

Integration of Sustainability Failure Mode and Effect Analysis and Fault Tree Analysis for Fruit Supply Chain Risks

[Intergrasi Sustainability Failure Mode And Effect Analysis, Fault Tree Analysis Pada Resiko Rantai Pasok Buah]

M Arif Andriansyah¹⁾, Hana Catur Wahyuni²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: hanacatur@umsida.ac.id

Abstract. Fresh fruit is a highly perishable agricultural commodity and is vulnerable to quality degradation throughout the supply chain. Disruptions can cause economic losses and affect environmental and social sustainability. This study aims to identify and analyze risks in the fresh fruit supply chain using an integrated Sustainability Failure Mode and Effect Analysis (SFMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) approach. The research was conducted at UD. Anita Buah, Sidoarjo Regency, covering harvesting, post-harvest handling, storage, packaging, and distribution. SFMEA was used to identify failure modes, causes, impacts, and risk priorities using the Risk Priority Number (RPN). FTA was applied to investigate the root causes of high-priority risks. The results identified 14 risks across three sustainability aspects. Excess inventory had the highest priority, with an RPN of 272.59. Improvements include better inventory recording, interdepartmental coordination, and integration of sales and inventory transactions.

Keywords - Fruit Supply Chain; Sustainability; FMEA; FTA; Risk Management

Abstrak. Buah segar merupakan komoditas pertanian yang mudah rusak dan rentan mengalami penurunan kualitas sepanjang rantai pasok. Gangguan rantai pasok dapat menyebabkan kerugian ekonomi serta berdampak pada keberlanjutan lingkungan dan sosial. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis risiko pada rantai pasok buah segar menggunakan integrasi metode Sustainability Failure Mode and Effect Analysis (SFMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA). Penelitian dilakukan di UD. Anita Buah, Kabupaten Sidoarjo, meliputi proses pemanenan, penanganan pascapanen, penyimpanan, pengemasan, dan distribusi. SFMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, penyebab, dampak, serta menentukan prioritas risiko berdasarkan Risk Priority Number (RPN). FTA digunakan untuk menganalisis akar penyebab risiko prioritas tinggi. Hasil penelitian menunjukkan 14 risiko dari tiga aspek keberlanjutan. Persediaan berlebih memiliki prioritas tertinggi dengan RPN 272,59. Perbaikan meliputi peningkatan pencatatan persediaan, koordinasi antarbagian, serta integrasi transaksi penjualan dan persediaan.

Kata Kunci – Rantai Pasok Buah; Sustainability; FMEA; FTA; Manajemen Risiko

I. PENDAHULUAN

Buah-buahan segar merupakan komoditas pertanian yang sangat dianjurkan untuk dikonsumsi masyarakat karena kandungan vitamin, serat, dan mineralnya yang tinggi. Namun, buah segar memiliki masa simpan optimal yang singkat dan sangat mudah rusak, sehingga memerlukan penanganan khusus mulai dari tahap penerimaan dari pemasok hingga pengiriman ke konsumen guna memastikan kualitas produk tetap terjaga [1]. Toko Buah-buahan Anita Buah telah mematuhi peraturan dan memiliki izin usaha yang lengkap, menjadikannya layak sebagai dasar pendirian bisnis. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa Toko Buah-buahan Anita Buah memiliki potensi untuk berhasil di pasar Sidoarjo, asalkan strategi yang tepat diterapkan dan semua aspek kelayakan bisnis yang telah dianalisis terpenuhi. Salah satunya buah pisang raja, pisang kepok dan pisang *cavendish* dengan karakteristik ukuran buah yg seragam, warna lebih menarik dan rasa manis.

Dalam penelitian menggunakan pisang *cavendish* untuk mengetahui risiko yang ditimbulkan untuk keberlanjutan, namun dalam rantai pasok buah pisang *cavendish* seringkali mengalami kebusukan sebelum sampai ke konsumen yang disebabkan oleh manusia itu sendiri maupun lingkungan sekitar. Pisang *cavendish* yang ditujukan untuk pasar modern memerlukan prosedur pematangan khusus guna menjamin tingkat kematangan yang konsisten, warna kulit kuning yang merata, tekstur buah yang baik, serta masa simpan yang memenuhi kriteria pasar ritel; hal ini berbeda dengan pisang lokal tradisional yang sering kali dipasarkan dalam kondisi matang secara alami [2]. Pemahaman lokal ini pada dasarnya sejalan dengan riset mengenai sifat fisik pisang pasca panen, yang menunjukkan bahwa kerusakan mekanis di permukaan kulit mempercepat laju respirasi dan mendorong pertumbuhan mikroorganisme penyebab pembusukan [3]. Dalam rantai pasok hortikultura, karakter produk yang mudah rusak, ketidakpastian hasil panen, variasi musim, lokasi kebun yang tersebar, serta perbedaan skala dan kapasitas petani meningkatkan kompleksitas perencanaan pasokan [4]. Metode yang sering di gunakan yakni FMEA merupakan salah satu teknik yang sistematis

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

untuk menganalisa kegagalan [5] FMEA dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan sehingga dapat mengantisipasi kegagalan tersebut [6]. Sedangkan dalam SFMEA mengacu pada beberapa kategori dampak keberlanjutan sosial yang mencakup pemangku kepentingan dan lingkungan operasional dengan mengaitkan kegagalan dengan masalah sosial [7], kegagalan yg di alami akan berdampak pada kehidupan sosial seperti dalam perkembangan ekonomi, lingkungan dan sosial, dalam hal ini digunakan untuk evaluasi konsekuensi resiko terhadap keberlanjutan rantai pasok.

Penelitian sebelumnya risiko cacat buah dapat terjadi karna beberapa hal seperti memiliki umur simpan pendek dan mengalami perubahan bersama selama pendistribusian atau penyimpanan. Situasi ini mengarah pada pengadaan, penyimpanan, dan penjualan yang cepat dan akurat. Persediaan berfungsi tidak hanya untuk mengurangi ketersediaan barang tetapi juga untuk mengurangi biaya penyimpanan, risiko kehabisan stok, dan risiko kerusakan produk [8]. *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan teknik analisis yang sistematis dan deduktif yang membantu menentukan hubungan logis antara suatu peristiwa utama dan berbagai penyebab yang mendasarinya [9]. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis keberlanjutan penyebab cacat produk menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Kedua pendekatan tersebut berupaya mengkaji dan mengidentifikasi secara tepat penyebab mendasar dari cacat produk yang muncul selama proses manufaktur [10]. Terlebih pada UD. Anita Buah yang terdapat risiko kegagalan produk yang signifikan karena proses produksi masih sangat bergantung pada tenaga kerja manual..

Penelitian ini relevan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomer 2 yang membahas tentang menjaga ketahanan pangan, dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomer 3 yang membahas tentang Keamanan produk dan Kesehatan, *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomer 9 yang membahas tentang Inovasi sistem rantai pasok, *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomer 12 yang membahas tentang Produksi & konsumsi berkelanjutan [11]. Adapun batasan pada penelitian ini yakni: Objek penelitian dibatasi pada komoditas buah pisang dengan karakteristik buah segar yg cepat rusak, membusuk atau kualitas cepat menurun Pemilihan satu jenis buah dilakukan untuk memfokuskan analisis mutu dan risiko sumber data penelitian, Analisis hanya menggunakan metode FMEA dan FTA, serta analisis keberlanjutan (*sustainability*) dibatasi pada tiga aspek utama: Lingkungan (*environmental impact*), sosial (kesehatan dan keselamatan pekerja), dan ekonomi (efisiensi biaya dan kerugian produk). Kemudian berdasarkan permasalahan yang diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi potensi risiko yang dapat menyebabkan penurunan mutu buah segar pada setiap tahapan proses mulai dari panen, penanganan pascapanen, penyimpanan, pengemasan, hingga distribusi, (2) Menganalisis tingkat risiko mutu buah segar menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) melalui penilaian parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN) dan *Fault Tree Analysis* (FTA), (3) Membuat rekomendasi perbaikan yang tepat berdasarkan analisis dari metode FMEA dan FTA. Adapun batasan dalam penelitian

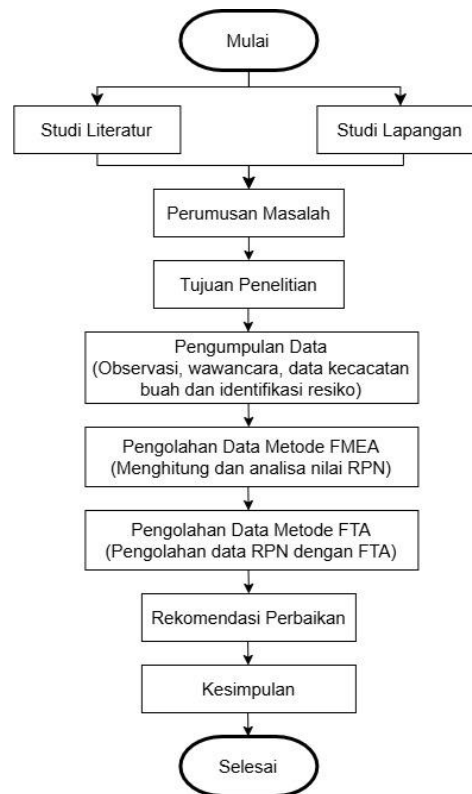
II. METODE

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Anita Buah yang berlokasi di Jl. Ps. Baru Porong No.3-4, Juwet, Juwetkenongo Kec. Porong, Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dari bulan September 2025 sampai bulan Februari 2026 melalui observasi langsung terhadap aktivitas rantai pasok buah pisang *cavendish*, wawancara dengan pihak yang terlibat dalam proses rantai pasok, serta penyebaran kuesioner untuk memperoleh penilaian tingkat *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*

B. Alur Penelitian

Berikut ini merupakan langkah-langkah penelitian yang digambarkan menggunakan flowchart pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

1. Pengambilan Data

Ada dua jenis data yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan sekunder: Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian, yaitu UD. Anita Buah. Data ini dikumpulkan melalui: Observasi langsung terhadap aktivitas rantai pasok buah segar, mulai dari penerimaan, penyimpanan, penanganan, pengemasan, hingga distribusi contohnya data hasil wawancara, pada penelitian ini berupa informasi mengenai kejadian risiko yang muncul pada setiap tahapan rantai pasok buah, mulai dari proses pengadaan, penyimpanan, distribusi, hingga penanganan buah sebelum dipasarkan. Narasumber dalam penelitian ini terdiri dari tiga pihak internal yang terlibat langsung dalam aktivitas rantai pasok buah dan dipilih karena memiliki pemahaman mendalam terhadap proses operasional, pengendalian mutu, dan aspek keberlanjutan. Adapun narasumber penelitian adalah sebagai berikut: (1) Petani, yaitu pihak yang bertanggung jawab atas produksi buah. (2) *Owner*, yaitu pihak yang bertanggung jawab atas pengelolaan administrasi dan pencatatan pengadaan buah, pengelolaan biaya operasional, serta pemantauan keberlanjutan ekonomi dalam aktivitas rantai pasok. (3) Staf distribusi dan penanganan produk, yaitu pihak yang bertugas memastikan buah tetap dalam kondisi layak jual, serta meminimalkan risiko kerusakan dan kehilangan selama proses pengiriman dan sebelum buah di pasarkan, kemudian pengisian kuesioner untuk penilaian risiko berdasarkan parameter *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) pada metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Sedangkan data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari literatur ilmiah berupa jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan manajemen risiko rantai pasok, FMEA, FTA, dan *sustainability*. Serta dokumen internal perusahaan, seperti alur proses operasional dan data pendukung lainnya.

2. Pengolahan Data

Dalam keberlanjutan rantai pasok memiliki peran strategis dalam meningkatkan efisiensi sekaligus menjaga ketahanan pangan dan keberlanjutan ekosistem, pendekatan strategis dalam pengelolaan rantai pasok yang tidak hanya fokus pada efisiensi ekonomi, tetapi juga memperhatikan aspek sosial dan lingkungan secara berkelanjutan, dimensi ekonomi dikaitkan dengan efisiensi biaya, dimensi lingkungan menekankan pada pengelolaan waste atau teknologi hijau [12]. Adapun pengolahan data yang dilakukan yaitu:

a. *Sustainability Failure Mode and Effect Analysis* (SFMEA)

Dalam keberlanjutan rantai pasok memiliki peran strategis dalam meningkatkan efisiensi sekaligus menjaga ketahanan pangan dan keberlanjutan ekosistem, pendekatan strategis dalam pengelolaan rantai pasok yang tidak hanya fokus pada efisiensi ekonomi, tetapi juga memperhatikan aspek sosial dan lingkungan secara berkelanjutan,

dimensi ekonomi dikaitkan dengan efisiensi biaya, dimensi lingkungan menekankan pada pengelolaan waste atau teknologi hijau [12]. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu produk atau proses, menganalisis penyebab serta dampak yang ditimbulkannya, dan menentukan prioritas tindakan perbaikan guna mencegah terjadinya kerusakan atau cacat, berikut tahapan metode FMEA (11): (1) *Severity* langkah pertama untuk menganalisis risiko dengan menghitung seberapa besar yang berdampak pada kejadian yang mempengaruhi output proses, (2) *Occurrence* merupakan kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan, (3) *Detection* merupakan pengukuran terhadap kemampuan untuk mencegah atau mengontrol kerusakan yang dapat terjadi, (4) *Risk Priority Number* (RPN) merupakan nilai yang diperoleh dari hasil perkalian antara skor severity, occurrence, dan detection. Nilai RPN digunakan sebagai dasar untuk menentukan prioritas risiko yang perlu ditangani serta sebagai acuan dalam mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan yang dilakukan.

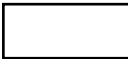
$$RPN = (S) \times (O) \times (D) \dots \dots \dots (1)$$

Sumber: [13], [14]

b. *Fault Tree Analysis* (FTA)

Metode ini dimulai dengan mengasumsikan kegagalan dari sebuah kejadian puncak melalui struktur pohon kesalahan, selanjutnya menganalisis dan merinci penyebab dari kejadian tersebut dalam bentuk diagram pohon, selain itu tujuannya yakni mampu memberikan rekomendasi perbaikan guna mengurangi cacat produk [15]. Gerbang logika menunjukkan keadaan yang dapat menyebabkan kegagalan, baik dalam bentuk kondisi tunggal maupun kombinasi dari berbagai kondisi. Struktur FTA terdiri dari gerbang logika seperti gerbang AND dan gerbang OR [16]. Berikut merupakan simbol untuk membuat diagram *Fault Tree Analysis* :

Tabel 1. Simbol Standart dalam *Fault Tree Analysis* (FTA)

Simbol	Nama Simbol	Deskripsi
	<i>Top Event</i>	Kejadian puncak yang tidak diinginkan
	<i>Logic Event OR</i>	Kejadian keluaran terjadi jika salah satu masukan terjadi
	<i>Logic Event AND</i>	Kejadian keluaran terjadi hanya jika semua masukan terjadi
	<i>Transferred Event</i>	Simbol transfer ke halaman lain
	<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar yang tidak dikembangkan karena keterbatasan informasi
	<i>Basic Event</i>	Akar penyebab yang tidak perlu dikembangkan lagi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

Berdasarkan hasil wawancara dengan 3 responden yang dipilih karna memiliki pemahaman terhadap risiko yang diteliti, mewakili udut pandang berbeda dalam rantai pasok dan keterlibatan langsung dalam aktivitas rantai pasok yakni petani, owner, dan staf distribusi kemudian terdapat resiko dari segi aspek ekonomi, aspek lingkungan, dan aspek sosial yang terjadi dalam rangkaian rantai pasok buah pisang *cavendish*. Tabel 2 merupakan hasil wawancara dengan responden serta beberapa risiko dan dampak yang ditemukan.

Tabel 2. Resiko dan Dampak

Kode	Aspek	Risiko	Dampak
E1	Aspek Ekonomi	Kerusakan produk selama distribusi	Jumlah produk layak jual berkurang, terjadi penyusutan produk, dan pendapatan menurun
E2		Kematangan produk tidak sesuai saat sampai retail	Masa jual produk menjadi lebih pendek, harga jual turun, bahkan produk tidak terjual
E3		Fluktuasi permintaan/permintaan pasar tidak stabil	Ketidakseimbangan antara persediaan dan permintaan sehingga meningkatkan risiko produk tidak terjual
E4		Kelebihan persediaan	Produk terlalu lama disimpan, meningkatkan risiko pembusukan dan biaya penyimpanan
E5		Produk mengalami penyusutan	Penurunan harga jual dari produk rusak, busuk, atau terlalu matang
E6		Keterlambatan pengiriman	Penurunan kualitas dan kehilangan pelanggan
L1	Aspek Lingkungan	Konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan	Meningkatkan penggunaan energi dan jejak karbon rantai pasok
L2		<i>Food waste</i> akibat pisang terlalu matang	Meningkatkan jumlah limbah pangan dan pemborosan sumber daya yang digunakan untuk menghasilkan produk
L3		Limbah kemasan	Meningkatkan volume limbah padat dan beban pengelolaan limbah
L4		Kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan	Mempercepat pematangan/pembusukan sehingga meningkatkan jumlah produk yang terbuang
S1	Aspek Sosial	Ketidakstabilan pendapatan petani	Petani mengalami penurunan pendapatan dan keberlangsungan usaha menjadi terganggu
S2		Keluhan konsumen akibat kualitas produk	Kepuasan dan kepercayaan konsumen menurun serta berpotensi menurunkan loyalitas
S3			Informasi mengenai permintaan, jumlah, dan kondisi produk terlambat sehingga keputusan operasional tidak tepat
S4			Konsumen kecewa, melakukan komplain, dan berpotensi beralih ke produk lain
		Ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen	

Pada tabel 2, diketahui terdapat 14 risiko pada rantai pasok buah pisang *cavendish*, dengan kode E merupakan risiko dari aspek ekonomi, kode L merupakan risiko dari aspek lingkungan dan kode S merupakan risiko dari aspek sosial.

1. Menentukan Nilai RPN dan Prioritas

Skala penilaian FMEA menggunakan rentang 1 sampai 10. Semakin tinggi nilai RPN, maka semakin tinggi prioritas perbaikan yang harus dilakukan. Jenis rework dengan nilai RPN tertinggi ditetapkan sebagai failure mode kritis dan menjadi prioritas utama dalam pengendalian proses [17], dengan bantuan kuesioner menggunakan penilaian skala ordinal 1 sampai 5 yang dibagikan kepada 3 responden yakni petani, owner, dan staf distribusi dengan rincian sebagai berikut : owner, petani, dan staf distribusi/penanganan produk Tabel 3 merupakan nilai skala penilaian.

Tabel 3. Skala Penilaian *Severity*, *Occurrence* dan *Detection* [18]

Nilai	<i>Severity</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Detection</i>
1-3	Dampak rendah	Jarang Terjadi	Sangat mudah dideteksi

Nilai	Severity	Occurrence	Detection
4-6	Dampak sedang	Kadang Terjadi	Cukup mudah dideteksi
7-8	Dampak tinggi	Sering Terjadi	Sulit dideteksi
9-10	Dampak sangat tinggi	Sangat sering terjadi	Sangat sulit dideteksi

Tabel 4 berikut merupakan hasil kuesioner dari ketiga responden berdasarkan risiko 1 hingga 14 pada aspek ekonomi, aspek lingkungan, dan aspek sosial, penilaian skala pada rentang nilai 1 hingga 10

Tabel 4. Hasil Kuesioner

Kode	S			Rata-rata	O			Rata-rata	D			Rata-rata
	R1	R2	R3		R1	R2	R3		R1	R2	R3	
E1	6	1	4	3,67	4	1	4	3,00	2	2	6	3,33
E2	10	8	6	8,00	4	4	4	4,00	2	2	4	2,67
E3	4	6	6	5,33	5	5	4	4,67	7	3	6	5,33
E4	8	8	7	7,67	7	7	6	6,67	7	3	6	5,33
E5	1	8	7	5,33	1	6	7	4,67	1	6	4	3,67
E6	3	4	6	4,33	1	1	5	2,33	2	1	4	2,33
L1	4	1	6	3,67	1	1	6	2,67	2	2	5	3,00
L2	7	8	9	8,00	5	5	6	5,33	2	4	4	3,33
L3	5	1	5	3,67	1	1	6	2,67	3	3	5	3,67
L4	1	5	6	4,00	1	3	6	3,33	3	3	5	3,67
S1	4	6	9	6,33	5	5	7	5,67	2	6	4	4,00
S2	8	6	7	7,00	4	5	7	5,33	2	2	5	3,00
S3	4	2	7	4,33	1	1	6	2,67	2	2	4	2,67
S4	2	2	6	3,33	5	5	5	5,00	2	2	6	3,33

Kemudian dari responden 1, 2 dan 3 diambil nilai rata-rata *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk kemudian di analisis menggunakan metode FMEA dilakukan dengan memberikan nilai dari *severity* dengan menunjukkan tingkat dampak kegagalan, *occurrence* yang menunjukkan tingkat frekuensi kegagalan dan *detection* yang menunjukkan tingkat dalam mendeteksi kegagalan, pada tabel 5 merupakan hasil dari responden dan perhitungan nilai RPN.

Tabel 5. Perhitungan Nilai RPN

Kode	Risiko	S	O	D	RPN	Prioritas
E1	Kerusakan produk selama distribusi	3,67	3,00	3,33	36,67	10
E2	Kematangan produk tidak sesuai saat sampai retail	8,00	4,00	2,67	85,33	7
E3	Fluktuasi permintaan/permintaan pasar tidak stabil	5,33	4,67	5,33	132,74	4
E4	Kelebihan persediaan	7,67	6,67	5,33	272,59	1
E5	Produk mengalami penyusutan	5,33	4,67	3,67	91,26	6
E6	Keterlambatan pengiriman	4,33	2,33	2,33	23,59	14
L1	Konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan	3,67	2,67	3,00	29,33	13
L2	<i>Food waste</i> akibat pisang terlalu matang	8,00	5,33	3,33	142,22	3
L3	Limbah kemasan	3,67	2,67	3,67	35,85	11
L4	Kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan	4,00	3,33	3,67	48,89	9
S1	Ketidakstabilan pendapatan petani	6,33	5,67	4,00	143,56	2
S2	Keluhan konsumen akibat kualitas produk	7,00	5,33	3,00	112,00	5
S3	Komunikasi antar pelaku rantai pasok tidak efektif	4,33	2,67	2,67	30,81	12
S4	Ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen	3,33	5,00	3,33	55,56	8

Berdasarkan tabel 4 penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection* diambil dari 3 responden berdasarkan rata-rata penilaian 1 s/d 10, sedangkan nilai *risk priority number* didapat dari perkalian *severity*, *occurrence*, dan *detection* dengan hasil tertinggi terdapat pada risiko E4 yakni pada kelebihan persediaan yang menduduki prioritas pertama dengan nilai RPN 272,59 selanjutnya risiko S1 yakni ketidakstabilan pendapatan petani menunjukkan nilai RPN 143,56 dengan prioritas kedua, risiko L2 yakni *food waste* akibat pisang terlalu matang dengan nilai RPN 142,22 menjadi prioritas ketiga, risiko E3 yakni fluktuasi permintaan/permintaan tidak stabil dengan nilai RPN 132,74 prioritas keempat, risiko S2 yakni keluhan konsumen akibat kualitas produk dengan nilai RPN 112,00 prioritas kelima, risiko E5 yakni produk mengalami penyusutan dengan nilai RPN 91,26 prioritas keenam, risiko E2 yakni kematangan produk tidak sesuai saat sampai retail dengan nilai RPN 85,33 prioritas ketujuh, risiko S4 yakni ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen dengan nilai RPN 55,56 prioritas kedelapan, risiko L4 yakni kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan dengan nilai RPN 48,89 prioritas kesembilan, risiko E1 yakni kerusakan produk selama distribusi dengan nilai RPN 36,67 prioritas kesepuluh, risiko L3 yakni limbah kemasan dengan nilai RPN 35,85 pada prioritas kesebelas, risiko S3 yakni komunikasi antar pelaku rantai pasok tidak efektif dengan nilai RPN 30,81 prioritas keduabelas, risiko L1 yakni konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan dengan nilai RPN 29,33 prioritas ketigabelas, risiko E6 yakni keterlambatan pengiriman dengan nilai RPN 23,59 prioritas keempatbelas.

2. Menentukan Kategori Level Risiko

Setelah ditemukan nilai *risk priority number* yang memiliki prioritas tertinggi kemudian dikelompokkan di level risiko yang bertujuan untuk mengetahui tingkat urgensi dari masing-masing risiko serta menentukan penanganan risiko yang sesuai. Tabel 6 merupakan kategori level risiko yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Kategori Level Risiko [19]

Rentang Nilai RPN	Level Risiko	Prioritas Penanganan
1-150	Rendah	Risiko dapat diterima, tidak memerlukan tindakan segera
151-250	Sedang	Perlu pemantauan dan perbaikan rutin
251-350	Tinggi	Memerlukan tindakan perbaikan prioritas
351-1000	Sangat tinggi	Memerlukan intervensi segera dan mendasar

Selanjutnya setelah menentukan skala penilaian kemudian menyusun penentuan level risiko dari kategori rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi dengan tujuan untuk mengetahui tingkat urgensi pada tiap risiko serta menentukan penanganan yang tepat, semakin tinggi nilai RPN maka semakin tinggi pula prioritas risiko tersebut untuk mendapatkan tindakan perbaikan.

Tabel 7. Penentuan Level Risiko

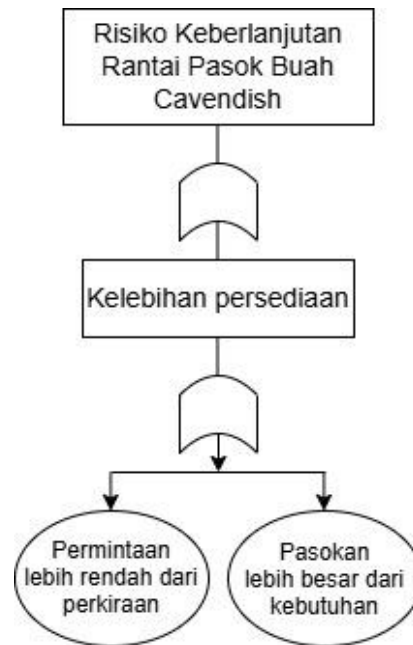
Kode	Resiko	Level Risiko
E1	Kerusakan produk selama distribusi	Rendah
E2	Kematangan produk tidak sesuai saat sampai retail	Rendah
E3	Fluktuasi permintaan/permintaan pasar tidak stabil	Rendah
E4	Kelebihan persediaan	Tinggi
E5	Produk mengalami penyusutan	Rendah
E6	Keterlambatan pengiriman	Rendah
L1	Konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan	Rendah
L2	<i>Food waste</i> akibat pisang terlalu matang	Sedang
L3	Limbah kemasan	Rendah
L4	Kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan	Rendah
S1	Ketidakstabilan pendapatan petani	Sedang
S2	Keluhan konsumen akibat kualitas produk	Rendah
S3	Komunikasi antar pelaku rantai pasok tidak efektif	Rendah
S4	Ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen	Rendah

Pada tabel 7 dapat diketahui level risiko tinggi pada E4 mengenai keberlanjutan ekonomi yakni kelebihan persediaan, risiko sedang pada L2 mengenai keberlanjutan lingkungan yakni *food waste* akibat pisang terlalu matang, dan pada S1 mengenai keberlanjutan sosial yakni ketidakstabilan pendapatan petani, sedangkan level risiko rendah pada keberlanjutan ekonomi E1 yakni kerusakan produk selama distribusi, E2 yakni kematangan produk tidak sesuai

saat sampai retail, E3 fluktuasi permintaan/permintaan tidak stabil, E5 yakni produk mengalami penyusutan, E6 yakni keterlambatan pengiriman, keberlanjutan lingkungan L1 yakni Konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan, L3 yakni limbah kemasan, L4 yakni kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan, keberlanjutan sosial S2 yakni keluhan konsumen akibat kualitas produk, S3 yakni komunikasi antar pelaku rantai pasok tidak efektif dan S4 yakni ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen.

A. Fault Tree Analysis

Fault Tree Analysis (FTA) digunakan untuk mengenali akar dari penyebab masalah [20], seperti pada risiko E4 yang menempati level tinggi yang menyebabkan kelebihan persediaan. Seperti pada gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Diagram *Fault Tree Analysis* Untuk Risiko Keberlanjutan Rantai Pasok Buah

C. Control

Dalam tahap pengendalian ini, dirumuskan serangkaian rekomendasi perbaikan untuk menanggulangi akar penyebab dari risiko yang telah teridentifikasi padarantai pasok pisang *cavendish*, yang diharapkan dapat meminimalkan terjadinya kelebihan persediaan, *food waste* akibat produk terlalu matang dan ketidakstabilan pendapatan petani, hal ini juga difungsikan sebagai tindakan preventif untuk mengurangi kemungkinan terulangnya risiko serupa dan mendukung keberlanjutan rantai pasok buah pisang *cavendish*.

Tabel 7. Rekomendasi dan Usulan Perbaikan

Aspek pengendalian	Tindakan	Sumber
Kelebihan persediaan	Peningkatan disiplin pencatatan persediaan, perbaikan koordinasi antar bagian, integrasi transaksi penjualan dan persediaan diperlukan agar perubahan stok tercatat konsisten dan dapat digunakan untuk keputusan pengadaan.	[21], [8]
<i>Food waste</i> akibat pisang terlalu matang	Evaluasi kinerja setiap bulan melalui akurasi stok, jumlah stockout, produk rusak, perputaran stok, dan ketepatan waktu pemasok.	[8]
Ketidakstabilan pendapatan petani	Fasilitasi pembelian kolektif pupuk untuk menekan biaya, membentuk koperasi pemasaran dengan penjualan kolektif terjadwal agar volume dan posisi tawar meningkat.	[22]

Berdasarkan tabel tersebut, sejumlah faktor pengendalian perlu dipertimbangkan untuk mengatasi masalah terkait keberlanjutan rantai pasok dan manajemen inventaris. Prosedur pengendalian untuk kelebihan inventaris dirancang untuk memastikan bahwa setiap perubahan tingkat stok didokumentasikan secara akurat dan konsisten, sehingga keputusan pengadaan dapat didasarkan pada data inventaris. Selain itu, evaluasi kinerja inventaris secara rutin khususnya yang dilakukan setiap bulan dapat digunakan untuk mencegah pemborosan pangan akibat pisang yang terlalu matang. Selain masalah pendapatan petani yang fluktuatif, evaluasi ini mencakup sejumlah indikator, seperti akurasi stok, frekuensi kehabisan stok, jumlah produk rusak, tingkat perputaran inventaris, dan ketepatan waktu pemasok; oleh karena itu, langkah-langkah pengendalian difokuskan pada peningkatan efektivitas biaya dan penguatan daya tawar petani. Memfasilitasi pembelian pupuk secara berkelompok untuk menekan harga sarana produksi pertanian merupakan salah satu strategi tersebut; penerapan langkah-langkah ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan inventaris sekaligus mendorong keberlanjutan rantai pasok.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan temuan penelitian, tujuan penelitian dicapai melalui penerapan terintegrasi *Sustainability Failure Mode and Effect Analysis* (SFMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) pada rantai pasok pisang *cavendish*. Pertama, sebanyak 14 risiko yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial pada berbagai tahapan rantai pasok, mulai dari pemanenan hingga pengolahan pascapanen, penyimpanan, pengemasan, dan distribusi diidentifikasi selama proses identifikasi berlangsung, yang terdiri meliputi kerusakan produk selama distribusi, kematangan produk tidak sesuai sampai retail, fluktuasi permintaan, kelebihan persediaan, produk mengalami penyusutan, keterlambatan pengiriman, konsumsi energi tinggi pada fasilitas penyimpanan, *food waste* akibat pisang terlalu matang, limbah kemasan, kerusakan produk akibat kondisi penyimpanan, ketidakstabilan pendapatan petani, keluhan konsumen akibat kualitas produk, komunikasi antar pelaku rantai pasok tidak efektif, dan ketidakmampuan memenuhi kebutuhan konsumen.

Kemudian analisis FMEA, kelebihan persediaan merupakan risiko dengan nilai RPN tertinggi 272,59, sehingga menjadikannya prioritas utama. Prioritas kedua dan ketiga adalah limbah pangan akibat pisang yang terlalu matang RPN 142,22 dan ketidakstabilan pendapatan petani RPN: 143,56. ketidakstabilan pendapatan petani dan limbah pangan akibat pisang yang terlalu matang termasuk dalam kategori risiko sedang yang memerlukan pemantauan serta perbaikan berkala, sedangkan kelebihan persediaan masuk dalam kategori risiko tinggi yang memerlukan tindakan perbaikan prioritas. Dan untuk analisis FTA akar penyebab dari kelebihan persediaan yakni permintaan terlalu rendah dari perkiraan, pasokan lebih besar dari kebutuhan, akar penyebab dari *food waste* pisang terlalu matang yakni penyimpanan terlalu lama, suhu simpan tidak sesuai dan risiko ketidakstabilan pendapatan petani dengan akar penyebab hasil panen tidak stabil, dan fluktuasi permintaan pasar.

Selanjutnya saran perbaikan telah disusun untuk mengelola risiko dalam rantai pasok pisang *cavendish*. Peningkatan komunikasi antar departemen, integrasi transaksi penjualan dan persediaan, serta peningkatan kedisiplinan dalam pendokumentasian persediaan merupakan langkah penting untuk menangani kelebihan stok. Evaluasi kinerja secara berkala perlu dilakukan dengan menitikberatkan pada aspek akurasi stok, frekuensi kekosongan stok, kerusakan produk, perputaran inventaris, dan ketepatan waktu pemasok guna mengurangi kehilangan pangan akibat pematangan berlebih. Sementara itu, pembelian pupuk secara kolektif serta pembentukan koperasi pemasaran yang menerapkan penjualan kolektif terencana untuk meningkatkan volume dan memperkuat posisi tawar petani disarankan sebagai upaya mengurangi ketidakpastian pendapatan petani. Langkah-langkah ini diharapkan dapat meminimalkan risiko yang telah teridentifikasi sekaligus mendorong keberlanjutan sosial, lingkungan, dan ekonomi dalam rantai pasok pisang *cavendish*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan perusahaan yang bersangkutan atas diberikannya kesempatan untuk penelitian.

REFERENSI

- [1] N. S. Sandora, E. Triastutiningsih, and A. Tsani, "Pengendalian Persediaan Buah Segar Pada Ritel Modern," vol. 6, no. 1, pp. 67–78, 2023.
- [2] M. Sofwan, E. Muazaroh, and M. N. Widyanti, "Strategi Optimalisasi Rantai Pasok Pisang Lokal Berbasis Pemberdayaan Masyarakat Sebagai Sumber Ketahanan Pangan Daerah," *Ilmu Pertan.*, vol. 2, no. 1, pp. 9–20, 2026.

- [3] P. C. D. Waruwu *et al.*, “Penerapan Sarunisasi Sebagai Upaya Perlindungan Buah Pisang Kepok di Kabupaten Nias,” vol. 6, no. 2, pp. 293–299, 2026.
- [4] H. R. Iswari, A. Setiawan, M. Ridlo, and A. W. M. R. B. Nur, “Pendampingan Tata Kelola Pasokan Pisang Kepok Berbasis Data bagi Hilirisasi PIGELA Chips,” vol. 4, no. 2, pp. 160–172, 2026, doi: 10.62588/ahjpm.2026.v4i2.295.
- [5] D. F. Pogram and R. Prijadi, “FMEA-Based Logistic Regression Model for the Evaluation of Photovoltaic Power Plant Risk,” *Quant. Econ. Manag. Stud.*, vol. 5, no. 3, 2024.
- [6] I. Abdussalam and D. S. Donoriyanto, “Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Bakpia Menggunakan Metode FMEA Di Rumah Produksi Bakpia AS Sidoarjo,” *J. Tek. Ibnu Sina*, vol. 9, no. 02, pp. 105–115, 2024.
- [7] C. Spreafico and A. Sutrisno, “Artificial Intelligence Assisted Social Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Sustainable Product Design,” pp. 1–16, 2023.
- [8] M. R. Pambudi, R. A. Guritno, K. B. Pringgondani, M. V. Maulana, and A. Febriani, “Analisis Rantai Pasok Pengendalian Persediaan Dan Rancangan Sistem Informasi Pada UMKM Ritel Buah Segar,” *J. disprotek*, vol. 17, no. 2, pp. 119–128, 2026.
- [9] F. P. Putri, T. Ariani, N. Hairiyah, Nuryati, R. R. Amalia, and E. Lestari, “Analisis Kehilangan Minyak pada Stasiun Press di Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA),” vol. 13, no. 1, pp. 249–264, 2026.
- [10] A. Priyambada, A. Finali, I. S. P. DY, M. L. Umar, and R. E. P. Utomo, “Analisa Penyebab Kerusakan Pada Belt Conveyor Di PT XYZ Menggunakan Metode FTA Dan FMEA,” *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 1015–1025, 2024.
- [11] E. W. Nasution and T. Ningsih, “Optimalisasi Manajemen Rantai Pasok dalam Agribisnis : Studi Kasus Produksi Kelapa Sawit di Negara Berkembang,” *J. Pertan. Berkelanjutan*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [12] A. H. Astrima, N. J. Lona, W. A. Adnyana, and Y. N. Muflikh, “Peran Inovasi Dan Teknologi Dalam Manajemen Rantai Pasok Berkelanjutan Pada Industri Agrifood: Tinjauan Literatur Sistematis,” *J. Agribisnis Indones.*, vol. 13, no. 2, pp. 258–291, 2025.
- [13] R. Rayendra and L. H. Resfi, “Analisis Resiko Defect pada Proses Delivery dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. Indo Perkasa Logistik,” vol. 11, no. 252–257, 2024.
- [14] N. Rizky *et al.*, “Analisa Kerusakan Forklift Menggunakan Metode FMEA Dan FTA Pada PT. Karya Mitra Teknik Sidoarjo,” pp. 1–11, 2023.
- [15] M. Yolanda, Y. Ekawati, and S. Noya, “Penerapan Metode Fault Tree Analysis Untuk Mencegah Kegagalan Pada Departemen Interior di PT X,” *J. Sains dan Apl. Keilmuan Tek. Ind.*, vol. 03, no. 01, pp. 49–58, 2023.
- [16] B. A. Pratama and A. J. Nugroho, “Identifikasi Bahaya Kecelakaan Kerja Di Pt. Xyz Dengan Metode Job Safety Analysis (JSA) Dan Fault Tree Analysis (FTA),” *J. Ilm. Penelit. Mhs.*, vol. 4, no. 3, pp. 537–546, 2026.
- [17] A. G. Ramadhan, F. E. Putra, A. Andriyansyah, P. T. Industri, F. Teknik, and U. P. Bangsa, “Analisis Efektivitas Metode FMEA dalam Pengendalian Kualitas Proses Produksi Untuk Mengurangi Produk Cacat pada PT . XYZ,” vol. 5, no. 3, pp. 1263–1276, 2026, doi: 10.55123/insologi.v5i3.8604.
- [18] S. P. Muswantoro, “Integrasi Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Monitoring Realtime Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Pengendalian Rework dan Peningkatan Efisiensi Produksi pada Industri Alas Kaki,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 5, no. 3, pp. 1288–1297, 2026.
- [19] F. Azima, N. Ariati, A. Saputra, M. B. Sujana, and M. Daffa, “Analisis Prioritas Risiko Penggunaan Aplikasi

- GOJEK Menggunakan Metode FMEA Pada Mahasiswa UIGM,” *J. Sist. dan Teknol. Inf. Komun.*, vol. 9, no. 2, 2026.
- [20] V. P. Jatilaksana, S. S. Dahda, and Y. P. Negoro, “Analisis Risiko Kegagalan Komponen Elektrikal Pada Mesin Overhead Crane Dengan Metode FMEA dan FTA,” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 4, no. 4, pp. 2045–2056, 2025.
- [21] M. H. Jalaluddin, Mursalim, and J. S. Tjan, “Evaluasi Efektivitas Penerapan Sistem Pengendalian Internal Berbasis COSO atas Persediaan Barang Dagang pada Pabrik Plafon PVC : Studi Kasus pada PT . Mahkota Karya Plasindo,” *Educ. Learn. J.*, vol. 5, pp. 1647–1655, 2026.
- [22] S. Apriyani, N. Jayanti, and Y. Nearti, “Strategi Peningkatan Pendapatan Petani Karet (Hevea Brasilinsies) yang dipengaruhi Fluktuasi Harga di Desa Lubuk Rengas Kecamatan Rantau Bayur Kabupaten Banyuasin (Strategy to Improve Rubber Farmers (Hevea Brasiliensis) Income Affected by Price Fluct,” *J. Ilm. Pertan. dan Peternak.*, vol. 2, pp. 97–111, 2025.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.