKS Bah Jambi terletak pada pemberian bukti empiris spesifik mengenai pengaruh jarak rotor bar-ripple plate terhadap komposisi cracked mixture dan efisiensi di lingkungan proses PTPN IV, serta penetapan rentang jarak 8–9 mm sebagai batas operasi yang secara teknis dan ekonomis paling layak. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengulang temuan bahwa jarak mempengaruhi efisiensi, tetapi juga memperhalus pemahaman tentang bagaimana jarak tersebut berinteraksi dengan karakteristik biji dan standar mutu yang berlaku di pabrik tertentu.

Implikasi operasional dan rekomendasi teknis

Secara praktis, hasil ini mendorong perubahan cara pandang terhadap penyetelan ripple mill: jarak rotor bar-ripple plate tidak cukup ditentukan berdasarkan kebiasaan atau pengalaman

operator, tetapi perlu diperlakukan sebagai variabel proses yang dikendalikan, dicatat, dan dievaluasi secara periodik terhadap indikator kinerja seperti efisiensi dan kadar inti pecah. Pemeliharaan berkala terhadap rotor bar dan ripple plate, termasuk pemantauan keausan dan penyesuaian ulang jarak, menjadi bagian dari strategi menjaga operasi tetap berada dalam rentang 8–9 mm yang telah terbukti memenuhi standar efisiensi pabrik.

Selain itu, data di laporan juga mengisyaratkan bahwa distribusi ukuran biji mempengaruhi respons sistem terhadap pengaturan jarak; karena itu, pengoperasian kembali nut grading drum sebagai alat pemilah ukuran biji menjadi krusial agar biji yang masuk ke celah rotor–plate lebih beragam diameternya. Dalam skenario ideal, sinergi antara pengaturan jarak pada 8–9 mm dan pemilahan ukuran biji diharapkan tidak hanya mempertahankan efisiensi di atas 97%, tetapi juga menstabilkan mutu inti dalam batas yang dipersyaratkan, sehingga ripple mill benar-benar berfungsi sebagai simpul penting peningkatan kinerja teknis dan ekonomi PKS Bah Jambi secara berkelanjutan.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jarak rotor bar terhadap ripple plate secara nyata mengendalikan mutu dan efisiensi pemecahan biji kelapa sawit di ripple mill PKS Bah Jambi. Ketika operator memperlebar jarak dari 8 mm ke 11 mm, mesin semakin banyak meloloskan biji dalam kondisi utuh atau hanya retak, sehingga persentase biji utuh dan biji pecah naik, sementara efisiensi pemecahan turun dari 98,05% menjadi 94,57% dan tidak lagi memenuhi standar pabrik. Pada saat yang sama, inti memang cenderung lebih terlindungi (inti pecah menurun), tetapi penurunan kerusakan inti ini dibayar mahal oleh meningkatnya losses inti yang masih terperangkap di dalam biji yang tidak terpecah tuntas. Dari sisi kebijakan operasi, manajemen perlu menetapkan jarak 8–9 mm sebagai standar kerja ripple mill karena pengaturan ini masih menjaga efisiensi di atas 97% sekaligus menahan kerusakan inti pada tingkat yang dapat diterima. Pabrik sebaiknya mengintegrasikan pengaturan jarak ini ke dalam SOP, menginstruksikan operator untuk memeriksa dan mencatat

jarak serta keausan rotor–plate secara rutin, dan menghidupkan kembali sistem pemilahan ukuran biji (*nut grading drum*) agar ripple mill bekerja pada kondisi bahan baku yang lebih beragam dan kinerjanya lebih stabil.

Daftar Pustaka

- Antia, Orua O., Kessington Obahigbon, Emmanuel Aluyor, and Patrick Ebunilo. 2013. “Modeling of Some Related Parameters for Cracking Palm Nut in a Centrifugal Cracker.” *Advanced Materials Research* 824:255–61. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.824.255.
- Harianto, Agus, Aspiyansyah Aspiyansyah, and Ecy Yedija Faot. 2024. “Jarak Rotor Yang Optimal Terhadap Ripple Plate Pada Mesin Ripple Mill Untuk Efisiensi Hasil Pemecah Biji Kelapa Sawit Cb Modipalm Kapasitas 8 Ton/Jam.” *Jurnal Rekayasa Mesin* 15(1):507–13. doi: 10.21776/jrm.v15i1.1840.
- Jayarullah, and Rita Hartati. 2023. “Ripple Mill Machine Failure Analysis Using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Method at PT. Ujong Neubok In.” *Jurnal Inotera* 8(1):92–98. doi: 10.31572/inotera.Vol8.Iss1.2023.ID219.
- John Martin, Jerome Jeyakumar, Rajesh Yarra, Lu Wei, and Hongxing Cao. 2022. “Oil Palm Breeding in the Modern Era: Challenges and Opportunities.” *Plants* 11(11):1395. doi: 10.3390/plants11111395.
- Lai, Vivien, Nora Yusma Mohamed Yusoff, Ali Najah Ahmed, Yuk Feng

- Huang, Kenneth Beng Wee Boo, and Ahmed El-Shafie. 2024. "The Benefits and Perspectives of the Palm Oil Industry in Malaysia." *Environment, Development and Sustainability* 27(7):15235–49. doi: 10.1007/s10668-024-04593-7.
- Looh, George Ashwehmbom, Fangping Xie, Xiushan Wang, Augustine Ngiejungbwen Looh, and Hamdaoui Hind. 2025. "Grain Kernel Damage during Threshing: A Comprehensive Review of Theories and Models." *Journal of Agricultural Engineering* 56(1). doi: 10.4081/JAE.2025.1674.
- Sinaga, Robert, Julieta Christy, Donatus Dahang, Riduan Sembiring, Swati Sembiring, Seringena Br Karo, Daniel Gea, and Relius Buulolo. 2022. "Pengaruh Modifikasi Dan Jumlah Alur Dan Kecepatan Putar Rotor Bar Terhadap Produktivitas Dan Hasil Pemecah Kemiri Sistem Ripple Mill." *JURNAL AGROTEKNOSAINS* 6(1):65. doi: 10.36764/ja.v6i1.749.
- Umani, Kingsley Charles, Ololade Moses Olatunji, Inemesit Edem Ekop, and Godwin Edem Akpan. 2020. "Experimental Investigation of the Effect of Rotor Speed of a Horizontal Shaft Centrifugal Palm Nut Cracker on Optimum Whole Kernel Production and Shell Particle Size." *Scientific African* 7:e00238. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00238.
- RL Sinaga, J Purba. "CARA KERJA DAN PERAWATAN MESIN STERILIZER DI UNIT PKS DOLOK ILIR PERKEBUNAN NUSANTARA IV". 2025. *Jurnal Penelitian Teknik Dan Sumberdaya Perairan*. Jilid 1 Terbitan 2 hal.137-142

