

Pengaruh Kerusakan dan Lama Penyimpanan Tandan Buah Segar (TBS) Terhadap Asam Lemak Bebas (ALB)

The Impact of Physical Damage and Storage Duration of Fresh Fruit Bunches (FFB) on Free Fatty Acid (FFA) Levels in Crude Palm Oil

Trias Maulana Sahil Mahfudz*, Nuraeni Dwi Dharmawati, Gani Supriyanto

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*E-mail Korespondensi: triasmaulana255@gmail.com

Diterima: 23 Maret 2025; Disetujui: 23 April 2025

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh tingkat kerusakan tandan buah segar (TBS) dan lama penyimpanan terhadap kadar asam lemak bebas (ALB) dalam minyak sawit mentah (CPO). Penelitian dilakukan dengan desain faktorial menggunakan tiga kategori tingkat kerusakan TBS, yaitu tanpa kerusakan (X1), rusak ringan (X2), dan rusak sedang (X3), serta enam tingkat lama penyimpanan (0–5 hari). Hasil menunjukkan bahwa kadar ALB meningkat seiring bertambahnya lama penyimpanan, dengan laju peningkatan yang lebih signifikan pada buah yang mengalami kerusakan fisik. TBS tanpa kerusakan menunjukkan kadar ALB dari 1,25% pada hari ke-0 menjadi 2,29% pada hari ke-5. Sebaliknya, pada TBS rusak ringan, kadar ALB meningkat dari 2,68% menjadi 6,73%, sedangkan TBS rusak sedang mengalami lonjakan dari 3,34% hingga mencapai 9,47%. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa kerusakan fisik mempercepat aktivitas enzim lipase dan proses hidrolisis lemak yang berdampak langsung pada kenaikan ALB. Hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan adanya interaksi yang signifikan antara tingkat kerusakan TBS dan lama penyimpanan terhadap kadar ALB ($p < 0,05$). Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan TBS yang optimal, khususnya dengan meminimalkan kerusakan fisik dan mempercepat proses pengolahan untuk menjaga mutu minyak sawit mentah. Oleh karena itu, penerapan sistem logistik yang efisien dan teknik penanganan buah yang tepat menjadi langkah strategis untuk menekan peningkatan kadar ALB akibat kerusakan dan penyimpanan yang terlalu lama.

Kata kunci: Tandan buah segar (TBS); lama penyimpanan, kerusakan buah; Free Fatty Acids (ALB); minyak sawit mentah (CPO).

ABSTRACT

This study analyzes the effect of fresh fruit bunch (FFB) damage levels and storage duration on the free fatty acid (FFA) content in crude palm oil (CPO). The research employed a factorial design with three categories of FFB damage levels: undamaged (X1), slightly damaged (X2), and moderately damaged (X3), combined with six levels of storage duration (0–5 days). The results indicate that FFA content increases with longer storage periods, with a more significant rate of increase observed in physically damaged fruits. Undamaged FFB showed an increase in FFA content from 1.25% on day 0 to 2.29% on day 5. In contrast, slightly damaged FFB exhibited an increase from 2.68% to 6.73%, while moderately damaged FFB showed a sharp rise from 3.34% to 9.47%. These significant differences indicate that physical damage accelerates lipase enzyme activity and fat hydrolysis, which directly contributes to the increase in FFA content. Analysis of variance (ANOVA) revealed a significant interaction between the FFB damage level and storage duration on FFA content ($p < 0.05$). These findings underscore the importance of optimal FFB management, particularly in minimizing physical damage and expediting processing, to maintain the quality of crude palm oil. Therefore, the implementation of an efficient logistics system and proper fruit handling techniques is a strategic step to suppress FFA content increases caused by excessive damage and prolonged storage.

Keywords: Fresh Fruit Bunch (FFB); storage duration; fruit damage; Free Fatty Acids (FFA); Crude Palm Oil (CPO).

PENDAHULUAN

Mutu minyak sawit sangat dipengaruhi oleh kadar asam lemak bebas (ALB) kadar kotoran, kadar air, karoten dan DOBI yang terbentuk selama proses pengolahan. Minyak sawit berkualitas standar mengandung tidak lebih dari 5% ALB, 0,1% kadar kotoran, 0,25% kadar air, 500 ppm karoten dan 2,3 DOBI sumber SNI 01-2901-2006. Produksi buah dengan kualitas baik akan menghasilkan rendemen CPO sebesar 23,2–27,4% dengan kadar ALB di bawah 3% (Hasibuan, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa kualitas TBS harus dipertahankan untuk memastikan rendemen yang

tinggi dan mutu minyak yang baik (Pane, Gunawan, & Wirianata, 2023).

SNI 01-2901-2006 menjelaskan minyak sawit berkualitas standar mengandung tidak lebih dari 5% ALB. Jika kadar ALB dalam minyak kelapa sawit melebihi standar yang ditetapkan, kualitas minyak akan menurun secara signifikan. Kadar ALB yang tinggi dapat menyebabkan ketengikan, perubahan rasa, dan warna pada minyak, serta menurunkan nilai jual CPO, yang berpotensi mengakibatkan kerugian bagi perusahaan (Yuandry & Irdawati, 2024). Tingginya kadar ALB dapat disebabkan oleh berbagai faktor dan tentunya

juga dapat menurunkan rendemen minyak yang dihasilkan (Vaughan, 2017).

Kerusakan fisik pada buah sawit dapat terjadi selama proses pembentukan buah, pemanenan, transportasi, dan penyimpanan TBS. Perlakuan fisik yang kasar serta gangguan teknis alat dan mesin, tentunya dapat menyebabkan buah rusak. Luka pada buah kelapa sawit dapat menstimulasi konversi molekul minyak menjadi ALB dengan laju yang sangat tinggi, sehingga kandungan ALB meningkat dengan cepat (Suparyanto dan Rosad, 2020). Kerusakan TBS menyebabkan peningkatan kadar ALB akibat aktivitas enzim lipase yang menghidrolisis rantai asam lemak dan menghasilkan ALB yang dapat memengaruhi kualitas minyak sawit secara signifikan (Method et al., 2022). Kerusakan brondolan berdampak negatif terhadap kualitas CPO, sehingga pengelolaan TBS yang baik menjadi penting untuk menjaga mutu minyak sawit (Edyson, Murgianto, Ardiyanto, Astuti, & Ahmad, 2022).

Kadar ALB yang tinggi menandakan terjadinya hidrolisis trigliserida akibat enzim lipase yang aktif pada buah sawit yang rusak atau disimpan terlalu lama. Peningkatan ALB dapat menurunkan mutu minyak sawit karena mempengaruhi warna, bau, rasa, serta kestabilan penyimpanan minyak. Secara ekonomi, tingginya kadar ALB menyebabkan nilai jual minyak sawit menurun, karena tidak memenuhi standar mutu ekspor dan industri hilir, seperti industri makanan dan kosmetik. Oleh karena itu, pengendalian kadar ALB sejak tahap pascapanen sangat penting untuk menjaga kualitas dan daya saing minyak sawit di pasar global (Sundram et al., 2003).

Dalam pengangkutan kelapa sawit, ada buah yang tidak terangkut tepat waktu ke pabrik. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor operasional, logistik, dan manajerial. (Edyson et al., 2022). Hal ini juga disebabkan oleh berbagai faktor terutama pada stasiun *loading ramp*, seperti tingginya volume buah yang masuk secara bersamaan atau panen puncak (*peak crop*) sehingga pada kondisi ini pengangkutan buah dapat terjadi lebih lama dari yang direncanakan (Vaughan, 2017).

TBS yang tidak terangkut akan mengalami pembusukan dan kerusakan fisik sehingga memicu terbentuknya ALB yang dapat menurunkan mutu CPO. Buah ini dapat menghidrolisis rantai asam lemak, menghasilkan ALB yang dapat menyebabkan kualitas CPO menurun (Nurfiquh, Hakim, & Muhammad, 2021).

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh tingkat kerusakan buah terhadap ALB, mengkaji pengaruh lama penyimpanan terhadap ALB, dan menganalisis interaksi antara kerusakan buah dan lama penyimpanan terhadap ALB dalam minyak sawit.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. Kapuas Indo Palm Industri yang berlokasi di Empanang, Provinsi Kalimantan Barat, selama satu bulan, yaitu dari tanggal 1 Juni hingga 30 Juni 2024.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain karung, besi pengait, sterilizer, serta berbagai alat ukur untuk analisis laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tandan buah segar (TBS) dengan tiga tingkat kerusakan yang berbeda. Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi larutan IPA (isopropil alkohol), larutan PP (fenolftalein), dan larutan NaOH.

Persiapan bahan

Penentuan kerusakan buah dilakukan dengan memilih buah dalam kondisi matang memuaskan, kemudian mengukur tingkat kerusakan menggunakan kertas milimeter blok. Buah dikategorikan ke dalam tiga kondisi, yaitu X1 (buah baik tanpa kerusakan atau memar), X2 (buah memar ringan dengan total luas kerusakan 1 cm²) dan X3 (buah memar sedang dengan total luas kerusakan 1-2 cm²) (Krisdiarto & Sutiarso, 2016). Pengaturan lama penyimpanan dilakukan dengan menyimpan sampel di lokasi yang sama selama 5 hari tanpa naungan, yaitu di lantai loading ramp, untuk memungkinkan terjadinya pembusukan alami sesuai suhu udara dan cuaca. Durasi penyimpanan diatur dari hari ke-0 hingga hari ke-5, dengan pengamatan harian guna mencatat perubahan kadar ALB akibat interaksi antara tingkat kerusakan fisik dan durasi penyimpanan.

Pengukuran kadar ALB

Pengukuran dilakukan setiap hari, dari hari ke-0 hingga hari ke-5 sehingga terhitung 6, kadar ALB diukur pada setiap sampel baik untuk kategori buah sempurna maupun buah rusak. Pengukuran dilakukan dengan metode titrasi untuk memperoleh data yang akurat mengenai perubahan kadar ALB seiring waktu. Prosedur analisa adalah sebagai berikut: Timbang 3-5 gram sampel minyak kemudian tambahkan 50 ml iso propil alkohol yang sudah dinetralisasi dan 4 tetes indikator phenolphtalein, lalu kocok hingga homogen, setelah homogen titrasi dengan larutan standar natrium atau potassium hidroksida 0,1 n tetes demi tetes sampai timbul warna jingga yang dapat bertahan minimal 30 detik. Kemudian kalkulasi dengan rumus :

$$\%FFA = \frac{25,6 \times t \times N}{W} \tag{1}$$

Keterangan :

T = Volume larutan natrium hidroksida yang digunakan (ml)

N = Normalitas larutan natrium hidroksida

W = Berat sampel minyak yang digunakan

Sumber: (Vaughan, 2017).

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan desain faktorial dua arah yang bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kerusakan fisik buah kelapa sawit dan lama penyimpanan terhadap ALB dalam minyak sawit. Dengan dua faktor utama yaitu kerusakan TBS (X) dan lama penyimpanan (R), untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kadar ALB. Tingkat kerusakan tersebut terdiri atas: *Tanpa Kerusakan (X1), Rusak Ringan dengan Total Luas Kerusakan Sekitar ±1 cm² (X2), dan Rusak Sedang Dengan Total Luas Kerusakan Antara 1–2 cm² (X3)*. TBS diamati berdasarkan lama penyimpanan terdiri atas: mulai dari 0 hari (R0), 1 hari (R1), 2 hari (R2), 3 hari (R3), 4 hari (R4), dan 5 hari (5R).



Gambar 1. Buah dengan kondisi tanpa kerusakan (X1)



Gambar 2. Buah dengan kondisi rusak ringan luas 1 cm² (X2)



Gambar 3. Buah dengan kondisi rusak sedang 1-2 cm² (X3)

Sampel Penelitian

Sampel yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi tiga tingkat kerusakan yaitu buah dengan kondisi tanpa kerusakan (X1), buah dengan kondisi rusak ringan (X2) luas kerusakan 1 cm², buah dan buah dengan kondisi kerusakan sedang (X3) luas kerusakan 1-2 cm². Pada Gambar 1, 2 dan 3 disajikan kondisi buah tanpa kerusakan, rusak ringan dan rusak sedang.

Pada Gambar 1 ditandai dengan kondisi fisik yang sempurna tanpa mengalami rusak ataupun memar. Pada gambar 2 terlihat buah pada kondisi rusak ringan mengalami luka fisik yang ditandai dengan memar ringan dengan total luas kerusakan 1 cm². Pada Gambar 3 terlihat tingkat kerusakan yang dialami tampak lebih jelas di bandingkan dengan kondisi buah rusak ringan. Kategori kerusakan di tandai dengan buah rusak sedang luas kerusakan 1-2 cm². Kondisi ini dapat terjadi selama proses panen dan pasca panen namun pada area grading perlakuan fisik yang sangat berkontribusi terhadap kerusakan buah yaitu akibat proses pendorongan buah menggunakan alat berat, dimana kondisi alat berat sudah mengalami penurunan performa sehingga dalam proses pendorongan buah di butuhkan ancap - ancap untuk bisa melakukan pendorongan.

Analisis Data

Setelah dilakukan Analisis Varians (ANOVA) Faktorial apabila hasil yang ditampilkan ($p < 0.05$) maka akan dilakukan uji lanjut duncan (DMRT) yang tujuannya untuk mengelompokkan perlakuan yang berbeda nyata, menunjukkan bahwa ALB meningkat signifikan pada buah dengan kerusakan lebih parah dan lama penyimpanan lebih panjang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar ALB yang tinggi pada minyak sawit dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap kualitas dan nilai ekonomis minyak. Secara fisik, ALB yang tinggi mempercepat proses ketengikan (*rancidity*), sehingga minyak kehilangan aroma dan rasa segarnya. Hal ini juga dapat memengaruhi stabilitas penyimpanan minyak, membuatnya lebih rentan terhadap oksidasi. Standar kadar

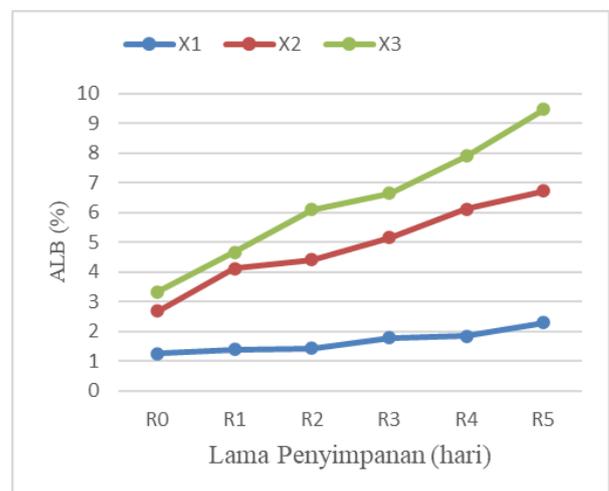
ALB yang diperbolehkan dalam *crude palm oil* (CPO) adalah kurang dari 5%. Dalam penelitian ini menganalisis ALB pada kondisi buah utuh dan rusak setiap harinya, mengetahui peningkatannya ALB berdasarkan lama penyimpanan dan kerusakan buah.

Kerusakan Buah

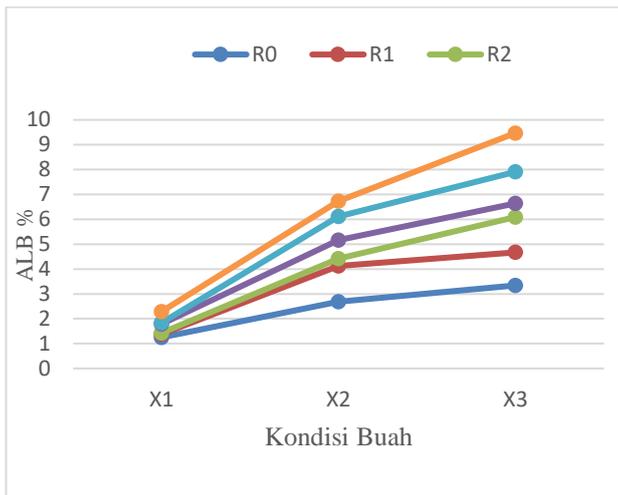
Kerusakan fisik pada buah sawit dapat terjadi selama proses pembentukan buah, pemanenan, transportasi, dan penyimpanan TBS. perlakuan fisik yang kasar serta gangguan teknis alat dan mesin, tentunya dapat menyebabkan buah rusak (Hasibuan, 2020). Kerusakan buah kelapa sawit di pabrik dapat terjadi akibat perlakuan fisik yang kurang hati-hati selama proses penanganan. Beberapa faktor penyebabnya meliputi perlakuan kasar saat sortasi, di mana buah diperlakukan tanpa memperhatikan kondisi fisiknya, buah yang jatuh dari ketinggian, baik saat bongkar muat maupun selama proses pengangkutan, juga rentan mengalami kerusakan. Penggunaan alat berat yang kasar akan menimbulkan benturan keras, selama proses penanganan turut berkontribusi terhadap kerusakan. Kerusakan ini dapat memicu keluarnya enzim lipase dari jaringan buah yang rusak, sehingga mempercepat peningkatan kadar ALB dalam minyak yang dihasilkan.

Buah Tidak Terangkut

Buah tidak terangkut adalah TBS yang tidak segera diolah setelah dipanen, sehingga mengalami keterlambatan pemerossesan (Pane et al., 2023). Hal ini dapat terjadi baik secara sengaja maupun tidak sengaja. Buah tidak terangkut secara sengaja disebabkan oleh pengaturan ketersediaan buah yang sengaja ditunda pengolahannya untuk diproses pada hari berikutnya, dengan jumlah buah yang disesuaikan kapasitas olah pabrik. Dalam kondisi normal, penundaan pengangkutan biasanya hanya berlangsung selama satu hingga dua hari. Namun, penundaan yang tidak disengaja dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti tingginya volume buah yang masuk secara bersamaan, lambatnya proses sortasi, kerusakan pada alat dorong buah, gangguan pada komponen alat pendukung, keterbatasan kapasitas tampung, penyumbatan pada pintu hopper, serta kegiatan perawatan atau perbaikan (*maintenance*) mesin pabrik. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan penumpukan tandan buah segar (TBS), sehingga terjadi penyimpanan yang lebih lama dari seharusnya. Kondisi ini berpotensi menurunkan kualitas bahan baku apabila tidak segera ditangani secara optimal.



Gambar 4. Grafik perbandingan kenaikan ALB pada kondisi buah



Gambar 5. Grafik kondisi kerusakan Buah X1, X2 dan X3 pada lama penyimpanan 0 – 5 hari

Data menunjukkan bahwa kadar ALB pada TBS meningkat seiring bertambahnya lama penyimpanan, kenaikan yang lebih signifikan terjadi pada buah yang mengalami kerusakan. TBS tanpa kerusakan memiliki kadar ALB terendah, sementara TBS dengan kerusakan ringan (X2) dan sedang (X3) mengalami peningkatan lebih cepat. Kerusakan fisik mempercepat proses oksidasi dan aktivitas enzimatis, menyebabkan ALB pada TBS rusak sedang (X3) mencapai 9,47% di R5, jauh lebih tinggi dibandingkan X1 (2,29%). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan dan semakin parah kerusakan, semakin cepat kualitas buah menurun, yang berdampak pada mutu minyak sawit yang dihasilkan.

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa semakin lama waktu penyimpanan maka ALB akan meningkat, peningkatan ALB yang signifikan terjadi pada kondisi rusak ringan dan rusak sedang pada tandan buah segar (TBS) kelapa sawit seiring dengan lamanya penyimpanan. Secara alami, kadar ALB meningkat sekitar 0,1% setiap 24 jam setelah panen. namun jika terdapat kerusakan fisik pada buah, seperti memar atau luka, peningkatan kadar ALB dapat terjadi lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh pecahnya dinding sel dan aktivitas enzim lipase yang lebih intensif pada buah yang mengalami kerusakan (Krisdiarto, Sutiarso, & Widodo, 2017).

Berdasarkan Gambar 5. terlihat bahwa kadar ALB meningkat seiring dengan bertambahnya lama penyimpanan dan perubahan perubahan kondisi buah, semakin lama waktu penyimpanan, semakin tinggi pula kadar ALB yang terbentuk. Pola ini menunjukkan bahwa buah dengan kondisi lebih buruk memiliki kadar ALB tertinggi di setiap tingkat lama penyimpanan, menegaskan bahwa baik waktu penyimpanan maupun tingkat kerusakan buah berkontribusi terhadap peningkatan ALB.

Kerusakan fisik pada buah kelapa sawit, seperti luka atau memar akibat perlakuan kasar, dapat mempercepat peningkatan ALB dalam CPO. Penelitian menunjukkan bahwa buah dengan kondisi rusak ringan dan rusak sedang mengalami lonjakan ALB yang signifikan sebelum 24 jam, ALB mencapai 2,68% pada kondisi buah rusak ringan dan 3,34% pada kondisi buah rusak sedang, peningkatan ini terjadi akibat pecahnya molekul minyak yang mempercepat konversi minyak menjadi ALB.

Sementara itu, buah yang mengalami keterlambatan pengolahan cenderung matang berlebihan hingga membusuk, yang turut meningkatkan kadar ALB. (Hariz, Syafrudin, & Sudarno, 2010) mencatat bahwa dalam 16 jam,

ALB mencapai 1,28% dan meningkat menjadi 1,61% setelah 24 jam disimpan. Artinya, buah yang mengalami kerusakan fisik berkontribusi besar terhadap peningkatan kadar ALB bahkan sebelum memasuki proses penyimpanan. Selain itu, aktivitas mikroba yang menghasilkan enzim lipase juga turut mempercepat peningkatan kadar ALB. Lingkungan dengan suhu dan kelembapan tinggi mendukung pertumbuhan mikroba, sehingga mempercepat proses hidrolisis lemak oleh enzim tersebut dan menyebabkan kadar ALB meningkat lebih cepat (Atik Munfarida, 2021).

Interaksi Antara Tingkat Kerusakan Buah dan Lama penyimpanan

Interaksi antara tingkat kerusakan buah dan lama penyimpanan menunjukkan adanya pola peningkatan kadar ALB yang signifikan seiring bertambahnya durasi waktu penyimpanan, dengan laju peningkatan yang lebih tinggi pada buah yang mengalami kerusakan dibandingkan buah yang tetap utuh. Hal ini dapat dijelaskan oleh proses oksidasi dan hidrolisis trigliserida yang terjadi lebih cepat pada buah yang mengalami luka atau memar, yang menyebabkan enzim lipase untuk lebih aktif dalam menghidrolisis lemak menjadi ALB (Anugrah Aulia, Edi Santosa, 2009).

Penelitian menunjukan buah yang mengalami kerusakan fisik memiliki permeabilitas sel yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan laju reaksi enzimatik yang berkontribusi terhadap peningkatan kadar ALB selama penyimpanan. Selain itu, studi oleh (Nurfiqih et al., 2021) menjelaskan buah yang disimpan dapat menghidrolisis rantai asam lemak, menghasilkan ALB yang dapat menyebabkan kualitas CPO menurun dan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan selama penyimpanan, seperti suhu dan kelembapan, turut berperan dalam mempercepat reaksi hidrolisis pada buah yang sudah mengalami kerusakan, dibandingkan buah yang masih dalam kondisi utuh. Dengan demikian, temuan ini memperkuat teori bahwa tingkat kerusakan buah memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan ALB selama penyimpanan, yang berimplikasi pada penurunan kualitas minyak sawit mentah yang dihasilkan.

Tabel 3. menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan, maka kadar ALB yang dihasilkan cenderung semakin tinggi. Hal ini terlihat pada kombinasi buah dengan tingkat kerusakan sedang yang disimpan selama 5 hari, menghasilkan kadar ALB tertinggi, yaitu sebesar 9,47%. Perlakuan tersebut berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi perlakuan lainnya, seperti kerusakan sedang dengan penyimpanan 4 hari dan kerusakan ringan dengan penyimpanan 3 hari. Peningkatan kadar ALB ini disebabkan oleh aktivitas enzim lipase yang memecah molekul minyak menjadi ALB. Aktivitas enzim tersebut dapat dihentikan secara fisik melalui proses pemanasan pada suhu yang mampu mendenaturasi protein, misalnya dengan merebus buah pada suhu di atas 70°C selama 30 menit (Naibaho, 1998) dalam (Anugrah Aulia, Edi Santosa, 2009).

Interaksi nyata antara kerusakan tandan buah segar (TBS) dengan lama penyimpanan terhadap kadar ALB dalam minyak sawit merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas minyak yang dihasilkan. TBS yang mengalami kerusakan akibat benturan, pemanenan yang tidak tepat, transportasi yang tidak hati-hati serta perlakuan yang kasar dapat memicu proses hidrolisis *enzimatis* yang menyebabkan peningkatan kadar ALB dalam minyak sawit (Suparyanto dan Rosad, 2020). Selain itu, lama penyimpanan sebelum TBS diproses di pabrik kelapa sawit juga berkontribusi terhadap kenaikan ALB karena semakin lama buah dibiarkan, semakin banyak enzim lipase yang aktif dalam memecah trigliserida menjadi ALB dan bisa menyebabkan buah busuk (Susanti & Lestari, 2021).

Tabel 1. Rata-rata kadar ALB pada kerusakan TBS dan lama penyimpanan

Kerusakan TBS	Lama penyimpanan					
	R0	R1	R2	R3	R4	R5
Tanpa Kerusakan	1,25 %	1,38 %	1,43 %	1,79 %	1,84 %	2,29 %
Rusak Ringan	2,68 %	4,12 %	4,42 %	5,16 %	6,12 %	6,73 %
Rusak Sedang	3,34 %	4,46 %	6,09 %	6,64 %	7,91 %	9,47 %

Tabel 2. Hasil uji anova

SV	dB	JK	KT	F Hitung	Signifikansi	Keterangan
Perlakuan	17	522,98	30,71	227,90	0,000	Berbeda Nyata
Kerusakan TBS	2	344,05	172,02	1276,64	0,000	Berbeda Nyata
Lama Penyimpanan	5	134,21	26,84	199,20	0,000	Berbeda Nyata
Kerusakan TBS*Lama Penyimpanan	10	43,80	4,38	32,51	0,000	Berinteraksi Nyata
Galat Total	72	9,07	0,13			
	89	531,76				

Tabel 3. Pengaruh kerusakan TBS dan lama penyimpanan terhadap ALB

Kerusakan TBS	Lama Penyimpanan (Hari)					
	0	1	2	3	4	5
Tanpa Rusak	1,25 ^l	1,38 ^{lm}	1,43 ^{lm}	1,79 ^k	1,84 ^{ik}	2,29 ^{ij}
Rusak Ringan	2,67 ⁱ	4,12 ^g	4,42 ^g	5,15 ^e	6,12 ^d	6,72 ^c
Rusak Sedang	3,34 ^h	4,66 ^f	6,09 ^d	6,63 ^c	7,90 ^b	9,47 ^a

Keterangan: Angka rerata yang diikuti huruf yang sama pada kolom atau baris menunjukkan tidak berbeda berdasarkan hasil Uji DMRT 5%.

(+) : Terdapat interaksi

Kerusakan fisik pada TBS mempercepat reaksi hidrolisis yang menyebabkan pemecahan molekul trigliserida menjadi ALB. Proses ini semakin intensif jika TBS mengalami kerusakan pada jaringan mesokarpnya, di mana enzim lipase yang terdapat di dalam buah memiliki akses langsung untuk memecah lemak Nasution Tarigan et al., (2019). Ketika TBS yang telah mengalami kerusakan disimpan dalam kondisi yang tidak optimal selama beberapa hari, maka peningkatan ALB menjadi tidak terhindarkan. Oleh karena itu, penting bagi industri kelapa sawit untuk meminimalkan kerusakan mekanis pada TBS dan mempercepat proses pengolahan agar kadar ALB tetap berada dalam batas yang diperbolehkan.

Selain faktor kerusakan dan lama penyimpanan, kondisi lingkungan selama penyimpanan juga berpengaruh terhadap akumulasi ALB. Suhu dan kelembaban tinggi dapat mempercepat aktivitas enzim lipase serta meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme yang juga berkontribusi dalam proses degradasi minyak sawit (Lestari & Wicaksono, 2024).

Dalam praktik industri, batas maksimal kadar ALB yang diperbolehkan dalam minyak sawit mentah (CPO) biasanya tidak lebih dari 5% untuk memenuhi standar kualitas ekspor (Rahmawati & Utami, 2023). Namun, dengan adanya interaksi antara kerusakan TBS dan lama penyimpanan yang dapat menghasilkan kadar ALB hingga 9,47%, maka diperlukan langkah-langkah mitigasi yang lebih baik dalam rantai pasok kelapa sawit. Salah satu strategi yang dapat diterapkan adalah dengan menerapkan sistem logistik yang lebih efisien serta memperbaiki metode panen dan transportasi untuk mengurangi kerusakan TBS sebelum mencapai pabrik pengolahan (Yoga & Saputro, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, peningkatan kadar ALB dalam minyak kelapa sawit dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi fisik tandan buah segar (TBS) dan lama penyimpanan. Data menunjukkan bahwa TBS tanpa kerusakan mengalami peningkatan kadar ALB dari 1,25% pada hari ke-0 (R0) menjadi 2,29% pada hari ke-5. Sementara itu, TBS dengan kerusakan ringan mengalami peningkatan dari 2,68% (R0) menjadi 6,73%, dan TBS rusak sedang menunjukkan lonjakan kadar ALB dari 3,34% hingga 9,47%. Peningkatan yang jauh lebih cepat pada buah rusak menegaskan bahwa kerusakan fisik secara langsung mempercepat proses hidrolisis lemak oleh enzim lipase, sehingga menghasilkan kadar ALB yang lebih tinggi dalam waktu penyimpanan yang sama. Selain itu, hasil analisis varians (ANOVA) menunjukkan adanya interaksi yang signifikan antara tingkat kerusakan TBS dan lama penyimpanan terhadap kadar ALB ($p < 0,05$), yang memperkuat bahwa kedua faktor tersebut saling memengaruhi secara nyata. Dengan demikian, kerusakan fisik pada buah berperan penting dalam mempercepat peningkatan kadar ALB, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas minyak kelapa sawit yang dihasilkan. Oleh karena itu, penanganan TBS yang hati-hati dan pengolahan yang cepat menjadi strategi penting dalam menjaga mutu minyak sawit.

Implikasi praktis dari temuan ini sangat penting bagi industri kelapa sawit, terutama dalam proses pascapanen dan pengolahan awal. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa kerusakan fisik TBS dan lama penyimpanan secara signifikan meningkatkan kadar ALB, maka langkah-langkah preventif harus diterapkan sejak di

tingkat petani hingga pabrik pengolahan. Petani dianjurkan untuk memanen buah dengan hati-hati guna menghindari kerusakan mekanis pada TBS, misalnya dengan menggunakan alat panen yang tajam, mengurangi perlakuan fisik yang dapat merusak buah dan teknik pemanenan yang benar untuk mencegah buah mengalami kerusakan. Selain itu, pengangkutan TBS dari kebun ke pabrik sebaiknya dilakukan menggunakan sarana yang dapat meminimalkan tekanan dan benturan pada buah, seperti menggunakan karung atau kontainer khusus yang dilapisi. Di sisi pabrik, manajemen penyimpanan harus menjadi perhatian utama. TBS sebaiknya segera diproses maksimal dalam waktu 24 jam sejak panen untuk mencegah peningkatan kadar ALB yang drastis, terutama pada buah yang sudah menunjukkan gejala kerusakan. Selain itu proses pengumpulan TBS pada loading ramp harus lebih diperhatikan terutama saat penggunaan alat berat dalam proses pendorongan buah yang tentunya dapat menyebabkan TBS mengalami kerusakan fisik yang tinggi. Pabrik juga dapat menetapkan standar penerimaan TBS berdasarkan tingkat kerusakan fisik, sehingga mendorong petani untuk menyuplai buah dengan kualitas yang lebih baik. Strategi ini tidak hanya menjaga kualitas minyak sawit mentah, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi bagi semua pihak dalam rantai pasok karena tingginya mutu produk akan berbanding lurus dengan harga jual di pasar domestik maupun ekspor. Dengan kata lain, praktik panen dan logistik yang baik menjadi kunci utama dalam mempertahankan mutu minyak sawit dan daya saing industri secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah Aulia, Edi Santosa, P. (2009). *Correlation Of Harvesting Oil Palm With Free Fatty Acid Content, Case Study At Jaw Estate (Bsp Group), Sarolangun, Jambi 1*.
- Atik Munfarida. (2021). Analisis Asam Lemak Bebas Dan Bilangan Asam Pada Produk Selai Kacang Tanah. *Pharmacognosy Magazine*, 75(17), 399–405.
- Edyson, E., Murgianto, F., Ardiyanto, A., Astuti, E. J., & Ahmad, M. P. (2022). Preprocessing Factors Affected Free Fatty Acid Content In Crude Palm Oil Quality. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(2), 177–181. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.177>
- Hariz, A. R., Syafrudin, & Sudarno. (2010). Pengaruh Penggunaan Larutan Kalsium Karbonat (Caco3) Terhadap Kadar Asam Lemak Bebas Buah Kelapa Sawit Restan Ari. *Journal Penelitian*, 3(1), 1–10. Retrieved From <http://eprints.undip.ac.id/40874/>
- Hasibuan, H. A. (2012). Kajian Mutu Dan Karakteristik Minyak Sawit Indonesia Serta Produk Fraksinasinya. *Jurnal Standardisasi*, 14(1), 13. <https://doi.org/10.31153/js.v14i1.51>
- Hasibuan, H. A. (2020). Pengaruh Penyiraman Dan Perendaman Tandan Buah Kelapa Sawit Terhadap Berat Tandan Buah Kelapa Sawit Dan Asam Lemak Bebas Minyak Sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 25(1), 11–16. <https://doi.org/10.22302/lopri.war.warta.v25i1.9>
- Krisdiarto, A. W., & Sutiarto, L. (2016). Effect Of Estate Road Damage And Fresh Fruit Bunch Position In Truck Bin On Oil Palm Transportation Performance. *Agritech*, 36(2), 219–225.
- Krisdiarto, A. W., Sutiarto, L., & Widodo, K. H. (2017). Optimasi Kualitas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Dalam Proses Panen-Angkut Menggunakan Model Dinamis Optimization Of Oil Palm Fresh Fruit Bunch Quality In Harvesting-Transportation Process Using A Dynamic Model. *Jurnal Neliti*, 37(1), 101–107.
- Lestari, D. U., & Wicaksono, D. A. (2024). Pengaruh Media Terbuka Dan Tertutup Terhadap Kadar Asam Lemak Bebas Pada Kondisi Suhu Kamar. *Masaliq*, 4(2), 516–522. <https://doi.org/10.58578/Masaliq.V4i2.2752>
- Nurfiqih, D., Hakim, L., & Muhammad. (2021). Pengaruh Suhu, Persentase Air, Dan Lama Penyimpanan Terhadap Persentase Kenaikan Asam Lemak Bebas (Alb) Pada Crude Palm Oil (Cpo). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(Mei), 85–100.
- Pane, R. A., Gunawan, S., & Wirianata, H. (2023). Analisis Dampak Busuk Tandan Buah Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Crude Palm Oil Di Pt. Psam. 1, 946–954.
- Rahmawati, E., & Utami, M. (2023). Analisis Kadar Asam Lemak Bebas Dan Kadar Air Pada Crude Palm Oil Di Laboratorium Pt. Bina Pitri Jaya Mill. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 7(2), 26–35. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol7.iss2.art4>
- Suparyanto Dan Rosad. (2020). Analisis Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Crude Palm Oil (Cpo). *Suparyanto Dan Rosad*, 5(3), 248–253.
- Sundram, K., Sambanthamurthi, R., & Tan, Y. A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12(3), 355–362.
- Susanti, I., & Lestari, F. (2021). Pengaruh Waktu Penundaan Pengolahan Buah Sawit Elaeis Guineensis Terhadap Mutu Crude Palm Oil Dengan Alat Pengolahan Sawit Tipe Batch. *Jurnal Biosilampari : Jurnal Biologi*, 3(2), 56–64. <https://doi.org/10.31540/Biosilampari.V3i2.1265>
- Tarigan, S. M., Febrianto, E. B., & Cik, L. A. (2019). Pengaruh Konsentrasi Giberelin (Ga3) Dengan Waktu Aplikasi Sebelum Panen Terhadap Mutu Fisik Tandan Buah Segar Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.). *Jurnal Agro Fabrica*, 1(2), 62–70. <https://doi.org/10.47199/Jaf.V1i2.106>
- Vaughan, C. Of. (2017). Pengaruh Kerusakan Buah Kelapa Sawit Terhadap Kandungan Free Fatty Acid Dan Rendemen Cpo Di Kebun Talisayan 1 Berau The. 14(1), 55–64.
- Yoga, T., & Saputro, A. J. (2024). Optimalisasi Transportasi Tandan Buah Segar (Tbs) Dalam Industri Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 02(1), 20–28. Retrieved From <http://jurnal.minartis.com/index.php/jepag/>
- Yuandry, S., & Irdawati, I. (2024). Analisis Pengaruh Tingkat Free Fatty Acid (Ffa) Terhadap Kualitas Crude Palm Oil (Cpo) Pada Pabrik Industri Kelapa Sawit Pt. Agro Muko Po. Mill. *Biocelebes*, 18(1), 13–19. <https://doi.org/10.22487/Bioceb.V18i1.16882>