

Kajian Variasi Tekanan Sterilisasi terhadap Kualitas Minyak Sawit, Efisiensi *Thresher* dan *Ripple Mill*

Arief Zacky Ryan Hidayat^{*)}, Adi Ruswanto, Erista Adisetya

Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
INSTIPER Yogyakarta

^{*)}Email Korespondensi : ariefzackryan@gmail.com

ABSTRAK

Tekanan sterilisasi merupakan salah satu parameter penting dalam proses pengolahan kelapa sawit yang dapat berperan untuk menonaktifkan *enzim lipase*, mempermudah pelepasan brondolan, dan keberhasilan pemecahan biji sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan sterilisasi terhadap kadar Asam Lemak Bebas (ALB), *Unstripped bunch (USB)*, dan efisiensi *ripple mill* di PT. XYZ Kalimantan Barat. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2024. Metode penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan lima taraf tekanan sterilisasi, yaitu T1 = 2,46 – 2,53 bar, T2 = 2,54 – 2,61 bar, T3 = 2,62 – 2,69 bar, T4 = 2,70 – 2,77 bar, dan T5 = 2,78 – 2,85 bar, yang masing-masing diulang tiga kali. Hasil analisis penelitian menunjukkan bahwa variasi tekanan sterilisasi tidak berpengaruh terhadap kadar Asam Lemak Bebas (ALB), *Unstripped bunch (USB)*, dan efisiensi *ripple mill*. Dengan hasil rata-rata ketiga parameter tersebut menunjukkan hasil yang relatif sama, di mana kadar Asam Lemak Bebas (ALB) rata-rata sebesar 4,18%, persentase *Unstripped bunch (USB)* rata-rata sebesar 2,91%, dan efisiensi *ripple mill* rata-rata sebesar 96,91%. Disimpulkan bahwa tekanan sterilisasi dalam rentang 2,46 sampai 2,85 ini belum menjadi faktor utama penentu mutu minyak sawit dan efisiensi proses pengolahan kelapa sawit di pabrik kelapa sawit PT. XYZ Kalimantan Barat.

Kata Kunci : asam lemak bebas, efisiensi, kelapa sawit, sterilisasi, tekanan.

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor unggulan dalam perekonomian Indonesia, dengan kontribusi yang signifikan terhadap ekspor nasional. Proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi *Crude Palm Oil (CPO)* di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sangat ditentukan oleh efisiensi dan kendali mutu pada setiap tahapan produksinya. Salah satu proses kritis adalah sterilisasi, yang bertujuan menghentikan kerja *enzim lipase* dan mencegah pembentukan Asam Lemak Bebas (ALB), yang berperan dalam menurunkan kualitas minyak sawit (Sarah, 2015).

Tekanan sterilisasi dan lama perebusan memiliki hubungan erat dan saling memengaruhi dalam menentukan efektivitas proses sterilisasi. Semakin tinggi tekanan sterilisasi, maka waktu perebusan dapat dipersingkat tanpa mengurangi efisiensi sterilisasi, dan sebaliknya. Umumnya, perebusan dilakukan pada tekanan 2,8 – 3,0 kg/cm² dengan suhu 135 – 140°C selama 90 – 100 menit, di mana waktu penahanan uap pada puncak ketiga (*holding time*) berkisar antara 45 – 55 menit, tergantung kondisi dan kematangan buah (Siregar, 2014).

Perebusan bertujuan utama untuk menghentikan aktivitas *enzim* yang berkontribusi terhadap peningkatan asam lemak bebas (ALB), terutama saat buah mengalami kerusakan. Dengan perebusan, *enzim* dinonaktifkan sehingga pembentukan ALB dapat ditekan dan mutu minyak tetap

terjaga. Selain itu, perebusan mempermudah pelepasan brondolan dari tandan, di mana penggunaan air mendidih saja tidak cukup efektif. Dibutuhkan uap jenuh bertekanan agar panas meresap hingga ke dalam tandan secara merata, memungkinkan brondolan terlepas lebih optimal. (Hikmawan, 2019).

Tekanan sterilisasi yang tidak tepat dapat mempengaruhi kadar air biji kelapa sawit, yang berujung pada penurunan efisiensi mesin *ripple mill*. Tekanan yang terlalu tinggi atau rendah menyebabkan kadar air biji yang tidak sesuai, sehingga mesin *ripple mill* kesulitan dalam memisahkan biji dengan baik (Suhaini & Maryati, 2023). Variasi tekanan pada sterilisasi tidak hanya berpengaruh pada perolehan minyak, tetapi juga berkontribusi terhadap pembentukan ALB. Tekanan terlalu rendah mengakibatkan *enzim* tidak terinaktivasi sempurna, sementara tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan pecahnya dinding sel *mesokarp*, memperbesar kontak antara minyak dan *enzim lipase*. Hal ini meningkatkan laju *hidrolisis trigliserida* menjadi ALB yang merusak mutu CPO (Obibuzor et al., 2012).

Asam lemak bebas (ALB) berperan sebagai indikator mutu dari CPO. Sepanjang proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi CPO, kadar ALB mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh keberadaan air serta aktivitas *enzim lipase*. Oleh sebab itu, berbagai faktor yang memengaruhi kualitas CPO, terutama kadar ALB, perlu dikelola dengan optimal agar mutu CPO tetap terjaga sesuai standar yang telah ditentukan. Untuk menjamin CPO yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, maka pengendalian mutu perlu dilakukan di setiap tahapan atau stasiun proses dengan menerapkan berbagai metode pengawasan (Winardi, 2022).

Mesin *thresher* berperan penting dalam melepaskan buah sawit dari tandannya pasca perebusan, dengan prinsip tumbukan dalam silinder berputar. Efisiensinya sangat bergantung pada desain drum, kecepatan rotasi, dan waktu tinggal buah, pengaturan yang tidak tepat dapat menyebabkan buah rusak atau tidak terlepas sempurna (Mendissa, 2025). Sementara itu, *ripple mill* berfungsi memisahkan cangkang dan inti *nut*, dengan efisiensi ideal minimal 95%. Kinerja *ripple mill* dipengaruhi oleh jumlah rotor, kecepatan putar, dan laju umpan, di mana penyesuaian jumlah rotor terhadap ukuran *nut* penting untuk menjaga efisiensi pemecahan (Pelawi et al., 2024).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. XYZ yang berlokasi di Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Agustus hingga November 2024. Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu variasi tekanan proses di sterilisasi. Perlakuan terdiri dari 5 taraf: T1 = 2,46 – 2,53 bar, T2 = 2,54 – 2,61 bar, T3 = 2,62 – 2,69 bar, T4 = 2,70 – 2,77 bar, dan T5 = 2,78 – 2,85 bar. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga menghasilkan total 15 satuan eksperimen. Setelah data diperoleh, dilakukan analisis ANAKA untuk menentukan adanya pengaruh perlakuan. Jika terdapat pengaruh nyata, maka akan dilanjutkan dengan uji Duncan.

Penelitian dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit di Kalimantan Barat pada 3 Agustus–25 November 2024. Data sekunder dikumpulkan dari unit stasiun *sterilizer*, stasiun *thresher*, stasiun klarifikasi, dan *ripple mill*, mencakup tekanan sterilisasi, persentase *USB* dari kinerja *thresher*, kadar ALB dari *Crude Palm Oil* (CPO), dan efisiensi *ripple mill*. Data dianalisis untuk mengkaji hubungan tekanan sterilisasi terhadap kualitas dan efisiensi pengolahan kelapa sawit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, penjelasan terhadap masing-masing parameter pengamatan disampaikan untuk menggambarkan hubungan antara variasi tekanan sterilisasi dengan kualitas minyak sawit serta efisiensi proses pengolahan di pabrik. Pembahasan ini mencakup tiga parameter utama, yaitu kadar ALB, *USB*, dan efisiensi *ripple mill*. Data hasil

pengamatan dianalisis statistik, guna mengkaji ada tidaknya pengaruh dari variasi tekanan sterilisasi terhadap masing-masing parameter tersebut. Selengkapny, hasil penelitian dan kajiannya disampaikan sebagai berikut:

Kadar Asam Lemak Bebas (ALB)

Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) menjadi indikator utama dalam menilai mutu CPO, di mana standar di PT. XYZ menetapkan batas maksimal sebesar 3%. Nilai ALB sangat dipengaruhi oleh tekanan dan suhu saat sterilisasi. Tekanan yang terlalu rendah tidak mampu menonaktifkan *enzim lipase* secara optimal, sedangkan tekanan yang terlalu tinggi justru dapat merusak jaringan buah dan meningkatkan interaksi minyak dengan *enzim*, sehingga ALB tetap tinggi.

Tabel 1. Rata-rata Asam Lemak Bebas (ALB)

Perlakuan	ALB%			total	Rata-rata
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3		
T1	6,77	4,18	4,97	15,92	5,31
T2	4,4	3,9	3,11	11,41	3,80
T3	4,48	4,05	4,15	12,68	4,23
T4	4,09	3,97	4,29	12,35	4,12
T5	3,39	3,92	3	10,31	3,44
total				62,67	4,18

Berdasarkan Tabel 1, yang menunjukkan rata-rata kadar ALB dari masing-masing perlakuan variasi tekanan sterilisasi, seluruh nilai ALB yang dihasilkan berada di atas ambang batas standar mutu PT. XYZ, yaitu 3%. Nilai ALB tertinggi terdapat pada perlakuan T1 sebesar 5,31%, sedangkan nilai terendah pada perlakuan T5 sebesar 3,44%. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis keragaman (ANAKA). Hasil analisis keragaman (ANAKA) perlakuan terhadap kadar ALB dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Analisis Keragaman Asam Lemak bebas (ALB)

Sumber Leragaman	db	jk	kt	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	4	5,909	1,477	2,984 ^{tn}	3,48%	5,99%
Galat/error	10	4,950	0,495			
Total	14	10,860				

Keterangan: ^{tn} = tidak berpengaruh nyata

Berdasarkan tabel 2, hasil analisis keragaman (ANAKA), diketahui bahwa nilai F hitung sebesar 2,984 lebih kecil dari F tabel pada taraf 5% (3,48) dan 1% (5,99). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan tekanan sterilisasi dalam rentang 2,46 - 2,85 bar tidak berpengaruh terhadap kadar Asam Lemak Bebas (ALB) secara statistik, dalam *Crude Palm Oil* (CPO) yang dihasilkan di PT. XYZ.

Meskipun hasil analisis menunjukkan variasi tekanan sterilisasi tidak berpengaruh nyata terhadap kadar ALB, secara teknis tekanan tetap menjadi faktor penting karena berkaitan langsung dengan suhu uap perebusan. Semakin tinggi tekanan, semakin tinggi suhu uap yang mempercepat penetrasi panas dan membantu inaktivasi *enzim lipase* penyebab pembentukan ALB.

Tekanan sterilisasi berhubungan langsung dengan suhu uap yang dihasilkan. Semakin tinggi tekanan, semakin tinggi suhu uap, sehingga penetrasi panas ke jaringan buah lebih optimal dan efektivitas inaktivasi *enzim lipase* meningkat. Karena itu, meskipun penelitian ini menunjukkan variasi tekanan tidak berpengaruh nyata secara statistik terhadap ALB, tekanan tetap menjadi faktor

penting yang harus dikendalikan. Menurut (Siswanto, 2023). yang menjelaskan bahwa semakin tinggi suhu uap dalam proses sterilisasi, semakin cepat proses perebusan berlangsung dan semakin baik kualitas minyak yang dihasilkan. Suhu tersebut bergantung langsung pada tekanan sterilisasi yang diterapkan dalam sistem sterilisasi.

Rentang tekanan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 2,46 - 2,85 bar, tergolong sempit sehingga kurang mampu menimbulkan variasi respons yang terukur terhadap kadar ALB. Semakin sempit rentang perlakuan, semakin kecil peluang munculnya perbedaan nyata antar perlakuan. Oleh karena itu, penggunaan rentang tekanan yang lebih luas diperlukan agar pengaruh perlakuan dapat terlihat lebih jelas. Menurut (Miciak, 2016), yang menyatakan bahwa pembatasan rentang perlakuan dapat menurunkan kekuatan uji statistik dan menyulitkan deteksi pengaruh yang sebenarnya ada.

Penting dipahami bahwa kemampuan tekanan sterilisasi dalam menurunkan kadar ALB sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kenaikan suhu uap yang dihasilkan. Jika selisih tekanan antar perlakuan terlalu kecil, maka kenaikan suhu uapnya juga sedikit, sehingga pengaruh panas terhadap buah sawit hampir sama antar perlakuan. Karena itu, respon penurunan ALB cenderung serupa, meskipun tekanan berbeda. Hal ini menjelaskan mengapa secara statistik variasi tekanan sterilisasi tidak menunjukkan pengaruh nyata. Menurut (Pakdeechot et al., 2020), tekanan dan suhu sterilisasi memang mempengaruhi kualitas minyak, tetapi jika variasi tekanannya terlalu kecil, perubahan suhu uap juga tidak signifikan, sehingga efek termal terhadap inaktivasi *enzim lipase* kurang optimal.

Dengan demikian, meskipun variasi tekanan sterilisasi 2,46 – 2,85 bar tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kadar ALB, tekanan tetap menjadi variabel penting dalam proses sterilisasi. Tidak pengaruh ini diduga karena selisih tekanan antar perlakuan terlalu kecil, sehingga perbedaan suhu uap yang dihasilkan tidak cukup mempengaruhi inaktivasi *enzim lipase*. Akibatnya, penurunan ALB cenderung serupa di semua perlakuan. Oleh karena itu, pengendalian tekanan tetap harus diperhatikan, karena tekanan berpengaruh langsung terhadap suhu uap dan efektivitas sterilisasi, yang akhirnya memengaruhi mutu minyak kelapa sawit.

Unstripped bunch (USB)

Unstripped bunch (USB) merupakan salah satu indikator penting untuk melihat seberapa baik proses pemipilan di pabrik kelapa sawit. *USB* menunjukkan adanya tandan buah yang masih menyisakan berondolan setelah proses pemipilan selesai. Jika nilainya tinggi, berarti proses pemipilan belum berjalan optimal dan berpotensi menyebabkan kehilangan minyak. Di PT. XYZ, batas maksimal *USB* ditetapkan sebesar 3% sebagai standar mutu. Nilai *USB* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kondisi tandan buah, kinerja mesin pemipil, dan juga parameter proses sterilisasi yang digunakan (Nadzim et al., 2020). Maka dari itu, pengendalian *USB* sangat penting agar proses berjalan efisien dan rendemen minyak tetap terjaga.

Tabel 3. Rata-rata *Unstripped bunch (USB)*

Perlakuan	USB%			total	rata rata
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3		
T1	2,88	3,75	3,61	10,24	3,41
T2	2,41	3,47	3	8,88	2,96
T3	2,84	2,87	3,11	8,82	2,94
T4	2,73	3,01	2,59	8,33	2,78
T5	2,5	3	2	7,5	2,50
total				43,77	2,91

Berdasarkan Tabel 3, di atas yang menunjukkan rata-rata nilai *USB* dari masing-masing perlakuan variasi tekanan sterilisasi, terlihat bahwa setiap tingkat tekanan sterilisasi memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai *USB*. Presentase terendah ditemukan pada perlakuan T5 sebesar 2,50%, sedangkan presentase tertinggi terdapat pada perlakuan T1 sebesar 3,41%. Jika dibandingkan dengan standar mutu yang ditetapkan oleh PT. XYZ, yaitu 3%, maka hanya presentase *USB* pada T1 yang melebihi ambang batas tersebut, sedangkan keempat perlakuan lainnya (T2, T3, T4, dan T5) menunjukkan presentase *USB* yang sudah berada di bawah standar perusahaan. Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis keragaman (ANAKA) untuk mengetahui apakah perbedaan tekanan sterilisasi memberikan pengaruh nyata terhadap efisiensi pemipilan (*thresher*) yang dihasilkan.

Tabel 4. Analisis Keragaman *Unstripped bunch (USB)*

Sumber Keragaman	db	jk	kt	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	4	1,326	0,331	2,027 ^{tn}	3,48%	5,99%
Galat/error	10	1,635	0,163			
Total	14	2,962				

Keterangan : ^{tn} = tidak berpengaruh nyata.

Berdasarkan hasil analisis keragaman (ANAKA) yang disajikan dalam Tabel 4, diketahui bahwa nilai F hitung sebesar 2,027 lebih kecil dari F tabel pada taraf 5% (3,48) dan 1% (5,99). Artinya, secara statistik, tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan variasi tekanan sterilisasi terhadap nilai *USB* yang dihasilkan. Dengan kata lain, perbedaan tekanan sterilisasi dalam rentang 2,46 - 2,85 bar tidak berpengaruh nyata terhadap perbedaan nilai *USB* di Pabrik Kelapa Sawit PT. XYZ.

Tidak berpengaruhnya variasi tekanan sterilisasi secara statistik dapat dijelaskan dari sisi teknis. Meskipun tekanan sterilisasi berperan memengaruhi suhu uap jenuh dan pelunakan tandan buah, selisih tekanan antar perlakuan yang kecil menyebabkan perbedaan suhu uap yang dihasilkan juga tidak signifikan. Hal ini membuat proses pelunakan tandan dan pelepasan brondolan berlangsung hampir sama di setiap perlakuan, sehingga nilai *USB* tidak menunjukkan perbedaan nyata. Menurut (Thang et al., 2021), efektivitas sterilisasi bergantung pada kemampuan panas menembus titik pelepasan alami buah, di mana suhu dan tekanan yang terlalu rendah atau selisihnya terlalu kecil akan menghasilkan *USB* yang seragam antar perlakuan.

Secara prinsip, semakin tinggi tekanan, semakin tinggi pula suhu uap jenuh dalam sterilisasi, yang seharusnya meningkatkan penetrasi panas ke jaringan tandan dan mempercepat pelunakan sel di pangkal buah. Namun, jika perbedaan tekanan terlalu kecil, kenaikan suhu pun menjadi kurang berarti, sehingga tidak cukup efektif menghasilkan perbedaan nyata dalam pelepasan buah dari tandan. Fenomena ini disebut *restriction of range*, yaitu ketika variasi perlakuan terlalu sempit untuk menimbulkan perubahan terukur pada variabel respons. Menurut (Kasmin et al., 2020) menyatakan bahwa efektivitas sterilisasi sangat ditentukan oleh perbedaan suhu dan waktu pemanasan yang diterapkan. Jika perlakuan berada dalam rentang terbatas, struktur sel buah tidak mengalami perubahan signifikan, sehingga pelepasan buah dan efisiensi proses cenderung tidak berbeda nyata.

Hubungan antara tekanan dan suhu dalam sterilisasi bersifat linier, namun efeknya terhadap hasil hanya terlihat jelas jika perbedaan tekanan cukup besar. Selama tekanan masih dalam rentang optimal, proses pelunakan buah dan pemipilan berjalan baik, sehingga nilai *USB* antar perlakuan cenderung serupa dan tidak berbeda signifikan secara statistik.

Meskipun analisis keragaman menunjukkan tidak ada pengaruh nyata terhadap *USB*, pengamatan data tetap memperlihatkan tren sesuai teori, yaitu semakin tinggi tekanan, semakin efektif penetrasi uap dan pelepasan brondolan. Karena itu, tekanan sterilisasi tetap menjadi faktor teknis penting yang harus dikendalikan untuk menjaga mutu hasil pemipilan di pabrik kelapa sawit.

Efisiensi *Ripple mill*

Efisiensi *ripple mill* di PT. XYZ memiliki peran penting dalam memastikan pemisahan yang optimal antara inti dan cangkang kelapa sawit, dengan target minimal mencapai 96%. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi ini adalah kondisi *nut*, yang bergantung pada tekanan sterilisasi selama proses perebusan. Tekanan yang terlalu rendah menyebabkan *nut* menjadi keras, sementara tekanan terlalu tinggi merusak struktur *nut*. Oleh karena itu, pengaturan tekanan sterilisasi secara tepat menjadi hal yang penting untuk memastikan efisiensi *ripple mill* mencapai standar. Menurut (Hikmawan et al., 2021), efisiensi *ripple mill* mencerminkan kemampuan mesin dalam memisahkan inti dan cangkang kelapa sawit, dengan standar efisiensi sekitar 96%. Proses ini menghasilkan fraksi seperti biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, dan cangkang, dengan fokus utama pada peningkatan hasil inti dan cangkang yang terpisah secara optimal.

Tabel 5. Rata-rata Efisiensi *Ripple mill*

Perlakuan	Efisiensi <i>ripple mill</i> %			Total	Rata-rata
	ulangan 1	ulangan 2	ulangan 3		
T1	97,6	96,09	96,52	290,21	96,74
T2	97,04	96,83	96,62	290,49	96,83
T3	96,68	96,67	96,54	289,89	96,63
T4	96,63	96,78	96,45	289,86	96,62
T5	97,99	97,53	96,6	292,12	97,37
Total				1452,57	96,84

Berdasarkan tabel 5, menunjukkan rata-rata efisiensi *ripple mill* pada setiap perlakuan variasi tekanan sterilisasi, yang menunjukkan bahwa perubahan tekanan memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap efisiensi *ripple mill*. Perlakuan dengan tekanan yang lebih tinggi T5 menghasilkan efisiensi terbaik, yaitu 97,37%, sedangkan perlakuan dengan tekanan yang lebih rendah T4 menghasilkan efisiensi sebesar 96,62%. Meskipun terdapat perbedaan nilai antar perlakuan, seluruh perlakuan dari T1 hingga T5 tetap berada di atas ambang batas efisiensi minimum yang ditetapkan oleh PT. XYZ, yaitu > 96%, sehingga dapat disimpulkan bahwa kelima perlakuan telah memenuhi standar efisiensi *ripple mill* yang berlaku.

Tabel 6. Analisis keragaman Efisiensi *Ripple mill*

Sumber Keragaman	db	jk	kt	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	4	1,163	0,290	1,227 ^{tn}	3,48%	5,99%
Galat/error	10	2,368	0,236			
Total	14	3,531				

Keterangan : ^{tn} = tidak berpengaruh nyata

Berdasarkan hasil analisis keragaman (ANAKA) dalam tabel 6, terlihat bahwa nilai diketahui bahwa nilai F hitung sebesar 1,227 lebih kecil dari F tabel pada taraf 5% (3,48) dan 1% (5,99). Artinya, secara statistik, tidak berpengaruh nyata antara perlakuan variasi tekanan sterilisasi terhadap efisiensi *ripple mill* yang dihasilkan. Dengan kata lain, meskipun ada perubahan tekanan

dalam proses sterilisasi, perubahan tersebut tidak cukup besar untuk menyebabkan perbedaan yang signifikan dalam efisiensi pemisahan *nut* oleh *ripple mill*.

Hasil menunjukkan bahwa semua perlakuan T1 hingga T5 memenuhi standar efisiensi *ripple mill* (>96%) secara deskriptif. Namun, analisis statistik menunjukkan tidak berpengaruh nyata, karena $F_{hitung} < F_{tabel}$. Ini mengindikasikan bahwa tekanan sterilisasi dalam rentang yang digunakan belum berpengaruh terhadap efisiensi, dan kemungkinan ada faktor lain yang lebih dominan.

Salah satu alasan utama variasi tekanan tidak berpengaruh nyata adalah karena rentang tekanan yang digunakan, 2,46 – 2,85 bar, masih berada dalam batas optimal sterilisasi. Tekanan ini sudah cukup efektif untuk melunakkan buah dan mengurangi kadar air dalam *nut*, sehingga tidak menimbulkan perubahan besar pada karakteristik fisik *nut*. Karena tidak ada perlakuan tekanan yang ekstrem, perbedaan sifat *nut* antar perlakuan pun kecil, sehingga dampaknya terhadap efisiensi *ripple mill* tidak tampak berpengaruh secara statistik. Menurut (Fortuna et al., 2024), juga menyatakan bahwa meskipun sterilisasi mempengaruhi sifat fisik kelapa sawit, selama tekanannya dalam batas wajar, perubahan tersebut tidak terlalu besar dan efisiensi pemecahan di *ripple mill* cenderung stabil.

Efisiensi *ripple mill* pada semua perlakuan mencapai lebih dari 96%, menunjukkan bahwa proses pemecahan *nut* sudah optimal di seluruh kondisi tekanan yang diuji. Dalam situasi ini, peluang peningkatan efisiensi menjadi sangat terbatas. Meskipun efisiensi cenderung meningkat pada tekanan yang lebih tinggi, perbedaan tersebut tidak berpengaruh nyata menurut analisis statistik.

Variasi tekanan yang sempit belum cukup efektif untuk menghasilkan perubahan suhu atau efek termal yang berdampak pada struktur *nut*, sehingga proses pemecahan masih dalam batas toleransi kerja mesin. Tekanan sterilisasi hanya akan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi *ripple mill* jika nilai tekanannya jauh di bawah atau di atas batas optimal. Tekanan ekstrem tersebut dapat memengaruhi kadar air pada inti kelapa sawit (*nut*).

Dengan demikian, meskipun secara teori tekanan memengaruhi kondisi fisik *nut* dan hasil pemecahan, variasi tekanan dalam penelitian ini belum cukup lebar untuk menunjukkan pengaruh terhadap efisiensi *ripple mill*. Temuan ini menunjukkan bahwa dalam kondisi operasional yang stabil, *ripple mill* mampu mempertahankan performa optimal meski terjadi variasi tekanan di kisaran normal produksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi tekanan sterilisasi dalam rentang 2,46 – 2,85 bar tidak memberikan pengaruh terhadap kadar Asam Lemak Bebas (ALB), persentase *Unstripped Bunch (USB)*, maupun efisiensi *ripple mill*. Ketiga parameter tersebut menunjukkan hasil yang relatif seragam, di mana kadar ALB rata-rata sebesar 4,18%, persentase *USB* rata-rata sebesar 2,91%, dan efisiensi *ripple mill* rata-rata sebesar 96,91%.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rentang tekanan yang lebih luas atau variabel lain seperti suhu dan waktu, serta memperbanyak jumlah data, agar pengaruhnya terhadap kualitas minyak sawit dan efisiensi proses dapat terlihat lebih jelas dan hasil yang diperoleh lebih representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Fortuna, D., Sovia, E., & Rahmi, S. L. (2024). Pengaruh penggunaan microwave oven terhadap proses sterilisasi buah kelapa sawit. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 12(1), 126–135. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v12i1.585>
- Hikmawan, O., & Angelina, R. (2019). Pengaruh Variasi Waktu dan Tekanan Terhadap Kehilangan Minyak pada Air Kondesat diunit Sterilizer Pabrik kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 14(28), 33–39.
- Hikmawan, O., Naufa, M., & Indriani, B. M. (2021). Pengaruh Jarak Rotor Terhadap Efisiensi Pemecahan Biji Pada Stasiun Ripple Mill Di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 16(31), 14–21.
- Miciak, J., W. Pat Taylor, Karla K. Stuebing, Jack M. Fletcher, and S. V. (2016). Designing Intervention Studies: Selected Populations, Range Restrictions, and Statistical Power. *Physiology & Behavior*, 176(3), 556–569. <https://doi.org/10.1080/19345747.2015.1086916>.
- Kasmin, N. H., Zubairi, S. I., Lazim, A. M., & Awang, R. (2020). Thermal treatments on the oil palm fruits: Response surface optimization and microstructure study. *Sains Malaysiana*, 49(9), 2301–2309. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4909-27>
- Mendissa, J. I., & SP, M. P. (2025). *Teknik Budidaya Tanaman Kelapa Sawit*. Teknik Budidaya Tanaman Kelapa Sawit. Google Books. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=hGxREQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA51&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Nadzim, M. U. K. H., Yunus, R., Omar, R., & Lim, B. Y. (2020). Factors Contributing to Oil Losses in Crude Palm Oil Production Process in Malaysia: A Review. *International Journal of Biomass and Renewables*, 9(1), 10. <https://doi.org/10.61762/ijbrvol9iss1art7706>
- Obibuzor, J. U., Okogbenin, E. A., & Abigor, R. D. (2012). Oil Recovery from Palm Fruits and Palm Kernel. *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*, 299–328. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50014-9>
- Pakdeechot, S., Hanifarianty, S., & Wae-hayee, M. (2020). The Effects of Sterilization Time of FFB on Fruit-Bunch Separation and Crude Palm Oil Quality Using Direct Steaming. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 72(1), 1–9. <https://doi.org/10.37934/aram.72.1.19>
- Pelawi, F. K., Dharmawati, N. D., Studi, P., Pertanian, T., & Pertanian, F. T. (2024). Analisis Perbandingan Jumlah Rotor terhadap Efisiensi Ripple Mill. *AGROFORETECH*, 2(September), 1607–1617.
- Sarah, M. (2015). Effects of Time and Temperature on Process and Crude Palm. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 1–263.
- Siregar, E. S. (2014). Pengaruh tekanan dan waktu perebusan terhadap kehilangan minyak pada air kondensat di stasiun perebusan dengan menggunakan sistem tiga puncak (triple peak) di PTPN IV Pabatu-Tebing Tinggi [universitas sumatera utara]. <https://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/76869/112401090.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Siswanto, J. E., & Topan, A. (2023). Analisis Kebutuhan Uap Pada Stasiun Sterilizer Di Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 1(2), 12–22. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.2>
- Suhaini, S., & Maryati, S. (2023). Analysis of Water Content and Improvement Content on Quality of Palm Kernel in Kernel Bin Pt Socfindo Seunagan Garden. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(1), 159–168.
- Thang, Y. M., Yunus, R., Mokhtar, M. N., Appleton, D. R., Asis, A. J., Kong, P. S., Teh, H. F., & Ariffin, A. A. (2021). Roles and principles of sterilisation process in palm oil mills. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29(4), 2705–2722. <https://doi.org/10.47836/PJST.29.4.26>
- Winardi, R. R., & Prasetyo, H. A. (2022). Pengendalian Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) Pada Proses Produksi Crude Palm Oil (CPO) dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Control of Free Fatty Acid (ALB) Levels in Crude Palm Oil (CPO) Production Process with Failure Mode and Effect Analy. *AGRILAND Jurnal Ilmu Pertanian*, 10(2), 137–143. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/agriland>