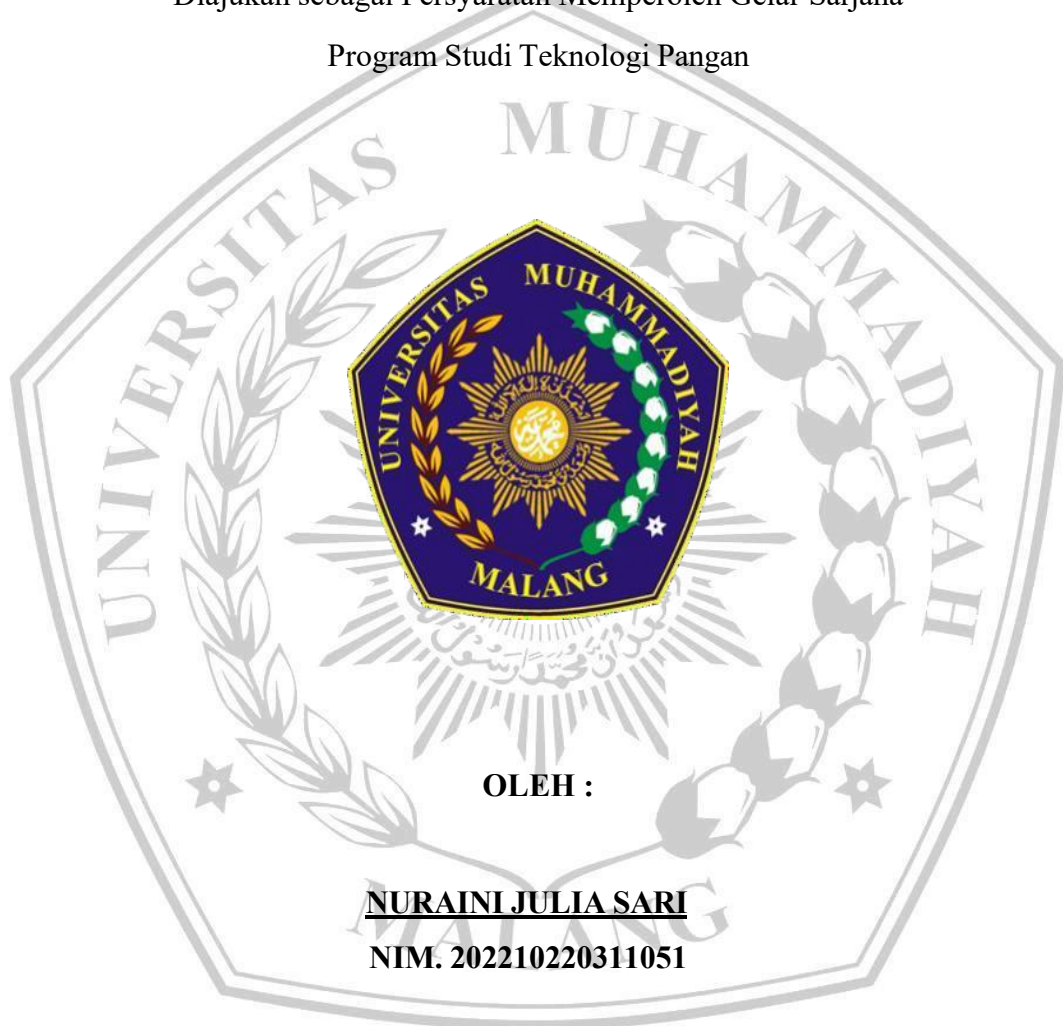


202210220311051
Nuraini Julia Sari
Prodi Teknologi Pangan

**ANALISIS KADAR AIR DAN ALB PADA BERBAGAI POSISI
SAMPLING DALAM STORAGE TANK CRUDE PALM OIL (CPO)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Teknologi Pangan



OLEH :

NURAINI JULIA SARI
NIM. 202210220311051

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN-PETERNAKAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG**

2026

202210220311051
Nuraini Julia Sari
Prodi Teknologi Pangan

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS KADAR AIR DAN ALB PADA BERBAGAI POSISI SAMPLING DALAM STORAGE TANK CRUDE PALM OIL (CPO)

Oleh:

NURAINI JULIA SARI
NIM : 202210220311051

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing 1

Malang, 24 Juni 2026

c.n. kepro di


Prof. Dr. Ir. Damat, MP., IPM
NIP: 196402281990031003

Dosen Pembimbing 2

Malang, 24 Juni 2026



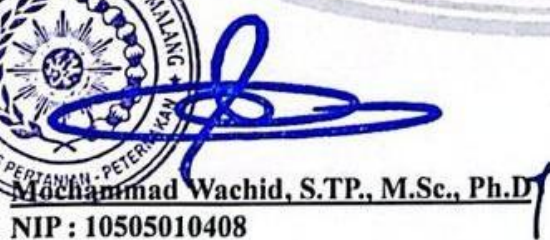
Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si
NIP : 180929121990

Malang,
Menyetujui : 24 Juni 2026


Wakil Dekan 1
Fakultas Pertanian - Peternakan

Ketua Program Studi
Teknologi Pangan




Mochamad Wachid, S.TP., M.Sc., Ph.D
NIP : 10505010408




Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si
NIP : 180929121990

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KADAR AIR DAN ALB PADA BERBAGAI POSISI SAMPLING DALAM STORAGE TANK CRUDE PALM OIL (CPO)

Oleh :
NURAINI JULIA SARI
NIM : 202210220311051

Disusun berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Pertanian - Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang Nomor: E.2.b/092/FPP-UMM/11/2026 dan rekomendasi Komisi Skripsi Fakultas Pertanian - Peternakan UMM pada tanggal: 06 Maret 2026 dan keputusan Ujian Sidang yang dilaksanakan pada tanggal: 29 Mei 2026.

Dewan Penguji

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Damat, MP., IPM.
NIP : 196402281990031003

Pembimbing Pendamping

Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si.
NIP : 180929121990

Penguji Utama

Dahlia Elianarni, S.TP., M.Sc.
NIP : 20230110051997

Penguji Pendamping

Afifa Husna, STP., MTP., MSc.
NIP : 20210709061994

Dekan Fakultas
Pertanian - Peternakan



Prof. Dr. Warkoyo, M.P., IPM.
NIP : 196403031992031015

Ketua Program Studi
Teknologi Pangan



Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si.
NIP : 180929121990

202210220311051
Nuraini Julia Sari
Prodi Teknologi Pangan

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Nuraini Julia Sari

NIM : 202210220311051

Program Studi : Teknologi Pangan

Fakultas : Pertanian - Peternakan

Perguruan Tinggi: Universitas Muhammadiyah Malang

Menyatakan dengan sebenarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi atau karya ilmiah berjudul **ANALISIS KADAR AIR DAN ALB PADA BERBAGAI POSISI SAMPLING DALAM STORAGE TANK CRUDE PALM OIL (CPO)**

1. Skripsi ini adalah milik saya sendiri yang disusun berdasarkan serangkaian penelitian yang saya lakukan dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar pada program sejenis diperguruan tinggi manapun, semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.
2. Penulis skripsi ini tidak ada plagiasi, duplikasi ataupun replikasi terhadap hasil penelitian ini dari pihak-pihak manapun yang menyebarkan hasil penelitian ini tidak otentik, kecuali secara tertulis diacu dalam skripsi dan disebutkan rujukannya dalam daftar pustaka.
3. Skripsi ini disusun berdasarkan persetujuan dan bimbingan dari dewan pembimbing dan telah diujikan dihadapan dewan penguji tugas akhir Program Studi ^{Pangan} Teknologi Fakultas Pertanian - Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan bertanggung jawab.

Malang, 12 Juni 2026

Mengetahui Dosen Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Damat, MP., IPM.
NIP: 196402281990031003

Yang Menyatakan



Nuraini Julia Sari
NIM : 202210220311051

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Analisis Stratifikasi Mutu *Crude Palm Oil* (CPO) Berdasarkan Parameter Kadar ALB dan Kadar Air Pada Titik yang Berbeda Dalam Storage Tank. Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan bimbingan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Warkoyo, M.P., IPM selaku Dekan Fakultas Pertanian - Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang.
2. Bapak Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si selaku Ketua Program Studi Fakultas Pertanian Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Damat, MP., IPM dan Bapak Hanif Alamudin Manshur, S.Gz., M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, dan masukan pada penulis dengan sabar selama proses penyusunan skripsi berlangsung.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian – Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang yang telah mengajari dan memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Kedua orang tua, kakak dan keluarga tercinta yang selalu mendoakan dengan tulus, mendukung, memberikan motivasi saya selama kuliah ini hingga proses penyusunan skripsi ini.
6. Kepada Salsa, Rina, Asfi yang menjadi sahabat penulis sejak awal di kelas perkuliahan. Segala canda, tawa, suka, sedih, dan diskusi larut malam menjadi bagian dari perjuangan yang tidak terasa sendiri. Bersama kalian, hari-hari di kampus berubah menjadi cerita yang layak dikenang. Penulis merasa sangat bersyukur dipertemukan oleh orang yang tulus, setia, dan ceria seperti kalian. Terima kasih telah bertahan di sisi penulis di kala banyak masalah yang dihadapi bersama. Kalian bukan sekedar teman, tapi bagian dari perjalanan yang akan hidup dalam ingatan penulis.
7. Seluruh teman – teman Program Studi Teknologi Pangan khususnya kelas D yang telah memberi support dan motivasi penulis, yang tidak dapat disebutkan

satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan balasan yang baik kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis.

8. Kepada Abid Ma'ruf Habibulloh, Terima kasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan hidup penulis menyusun skripsi. Berkontribusi baik tenaga, waktu, menemani, mendukung, serta menghibur penulis dalam kesedihan, mendengarkan keluh kesah dan meyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan skripsi ini terselesaikan.
9. Nuraini Julia Sari, Diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya yang telah berjuang untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Sulit bisa bertahan sampai dititik ini, terima kasih untuk tetap hidup dan merayakan dirimu sendiri, walaupun seringkali putus asa atas apa yang sedang diusahakan. Tetaplah jadi manusia yang mau berusaha dan tidak lelah untuk berjuang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Selanjutnya penulis menyampaikan permohonan maaf apabila ada kekurangan dan kesalahan yang sebesar-besarnya. Atas perhatiannya disampaikan terima kasih banyak.

Malang, 29 Mei 2026



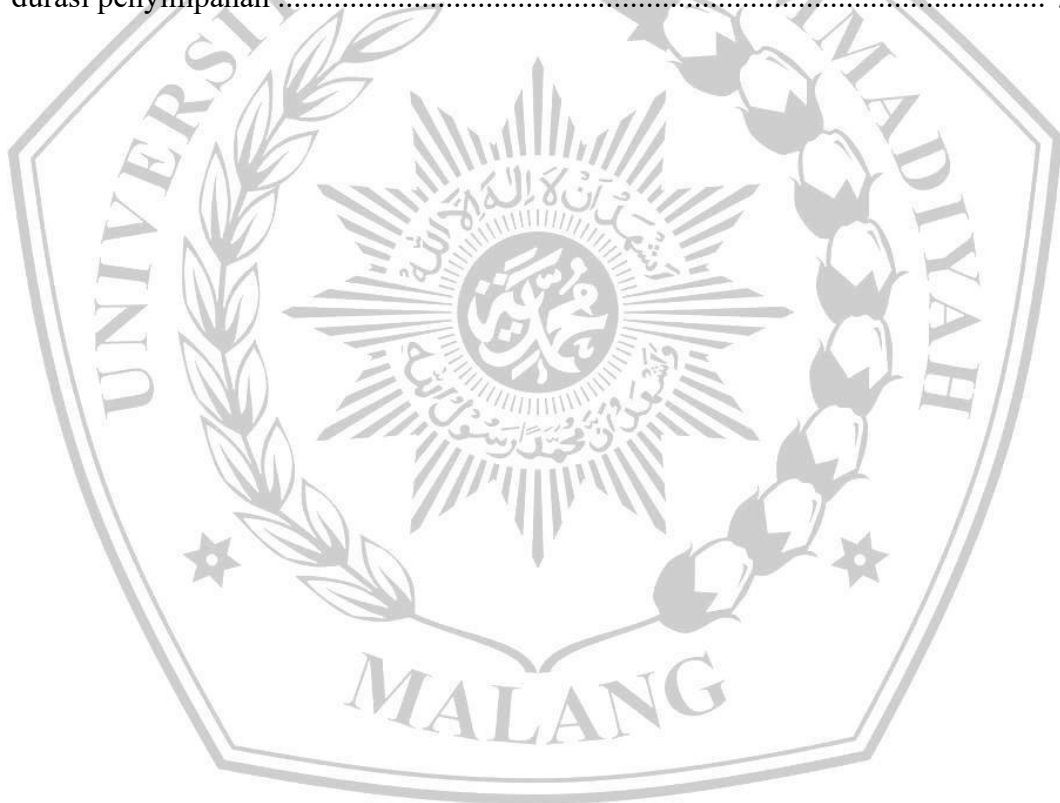
Nuraini Julia Sari
NIM 202210220311051

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT.....	10
1. Pendahuluan	1
2. Metodologi	3
Tempat dan Waktu	3
Rancangan Percobaan.....	3
Prosedur	3
Pengujian Kadar ALB (Asam Lemak Bebas) (MPOB p2.5:2004)	4
Pengujian Kadar Air (AOAC, 2005).....	4
Analisis Data	5
3. Hasil dan Pembahasan.....	5
Grafik kadar air CPO.....	9
Grafik kadar Asam lemak bebas (ALB) pada CPO.....	10
Standar SNI kadar air dan kadar ALB.....	12
4. Kesimpulan dan Saran.....	12
Kesimpulan.....	12
Saran.....	13
DAFTAR PUSTAKA.....	14
LAMPIRAN.....	16

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perlakuan Sampel Titik pengambilan dan lama penyimpanan.....	3
Tabel 2. Kadar air (%) CPO di tiga bagian tangki pada beberapa durasi penyimpanan.....	5
Tabel 3. Kadar asam lemak bebas (%) CPO di tiga bagian tangki pada beberapa durasi penyimpanan	7



DAFTAR LAMPIRAN

1.1. Tinjauan Parameter Mutu Crude Palm Oil.....	16
1.2. Peran Kadar Air dalam Proses Hidrolisis.....	16
1.3. Dinamika Operasional Storage Tank dan Variasi Mutu.....	17
1.4. Analisis Variasi Mutu pada Berbagai Titik Sampling.....	18
2. Uji Pengaruh Perlakuan (Two-Way ANOVA)	19
2.1 Uji Lanjut (Post Hoc Test)	19
Lampiran 2. Dokumentasi	19



ANALISIS KADAR AIR DAN ALB PADA BERBAGAI POSISI SAMPLING DALAM STORAGE TANK CRUDE PALM OIL (CPO)

Nuraini Julia Sari, Damat, Hanif Alamudin Manshur

**Program studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian – Peternakan,
Universitas Muhammadiyah Malang, Indonesia**

nurainijuliasari@gmail.com

ABSTRAK

Crude Palm Oil (CPO) merupakan komoditas penting di sektor industri dan pangan. Dalam pengolahan CPO, storage tank berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sebelum minyak didistribusikan atau diproses lebih lanjut. Namun yang sering terjadi di lapangan, pengambilan sampel mutu hanya dilakukan dari satu titik, misalnya keran tengah atau bawah, tanpa mempertimbangkan kemungkinan perbedaan kualitas antar lapisan dalam tangki. Padahal secara fisik, CPO dalam tangki tidak sepenuhnya homogen. Perbedaan densitas akibat suhu dan waktu simpan dapat menyebabkan air serta padatan mengendap ke dasar, sementara lapisan atas cenderung lebih ringan. Akibatnya, kadar air dan Asam Lemak Bebas (ALB) bisa berbeda antara lapisan atas, tengah, dan bawah. Fenomena ini disebut stratifikasi mutu. Penelitian ini bertujuan menganalisis variasi mutu CPO berdasarkan kadar air dan ALB pada titik berbeda dalam tangki penyimpanan. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah posisi sampling yang terdiri atas tiga taraf yaitu atas, tengah, dan bawah. Faktor kedua adalah lama penyimpanan yang terdiri atas tiga taraf yaitu 24 jam, 96 jam, dan 144 jam. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran nyata bahwa pengambilan sampel satu titik tidak cukup representatif. Dengan demikian, industri perlu meninjau ulang prosedur monitoring mutu di storage tank secara komprehensif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Posisi Sampling, Mutu CPO, Waktu Simpan, Homogenitas

ABSTRACT

Crude Palm Oil (CPO) is an important commodity in the industrial and food sectors. In CPO processing, storage tanks serve as temporary holding vessels before the oil is distributed or further processed. However, a common issue in the field is that quality sampling is only conducted from a single point, such as the middle or bottom valve, without considering the possibility of quality differences between layers within the tank. Physically, CPO in the tank is not completely homogeneous. Differences in density due to temperature and storage time can cause water and solids to settle at the bottom, while the upper layer tends to be lighter. Consequently, water content and Free Fatty Acid (FFA) levels may differ between the top, middle, and bottom layers. This phenomenon is known as quality stratification. This study aims to analyze the variation in CPO quality based on water content and FFA at different sampling points within the storage tank. The method used is a factorial Randomized Block Design with two factors. The first factor is sampling position consisting of three levels: top, middle, and bottom. The second factor is storage duration consisting of three levels: 24 hours, 96 hours, and 144 hours. The results of this study are expected to provide a clear illustration that single-point sampling is not sufficiently representative. Therefore, the industry needs to review its quality monitoring procedures at storage tanks comprehensively and sustainably.

Keywords: Sampling Position, CPO Quality, Storage Duration, Homogeneity

1. Pendahuluan

Crude Palm Oil (CPO) adalah komoditas strategis bagi Indonesia, menyumbang 35% dari keseluruhan ekspor minyak nabati global (USDA, 2023). Nilai ekonomi CPO sangat tergantung pada kualitasnya, yang secara langsung mempengaruhi efektivitas proses hirilisasi dan harga jual di pasar internasional. Kualitas CPO umumnya dinilai melalui parameter kimia dan fisik, dimana kandungan Asam Lemak Bebas (ALB) dan Kadar air adalah dua indikator utama yang sangat penting (SNI 01-2901-2021). Tingginya kadar ALB (di atas 5%) dapat mengurangi hasil pemurnian hingga 15% dan secara signifikan meningkatkan biaya produksi biodiesel (Tavakkoli et al, 2015). Urgensi penelitian ini penting karena pengambilan sampel CPO dari storage tank saat ini masih satu titik dan berisiko tidak mewakili isi tangki akibat stratifikasi. Padahal keputusan pengiriman dan blending bergantung pada akurasi data mutu. Selain itu, penelitian empiris tentang perbedaan kadar air dan ALB pada berbagai posisi sampling dengan variasi lama simpan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk membuktikan variasi mutu antar lapisan dan merekomendasikan prosedur sampling yang lebih representatif bagi industri.

Dalam industri minyak sawit, Crude Palm Oil (CPO) merupakan produk utama yang dihasilkan dari serangkaian proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS). Mulai dari perebusan, penebahan, pengempaan, hingga klarifikasi, semua tahapan itu bertujuan untuk mendapatkan CPO dengan mutu terbaik. Setelah keluar dari proses klarifikasi, CPO kemudian disimpan sementara di storage tank sebelum akhirnya dijual atau diolah lebih lanjut. Di sinilah peran storage tank menjadi penting, karena waktu penyimpanan, kondisi suhu, dan lingkungan sekitar dapat mempengaruhi perubahan mutu CPO secara perlahan namun signifikan. Masalahnya, selama ini pengendalian mutu di storage tank masih mengandalkan pengambilan sampel secara periodik (misalnya setiap beberapa jam atau setiap hari) lalu dikirim ke laboratorium. Cara seperti ini sebenarnya sudah cukup umum, tapi punya kelemahan besar. Karena analisis lab butuh waktu, hasil yang diperoleh seringkali tidak lagi menggambarkan kondisi aktual CPO saat sampel diambil. Akibatnya, kalau terjadi penurunan mutu di dalam tangki, operator baru sadar setelah beberapa jam kemudian. Padahal saat itu, CPO mungkin sudah tercampur,

atau bahkan sudah dikirim ke tangki lain. (Pal and Matuska 2019).

Dari sisi teknis, kondisi di dalam storage tank juga tidak seragam. Penelitian menunjukkan bahwa gradien suhu vertikal atau thermal stratification bisa terbentuk akibat perpindahan panas dari dinding tangki dan lingkungan luar. Kondisi ini menyebabkan viskositas CPO berbeda antara lapisan atas dan bawah, yang pada akhirnya mempengaruhi laju pengendapan air dan padatan. Akibatnya, reaksi hidrolisis bisa lebih cepat terjadi di zona dengan suhu tertentu. Fenomena seperti ini sayangnya jarang terdeteksi karena pengambilan sampel umumnya hanya dilakukan di satu titik, misalnya dari keran tengah atau bawah. (Kartawidjaja et al, 2024).

Peningkatan tingkat ALB terutama diakibatkan oleh reaksi hidrolisis trigliserida, yang secara kinetik dipercepat oleh keberadaan air dan aktivitas enzim lipase yang tersisa selama penyimpanan (Almeida et al, 2018). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas (ALB) yang tertinggi diperoleh dari perlakuan suhu 600 C dengan lama penyimpanan 12 jam (ALB) rata-rata 3,01%. Kadar asam lemak bebas (ALB) yang tertinggi diperoleh dari perlakuan suhu 500 C dengan lama penyimpanan 24 jam yaitu dengan kadar asam lemak bebas (ALB) rata-rata 4,89% (Fabrica 2024). Hal ini menjadi tantangan besar mengingat bahwa penyimpanan CPO dalam tangki besar (1.000-5.000 ton) biasanya bersifat statis untuk waktu tertentu sebelum tahap lanjutan. Lebih lanjut, variasi kondisi operasional pabrik seperti fluktuasi aliran umpan dan perbedaan waktu retensi antar batch turut berkontribusi terhadap ketidakhomogenan awal kualitas CPO yang masuk ke dalam tangki penyimpanan (Renjani, Sugiarto, dan Dharmawati 2020).

Penelitian mengenai variasi mutu Crude Palm oil (CPO) dalam tangki penyimpanan telah banyak dilakukan. Diantaranya, studi startifikasi dan perubahan kualitas CPO dalam tangki vertikal besar mengungkap variasi signifikan parameter Asam Lemak Bebas (ALB/FFA) dan kadar air pada kedalaman berbeda, seperti pengamatan Renjani, Sugiarto, dan Dharmawati (2020), yang menemukan peningkatan FFA hingga 0,13%/hari tanpa agitator akibat stratifikasi. Berdasarkan kompleksitas masalah, tujuan penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara mendalam variasi kualitas CPO berdasarkan parameter kadar ALB dan kadar air pada titik yang berbeda dalam storage tank.

1. Metodologi

1.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di laboratorium PKS PT. Asam Jawa di Desa Pengarungan, Kecamatan Torgamba, Kabupaten Labuhanbatu Selatan, Provinsi Sumatera Utara pada bulan Oktober 2025 - November 2025.

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bacon bomb sampler merk palm sampler bahan stainless steel, oven laboratorium (120 ° C) merk memmert rentang suhu 200 ° C, botol timbang, botol ukuran 100mL, neraca analitik merk sartorius kapasitas 200-220 gram, pipet tetes, set titrasi merk iwaki pyrex, pipet ukur merk pyrex, erlenmeyer dan sarung tangan lateks. Kemudian bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *crude palm oil* (CPO) yang diperoleh dari storage tank PKS PT. Asam Jawa, etanol, indikator pp dan KOH.

2.3 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dalam storage tank yang terdiri atas 3 taraf yaitu atas, tengah, bawah. Faktor kedua yaitu lama penyimpanan yang terdiri atas 3 taraf (24 jam, 96 jam, 144 jam). Kombinasi dari kedua faktor dengan 3 taraf tersebut menghasilkan 9 kelompok pengamatan seperti tabel 1 berikut :

Tabel 1. Perlakuan Sampel Berdasarkan Titik pengambilan dan lama penyimpanan

Titik pengambilan	Lama Penyimpanan (A)		
	A1 (24 jam)	A2 (96 jam)	A3 (144 jam)
Atas (B1)	B1	B1	B1
Tengah (B2)	B2	B2	B2
Bawah (B3)	B3	B3	B3

2.4 Prosedur

Pengambilan sampel CPO diambil dari tiga unit storage tank (tangki nomor 1, 2, dan 5) di PKS PT. Asam Jawa. Dilakukan secara vertikal pada tiga kedalaman tangki dengan kedalaman (upper 8 meter, middle 5 meter, lower 2 meter) pada tiga titik dalam storage tank.

Sampel awal diambil sebagai baseline ($t=0$), kemudian dilakukan pengambilan sampel ulang pada tiga interval waktu berbeda yaitu setelah 24 jam, 96

jam, dan 144 jam penyimpanan. Setiap kombinasi titik dan waktu diambil sebanyak 3 kali ulangan menggunakan botol sampel 100 ml sebanyak 3 botol, kemudian pengujian kadar air menggunakan botol timbang dan ditimbang di neraca analitik dengan berat 20 gr. Setelah itu sampel yang sudah di timbang dimasukkan ke dalam oven (120 ° C) selama 4 jam, kemudian sampel dikeluarkan dan ditimbang kembali untuk menghasilkan hasil yang akurat. Pengujian kadar ALB (asam lemak bebas) dengan menggunakan alat set titrasi, pengambilan sampel menggunakan pipet tetes sebanyak 2 g dengan alat erlenmeyer, kemudian dilakukan titrasi dengan menambahkan NaOH sebanyak 3 tetes, setelah itu di titrasi menggunakan larutan KOH.

2.5 Pengujian Kadar ALB (Asam Lemak Bebas) (MPOB p2.5:2004)

Pengujian kadar Asam Lemak Bebas (ALB) dilakukan dengan metode titrasi alkalimetri sesuai standar MPOB p2.5:2004. Tahapan pelaksanaannya dimulai dengan mengambil sampel CPO menggunakan pipet tetes sebanyak 2 g dan menimbanginya secara teliti ke dalam erlenmeyer 250 mL. Kemudian, ke dalam sampel tersebut ditambahkan hexsana dan kemudian penambahan ethanol diikuti dengan penambahan 3 tetes indikator phenolphthalein (PP) 1%. Larutan segera dititrasi menggunakan larutan KOH 0,1 N yang telah distandarisasi hingga terbentuk warna merah muda (pink) stabil selama minimal 30 detik. Volume KOH yang digunakan dicatat untuk perhitungan kadar ALB dengan rumus :

$$Kadar\ ALB = 2,56 \times \frac{ml\ titrasi}{berat\ sampel}$$

Setiap sampel dari kombinasi titik dan waktu dianalisis sebanyak 3 kali ulangan untuk menjamin keandalan data.

2.6 Pengujian Kadar Air (AOAC, 2005)

Penentuan kadar air dalam sampel Crude Palm Oil (CPO) dilakukan dengan metode pengeringan oven (*oven drying method*). Sebanyak 20 gram sampel CPO yang telah dihomogenkan dari setiap titik dan waktu penyimpanan ditimbang secara teliti menggunakan neraca analitik ke dalam botol timbang yang telah diketahui berat kosongnya. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam hingga mencapai berat konstan. Setelah proses pengeringan, sampel didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali. Perbedaan berat sebelum dan sesudah

pengeringan digunakan untuk menghitung persentase kadar air dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat sampel} + \text{Berat cawan}}{\text{Berat sampel}}$$

Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali ulangan untuk setiap sampel guna memastikan akurasi dan presisi data yang diperoleh.

2.7 Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan software SPSS statistic 25. Data kadar air dan ALB CPO dinyatakan dalam rata-rata \pm standar deviasi, perbedaan nilai parameter antar kelompok pengamatan di analisis dengan uji Two way Anova. Pada taraf 5% jika ditemukan perbedaan signifikan maka dilakukan uji lanjut (post hoc) Tuckey.

2. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran kadar air CPO dari tiga bagian tangki (atas, tengah, bawah) pada tiga durasi penyimpanan (24 jam, 96 jam, 144 jam) disajikan pada Tabel 2. Secara umum, kadar air yang terukur berkisar antara 0,107% hingga 0,187%. Seluruh nilai tersebut berada di bawah batas maksimum Standar Nasional Indonesia (SNI 01-2901-2021) yaitu 0,5%, yang mengindikasikan bahwa CPO yang disimpan masih memenuhi standar mutu nasional untuk parameter kadar air. Hasil pengukuran kadar air tiga bagian tangki dari beberapa durasi penyimpanan disajikan dalam tabel 3 berikut :

Tabel 2. Kadar air (%) CPO di tiga bagian tangki pada beberapa durasi penyimpanan

Bagian tangki	Lama Penyimpanan (A)		
	24 jam (A1)	96 jam (A2)	144 jam (A3)
Atas (B1)	0,117 \pm 0,035 ^a	0,107 \pm 0,032 ^a	0,120 \pm 0,026 ^a
Tengah (B2)	0,137 \pm 0,006 ^{ab}	0,143 \pm 0,012 ^{ab}	0,157 \pm 0,042 ^{ab}
Bawah (B3)	0,140 \pm 0,046 ^b	0,187 \pm 0,005 ^b	0,167 \pm 0,025 ^b

Keterangan :

Nilai kadar air dituliskan sebagai rata-rata \pm standar deviasi. ^{a,b}Angka-angka yang diikuti oleh *huruf superscript* yang berbeda pada kolom yang sama, menunjukkan perbedaan signifikan pada taraf $\alpha = 0,05$

Berdasarkan tabel 2, terdapat perbedaan signifikan kadar air antar bagian pengambilan sampel ($p < 0,05$), dimana bagian bawah tangki secara konsisten menunjukkan kadar air tertinggi (0,140-0,187%), kemudian bagian tengah (0,137-0,157%), dan bagian atas (0,107-0,120%). Fenomena tersebut disebabkan oleh perbedaan massa jenis antara air dan CPO. Air memiliki massa jenis lebih besar

(sekitar 1.000 kg/m^3) dibandingkan CPO (sekitar $0,900\text{-}0,915 \text{ kg/m}^3$), sehingga air cenderung mengendap dibagian bawah tangki akibat gaya gravitasi. Proses pengendapan diperkuat oleh kondisi penyimpanan statis tanpa pengadukan, dimana tidak ada turbulensi yang cukup untuk mendistribusikan kembali air ke bagian tengah dan atas tangki. Hasil penelitian sejalan dengan temuan Bella (2018), yang menyatakan bahwa kadar air CPO selama penyimpanan dapat mencapai $0,164\text{-}0,186\%$ tergantung kondisi penyimpanan. Nilai kadar air yang diperoleh dalam penelitian ($0,107\text{-}0,187\%$) masih berada dalam rentang yang dilaporkan dalam berbagai penelitian, meskipun distribusinya tidak merata antar bagian tangki. Perbedaan nyata antara lama penyimpanan 24 jam, 96 jam, dan 144 jam disebabkan oleh akumulasi perubahan kimia/fisik selama penyimpanan. Semakin lama waktu, semakin besar degradasi yang terjadi. Pada 24 jam perubahan minimal, pada 96 jam mulai signifikan, dan pada 144 jam mencapai tahap lanjut.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tangki (sebagai ulangan/kelompok dalam RAK) tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar air ($p > 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga tangki penyimpanan (tangki 1, 2, dan 5) memiliki karakteristik yang relatif homogen, baik dari segi kondisi fisik, riwayat operasional, maupun suhu penyimpanan. Dengan demikian, variasi mutu CPO yang terdeteksi dalam penelitian ini lebih disebabkan oleh faktor posisi sampling bukan karena perbedaan antar tangki. Posisi sampling berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air ($p = 0,000$). Kadar air tertinggi ditemukan di lapisan bawah ($0,187\%$), diikuti lapisan tengah ($0,157\%$), dan terendah di lapisan atas ($0,120\%$). Hal ini disebabkan oleh perbedaan massa jenis antara air ($\approx 1.000 \text{ kg/m}^3$) yang lebih berat dibandingkan CPO ($\approx 900\text{-}915 \text{ kg/m}^3$), sehingga air mengendap di dasar tangki akibat gaya gravitasi. Kondisi tangki statis tanpa pengadukan memperkuat fenomena stratifikasi. Meskipun lama penyimpanan berpengaruh nyata secara statistik ($p = 0,010$), nilai absolut kadar air cenderung stabil dan hanya mengalami fluktuasi kecil ($0,107\text{-}0,187\%$) selama 6 hari. Stabilitas ini disebabkan oleh sistem penyimpanan yang tertutup sehingga tidak ada kontaminasi uap air dari luar, serta suhu terkontrol $50 \text{ }^\circ\text{C}$ yang tidak menyebabkan penguapan berlebih atau kondensasi.

Meskipun terdapat perbedaan antar bagian tangki, kadar air CPO tidak menunjukkan perubahan signifikan selama 144 jam (6 hari) penyimpanan ($p \geq 0,05$),

stabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sistem penyimpanan yang tertutup mencegah masuknya uap air dari lingkungan eksternal, sehingga tidak ada penambahan kadar air dari luar selama penyimpanan. Hasil penelitian sejalan dengan temuan Siahaan dkk (2019), yang melaporkan bahwa kadar air CPO dalam storage tank dengan sistem tertutup cenderung stabil selama 7 hari penyimpanan berkisar antara 0,12 – 0,20%. Hasil ini berbeda dengan temuan rajagukguk (2017), yang melaporkan peningkatan air dari 0,16% menjadi 0,27% selama 6 hari penyimpanan. Perbedaan terjadi disebabkan oleh perbedaan kondisi penyimpanan, terutama sistem pengadukan dan kontrol suhu. Penelitian lain menunjukkan bahwa sistem pengadukan dapat memperlambat kenaikan kadar air dengan mencegah stratifikasi dan distribusi panas yang lebih merata.

Berdasarkan SNI-01-2901-2021, standar kadar air CPO yang diperbolehkan adalah maksimum 0,5%. Seluruh nilai kadar air yang diperoleh dalam penelitian (0,107-0,187%) berada jauh dibawah ambang batas tersebut, sehingga dapat dinyatakan bahwa CPO yang disimpan memenuhi standar mutu nasional untuk parameter kadar air. Perbandingan dengan penelitian lain menunjukkan bahwa nilai kadar air dalam penelitian lebih rendah dibandingkan beberapa laporan sebelumnya. (Agung dkk, 2025) melaporkan kadar air CPO dalam tangki truk berkisar 0,30-0,46 %. Rendahnya kadar air dalam penelitian mengindikasikan kualitas bahan baku yang baik dan proses pengolahan yang efektif dalam memisahkan air dari minyak sebelum penyimpanan.

Hasil pengukuran kadar asam lemak bebas di tiga bagian tangki dari beberapa durasi penyimpanan disajikan dalam tabel 3 berikut :

Tabel 3. Kadar asam lemak bebas (%) CPO di tiga bagian tangki pada beberapa durasi penyimpanan

Bagian tangki	Lama Penyimpanan		
	24 jam	96 jam	144 jam
Atas	2,733 ± 0,058 ^a	2,833 ± 0,231 ^a	2,867 ± 0,153 ^a
Tengah	3,033 ± 0,322 ^a	2,700 ± 0,173 ^a	2,833 ± 0,208 ^a
Bawah	2,833 ± 0,322 ^a	2,633 ± 0,305 ^a	2,833 ± 0,153 ^a

Keterangan : Nilai kadar asam lemak bebas dituliskan sebagai rata-rata ± standar deviasi

Berdasarkan Tabel 3, tidak terdapat perbedaan signifikan kadar ALB antar bagian tangki ($p \geq 0,05$), dengan nilai berkisar antara 2,633–3,033%. Tidak adanya perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun air terakumulasi di bagian bawah tangki, akumulasi tersebut belum cukup untuk memicu peningkatan ALB secara

bermakna dalam periode 6 hari. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu reaksi hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas memerlukan air, katalis (asam atau enzim lipase), dan energi aktivasi. Pada suhu penyimpanan yang terkontrol (optimal 50°C) dan tanpa adanya enzim lipase aktif, reaksi berjalan sangat lambat. Meskipun lebih tinggi di bagian bawah, kadar air maksimum 0,187% masih tergolong rendah. Penelitian menunjukkan korelasi positif antara kadar air dan ALB, tetapi peningkatan ALB baru signifikan jika kadar air melebihi ambang tertentu. Penggunaan gas nitrogen atau kondisi inert lainnya dapat memperlambat oksidasi yang juga berkontribusi pada pembentukan asam lemak bebas. Kadar ALB juga tidak menunjukkan perubahan signifikan selama 6 hari penyimpanan ($p \geq 0,05$). Stabilitas ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang melaporkan peningkatan ALB seiring waktu. (Wahyudi 2025), melaporkan peningkatan ALB dari 4,0% menjadi 5,4% selama 6 hari, sementara penelitian lain melaporkan kenaikan ALB sebesar 0,11–0,13% per hari pada penyimpanan konvensional. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor tangki tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar ALB ($p > 0,05$), membuktikan ketiga tangki homogen. Posisi sampling juga tidak berpengaruh signifikan ($p = 0,035$ dengan perbedaan numerik kecil 2,633–3,033%). Meskipun air terakumulasi di lapisan bawah (0,187%), hal ini belum cukup memicu peningkatan ALB karena kadar air masih rendah, suhu 50°C bersifat optimum, dan enzim lipase telah tidak aktif. Lama penyimpanan 6 hari juga tidak berpengaruh, menunjukkan stabilitas kimia CPO yang baik berkat ALB awal yang rendah (<5%), sistem tangki tertutup, dan suhu terkontrol. Kadar ALB CPO stabil dan tidak terpengaruh oleh titik sampling maupun lama penyimpanan selama 6 hari.

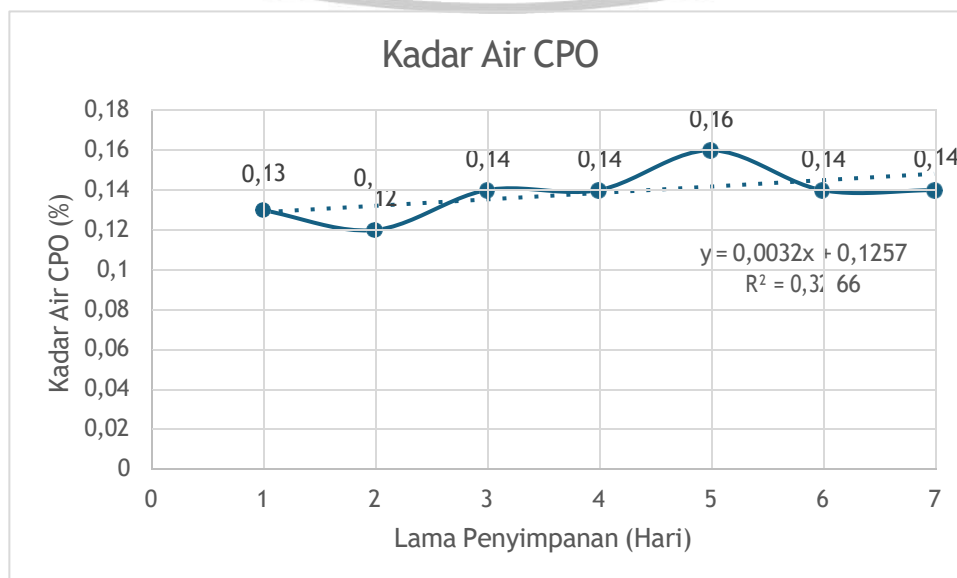
Beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas ALB yaitu ALB awal yang rendah (2,73% di bagian atas) mengindikasikan buah sawit yang diolah dalam kondisi segar, tidak mengalami keterlambatan pengolahan yang dapat memicu peningkatan ALB. Penelitian menunjukkan bahwa suhu 50 °C merupakan suhu optimum untuk mempertahankan kualitas CPO selama penyimpanan. Kemungkinan penggunaan sistem pengadukan (agitator) atau injeksi gas inert yang memperlambat kenaikan ALB hingga hanya 0,05% per hari pada sistem penyimpanan dengan pengadukan. Hasil penelitian ini berbeda dengan Wahyudi

(2019), yang melaporkan peningkatan ALB dari 4,0% menjadi 5,4% selama 6 hari, serta penelitian lain yang mencatat kenaikan ALB 0,11 - 0,13% per hari pada penyimpanan konvensional. Sebaliknya, penelitian ini (2,633 – 3,067%). Stabilitas ALB dalam penelitian ini disebabkan oleh suhu 50 °C yang terkontrol, ALB awal yang rendah, serta sistem tangki tertutup. Secara keseluruhan, seluruh nilai ALB memenuhi SNI 01-2901-2021 (maksimal 5,0%).

Berdasarkan SNI 01-2901-2021, standar kadar ALB CPO yang diperbolehkan adalah maksimum 5,0% . Seluruh nilai ALB dalam penelitian ini (2,633–3,067%) berada di bawah batas tersebut, sehingga CPO yang disimpan memenuhi standar mutu nasional untuk parameter ALB. Perbandingan dengan penelitian lain menunjukkan bahwa nilai ALB dalam penelitian ini termasuk dalam kisaran yang baik. (Karya, 2016) melaporkan nilai ALB 3– 3, 41% pada CPO. Nilai ALB yang lebih rendah dalam penelitian ini mengindikasikan kualitas CPO yang lebih baik dibandingkan beberapa penelitian lain, terutama jika dibandingkan dengan penelitian (Wahyudi, 2025) yang melaporkan ALB 4,0% pada hari pertama penyimpanan .

2.1 Grafik kadar air CPO

Salah satu parameter mutu CPO yang penting untuk dikendalikan selama penyimpanan adalah kadar air. Kadar air tinggi dapat memicu hidrolisis trigliserida serta menurunkan kestabilan minyak selama pengolahan lebih lanjut. Pola perubahan kadar air CPO tersebut disajikan pada grafik berikut :



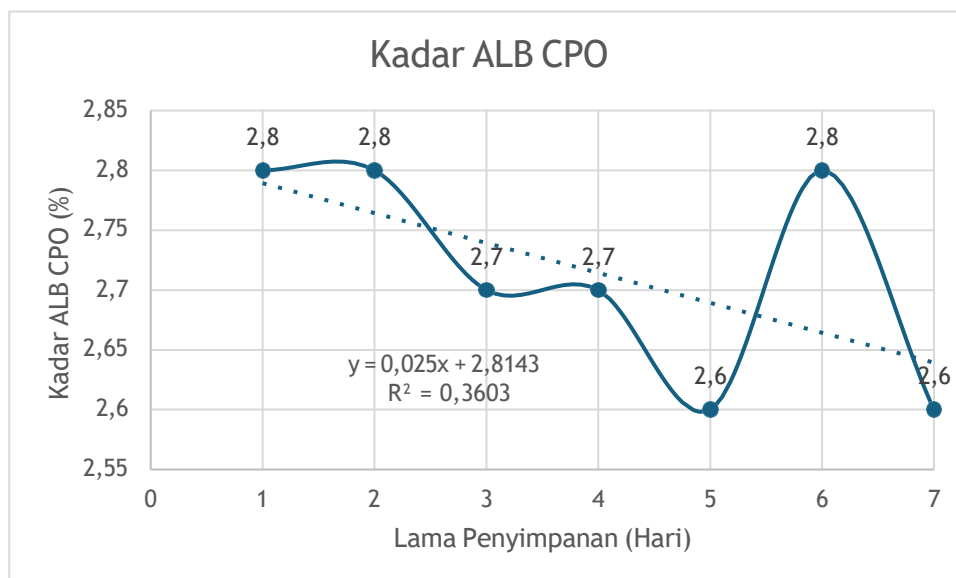
Berdasarkan grafik kadar air CPO pada hari pertama penyimpanan, secara umum terlihat bahwa kadar air cenderung stabil atau mengalami fluktuasi yang tidak signifikan dalam rentang tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi penyimpanan awal masih cukup terkendali, baik dari segi kelembaban lingkungan maupun suhu penyimpanan. Meskipun demikian, perlu dipastikan bahwa nilai kadar air tersebut masih berada di bawah batas maksimum standar mutu CPO, yaitu sekitar 0,1–0,2%. Jika kadar air melebihi batas tersebut, maka potensi terjadinya reaksi hidrolisis meningkat, yang dapat memicu kenaikan kadar Asam Lemak Bebas (ALB) dan berujung pada penurunan kualitas CPO. Oleh karena itu, meskipun data hari pertama terlihat aman, monitoring berkelanjutan tetap diperlukan untuk mendeteksi adanya tren kenaikan kadar air pada hari-hari berikutnya.

Fluktuasi kadar air yang naik turun pada grafik disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, perubahan suhu lingkungan siang dan malam menyebabkan air mengalami siklus evaporasi dan kondensasi ke dalam CPO. Kedua, variasi kecil saat pengambilan sampel dari titik berbeda (atas, tengah, bawah) mempengaruhi hasil pengukuran. Ketiga, kesalahan paralaks atau perbedaan waktu pengukuran dapat menyebabkan fluktuasi. Hasil penelitian Warmansyah (2024), menunjukkan kenaikan kadar air $\pm 0,14$ % selama 3 hari, sedangkan Harmawan (2023), melaporkan penurunan dari 0,24 % menjadi 0,23 % pada hari kelima. Hal ini membuktikan bahwa fluktuasi ringan merupakan hal yang wajar selama nilai kadar air masih berada dibawah standar SNI 01-2901-2021 (maksimal 0,5 %).

2.2 Grafik kadar Asam lemak bebas (ALB) pada CPO

Asam lemak bebas (ALB) merupakan parameter mutu penting pada CPO karena mencerminkan derajat hidrolisis minyak. Semakin tinggi kadar ALB, semakin rendah kualitas CPO dan semakin tidak tahan pada proses pengolahan lanjutan. Selama periode penyimpanan, terjadi kecenderungan peningkatan kadar ALB seiring bertambahnya waktu.

Pola perubahan kadar ALB tersebut disajikan pada grafik berikut :



Berdasarkan grafik kadar ALB CPO terhadap lama penyimpanan, terlihat bahwa terjadi kecenderungan peningkatan kadar asam lemak bebas seiring bertambahnya waktu penyimpanan. Hal ini mengindikasikan bahwa selama proses penyimpanan berlangsung, terjadi reaksi hidrolisis yang memecah trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol, yang dapat dipercepat oleh keberadaan kadar air, aktivitas enzim lipase, serta suhu penyimpanan yang kurang terkendali. Apabila peningkatan ALB ini melampaui batas maksimum standar mutu CPO yang umumnya berkisar antara 3–5%, maka kualitas CPO akan menurun dan tidak lagi optimal untuk diolah lebih lanjut maupun untuk dijual dengan harga kompetitif. Dari hasil pengamatan kedua grafik, dapat disimpulkan bahwa meskipun kadar air pada hari pertama penyimpanan masih relatif stabil dan terkendali, namun seiring bertambahnya lama penyimpanan, kadar ALB menunjukkan kecenderungan meningkat yang signifikan, sehingga mutu CPO cenderung menurun seiring waktu jika tidak dilakukan pengendalian yang baik. Oleh karena itu, disarankan agar kadar air dijaga tetap rendah di bawah 0,2%, suhu ruang penyimpanan dikendalikan tidak terlalu tinggi, serta dilakukan monitoring kadar ALB secara berkala. Penggunaan silo penyimpanan dengan sistem pengeringan atau injeksi gas inert juga dapat dipertimbangkan untuk memperlambat reaksi hidrolisis dan oksidasi, serta lama penyimpanan sebaiknya dibatasi seminimal mungkin untuk mencegah akumulasi ALB yang berlebihan.

Berdasarkan grafik kadar ALB CPO terhadap lama penyimpanan, terlihat kecenderungan peningkatan meskipun terdapat fluktuasi naik turun. Fluktuasi ini

disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, variasi suhu harian mempengaruhi laju reaksi hidrolisis; suhu yang lebih tinggi pada siang hari mempercepat pembentukan ALB, sementara suhu lebih rendah pada malam hari memperlambatnya. Kedua, distribusi air yang tidak merata antar lapisan tangki menyebabkan kadar ALB pada sampel dari titik berbeda ikut bervariasi. Ketiga, kesalahan paralaks saat titrasi atau perbedaan waktu analisis antar sampel juga berkontribusi terhadap fluktuasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wahyudi (2025) yang melaporkan peningkatan ALB dari 4,0% menjadi 5,4% selama 6 hari, serta penelitian lain yang mencatat kenaikan 0,11–0,13% per hari pada penyimpanan konvensional. Namun, berbeda dengan penelitian Karya (2016) yang melaporkan nilai ALB stabil di kisaran 3–3,41%. Secara keseluruhan, tren peningkatan ALB seiring waktu merupakan hal yang wajar akibat reaksi hidrolisis berkelanjutan, selama nilainya masih memenuhi SNI maksimal 5,0%.

2.3 Standar SNI kadar air dan kadar ALB

Parameter	Nilai hari 0-7	Standar SNI 2901-2006
Kadar air	0,1257% - 0,1481%	Maksimal 0,5%
Kadar ALB	2,8143% - 2,9893%	Maksimal 5%

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa selama 7 hari penyimpanan, kadar air CPO meningkat dari 0,1257% menjadi 0,1481%, sedangkan kadar ALB meningkat dari 2,8143% menjadi 2,9893%. Kenaikan ini terjadi karena semakin lama penyimpanan, aktivitas enzim lipase dan reaksi hidrolisis terus berlangsung. Apabila dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 01-2901-2006) untuk CPO mentah, kedua parameter ini masih jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan, yaitu kadar air maksimal 0,5% dan kadar ALB maksimal 5%. Dengan demikian, CPO tersebut dinyatakan memenuhi standar SNI dan memiliki kualitas yang baik selama periode penyimpanan 7 hari.

3. Kesimpulan dan Saran

3.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, membuktikan terjadinya stratifikasi mutu CPO dalam storage tank. Posisi sampling berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air ($p=0,000$), dengan kadar air tertinggi di lapisan bawah (0,187%) akibat sedimentasi gravitasi, sementara lama penyimpanan hingga 6 hari juga berpengaruh nyata ($p=0,010$). Sebaliknya, kadar ALB relatif stabil dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh posisi sampling maupun lama penyimpanan ($p>0,05$), dengan nilai

berkisar 2,633-3,033% selama 6 hari. Tidak terdapat interaksi antara kedua faktor, sehingga pola stratifikasi bersifat konsisten. Oleh karena itu, sampling satu titik tidak representatif dan diperlukan teknik sampling komposit dari tiga lapisan tangki untuk penilaian mutu yang akurat.

3.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, industri kelapa sawit disarankan menerapkan teknik pengambilan sampel komposit dari tiga lapisan tangki (atas, tengah, bawah) untuk mendapatkam gambaran mutu CPO yang lebih akurat, serta melakukan homogenisasi melalui sistem sirkulasi atau pengadukan sebelum pengambilan sampel maupun pengiriman.

DAFTAR PUSTAKA

- Agroindustri, J., Politeknik, T., & Industri, K. (2026). Penerapan metode trend least square dalam sistem peramalan produksi crude palm oil (CPO) dan palm kernel (PK) di PMKS PT. ABC. 68–76.
- Agung, A., Putra, D., Supriyanto, G., & Dharmawati, N. D. (2025). Analisa kenaikan asam lemak bebas, perubahan kadar air dan kadar kotoran akibat perubahan suhu dalam storage tank. *Jurnal Teknik Pertanian*, 3, 2089–2101.
- Almeida, D. T. de, Viana, T. V., Costa, M. M., Silva, C. de S., & Feitosa, S. (2018). Effects of different storage conditions on the oxidative stability of crude and refined palm oil, olein and stearin (*Elaeis guineensis*). *Food Chemistry*, 2061, 1–7.
- Azmi, S., Sitanggang, K. D., Triyanto, Y., & Rizal, K. (2024). Analysis of water content, free fatty acids and gross of crude palm oil (CPO) in PKS PTPN IV Ajamu Labuhan Batu. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 6(2), 1–6.
- Emebu, S., Osaikhuiwuomwan, O., Mankonen, A., Udoye, C., Okieimen, C., & Janáčová, D. (2022). Influence of moisture content, temperature, and time on free fatty acid in stored crude palm oil. *Scientific Reports*, 12, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13998-1>
- Fabrica, A. (2024). Pengaruh suhu dan lama penyimpanan terhadap kadar asam lemak bebas (ALB) crude palm oil. *Jurnal Agroindustri*, 6(2), 1–10.
- Jonach, T., Jordan, C., Haddadi, B., & Harasek, M. (2022). Modelling and simulation of 3-phase separators in the oil and gas industry with emphasis on water quality. *Chemical Engineering Transactions*, 94, 1009–1014. <https://doi.org/10.3303/CET2294168>
- Kartawidjaja, M. A., Sukwadi, R., & Cahyono, B. (2024). Kontrol mutu CPO di storage tank untuk mengurangi kotoran (sludge) pada saat pencucian dengan melakukan modifikasi pipa inlet oil storage tank. *Jurnal Teknik Industri*, 7, 1–12.
- Karya, G., & Kecamatan, G. (2016). Analisis mutu crude palm oil di pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 5(1), 28–35.
- Nurfiqih, D., & Hakim, L. (2021). Pengaruh kadar air terhadap stabilitas oksidatif minyak sawit mentah. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2, 1–14.
- Pal, Y., & Matuska, T. (2019). Stratification analysis of domestic hot water storage tanks: A comprehensive review. *Energy & Buildings*, 187, 110–131. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.052>
- Panjaitan, N., Faris, M. Z., Lubis, J. A., & Silitonga, N. K. (2025). Quality analysis of crude palm oil using free fatty acid content parameters with failure mode and effect analysis.
- Renjani, R. A., Sugiarto, R., & Dharmawati, N. D. (2020). Pengamatan kualitas CPO pada storage tank dengan temperatur. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(4), 343–352.
- Simatupang, W. R. (2022). Analisis kualitas crude palm oil (CPO) dan palm kernel (PK) menggunakan metode analysis of variance (ANOVA) di PMKS PT. Sinar Gunung Sawit Raya Sirandorung [Skripsi]. Universitas Medan Area.
- Studi, P., Agroteknologi, F., & Universitas, T. (2022). Crude palm oil (CPO) quality analyze of *Elaeis guineensis* at palm oil mill PT. Sinar Pandawa,

- Labuhanbatu Regency (Based on free fatty acid levels, water content, and impurities). *Jurnal Agroteknologi*, 8(2), 386–398.
- Syafrianti, A., Lubis, Z., & Elisabeth, J. (2021). Study of crude palm oil (CPO) handling and storage process in palm oil mills in an effort to improve CPO quality and reduce the risk of contaminants formation. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 9(2), 461–470.
- Tavakkoli, H., Zabihi, A., Khatibi, S. A., Nasiri, T., Kaviani, L., & Dopeykar, N. (2015). The effect of storage conditions on free fatty acid content in crude palm oil. *Journal of Oil Palm Research*, 27(3), 234–241.
- Ulhaq, M. D. (2024). Design and implementation of continuous settling tank (CST) temperature monitoring system and waste pond level in a palm oil mills. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 26–37.
- Wahyudi, D. (2025). Pengaruh lama penyimpanan terhadap mutu crude palm oil [Skripsi]. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Winas, M., Widyowanti, R. A., & Bimantio, M. P. (2024). Evaluasi kinerja storage tank (tangki timbun) di PT. XYZ Sumatera Utara menggunakan metode statistical process control (SPC). *Jurnal Teknologi Industri*, 2, 1543–1555.
- Yardani, J., Ulimaz, A., Yuliyanti, W., Permatasari, N., & Noor, M. (2025). Pengaruh penumpukan bahan baku tandan buah segar terhadap mutu crude palm oil berdasarkan kadar air dan asam lemak bebas. *Jurnal Agroindustri*, 11, 151–159.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tinjauan Pustaka

1.1. Tinjauan Parameter Mutu Crude Palm Oil

Crude Palm Oil merupakan minyak nabati mentah yang kualitasnya sangat bergantung pada parameter kimia, terutama kadar Asam Lemak Bebas atau *Free Fatty Acid*. ALB terbentuk melalui proses pemecahan molekul trigliserida yang mencerminkan tingkat kerusakan minyak akibat penanganan pasca panen atau penyimpanan yang kurang tepat (Syafrianti, Lubis, and Elisabeth 2021). Peningkatan kadar ALB yang signifikan tidak hanya menurunkan nilai ekonomis di pasar internasional, tetapi juga menjadi indikator utama terjadinya degradasi mutu selama CPO berada di dalam tangki timbun (Panjaitan et al. 2025).

Selama masa penyimpanan, kadar ALB dalam CPO cenderung meningkat secara progresif seiring bertambahnya waktu simpan. Pada sistem penyimpanan konvensional yang tidak memiliki mekanisme pengadukan, laju kenaikan ALB dapat mencapai 0,13% per hari (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020). Kondisi ini menegaskan bahwa durasi penyimpanan di dalam tangki memiliki korelasi positif terhadap penurunan kualitas minyak, sehingga pemantauan secara berkala sangat diperlukan untuk menjaga parameter tetap di bawah batas standar 5% (Emebu et al. 2022).

Kinetika kenaikan asam lemak bebas atau free fatty acid merupakan produk dari pemutusan rantai trigliserida melalui reaksi kimia yang dikenal sebagai hidrolisis. Secara teoritis, ALB dalam minyak sawit mentah sudah terbentuk sejak buah dipanen dan terus meningkat selama proses pengolahan serta penyimpanan (Syafrianti, Lubis, and Elisabeth 2021). Nilai ALB menjadi indikator kritis karena menunjukkan derajat kerusakan minyak, batas standar internasional untuk CPO berkualitas tinggi biasanya berada pada rentang 2% hingga 5% (Emebu et al. 2022).

1.2. Peran Kadar Air dalam Proses Hidrolisis

Kadar air merupakan katalisator utama yang memicu terjadinya reaksi hidrolisis pada CPO selama masa penyimpanan di dalam tangki. Keberadaan molekul air memungkinkan terjadinya pemecahan ikatan ester pada lemak yang menghasilkan asam lemak bebas sebagai produk sampingan (Emebu et al. 2022). Semakin tinggi kandungan air dalam minyak, maka stabilitas oksidatif CPO akan semakin rendah,

yang pada gilirannya akan mempercepat timbulnya bau tengik dan kerusakan struktur kimia minyak (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020).

Kadar air bertindak sebagai reaktan utama dalam reaksi hidrolisis lipida. Reaksi tersebut memecah molekul trigliserida menjadi unit-unit asam bebas dan gliserol (Nurfiqih and Hakim 2021). Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi air memiliki dampak yang lebih besar terhadap kenaikan ALB dibandingkan faktor suhu pemanasan saja. Keberadaan air di atas ambang batas kritis (lebih dari 3%) memfasilitasi hidrolisis sebagai molekul trigliserida, digliserida, dan monogliserida yang menyusun sekitar 95% komponen CPO (Nurfiqih and Hakim 2021). Selain itu, kadar air yang tinggi memicu reaksi oksidasi lanjutan yang menghasilkan senyawa sekunder seperti hidroperoksida, aldehida, dan keton yang menyebabkan bau tengik.

Penelitian menunjukkan bahwa kadar air yang tinggi, terutama jika melebihi ambang batas kritis, akan sangat memfasilitasi peningkatan kadar ALB jika dikombinasikan dengan suhu penyimpanan yang tidak stabil (Emebu et al. 2022). Meskipun terjadi penurunan kadar air secara alami akibat penguapan selama penyimpanan sekitar 0,02% hingga 0,19%, akumulasi air di dasar tangki akibat massa jenis yang lebih berat tetap menjadi ancaman nyata bagi homogenitas kualitas produk dalam satu wadah penyimpanan (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020).

1.3. Dinamika Operasional Storage Tank dan Variasi Mutu

Penyimpanan CPO di dalam tangki timbun (storage tank) melibatkan interaksi fisik dan kimia yang kompleks, di mana risiko utama yang dihadapi adalah reaksi oksidasi dan hidrolisis. Penurunan mutu sering kali diawali oleh fluktuasi suhu penyimpanan yang tidak terkontrol, yang memicu perubahan viskositas dan mempercepat degradasi komponen minyak (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020). Oleh karena itu, manajemen operasional tangki harus mempertimbangkan faktor lingkungan dan durasi simpan guna memastikan kualitas CPO tetap memenuhi spesifikasi industri (Panjaitan et al. 2025).

Dalam menjaga stabilitas mutu selama penyimpanan jangka panjang, pengaturan temperatur di dalam tangki harus dipertahankan pada kisaran yang optimal (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020). Berdasarkan kajian teknis

terbaru, suhu sekitar 50 °C dianggap sebagai titik temperatur paling ideal untuk menjaga karakteristik fisik minyak sekaligus menekan laju reaksi kimia yang merugikan. Pengaturan suhu yang tepat sangat krusial karena suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan kristalisasi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi akan memicu laju oksidasi yang lebih cepat.

Variasi mutu pada titik sampling yang berbeda di dalam tangki timbun dapat dijelaskan melalui Hukum Stokes. Teori ini menyatakan bahwa partikel dengan massa jenis yang lebih besar (seperti air dan kotoran) akan mengendap ke dasar tangki dengan kecepatan yang dipengaruhi oleh viskositas minyak dan diameter droplet (Jonach et al. 2022). Peningkatan suhu penyimpanan akan menurunkan viskositas fluida, yang menurut Hukum Stokes, justru mempercepat laju pengendapan kotoran dan air ke bagian bawah tangki (*lower*). Hal inilah yang menyebabkan terjadinya stratifikasi mutu di mana lapisan bawah tangki seringkali memiliki kadar air dan kotoran yang jauh lebih tinggi dibandingkan lapisan atas (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020).

1.4. Analisis Variasi Mutu pada Berbagai Titik Sampling

Distribusi parameter mutu CPO di dalam tangki penyimpanan besar cenderung tidak homogen akibat fenomena stratifikasi massa jenis. Komponen dengan berat jenis lebih besar, seperti air dan kotoran (*impurities*), memiliki kecenderungan alami untuk mengendap di lapisan bawah tangki, menciptakan variasi kadar air dan ALB yang berbeda antara titik atas (*upper*), tengah (*middle*), dan bawah (*lower*) (Azmi et al. 2024). Akibatnya, pengambilan sampel pada satu titik tunggal seringkali tidak mampu memberikan gambaran representatif mengenai kondisi mutu keseluruhan isi tangki (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020).

Penggunaan sistem pengadukan atau agitator di dalam tangki timbun terbukti efektif dalam menciptakan kondisi minyak yang lebih homogen dan menekan laju kenaikan ALB hingga hanya 0,05% per hari. Sementara dengan adanya sistem pengadukan yang konsisten, distribusi suhu dan kadar air menjadi lebih merata ke seluruh bagian tangki, sehingga perbedaan kualitas antar titik sampling dapat diminimalisir secara signifikan untuk keperluan standarisasi pengiriman (Renjani et al, 2020). Selanjutnya untuk mengatasi masalah stratifikasi ini, penggunaan sistem pengadukan (agitator) sangat krusial. Tanpa pengadukan, laju kenaikan ALB dalam

kondisi penyimpanan konvensional dapat mencapai 0,13% per hari, namun dengan sistem agitasi (Renjani, Sugiarto, and Dharmawati 2020). Suhu penyimpanan yang ideal untuk menjaga stabilitas fisik (viskositas) sekaligus menekan degradasi kimia adalah sekitar 50 °C.

2. Uji Pengaruh Perlakuan (Two-Way ANOVA)

Analisis varians (*Analysis of Variance* atau ANOVA) dua arah dilakukan untuk menguji hipotesis mengenai pengaruh faktor utama (Posisi Sampling dan Lama Penyimpanan) serta interaksi keduanya terhadap parameter mutu CPO. Model yang digunakan adalah *Corrected Model* dengan Tipe III *Sum of Squares* (Simatupang et al. 2022). Dasar pengambilan keputusan statistik adalah sebagai berikut:

- a. Jika nilai Signifikansi (Sig.) < 0,05, maka Hipotesis Nol (H_0) ditolak, yang berarti perlakuan berpengaruh nyata.
- b. Jika nilai Signifikansi (Sig.) > 0,05, maka Hipotesis Nol (H_0) diterima, yang berarti perlakuan tidak berpengaruh nyata.

2.1 Uji Lanjut (Post Hoc Test)

Uji lanjut *Tukey HSD (Honestly Significant Difference)* dilakukan untuk mengetahui pasangan perlakuan mana yang berbeda nyata secara statistik. Uji ini dilakukan karena hasil ANOVA menunjukkan pengaruh yang signifikan pada faktor Posisi dan Waktu. Notasi subset (kolom 1, 2, 3) menunjukkan pengelompokan rata-rata; perlakuan pada kolom yang berbeda memiliki perbedaan yang nyata ($\alpha=0,05$).

Lampiran 2. Dokumentasi



Gambar 1. Sampel CPO



Gambar 2. Pengambilan Sampel



Gambar 3. Pencatatan Cawan Kosong



Gambar 4. Penimbangan Sampel



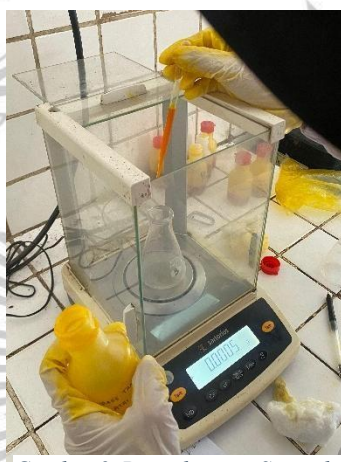
Gambar 5. Sampel Uji Kadar air



Gambar 6. Pengujian Kadar Air



Gambar 7. Erlenmeyer



Gambar 8. Penimbangan Sampel Kadar ALB



Gambar 9. Penambahan Alkohol Kadar ALB



Gambar 10. Proses Titrasi



Gambar 11. Kalibrasi Alat



Gambar12. Hasil Titrasi



Gambar 13. Alat bacon bomb sampler



Gambar 14. Storage tank No.1



Gambar 15. Storage No.2



Gambar 16. Storage No.5



Gambar 17. Bagian dalam Storage Tank

FAKULTAS PERTANIAN-PETERNAKAN

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI PANGAN
teknologi-pangan.umm.ac.id | tp@umm.ac.id

SURAT KETERANGAN

Nomor: E.6.d/ 187 /TP-FPP/UMM/VI/2026

Yang bertanda Tangan di Bawah ini Kepala Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian - Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang menerangkan Bahwa:

Nama : Nuraini Julia Sari
NIM : 202210220311051

Judul Skripsi : Analisis Kadar Air Dan ALB Pada Berbagai Posisi Sampling Dalam Storage Tank Crude Palm Oil (CPO)

Dengan hasil terdeteksi plagiasi 4 % untuk keseluruhan naskah Publikasi Skripsi. Surat Keterangan ini digunakan untuk memenuhi Persyaratan mengikuti wisuda.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya .

Malang, 25 Juni 2026
Petugas Penguji Plagiasi

Ka. Prodi Teknologi Pangan



Hanif Atamudin Manshur, S.Gz., M.Si

Nur Fitriana, S. Sy., M.H