

PENERAPAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN SIKLUS PDCA UNTUK MEMINIMALKAN BUAH RESTAN PADA PROSES PENGANGKUTAN TANDAN BUAH SEGAR (TBS) DI PT XAY SUMATERA UTARA

Dewi Jelita Siagian¹, Suprayetno Marbun², Indira Ruth Septarini³

^{1, 2, 3}PUI Tralokota Universitas Prima Indonesia, Jl. Sampul No.3, Medan, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Email: indiradamanik@gmail.com

Article History

Received: 10-05-2026

Revision: 27-05-2026

Accepted: 29-05-2026

Published: 31-05-2026

Abstract. The transportation of Fresh Fruit Bunches (FFB) is a crucial stage in the palm oil production process as it directly affects the quality of raw materials delivered to the mill. Delays in FFB transportation can lead to the occurrence of restan fruit, namely FFB that are not transported on the harvesting day, which subsequently results in an increase in free fatty acid (FFA) levels, a decline in Crude palm oil (CPO) quality, and reduced operational efficiency. This study aims to identify the main factors causing restan fruit during the FFB transportation process and to design process improvement measures using the Fault Tree Analysis (FTA) method and the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle. FTA is applied to systematically map the cause-and-effect relationships of restan fruit problems to determine their root causes, while the PDCA cycle is implemented as a continuous improvement approach based on the results of the FTA analysis. This research was conducted at PT XAY Sumatra Utara Unit, with a focus on FFB transportation activities that potentially lead to restan fruit. The results indicate that the primary causes of restan fruit include limited availability of transport vehicles, poor plantation road conditions, suboptimal route and transportation scheduling, and ineffective coordination among operational units. The implementation of the PDCA cycle based on FTA findings is expected to minimize the occurrence of restan fruit, improve the timeliness of FFB transportation, and enhance the company's operational performance on a sustainable basis.

Keywords: Fresh Fruit Bunches (FFB), Restan Fruit, Fault Tree Analysis (FTA), PDCA, Palm Oil Transportation

Abstrak. Pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) merupakan tahap penting dalam produksi minyak kelapa sawit karena memengaruhi kualitas bahan baku pabrik. Keterlambatan pengangkutan dapat menyebabkan buah restan, yaitu TBS yang tidak terangkut pada hari panen, sehingga meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA), penurunan mutu *Crude palm oil* (CPO), serta menurunnya efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor utama penyebab terjadinya buah restan pada proses pengangkutan TBS serta merancang langkah perbaikan proses menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). Metode FTA digunakan untuk memetakan hubungan sebab dan akibat dari permasalahan buah restan secara sistematis hingga diperoleh penyebab dasar, sedangkan siklus PDCA diterapkan sebagai pendekatan perbaikan berkelanjutan berdasarkan hasil analisis FTA. Penelitian ini dilakukan di PT XAY Sumatra Utara dengan fokus pada proses pengangkutan TBS yang berpotensi menimbulkan buah restan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab utama buah restan meliputi keterbatasan armada angkut, kondisi jalan kebun yang kurang baik, perencanaan rute dan jadwal pengangkutan yang belum optimal, serta koordinasi antar bagian yang belum efektif. Penerapan siklus PDCA berdasarkan hasil FTA diharapkan mampu meminimalkan terjadinya buah restan, meningkatkan ketepatan waktu pengangkutan TBS, serta mengoptimalkan kinerja operasional perusahaan secara berkelanjutan. Keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan ruang yang hanya dilakukan pada satu perusahaan dan belum mempertimbangkan faktor cuaca serta variasi musim panen secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih banyak perusahaan serta mengintegrasikan metode optimasi transportasi dan analisis data berbasis *real-time* agar hasil penelitian lebih baik.

Kata Kunci: Tandan Buah Segar (TBS), Buah Restan, *Fault Tree Analysis* (FTA), PDCA, Pengangkutan Kelapa Sawit

How to Cite: Siagian, D. J., Marbun, S., & Septarini, I. R. (2026). Penerapan *Fault Tree Analysis* (FTA) dan Siklus PDCA untuk Meminimalkan Buah Restan pada Proses Pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) di PT XAY Sumatera Utara. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (3), 1292-1307. <https://doi.org/10.54373/hijm.v4i3.5683>

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit yang berskala besar dan memiliki peran strategis. Dengan luas mencapai sekitar 16,38 juta hektar Oleh karena itu, agar Indonesia dapat menjadi produsen terbaik secara global, diperlukan keseimbangan antara aspek kuantitas dan kualitas, yang salah satunya meliputi peningkatan mutu minyak kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit termasuk jenis tanaman perkebunan yang memiliki peran penting dalam sektor pertanian secara keseluruhan. Hal tersebut terjadi karena, di antara berbagai tanaman, kelapa sawit menghasilkan nilai ekonomi tertinggi per hektarnya di dunia. *Palm Kernel* juga menghasilkan tandan kosong sawit (TKS) yang merupakan sisa hasil proses pengolahan minyak sawit di pabrik, dengan tingkat ketersediaan yang cukup melimpah (Bestari & Febiyani, 2025); (Haq et al., 2024).

Minyak kelapa sawit dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu minyak yang berasal dari daging buah atau yang biasa disebut dengan CPO (*Crude palm oil*) dan minyak yang dihasilkan dari inti buah yang dikenal sebagai PKO (*Palm Kernel Oil*). Kualitas minyak kelapa sawit, terutama CPO, ditentukan oleh tingkat Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kandungan kotoran. Tingginya kandungan Asam Lemak Bebas (ALB) pada CPO berpengaruh besar terhadap mutu minyak, karena dapat menimbulkan ketengikan serta perubahan warna dan cita rasa Peningkatan nilai ALB di pabrik CPO salah satunya dipengaruhi oleh perlakuan restan Buah kelapa sawit yang telah dipanen sering kali tidak dapat segera diproses di pabrik akibat berbagai faktor yaitu bisa disebabkan oleh faktor cuaca, kekurangan armada, dan bisa juga disebabkan oleh kendala jarak tempuh yang jauh (Rasyika et al., 2021).

Penelitian Permata et al., (2023) menyampaikan tandan Buah Segar (TBS) merupakan bahan baku utama pabrik kelapa sawit yang memerlukan penanganan segera setelah panen. karena kualitasnya mudah menurun apabila terjadi keterlambatan, sehingga harus segera diangkut ke Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Penumpukan buah di Tempat Pengumpulan Hasil (TPH) yang tidak segera diangkut dapat meningkatkan kenaikan Asam Lemak Bebas (ALB), oleh karena itu, diperlukan persiapan alat angkut yang baik. Keberhasilan pengangkutan TBS memerlukan koordinasi antara bagian kebun, bagian angkut, dan pabrik agar lebih efisien dari segi waktu serta biaya produksi. Oleh sebab itu, pengelolaan panen dan pengangkutan TBS yang baik penting untuk menjaga mutu bahan baku, menekan kenaikan ALB, serta meningkatkan kualitas dan rendemen minyak sawit.

Kualitas tandan buah segar (TBS) kelapa sawit ditentukan oleh tingkat kematangannya. Kematangan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit sangat penting dalam panen karena memengaruhi keuntungan dan nilai jualnya. TBS yang matang akan menghasilkan minyak

yang Tinggi tetapi Sebaliknya, TBS kelapa sawit yang belum matang akan menghasilkan minyak dalam jumlah yang lebih rendah (Afrillah & Hendri, 2023). Tingkat kematangan Tandan Buah Segar (TBS) harus lihat secara akurat karena secara langsung memengaruhi rendemen minyak dan kualitas *Crude palm oil* (CPO), oleh sebab itu Tingkat kematangan tandan buah segar (TBS) berperan penting dalam menentukan kualitas hasil panen, khususnya mutu minyak kelapa sawit mentah (CPO) yang dihasilkan, dengan kategori kematangan meliputi buah mentah, matang, dan terlalu matang.

Menentukan tingkat kematangan tandan buah segar (TBS) masih dilakukan menggunakan metode pengamatan langsung, berdasarkan perubahan warna buah dan jumlah brondolan yang terlepas. Selanjutnya, buah hasil panen dikumpulkan terlebih dahulu sebelum diangkut ke pabrik menggunakan sarana transportasi. Buah yang dapat diangkut adalah buah yang sesuai dengan kriteria matang dan terlalu matang, sementara buah mentah tidak memenuhi persyaratan untuk diolah. Dengan demikian, hanya buah yang sesuai dengan standar pengolahan yang diangkut menggunakan truk ke pabrik. Namun, pada saat ini buah yang tidak layak untuk diangkut masih tetap dibawa ke pabrik. Jika buah mentah terangkut dan diolah, hal tersebut dapat menimbulkan kerugian karena buah mentah tidak menghasilkan minyak selama proses pengolahan (Hudori, 2016); (Faidah & Marchelina, 2022). Aspek transportasi kelapa sawit perlu dikelola dengan baik agar alur pengangkutan tetap lancar dan proses pengolahan di pabrik kelapa sawit dapat berjalan berkelanjutan. Salah satu indikator keberhasilan manajemen transportasi panen adalah minimnya jumlah restan di tempat pengumpulan hasil (TPH).

Penelitian terdahulu mengenai pengangkutan dan kualitas tandan buah segar (TBS) kelapa sawit telah banyak dilakukan. Penelitian berjudul “Kajian Pergerakan Truk Transport TBS sebagai Bagian dari Rantai Pasok Bahan Pabrik Kelapa Sawit” menjelaskan bahwa efisiensi pergerakan truk sangat memengaruhi kelancaran rantai pasok TBS menuju pabrik kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem transportasi yang kurang efisien dapat menyebabkan keterlambatan pengangkutan sehingga berdampak pada penurunan kualitas CPO dan meningkatnya kadar Asam Lemak Bebas (ALB). Penelitian tersebut lebih berfokus pada produktivitas dan efisiensi armada pengangkutan TBS (Krisdiarto & Wisnubhadra, 2023); (Pane et al., 2023); (Purwaningsih et al., 2024). Selain itu, penelitian Yoga (2022) tentang “Kendali Jumlah dan Waktu Berangkat Truk Pengangkut TBS untuk Minimalisasi Antrian di Pabrik Minyak Kelapa Sawit” menjelaskan bahwa pengaturan waktu keberangkatan armada dapat mengurangi antrean truk di pabrik dan mempertahankan kualitas TBS dengan menjaga kadar ALB tetap rendah. Penelitian tersebut lebih menekankan pada pengendalian operasional transportasi dan sinkronisasi kapasitas pabrik dengan jumlah armada angkut.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian hanya berfokus pada efisiensi transportasi, pengurangan restan, dan pengelolaan armada pengangkutan TBS. Sementara itu, penelitian ini memiliki kebaruan karena tidak hanya mengkaji aspek pengangkutan TBS, tetapi juga menghubungkannya dengan tingkat kematangan buah yang layak diangkut ke pabrik. Penelitian ini menitikberatkan pada hubungan antara proses seleksi kematangan TBS, pengangkutan, dan pengaruhnya terhadap kualitas *Crude Palm Oil* (CPO), khususnya dalam menekan peningkatan kadar Asam Lemak Bebas (ALB). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi transportasi sekaligus menjaga mutu bahan baku kelapa sawit sebelum proses pengolahan di pabrik.

METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian terapan dengan pendekatan deskriptif analitis. Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Xay, yang merupakan salah satu unit usaha milik PT XAY Sumatra Utara. Pabrik ini berlokasi di Batang Terap, Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera Utara. Upaya dilakukan melalui identifikasi akar penyebab masalah secara sistematis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk memetakan kegagalan pada sistem pengangkutan. Selanjutnya, hasil analisis tersebut diintegrasikan dengan siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) sebagai kerangka kerja perbaikan yang berkelanjutan. Metode FTA digunakan untuk memetakan hubungan sebab dan akibat dari permasalahan buah restan secara sistematis hingga diperoleh penyebab dasar, sedangkan siklus PDCA diterapkan sebagai pendekatan perbaikan berkelanjutan berdasarkan hasil analisis FTA. Penelitian ini dilakukan di PT XAY Sumatera Utara dengan fokus pada proses pengangkutan TBS yang berpotensi menimbulkan buah restan.

HASIL

Tahap pengumpulan data merupakan langkah awal dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya buah restan di PT XAY Sumatra Utara. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer melalui observasi lapangan dan wawancara, serta data sekunder yang berasal dari laporan operasional perusahaan. Fokus pengumpulan data diarahkan pada kendala logistik, performa armada vendor, kondisi infrastruktur, dan faktor lingkungan yang menghambat proses pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS). Sebagai gambaran awal mengenai besarnya permasalahan di lapangan, dilakukan rekapitulasi data sekunder terhadap volume buah restan yang terjadi selama periode Oktober hingga Desember 2025.

Tabel 1. Rekapitulasi volume buah restan periode Q3 2025 PT XAY Sumatra Utara

Bulan	Afd IV	Afd V	Afd VI	Afd VII	Afd X	Total (Ton)
Oktober	5	139	166	45	28	383
November	21	122	78	20	125	366
Desember	3	59	64	21	62	208
Jumlah	28	320	308	86	215	957

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan total buah restan dalam triwulan terakhir mencapai 957 ton, dengan kontribusi terbesar berasal dari Afdeling V (320 ton) dan Afdeling VI (308 ton). Tingginya angka penumpukan buah di lapangan ini menjadi dasar dilakukannya identifikasi faktor penyebab secara lebih mendalam melalui observasi langsung pada jalur angkut dan Tempat Pengumpulan Hasil (TPH), serta wawancara dengan staf bagian angkutan dan asisten afdeling. Tingginya angka buah restan di Afdeling V dan VI juga sejalan dengan data produktivitas tahunan perusahaan, di mana kedua afdeling tersebut memiliki realisasi jumlah tandan tertinggi. Besarnya volume panen tandan dan brondolan di wilayah tersebut menciptakan tekanan pada sistem logistik, sehingga kegagalan pada ketersediaan armada vendor maupun hambatan infrastruktur jalan akan berdampak langsung pada terjadinya penumpukan buah di lapangan.

Tabel 2. Ringkasan realisasi tandan dan sisa tandan tahun 2025 PT XAY Sumatra Utara

Afd	Pokok Produktif	Realisasi Tandan	Jumlah Sisa Tandan	%
I	129.326	2.453.434	-133.604	4,46
II	97.035	1.413.416	-7.517	4,22
III	118.956	1.644.855	-140.105	5,07
IV	114.402	1.239.529	8.023	4,47
V	78.216	1.687.314	195.336	4,76
VI	117.415	1.990.750	-213.659	5,19
VII	93.079	1.916.212	-70.357	5,66
VIII	14.178	252.820	-44.708	6,06
IX	16.778	157.563	-16.987	5,20
X	48.137	371.454	24.590	4,76
Jumlah	842.448	13.319.202	-413.989	4,85

Data produktivitas tahunan pada Tabel 2 menunjukkan adanya korelasi antara besarnya volume panen dengan kerentanan terjadinya hambatan logistik, khususnya pada Afdeling V dan VI yang memiliki beban kerja operasional tertinggi. Tekanan beban produksi yang masif tersebut menuntut keandalan sistem pengangkutan yang stabil, sehingga setiap gangguan teknis maupun non-teknis akan secara cepat memicu akumulasi buah restan. Oleh karena itu, dilakukan identifikasi lebih lanjut melalui observasi lapangan dan wawancara untuk membedah variabel- variabel spesifik yang menjadi penghambat arus distribusi TBS dari Tempat Pengumpulan Hasil (TPH) menuju pabrik.

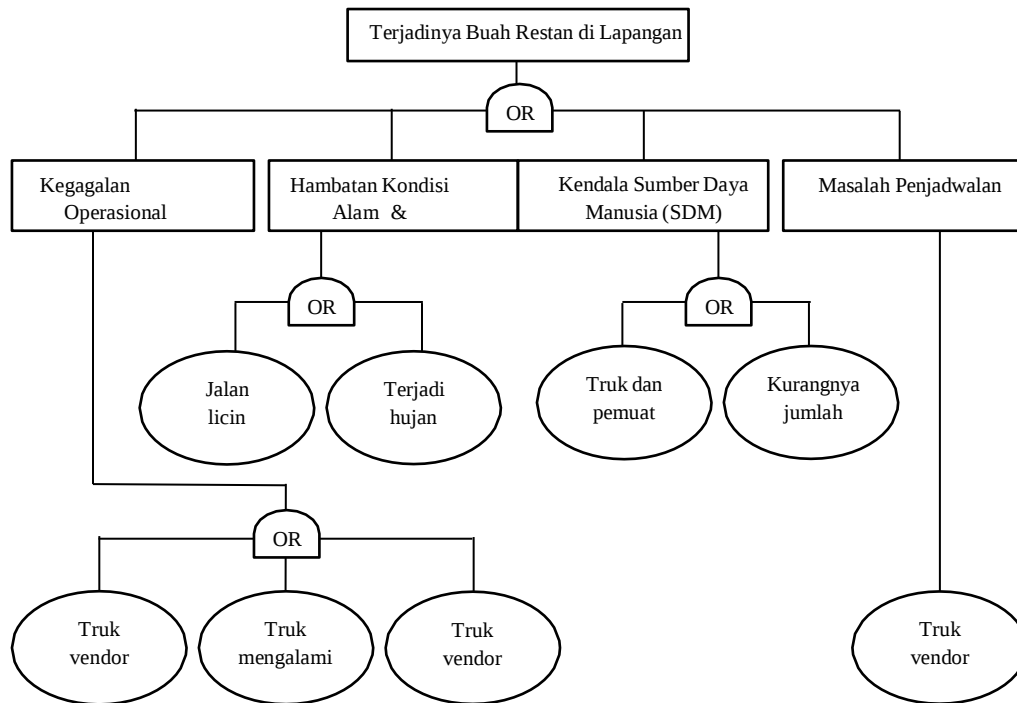
Dari hasil pengamatan tersebut, ditemukan berbagai variabel yang memicu kegagalan pengangkutan TBS yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori sumber daya manusia (SDM), cuaca dan topografi, armada vendor, serta sistem penjadwalan. Rekapitulasi frekuensi kejadian yang menyebabkan buah restan selama periode Oktober-Desember 2025 disajikan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data penyebab terjadinya buah restan Q3 2025 PT XAY Sumatra Utara

No	Kategori	Sub Kategori	Keterangan	Frekuensi
1	SDM	Kekurangan Tenaga Kerja	Kurangnya tenaga pemuat di lapangan	1
		Kelalaian Personel	Truk dan pemuat tidak kembali ke PKS sesuai jadwal	2
2	Cuaca dan Topografi	Kondisi Cuaca Buruk	Intensitas hujan yang panjang	6
		Hambatan Infrastruktur	Jalan licin dan/atau tergenang air (akses sulit)	21
3	Armada (Vendor)	Ketersediaan Unit	Truk vendor tidak tersedia sesuai kebutuhan	43
		Ketidaktepatan waktu	Truk vendor terlambat masuk ke area kebun	1
		Kegagalan Teknis	Truk mengalami kerusakan (<i>breakdown</i>)	5
4	Penjadwalan	Kendala Antrean	Antrean panjang menuju jembatan timbang PKS	1

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan pada suatu sistem secara deduktif, menganalisis hubungan logis antar penyebab, serta menentukan jalur kritis melalui diagram pohon kegagalan. Melalui hasil pengamatan terhadap aktivitas logistik dari kebun menuju PKS XAY, ditemukan berbagai kendala operasional yang menyebabkan terjadinya buah restan sehingga menimbulkan kerugian berupa penurunan kualitas rendemen dan kehilangan hasil (*losses*). Berikut adalah hasil identifikasi faktor penyebab kejadian buah restan yang disusun berdasarkan data observasi lapangan dan hasil wawancara dengan pihak manajemen serta personel bagian angkutan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram *fault tree analysis* (FTA) penyebab terjadinya buah restan di PT XAY Sumatra Utara

Penyusunan strategi perbaikan akan didasarkan pada identifikasi *Minimal Cut Set* (MCS) yang telah dirumuskan melalui diagram *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode ini merepresentasikan kombinasi penyebab terkecil yang secara langsung memicu terjadinya kejadian puncak (*Top Event*), yaitu penumpukan buah restan di lapangan. Dengan memfokuskan intervensi pada jalur kritis yang memiliki frekuensi kejadian tertinggi. Maka langkah mitigasi yang diambil akan menjadi lebih tepat sasaran dan efisien. Untuk menentukan besarnya kontribusi relatif dari setiap jalur kritis terhadap keseluruhan masalah, dilakukan perhitungan persentase menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Persentase Kontribusi } MCS_i = \frac{f_i}{\sum f} \times 100\%$$

Keterangan:

f_i = Frekuensi kejadian pada jalur kritis ke-i.

$\sum f$ = Total keseluruhan frekuensi kejadian penyebab buah restan.

Berdasarkan data frekuensi kejadian pada identifikasi FTA, berikut adalah rincian perhitungan persentase kontribusi untuk masing-masing jalur kritis:

- MCS-01 (Ketersediaan Armada Vendor)

$$f_1 = \frac{43}{80} \times 100\% = 53,75\%$$

- MCS-02 (Kondisi Jalan Licin/Rusak)

$$f_1 = \frac{21}{80} \times 100\% = 26,25\%$$

- MCS-03 (Intensitas Hujan Panjang)

$$f_1 = \frac{6}{80} \times 100\% = 7,50\%$$

- MCS-04 (Kegagalan Teknis/Truk Breakdown)

$$f_1 = \frac{5}{80} \times 100\% = 6,25\%$$

- MCS-05 (Kelalaian Personel & SDM)

$$f_1 = \frac{2}{80} \times 100\% = 2,50\%$$

- MCS-06 (Kendala Antrean & Faktor Lainnya)

$$f_1 = \frac{3}{80} \times 100\% = 3,75\%$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian dirangkum dalam tabel analisis berikut:

Tabel 4. Tabel analisis *minimal cut set* (MCS) - FTA

No.	Kode MCS	Minimal Cut Set	Orde	Frekuensi	Persentase Kontribusi (%)	Prioritas Mitigasi
1	MCS-01	Ketersediaan Armada Vendor	1	43	53.75%	Utama (I)
2	MCS-02	Kondisi Jalan Licin/Rusak	1	21	26,25%	Utama (II)
3	MCS-03	Intensitas Hujan Panjang	1	6	7,50%	Menengah (III)
4	MCS-04	Kegagalan Teknis (Truk Breakdown)	1	5	6,25%	Menengah (IV)
5	MCS-05	Kelalaian Personel & SDM	1	2	2,50%	Rendah (V)
6	MCS-06	Kendala Antrean & Faktor Lainnya	1	3	3,75%	Rendah (VI)
Total				80	100%	

Berdasarkan hasil analisis MCS, diidentifikasi bahwa faktor MCS-01 (Ketersediaan Armada Vendor), MCS-02 (Kondisi Jalan), dan MCS-04 (Kegagalan Teknis) merupakan jenis jalur kritis tunggal (*Single Point Failure*), di mana kegagalan pada salah satu penyebab dasar tersebut sudah cukup untuk memicu terjadinya kejadian puncak berupa buah restan tanpa memerlukan pemicu tambahan. Kondisi ini menunjukkan titik terlemah dalam sistem logistik di kebun xay, karena meskipun variabel lain seperti cuaca dan kinerja SDM berada dalam kondisi optimal, ketiadaan armada vendor atau kerusakan jalan tetap akan menghentikan seluruh rantai pengangkutan. Sementara pada MCS-03, buah restan muncul sebagai jalur kritis

kombinasi akibat interaksi antara faktor cuaca (hujan) dan kondisi infrastruktur jalan. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, dapat diidentifikasi bahwa jalur kritis MCS-01 (Ketersediaan Armada Vendor) memberikan kontribusi terbesar terhadap kejadian buah restan, yakni mencapai 53,75%. Jalur kritis kedua adalah MCS-02 (Kondisi Jalan Licin/Rusak) dengan kontribusi sebesar 26,25%. Berikut merupakan perhitungan total kontribusi MCS-01 dan MCS-02:

$$\begin{aligned} \text{Total Kontribusi} &= \%MCS_1 + \%MCS_2 \\ &= 53,75\% + 26,25\% = 80\% \end{aligned}$$

Secara teknis, kedua jalur kritis tersebut merupakan Orde 1, yang berarti setiap kegagalan pada jalur ini secara langsung mengakibatkan terjadinya kejadian puncak (*Top Event*) tanpa memerlukan pemicu tambahan. Akumulasi kontribusi dari kedua jalur kritis utama ini mencapai 80% dari total permasalahan pengangkutan TBS PT XAY Sumatra Utara. Oleh karena itu, sesuai dengan hukum Pareto, fokus perbaikan pada tahap Siklus PDCA akan diprioritaskan untuk memutus rantai kegagalan pada MCS-01 dan MCS-02 guna mendapatkan dampak perbaikan yang paling signifikan. Fokus utama dalam siklus ini adalah memutus mata rantai kegagalan pada jalur-jalur kritis Orde 1 yang memiliki kontribusi kegagalan akumulatif sebesar 80%. Melalui pendekatan sistematis ini, rencana aksi yang disusun tidak hanya bersifat reaktif terhadap kejadian yang muncul, tetapi juga bersifat preventif dan strategis dalam memperbaiki kelemahan mendasar pada sistem pengangkutan TBS di PT XAY Sumatra Utara guna menjamin kelancaran arus bahan baku secara jangka panjang.

Strategi Perbaikan Menggunakan Siklus PDCA

Berdasarkan prioritas penanganan yang telah ditetapkan melalui metode FTA dan MCS tersebut, maka seluruh variabel penyebab buah restan ini diintegrasikan ke dalam kerangka kerja perbaikan berkelanjutan untuk meminimalkan terjadinya buah restan pada proses pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) menggunakan Siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Dalam penelitian ini, pendekatan PDCA digunakan sebagai kerangka sistematis dalam merumuskan rekomendasi perbaikan proses pengangkutan TBS berdasarkan faktor-faktor penyebab dominan yang telah diidentifikasi melalui FTA.

Tahap Perencanaan (*Plan*)

Tahap *Plan* bertujuan untuk menyusun rencana aksi strategis guna memutus rantai kegagalan pada jalur kritis yang telah diidentifikasi melalui analisis *Fault Tree Analysis* (FTA). Berdasarkan hasil analisis *Minimal Cut Set* (MCS), diketahui bahwa faktor dominan yang

berkontribusi signifikan terhadap terjadinya buah restan di PT XAY Sumatra Utara meliputi keterbatasan armada vendor, buruknya infrastruktur jalan, gangguan teknis kendaraan, serta faktor cuaca dan koordinasi. Sebagai rekomendasi langkah mitigasi, dirumuskan empat pilar rencana perbaikan sebagai berikut:

- Optimalisasi Manajemen Armada Pengangkutan (MCS-01). Rencana ini difokuskan pada pemenuhan ketersediaan unit armada sesuai dengan fluktuasi produksi harian. Strategi yang disusun meliputi: 1) Evaluasi Kontrak dan Kapasitas, 2) Sinkronisasi Data Taksasi.
- Perbaikan Infrastruktur Jalan Produksi (MCS-02 & MCS-03). Fokus utama adalah menjamin aksesibilitas armada tetap terjaga meski dalam kondisi cuaca buruk melalui (1) Mapping & Penanganan Titik Kritis: Melakukan pemetaan area jalan yang sering licin atau tergenang. Rencana aksi mencakup pengalokasian material perkerasan (Sirtu/Batu) secara selektif pada titik-titik rawan tersebut, dan (2) Normalisasi Drainase: Menyusun jadwal pembersihan drainase di sisi jalan produksi secara rutin guna memastikan badan jalan tetap kering dan dapat dilalui armada dengan aman.
- Penerapan Sistem Pemeriksaan Kendaraan (*Vehicle Inspection*) (MCS-04). Guna meminimalkan risiko kegagalan teknis (*breakdown*) di jalur evakuasi TBS, dirancang sistem mitigasi berupa Daily Pre-use Checklist: Mewajibkan sopir vendor mengisi standar pemeriksaan kelayakan kendaraan harian sebelum memasuki area kebun. Pemeriksaan mencakup komponen vital seperti sistem pengereman, kondisi ban, dan mesin.
- Peningkatan Koordinasi Operasional Lintas Unit. Membangun sinergi yang lebih solid antara pihak afdeling, tenaga pemuat, dan operator armada vendor melalui sistem Monitoring Harian: memastikan kelancaran proses pemuatan di TPH agar tidak terjadi penumpukan waktu tunggu (*waiting time*) yang dapat memicu keterlambatan pengiriman TBS menuju pabrik.

Seluruh rencana perbaikan ini disusun sebagai langkah strategis dan terukur untuk meminimalkan potensi terjadinya buah restan, yang pada akhirnya bertujuan untuk menjaga kualitas kadar Asam Lemak Bebas (ALB/FFA) tetap rendah sesuai standar perusahaan.

Tahap Pelaksanaan (Do)

Tahap *Do* merupakan fase implementasi dari rencana aksi yang telah disusun pada tahap *Plan*. Pada tahap ini, dilakukan penerapan langkah-langkah operasional secara bertahap yang bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan kelancaran sistem pengangkutan TBS di PT XAY Sumatra Utara. Tindakan strategis yang dilaksanakan meliputi:

- Verifikasi dan Kontrol Armada Harian: Bagian transportasi kebun melakukan verifikasi jumlah armada vendor yang tersedia setiap pagi sesuai dengan kebutuhan taksasi panen harian. Apabila jumlah armada yang dikirim vendor tidak mencukupi, dilakukan mobilisasi unit cadangan atau pengalihan rute truk secara dinamis dari afdeling yang telah menyelesaikan tonase panennya lebih awal guna menjamin seluruh TBS terangkut.
- Eksekusi Perbaikan Infrastruktur Jalan Produksi: Melaksanakan penimbunan dan pengerasan pada titik-titik kritis jalan yang telah dipetakan menggunakan material Sirtu (Pasir Batu). Proses ini diprioritaskan pada jalur utama evakuasi TBS untuk memastikan truk tetap memiliki traksi yang cukup saat melintas, sehingga memitigasi risiko hambatan aksesibilitas akibat faktor cuaca (MCS-03).
- Penerapan Pemeriksaan Kondisi Kendaraan (*Vehicle Inspection*): Mewajibkan pemeriksaan kelaikan armada sebelum memasuki area operasional kebun. Hal ini dilakukan untuk mendeteksi potensi kegagalan mekanis sedini mungkin, sehingga risiko kerusakan kendaraan selama proses pengangkutan di jalur produksi dapat diminimalisasi.
- Pengawasan Disiplin dan Koordinasi Operasional: Memberlakukan pelaporan posisi armada secara berkala kepada mandor angkut serta penerapan sanksi administratif bagi vendor yang tidak memenuhi jadwal pengiriman unit. Langkah ini bertujuan untuk meningkatkan disiplin operasional operator armada dan tenaga pemuat demi kelancaran proses distribusi menuju pabrik.

Penerapan langkah-langkah tersebut diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem pengangkutan secara keseluruhan serta secara efektif mengurangi potensi keterlambatan pengangkutan TBS (buah restan).

Tahap Evaluasi (Check)

Tahap *Check* dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas dari strategi perbaikan yang telah diimplementasikan pada tahap sebelumnya. Evaluasi dilakukan secara komparatif dengan membandingkan kondisi operasional sebelum dan sesudah penerapan strategi perbaikan berdasarkan indikator kinerja utama (*Key Performance Indicators*). Parameter evaluasi yang digunakan meliputi:

- Analisis Penurunan Jumlah Buah Restan: Melakukan perbandingan data tonase buah restan pada setiap periode panen (harian/mingguan). Indikator keberhasilan utama diukur dari penurunan signifikan frekuensi kejadian pada jalur kritis MCS-01 (Ketersediaan Armada) dan MCS-02 (Hambatan Akses Jalan) dibandingkan dengan data historis sebelum perbaikan.

- **Monitoring Ketepatan Waktu dan Siklus Pengangkutan (*Cycle Time*):** Mengevaluasi durasi perjalanan TBS dari Tempat Pengumpulan Hasil (TPH) menuju jembatan timbang PKS. Analisis ini bertujuan untuk memastikan apakah perbaikan infrastruktur jalan dan manajemen armada secara efektif berhasil mempercepat waktu tempuh sehingga ritase harian armada dapat meningkat secara optimal.
- **Tingkat Ketersediaan dan Keandalan Armada:** Melakukan audit kinerja terhadap kepatuhan vendor dalam menyediakan unit cadangan serta memantau tingkat ketersediaan armada selama jam operasional puncak. Evaluasi ini memastikan bahwa kebutuhan kapasitas angkut selalu terpenuhi sesuai dengan taksasi panen harian.
- **Audit Frekuensi Gangguan Operasional Kendaraan:** Mengevaluasi efektivitas sistem *Daily Pre-use Checklist* terhadap penurunan frekuensi gangguan teknis atau *breakdown* pada kendaraan angkut (MCS-04) di jalur evakuasi TBS.

Melalui tahap evaluasi ini, dapat diketahui sejauh mana strategi perbaikan yang dirancang mampu meningkatkan reliabilitas sistem pengangkutan serta mereduksi potensi terjadinya buah restan secara berkelanjutan di PT XAY Sumatra Utara.

Tahap Tindak Lanjut (Act)

Tahap *Act* merupakan fase tindak lanjut berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan pada tahap *Check*. Pada tahap ini, dilakukan penyempurnaan dan standardisasi terhadap prosedur operasional yang dinilai efektif dalam meningkatkan kelancaran sistem pengangkutan TBS di PT XAY Sumatra Utara. Langkah-langkah strategis yang dilaksanakan pada tahap ini meliputi:

- **Penyusunan dan Standardisasi Prosedur (SOP) Pengelolaan Armada:** Apabila langkah-langkah mitigasi pada MCS-01 terbukti efektif meminimalkan buah restan, maka strategi tersebut ditetapkan menjadi SOP Pengangkutan TBS yang baru. SOP ini mencakup regulasi ketersediaan unit cadangan vendor serta mekanisme verifikasi armada harian guna menjamin keseragaman kinerja operasional.
- **Penetapan Prosedur Pemeliharaan Rutin Kendaraan:** Mengintegrasikan sistem pemeriksaan kelaikan harian (*Daily Pre-use Checklist*) ke dalam prosedur pemeliharaan rutin perusahaan. Hal ini bertujuan untuk memutus rantai kegagalan pada jalur kritis MCS-04 secara permanen melalui pengawasan teknis armada vendor yang lebih ketat sebelum memasuki area operasional kebun.
- **Perbaikan Berkelanjutan Infrastruktur Jalan Produksi:** Melakukan pemeliharaan infrastruktur jalan secara berkala pada titik-titik kritis yang telah diidentifikasi dalam MCS-

02. Proses ini memastikan bahwa jalur evakuasi utama TBS terus mendapatkan perkerasan dan normalisasi drainase yang adaptif terhadap perubahan cuaca guna menjaga traksi dan aksesibilitas armada.

- Peningkatan Sistem Koordinasi Lintas Bagian: Mengoptimalkan jalur komunikasi dan koordinasi antara bagian kebun (afdeling), tenaga pemuat, dan bagian transportasi. Sinkronisasi data taksasi yang lebih akurat menjadi kunci dalam menjaga keseimbangan antara volume produksi harian dengan kapasitas angkut yang tersedia.

Melalui penerapan tahap *Act*, diharapkan seluruh perbaikan yang telah dirumuskan dapat diterapkan secara berkelanjutan dalam sistem operasional PT XAY Sumatra Utara. Hal ini menjamin bahwa sistem logistik kebun terus beradaptasi dengan dinamika lapangan guna mencapai target "*Zero Restan*" serta menjaga stabilitas kualitas kadar Asam Lemak Bebas (ALB) pada TBS.

Optimalisasi Armada Vendor (MCS-01):

- Adendum kontrak armada cadangan (10-15%) saat panen raya.
- Sinkronisasi taksasi harian & armada.

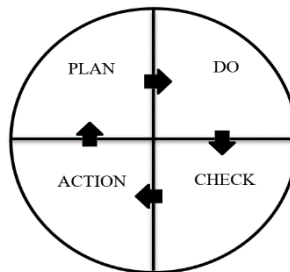
Perbaikan Jalan Produksi (MCS-02 & MCS-03):

Implementasi Kontrol Armada:

- Verifikasi harian ketersediaan armada.
- Mobilisasi unit cadangan jika kurang.
- Pengalihan rute.

Eksekusi Perbaikan Jalan:

- Penimbunan & perkerasan jalur utama prioritas.
- Tindakan darurat saat hujan



Analisis Penurunan Restan:

- Bandingkan data restan sebelum & sesudah (fokus MCS-01/02).

Monitoring Cycle Time & Kinerja Vendor:

- Evaluasi dampak perbaikan jalan.
- Audit unit cadangan.

Standarisasi & Penyempurnaan Berkelanjutan:

- Tetapkan langkah sukses sebagai SOP Pengangkutan TBS baru.

Kaji Ulang & Revisi:

- Tinjau kendala sisa.
- Revisi 'Plan' untuk siklus berikutnya.
- Target 'Zero Restan'.

Gambar 2. Diagram siklus PDCA: minimasi buah restan

DISKUSI

Analisis Akar Masalah dengan *Fault Tree Analysis* (FTA)

Berdasarkan hasil observasi dan pengumpulan data, diidentifikasi bahwa kejadian buah restan di kebun XAY disebabkan oleh berbagai faktor yang saling terkait. Melalui diagram *Fault Tree Analysis* (FTA), seluruh variabel kegagalan dipetakan untuk menemukan akar masalah (*basic events*) yang paling dominan. Dari analisis tersebut, ditemukan bahwa ketersediaan armada vendor dan kondisi infrastruktur jalan merupakan dua penyebab utama yang paling sering memicu terjadinya kegagalan sistem pengangkutan TBS. Temuan penelitian ini didukung oleh penelitian Hutagalung (2025) yang menyatakan bahwa terjadinya buah restan di perkebunan kelapa sawit dipengaruhi oleh kondisi jalan yang rusak dan armada pengangkut yang sudah tua sehingga sering mengalami kerusakan saat proses pengangkutan TBS menuju

pabrik. Kondisi jalan yang berlubang dan tergenang air ketika hujan menyebabkan keterlambatan transportasi dan meningkatkan risiko buah menginap di lapangan.

Penentuan Prioritas dengan *Minimal Cut Set* (MCS)

Untuk menentukan fokus perbaikan, dilakukan analisis *Minimal Cut Set* (MCS) guna mengetahui kontribusi persentase dari setiap jalur kritis. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa MCS-01 (Ketersediaan Armada Vendor) memberikan kontribusi sebesar 53,75%, sedangkan MCS-02 (Kondisi Jalan Licin/Rusak) berkontribusi sebesar 26,25%. Akumulasi dari kedua jalur kritis tunggal (*Single Point Failure*) ini mencapai 80% dari total permasalahan. Hal ini menunjukkan bahwa titik terlemah sistem logistik di kebun XAY terletak pada ketergantungan terhadap armada pihak ketiga dan kualitas aksesibilitas jalan. Sesuai dengan prinsip Pareto, upaya mitigasi difokuskan pada kedua jalur kritis ini untuk mendapatkan dampak penurunan buah restan yang paling signifikan.

Penelitian lain oleh Yoga & Saputro (2024) juga menyatakan bahwa faktor dominan penyebab rendahnya efektivitas pengangkutan TBS adalah keterbatasan unit operasional armada serta kondisi jalan kebun yang licin saat musim hujan. Kondisi tersebut menyebabkan proses transportasi tidak berjalan optimal dan meningkatkan potensi hamparan buah di lapangan.

Pembahasan Strategi Perbaikan dengan Siklus PDCA

Hasil analisis MCS diintegrasikan ke dalam kerangka kerja PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) sebagai langkah solutif berkelanjutan. Strategi ini dirancang untuk memutus rantai kegagalan pada jalur kritis Orde 1 yang telah teridentifikasi.

- Tahap Perencanaan (*Plan*): Difokuskan pada penguatan manajemen kontrak vendor dengan mewajibkan armada cadangan (10-15%) dan pemetaan titik kritis jalan produksi untuk rencana perkerasan sirtu serta normalisasi drainase.
- Tahap Pelaksanaan (*Do*): Mengimplementasikan kontrol harian terhadap ketersediaan armada sesuai taksasi panen dan melakukan penimbunan pada jalur evakuasi utama yang rawan tergenang saat hujan.
- Tahap Evaluasi (*Check*): Melakukan pemantauan terhadap penurunan jumlah buah restan dan efisiensi waktu siklus (*cycle time*) armada setelah langkah perbaikan jalan dilaksanakan.

- Tahap Tindak Lanjut (*Act*): Menstandarisasi langkah-langkah yang berhasil ke dalam dokumen SOP Pengangkutan TBS yang baru dan melakukan kaji ulang berkala untuk mencapai target Zero Restan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan pendekatan PDCA di Unit Kebun PKS XAY, dapat disimpulkan bahwa identifikasi Faktor Penyebab: Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya buah restan pada proses pengangkutan TBS didominasi oleh kendala operasional armada dan hambatan infrastruktur. Identifikasi masalah menunjukkan bahwa kegagalan sistem pengangkutan dipicu oleh ketidaksiapan armada vendor (MCS-01), kondisi jalan produksi yang licin/tergenang (MCS-02), gangguan teknis/breakdown kendaraan (MCS- 04), serta pengaruh cuaca hujan (MCS-03) yang secara kolektif menghambat aksesibilitas menuju TPH.

Penyebab Dominan (FTA) melalui analisis Minimal Cut Set (MCS), ditemukan bahwa penyebab dominan terjadinya buah restan adalah ketersediaan unit armada vendor (MCS-01) sebagai jalur kritis tunggal dengan frekuensi tertinggi sebesar 53,75% (43 Kejadian), diikuti oleh hambatan infrastruktur jalan produksi (MCS-02) dengan frekuensi sebesar 26,25% (21 kejadian). Akumulasi kegagalan (80% total) pada jalur kritis tersebut secara signifikan meningkatkan waktu siklus (*cycle time*) pengangkutan dan menurunkan ritase armada harian, terutama pada periode puncak panen dan musim penghujan. Strategi Perbaikan (PDCA): Strategi perbaikan dirumuskan sebagai rekomendasi manajerial melalui pendekatan PDCA untuk memutus rantai kegagalan pada jalur kritis tersebut. Rencana aksi (Plan) difokuskan pada Optimalisasi Manajemen Armada (penyediaan unit cadangan untuk mitigasi MCS-01), Perbaikan Jalan Produksi (pengerasan Sirtu pada titik rawan MCS-02), dan Penerapan *Vehicle Inspection* (mitigasi MCS-04). Langkah ini diproyeksikan mampu meningkatkan keandalan sistem pengangkutan guna menjaga stabilitas kualitas kadar Asam Lemak Bebas (ALB/FFA) tetap rendah.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada cakupan ruang yang hanya dilakukan pada satu perusahaan dan belum mempertimbangkan faktor cuaca serta variasi musim panen secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih banyak perusahaan serta mengintegrasikan metode optimasi transportasi dan analisis data berbasis real-time agar hasil penelitian lebih baik.

REFERENSI

- Afrillah, M., & Hendri. (2023). Pengelolaan Pemanenan Kelapa Sawit di Perkebunan PT . Agro Sinergi Nusantara kebun Batee Puteh Kabupaten Aceh Barat Management of Oil Palm Harvesting in the Plantation of PT Agro Sinergi. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(2), 318–324.
- Bestari, A. H., & Febiyani, A. (2025). Analisis Penyebab Keterlambatan Penyelesaian Proyek Tangki Menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) di PT XYZ. *Konsorsium Seminar Nasional Waluyo Jatmiko*, 18(1), 469–478.
- Faidah, N., & Marchelina, T. (2022). Tingkat Kecemasan Anak Usia Prasekolah yang Dirawat di Rumah Sakit Mardi Rahayu Kudus. *Keperawatan dan Kesehatan Masyarakat*, 11(3), 218–228. <http://jurnal.stikeskendekiautamakudus.ac.id>
- Haq, A., Nasution, S., & Hasugian, M. Y. (2024). Implementasi Plan Do Check Action pada Produk Crude Palm Oil. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 3(2), 70–81.
- Hudori, M. (2016). Perencanaan Kebutuhan Kendaraan Angkutan Tandan Buah Segar (TBS) di Perkebunan Kelapa Sawit. *Industrial Engineering Journal*, 5(1), 23–28.
- Hutagalung, M., & Zaman, S. (2025). Manajemen Pemanenan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) di Kebun Langga Payung Estate, Sumatera Utara Oil. *Buletin Agrohorti*, 13(2), 197–205.
- Krisdiarto, A. W., & Wisnubhadra, I. (2023). Kajian Pergerakan Truk Transport TBS sebagai Bagian dari Rantai Pasok Bahan Pabrik Kelapa Sawit Study. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian*, 8(April), 20–27.
- Pane, R. A., Gunawan, S., & Wirianata, H. (2023). Analisis Dampak Busuk Tandan Buah Kelapa Sawit terhadap Kualitas Crud Plam Oil di PT. PSAM. *Agroforetech*, 1, 946–954.
- Permata, W., Girsang, S., Suswatiningsih, T. E., Wahyu, C., & Dewi, A. (2023). Manajemen Transportasi Pengangkutan Tandan Buah Segar Menggunakan Dump Truck di PT. Inti Kamparindo Sejahtera Riau. *Agrofortech Journal*, 1(September), 1677–1686.
- Purwaningsih, R., Puti, K., & Alse, A. (2024). Optimalisasi Rute Pengangkutan Tandan Buah Segar (TBS) dari TPH Menuju PKS Menggunakan Metode Nearest Neighbor (Studi Kasus: Entitas PT Sampoerna AGRO). *Journal E-Undip*, 2(8).
- Rasyika, N., Mirasari, R., & Faradilla. (2021). Evaluasi Pengangkutan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit terhadap. *Journal Politeknik Pertanian Negeri Samarinda*, 17(02), 153–159.
- Yoga, T., Santoso, H., & Subagyo, H. (2022). Efektivitas Sistem Angkut Bahan Baku Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit untuk Peningkatan Mutu Buah di Kebun. *Musamus Journal of Agribusiness (Mujagri)*, 4(2), 1–10.
- Yoga, T., & Saputro, A. J. (2024). Optimalisasi Transportasi Tandan Buah Segar (TBS) dalam Industri Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 2(1), 20–28.