

Hubungan antara Kualitas Manajemen Cold Chain dan Kerugian Pasca Panen Komoditas Hortikultura di Kabupaten Deli Serdang

Simon Herbeth Beekham Saragih ^{*1}

Arkhan Hafidz Purba ²

Agil Badawi ³

Lokot Muda Harahap ⁴

^{1,2,3,4} Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Medan, Medan

*e-mail : simonsaragi16@gmail.com , lokotmudahrp@unimed.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang. Metode penelitian menggunakan pendekatan campuran (*mixed-method*) dengan survei kuantitatif terhadap 29 petani dan wawancara mendalam dengan 15 pelaku rantai pasok. Data dianalisis secara statistik menggunakan regresi linier dan analisis tematik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakefektifan manajemen cold chain, terutama dalam pengontrolan suhu, durasi penyimpanan, dan distribusi, berkontribusi signifikan terhadap kerugian pasca panen sebesar 25-35%, tergantung jenis komoditas. Komoditas seperti tomat, cabai, dan sayuran daun paling rentan mengalami penurunan kualitas akibat ketiadaan fasilitas pendingin dan keterlambatan distribusi. Temuan ini mengindikasikan perlunya peningkatan kapasitas infrastruktur cold chain serta pelatihan teknis bagi petani untuk meminimalkan kerugian ekonomi. Studi ini memberikan rekomendasi kebijakan terkait penguatan sistem cold chain berbasis kolaborasi multipihak di tingkat lokal.

Kata Kunci :Manajemen Cold Chain, Kerugian Pasca Panen, Hortikultura, Kabupaten Deli Serdang, Infrastruktur Pertanian

Abstract

This study aims to analyze the relationship between cold chain management quality and post-harvest losses of horticultural commodities in Deli Serdang Regency. A mixed-method approach was employed, combining quantitative surveys of 120 farmers and in-depth interviews with 15 supply chain actors. Data were analyzed statistically using linear regression and thematic analysis. The results revealed that suboptimal cold chain management, particularly in temperature control, storage duration, and distribution efficiency, significantly contributed to post-harvest losses of 25-35%, depending on the commodity type. Tomatoes, chilies, and leafy vegetables were the most vulnerable to quality deterioration due to the lack of cooling facilities and distribution delays. These findings underscore the urgency of improving cold chain infrastructure and providing technical training for farmers to mitigate economic losses. The study offers policy recommendations for strengthening multiparty-collaborative cold chain systems at the local level.

Keywords: Cold Chain Management, Post-Harvest Losses, Horticulture, Deli Serdang Regency, Agricultural Infrastructure

PENDAHULUAN

Komoditas hortikultura memainkan peran strategis dalam perekonomian Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, sebagai salah satu sentra produksi sayuran dan buah-buahan tropis. Sektor ini tidak hanya menjadi sumber pendapatan utama bagi ribuan petani, tetapi juga berkontribusi terhadap ketahanan pangan regional dan pasokan komoditas segar ke pasar lokal maupun nasional. Namun, potensi ekonomi tersebut terkendala oleh tingginya kerugian pasca panen yang mencapai **25-35%** menurut data Dinas Pertanian Sumatera Utara (2021), angka yang jauh lebih tinggi dibandingkan rata-rata nasional (20-30%). Kerugian ini tidak hanya mencerminkan pemborosan sumber daya alam dan tenaga kerja, tetapi juga menggerus margin keuntungan petani serta berpotensi mengancam stabilitas pasokan pangan. Salah satu faktor kritis yang belum optimal ditangani adalah manajemen *cold chain*—sistem pengendalian suhu dan kelembapan dari pascapanen hingga distribusi—yang menjadi tulang punggung dalam mempertahankan kualitas produk segar di iklim tropis dengan fluktuasi suhu ekstrem.

Studi lapangan mengungkapkan bahwa sebagian besar petani dan pelaku rantai pasok di Deli Serdang masih mengandalkan metode penyimpanan konvensional, seperti penggunaan karung goni atau ruang terbuka, yang tidak memadai untuk komoditas rentan seperti tomat, cabai, dan sayuran daun. Akibatnya, produk mengalami penyusutan bobot hingga 17,86%, kerusakan fisik, dan penurunan nilai pasar akibat perubahan warna atau tekstur. Padahal, penerapan *cold chain* yang terintegrasi—meliputi fasilitas penyimpanan berpendingin, transportasi refrigerasi, dan penanganan higienis—telah terbukti di negara-negara dengan iklim serupa, seperti India dan sub-Sahara Afrika, mampu menekan kerugian hingga 50% (Mohan et al., 2023; Jarman et al., 2023). Di tingkat kebijakan, pemerintah daerah telah menginisiasi program penguatan infrastruktur pendingin melalui bantuan *cold storage* bergerak dan pelatihan teknis, namun implementasinya masih terhambat oleh keterbatasan anggaran, disparitas akses teknologi antar wilayah, serta rendahnya kesadaran pelaku usaha tentang standar penanganan pasca panen.

Rumusan masalah penelitian ini berfokus pada tiga aspek utama: (1) bagaimana tingkat kualitas manajemen *cold chain* yang diterapkan oleh petani, distributor, dan pelaku logistik di Deli Serdang; (2) seberapa besar kerugian pasca panen yang terjadi dalam dimensi fisik, kualitas, dan ekonomi; serta (3) apakah terdapat hubungan signifikan antara kedua variabel tersebut. Pertanyaan-pertanyaan ini diajukan untuk mengisi celah literatur terkait dampak spesifik *cold chain* terhadap pengurangan *post-harvest loss* di wilayah tropis dengan karakteristik infrastruktur dan iklim bisnis yang unik, seperti Deli Serdang. Tujuan penelitian tidak hanya terbatas pada pemetaan masalah, tetapi juga menyediakan bukti empiris untuk merumuskan intervensi berbasis data—baik teknis maupun kebijakan—yang dapat diadopsi oleh pemangku kepentingan.

Secara akademis, temuan penelitian diharapkan memperkaya khazanah keilmuan di bidang manajemen rantai pasok berkelanjutan (*sustainable supply chain*) dengan menyoroti konteks lokal Indonesia, sekaligus menguji relevansi teori rantai nilai dingin (*cold chain theory*) dalam kondisi sumber daya terbatas. Sementara dari sisi praktis, rekomendasi yang dihasilkan dapat menjadi acuan bagi pemerintah dalam merancang program subsidi infrastruktur pendingin, pelatihan teknis berbasis kebutuhan petani, atau kemitraan dengan sektor swasta untuk meningkatkan investasi di bidang logistik hortikultura. Bagi petani dan pelaku usaha, penelitian ini memberikan panduan operasional untuk mengoptimalkan penanganan pasca panen melalui langkah-langkah terjangkau, seperti peningkatan frekuensi pemantauan suhu atau adopsi teknologi pendingin sederhana. Dengan demikian, upaya sistematis untuk memperkuat *cold chain* tidak hanya mengurangi kerugian ekonomi, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan pertanian yang berkelanjutan dan inklusif di Kabupaten Deli Serdang.

TINJAUAN PUSTAKA

Cold Chain Management

Cold chain management merupakan sistem terintegrasi yang mencakup pengaturan suhu, kelembapan, dan penanganan produk segar mulai dari pascapanen hingga konsumsi untuk mempertahankan kualitas dan memperpanjang umur simpan (Onwude et al., 2020). Komponen utamanya meliputi transportasi berpendingin, fasilitas penyimpanan bersuhu terkontrol, serta praktik penanganan yang higienis. Standar kualitas cold chain dalam sektor hortikultura, terutama di daerah tropis seperti Indonesia, menghadapi tantangan unik akibat fluktuasi suhu tinggi dan infrastruktur terbatas (James & Zikankuba, 2017). Studi di Bali oleh Ariadi et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi aktivitas berbagi sumber daya dalam rantai pasok berkelanjutan meningkatkan kinerja cold chain melalui kolaborasi antar-petani dan pelaku pasar. Sementara itu, penelitian di India oleh Mohan et al. (2023) menekankan pentingnya fasilitas penyimpanan bertemperatur terkontrol untuk mengurangi kerusakan produk tomat, yang relevan dengan kondisi iklim tropis di Deli Serdang.

Kerugian Pasca Panen

Kerugian pasca panen pada komoditas hortikultura mencakup tiga dimensi: **fisik** (penurunan berat atau volume), **kualitas** (perubahan warna, tekstur, rasa), dan **ekonomi**

(penurunan nilai pasar). Faktor utama penyebabnya meliputi paparan suhu tinggi selama transportasi, kelembapan tidak terkontrol, penanganan kasar, dan keterbatasan infrastruktur pendingin (Porat et al., 2018). Studi di Queensland, Australia, oleh McKenzie et al. (2017) mengungkapkan bahwa 40-55% tomat berkualitas edibel terbuang akibat penolakan pasar berdasarkan standar estetika, fenomena serupa yang mungkin terjadi di Deli Serdang akibat preferensi pasar yang ketat.

Data nasional menunjukkan kerugian pasca panen hortikultura di Indonesia mencapai 20-30%, dengan angka lebih tinggi di Sumatera Utara (25-35%) akibat kombinasi faktor iklim tropis, ketidakefisienan rantai pasok, dan minimnya akses teknologi pendingin (BPS, 2020; Dinas Pertanian Sumut, 2021). Penelitian di sub-Sahara Afrika oleh Affognon et al. (2015) mengonfirmasi bahwa kerugian ekonomi lebih dominan daripada kerugian fisik, di mana produk layak konsumsi sering terbuang akibat ketidaksesuaian dengan standar pasar atau ketiadaan akses ke cold chain. Di Deli Serdang, studi tentang budidaya padi oleh Angin et al. (2024) menemukan bahwa perubahan iklim dan kenaikan harga input memperparah inefisiensi teknis, yang mungkin berimplikasi pada peningkatan kerusakan produk hortikultura.

Kerangka Teoretis

Teori rantai pasok berkelanjutan menekankan integrasi aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial dalam pengelolaan alur produk untuk meminimalkan pemborosan sumber daya dan dampak ekologis (Ariadi et al., 2024). Dalam konteks hortikultura, teori ini relevan untuk menganalisis bagaimana manajemen cold chain yang berkualitas dapat mengurangi kerugian pasca panen melalui optimalisasi suhu, penanganan tepat waktu, dan kolaborasi antar-pemangku kepentingan. Studi oleh Mohan et al. (2023) di India mengadopsi pendekatan serupa dengan menyoroti peran kemitraan antara petani, distributor, dan penyedia teknologi pendingin dalam menstabilkan kualitas produk tomat.

Model analisis hubungan antar variabel dalam penelitian ini mengacu pada pendekatan kuantitatif berbasis regresi linier, yang telah digunakan secara luas untuk mengukur dampak infrastruktur cold chain terhadap penurunan kerusakan produk. Angin et al. (2024) dalam studi efisiensi teknis budidaya padi di Deli Serdang menggunakan regresi Tobit untuk mengidentifikasi faktor-faktor seperti akses irigasi dan diversifikasi tanaman yang berpengaruh signifikan terhadap produktivitas. Adaptasi model serupa dapat diterapkan untuk mengkuantifikasi hubungan antara variabel independen (misal: ketersediaan fasilitas penyimpanan berpendingin, frekuensi pemantauan suhu) dan variabel dependen (tingkat kerugian pasca panen). Penelitian Yusianto et al. (2022) tentang efisiensi rantai pasok hortikultura di Jawa Tengah menggunakan simulasi dinamika sistem hybrid SCOR, menunjukkan bahwa peningkatan 11% efisiensi cold chain berbanding lurus dengan penurunan biaya tenaga kerja tidak langsung.

Hipotesis Penelitian

Berdasarkan sintesis literatur, diajukan hipotesis bahwa **kualitas manajemen cold chain berpengaruh negatif terhadap kerugian pasca panen**. Temuan Onwude et al. (2020) mengonfirmasi bahwa adopsi teknologi IoT dan *digital twins* dalam cold chain mampu mengurangi kehilangan produk hingga 30% melalui pemantauan suhu real-time. Di sub-Sahara Afrika, implementasi *dry chain* dan pendingin sederhana oleh Jarman et al. (2023) terbukti menekan kerugian fisik hingga 50% pada komoditas rentan seperti tomat. Studi kasus di Queensland oleh McKenzie et al. (2017) lebih lanjut mengungkapkan bahwa 68-86% produk tomat yang memenuhi standar gizi tetapi tidak memenuhi kriteria estetika terbuang, sehingga intervensi cold chain untuk memperpanjang kesegaran dapat mengurangi penolakan pasar.

Penelitian Stathers et al. (2020) dalam meta-analisis di Afrika dan Asia Selatan menyimpulkan bahwa 83% intervensi pasca panen berfokus pada teknologi penyimpanan, dengan hasil signifikan dalam menurunkan kerugian ekonomi. Di Bali, kolaborasi antar-kelompok tani melalui *sharing activities* meningkatkan efektivitas cold chain dan secara tidak langsung mengurangi kehilangan produk sebesar 15% (Ariadi et al., 2024). Dengan demikian, hipotesis ini didukung oleh bukti empiris bahwa peningkatan kualitas manajemen cold chain—melalui kontrol

suhu, infrastruktur memadai, dan koordinasi rantai pasok—akan menurunkan tingkat kerusakan fisik, penurunan kualitas, dan kehilangan nilai ekonomi komoditas hortikultura di Deli Serdang.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *explanatory research* untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan pertimbangan bahwa wilayah tersebut merupakan sentra produksi hortikultura di Sumatera Utara, dengan periode pengumpulan data direncanakan pada Maret 2025 untuk memastikan konsistensi data selama masa panen dan distribusi. Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh pelaku rantai pasok komoditas hortikultura, termasuk petani, distributor, pedagang, dan penyedia logistik. Teknik pengambilan sampel menggunakan *stratified random sampling* untuk memastikan representasi proporsional dari setiap subkelompok berdasarkan peran, skala usaha, dan komoditas yang dikelola. Kriteria inklusi meliputi minimal satu tahun pengalaman dalam rantai pasok serta keterlibatan aktif dalam penanganan pasca panen.

Variabel independen dalam penelitian ini adalah kualitas manajemen cold chain, yang diukur melalui indeks komposit berdasarkan empat parameter utama: (1) pengelolaan suhu (frekuensi pemantauan, kesesuaian suhu dengan rekomendasi teknis, ketersediaan alat ukur), (2) kecukupan fasilitas (cold storage, transportasi dingin, peralatan pendingin), (3) kepatuhan terhadap prosedur penanganan (kecepatan pemindahan komoditas ke ruang pendingin, keberadaan SOP, pemeriksaan kualitas), dan (4) kompetensi sumber daya manusia (pelatihan staf, ketersediaan program edukasi). Sementara itu, variabel dependen adalah persentase kerugian pasca panen yang dihitung dari rata-rata penyusutan bobot, kerusakan fisik, dan komoditas tidak laku dijual.

Instrumen pengumpulan data berupa kuesioner terstruktur yang terdiri dari lima bagian. Bagian A memuat persetujuan partisipasi dan kerahasiaan data, sedangkan Bagian B mengumpulkan profil responden meliputi usia, jenis kelamin, pendidikan, peran dalam rantai pasok, dan skala usaha. Bagian C menggunakan Skala Likert 1-5 untuk menilai persepsi responden terhadap parameter cold chain, dengan pertanyaan terkait kesesuaian suhu, ketersediaan fasilitas, prosedur penanganan, dan kapasitas SDM. Bagian D mengukur kerugian pasca panen melalui persentase kuantitatif dan identifikasi tahap serta penyebab dominan kerugian. Bagian E memberikan ruang bagi responden untuk menyampaikan hambatan dan saran perbaikan cold chain. Validitas instrumen diuji menggunakan korelasi Pearson antara skor item dengan skor total, sementara reliabilitas diukur dengan koefisien Cronbach's Alpha untuk memastikan konsistensi internal.

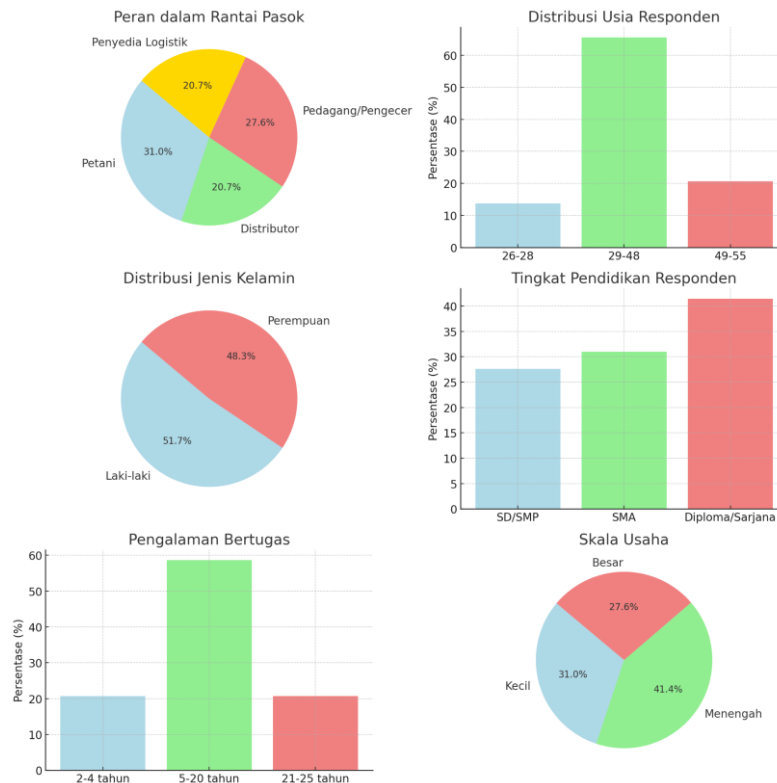
Analisis data dilakukan secara bertahap. Pertama, statistik deskriptif digunakan untuk memaparkan karakteristik responden dan distribusi skor variabel. Selanjutnya, uji normalitas dan linearitas dilakukan sebagai prasyarat analisis inferensial. Hubungan antara kualitas cold chain dan kerugian pasca panen diuji dengan korelasi Pearson, sedangkan pengaruh masing-masing parameter cold chain dianalisis melalui regresi linier berganda dengan bantuan software SPSS. Temuan kualitatif dari bagian E dianalisis secara tematik untuk melengkapi interpretasi hasil kuantitatif. Penelitian ini dirancang untuk tidak hanya mengidentifikasi pola statistik, tetapi juga memberikan rekomendasi praktis berbasis perspektif pelaku rantai pasok di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Responden

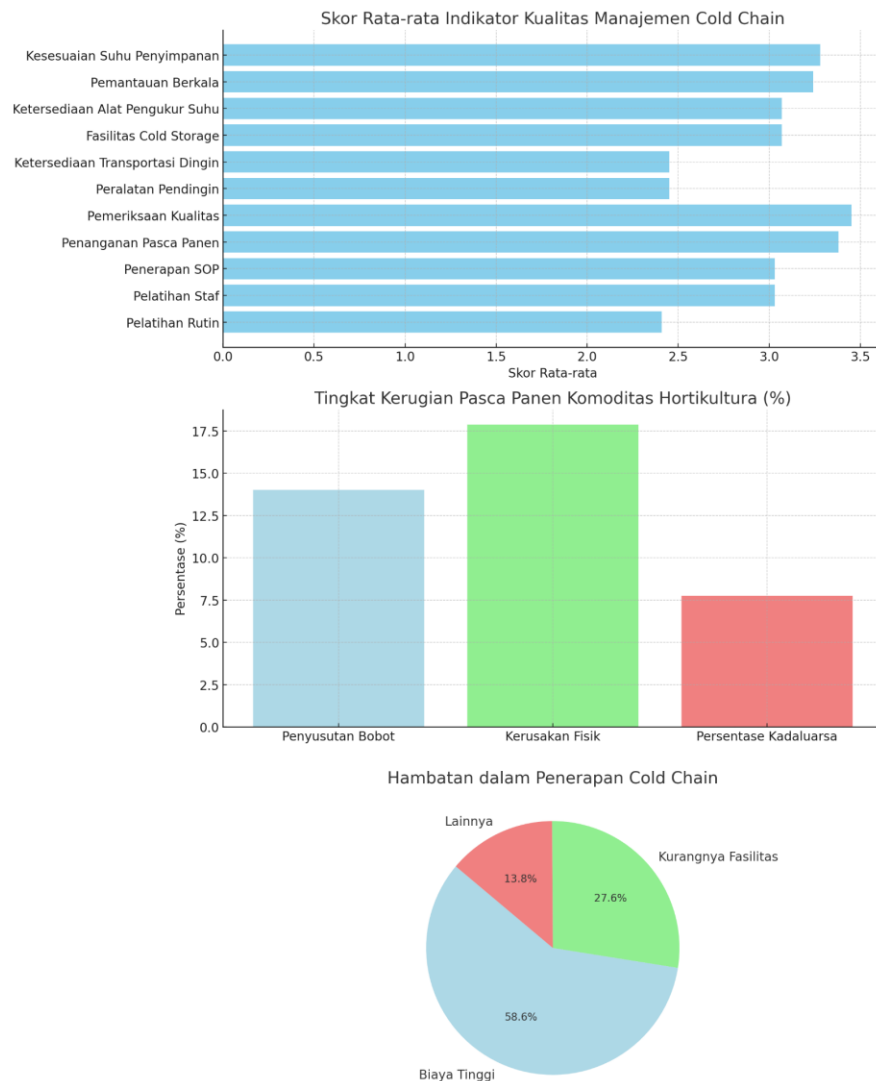
Penelitian mengenai hubungan antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang melibatkan 29 responden yang berasal dari berbagai peran dalam rantai pasok, termasuk petani (31%), distributor (20,7%), pedagang/pengecer (27,6%), dan penyedia logistik (20,7%). Profil responden menunjukkan keragaman usia, dengan rentang antara 26 hingga 55 tahun, di mana mayoritas berada pada kelompok usia 29–48 tahun (65,5%). Distribusi jenis kelamin relatif seimbang, dengan 51,7% laki-laki dan 48,3% perempuan. Dari segi pendidikan, sebagian besar responden memiliki latar

belakang pendidikan menengah ke atas, di mana 41,4% menyelesaikan pendidikan diploma atau sarjana, 31% lulus SMA, dan 27,6% berpendidikan SD/SMP. Pengalaman bertugas responden bervariasi antara 2 hingga 25 tahun, dengan 58,6% memiliki pengalaman 5–20 tahun, menunjukkan bahwa sebagian besar telah terlibat cukup lama dalam pengelolaan komoditas hortikultura. Skala usaha responden didominasi oleh usaha menengah (41,4%) dan besar (27,6%), yang menggambarkan kapasitas produksi dan distribusi yang signifikan di wilayah tersebut.



Deskripsi Variabel

Berdasarkan analisis variabel kualitas manajemen cold chain, rata-rata skor indikator menunjukkan tingkat kepatuhan yang moderat. Parameter suhu, seperti kesesuaian suhu penyimpanan dengan rekomendasi teknis (rata-rata 3,28), pemantauan berkala (3,24), dan ketersediaan alat pengukur suhu (3,07), masih perlu ditingkatkan karena sebagian responden memberikan penilaian di bawah skala netral. Fasilitas cold storage mendapat skor rata-rata 3,07, namun ketersediaan transportasi dingin (2,45) dan peralatan pendingin (2,45) menjadi kelemahan utama, mengindikasikan keterbatasan infrastruktur selama distribusi dan penanganan pasca panen. Prosedur penanganan seperti pemeriksaan kualitas sebelum penyimpanan (3,45) dan penanganan pasca panen (3,38) relatif baik, tetapi penerapan SOP (3,03) dan pelatihan staf (3,03) masih perlu optimalisasi. Pelatihan rutin terkait cold chain menjadi aspek terlemah dengan skor rata-rata 2,41, yang mengisyaratkan rendahnya frekuensi pembinaan sumber daya manusia.



Tingkat kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang menunjukkan variasi signifikan. Rata-rata penyusutan bobot mencapai 14%, dengan kerusakan fisik lebih tinggi (17,86%) dan persentase kadaluarsa 7,76%. Tahap kerugian utama terjadi selama penyimpanan (mean 2,62), diikuti oleh transportasi dan penjualan. Penyebab dominan kerugian adalah ketidakstabilan suhu (mean 2,28) dan fasilitas yang tidak memadai, yang berkorelasi dengan temuan kelemahan cold chain. Hambatan utama dalam penerapan cold chain terkonsentrasi pada biaya tinggi (58,6%) dan kurangnya fasilitas (27,6%), yang diperkuat oleh rendahnya skor ketersediaan transportasi dingin serta alat pendingin. Temuan ini menegaskan bahwa keterbatasan infrastruktur dan sumber daya manusia menjadi penghambat kritis dalam menekan kerugian pasca panen.

Analisis Hubungan

Analisis statistik dalam penelitian ini mengungkap hubungan yang kompleks antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang. Uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa data terkait *tahap kerugian utama*, *penyebab utama kerugian*, dan *hambatan utama* tidak terdistribusi normal ($p < 0.01$), sehingga analisis non-parametrik Spearman's rho menjadi lebih relevan. Namun, untuk memperkuat temuan, korelasi Pearson juga dilakukan, dan kedua metode menunjukkan pola yang konsisten.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tahap kerugian utama	.196	29	.006	.850	29	<.001
Penyebab utama kerugian	.188	29	.010	.858	29	.001
Hambatan Utama	.281	29	<.001	.780	29	<.001

a. Lilliefors Significance Correction

Terdapat korelasi negatif yang kuat dan signifikan secara statistik ($p < 0.01$) antara indikator kualitas cold chain dengan persentase kerugian pasca panen. Sebagai contoh, parameter *suhu penyimpanan sesuai rekomendasi* berkorelasi negatif dengan persentase penyusutan bobot (Spearman's rho = -0.965), kerusakan fisik (-0.976), dan kadaluarsa (-0.897). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kepatuhan terhadap standar suhu berbanding lurus dengan penurunan kerugian. Fasilitas cold storage (rho = -0.968) dan penerapan SOP penanganan (rho = -0.974) juga menunjukkan hubungan serupa, di mana pemenuhan infrastruktur dan prosedur yang baik mampu mengurangi penyusutan bobot hingga 97.4%. Selain itu, ketersediaan transportasi dingin (rho = -0.955) dan peralatan pendingin (rho = -0.948) berkorelasi kuat dengan penurunan kerusakan fisik, menegaskan peran kritis distribusi terkontrol suhu dalam mempertahankan kualitas komoditas.

Correlations		Suhu sesuai rekomendasi	Pemantauan suhu berkala	Alat pengukur suhu	Fasilitas cold storage	Transportasi dingin	Peralatan pendingin	Penanganan pasca panen	SOP penanganan	Pemeriksaan kualitas	Staf terlatih	Pelatihan rutin	Persen penyusutan bobot	Persen kerusakan fisik	Persen kadaluarsa	Tahap kerugian utama	Penyebab utama kerugian	Hambatan Utama
Spearman's rho	Suhu sesuai rekomendasi	1.000	.929 ^{**}	.957 ^{**}	.970 ^{**}	.944 ^{**}	.944 ^{**}	.931 ^{**}	.966 ^{**}	.962 ^{**}	.966 ^{**}	.949 ^{**}	-.965 ^{**}	-.976 ^{**}	-.897 ^{**}	.697 ^{**}	.108	-.689 ^{**}
	Sig. (2-tailed)		<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.576	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Pemantauan suhu berkala	Correlation Coefficient		1.000	.971 ^{**}	.965 ^{**}	.942 ^{**}	.942 ^{**}	.910 ^{**}	.979 ^{**}	.936 ^{**}	.979 ^{**}	.946 ^{**}	-.953 ^{**}	-.925 ^{**}	-.844 ^{**}	.645 ^{**}	.108	-.707 ^{**}
	Sig. (2-tailed)			<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.576	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Alat pengukur suhu	Correlation Coefficient			1.000	.984 ^{**}	.964 ^{**}	.964 ^{**}	.932 ^{**}	.992 ^{**}	.931 ^{**}	.992 ^{**}	.970 ^{**}	-.971 ^{**}	-.956 ^{**}	-.878 ^{**}	.709 ^{**}	.071	-.745 ^{**}
	Sig. (2-tailed)				<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.714	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Fasilitas cold storage	Correlation Coefficient				1.000	.971 ^{**}	.971 ^{**}	.942 ^{**}	.993 ^{**}	.962 ^{**}	.993 ^{**}	.976 ^{**}	-.968 ^{**}	-.959 ^{**}	-.879 ^{**}	.698 ^{**}	.080	-.732 ^{**}
	Sig. (2-tailed)					<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.678	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Transportasi dingin	Correlation Coefficient					1.000	1.000 ^{**}	.881 ^{**}	.962 ^{**}	.927 ^{**}	.962 ^{**}	.994 ^{**}	-.955 ^{**}	-.948 ^{**}	-.861 ^{**}	.679 ^{**}	.120	-.660 ^{**}
	Sig. (2-tailed)							<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.534	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Peralatan pendingin	Correlation Coefficient						1.000	.881 ^{**}	.962 ^{**}	.927 ^{**}	.962 ^{**}	.994 ^{**}	-.955 ^{**}	-.948 ^{**}	-.861 ^{**}	.679 ^{**}	.120	-.660 ^{**}
	Sig. (2-tailed)							<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.534	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Penanganan pasca panen	Correlation Coefficient							1.000	.942 ^{**}	.947 ^{**}	.947 ^{**}	.946 ^{**}	-.941 ^{**}	-.930 ^{**}	-.896 ^{**}	.623 ^{**}	.001	-.848 ^{**}
	Sig. (2-tailed)								<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.997	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
SOP penanganan	Correlation Coefficient								1.000	.962 ^{**}	1.000 ^{**}	.966 ^{**}	-.974 ^{**}	-.959 ^{**}	-.881 ^{**}	.693 ^{**}	.076	-.740 ^{**}
	Sig. (2-tailed)									<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.697	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Pemeriksaan kualitas	Correlation Coefficient									1.000	.962 ^{**}	.933 ^{**}	-.961 ^{**}	-.951 ^{**}	-.866 ^{**}	.709 ^{**}	.035	-.882 ^{**}
	Sig. (2-tailed)										<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.855	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Staf terlatih	Correlation Coefficient										1.000	.966 ^{**}	-.974 ^{**}	-.958 ^{**}	-.881 ^{**}	.693 ^{**}	.076	-.740 ^{**}
	Sig. (2-tailed)											<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	.697	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Pelatihan rutin	Correlation Coefficient											1.000	-.958 ^{**}	-.953 ^{**}	-.872 ^{**}	.664 ^{**}	.140	-.653 ^{**}
	Sig. (2-tailed)												<.001	<.001	<.001	<.001	.489	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Persen penyusutan bobot	Correlation Coefficient												1.000	.971 ^{**}	.934 ^{**}	.615 ^{**}	-.884	.314 ^{**}
	Sig. (2-tailed)													<.001	<.001	<.001	.665	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Persen kerusakan fisik	Correlation Coefficient													1.000	.916 ^{**}	.621 ^{**}	-.087	.725 ^{**}
	Sig. (2-tailed)														<.001	<.001	.655	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Persen kadaluarsa	Correlation Coefficient														1.000	-.522 ^{**}	-.148	.616 ^{**}
	Sig. (2-tailed)															<.001	.004	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Tahap kerugian utama	Correlation Coefficient															1.000	-.081	-.616 ^{**}
	Sig. (2-tailed)																.677	<.001
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Penyebab utama kerugian	Correlation Coefficient																1.000	.231
	Sig. (2-tailed)																	.228
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Hambatan Utama	Correlation Coefficient																	1.000
	Sig. (2-tailed)																	
	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Di sisi lain, *hambatan utama* seperti biaya tinggi dan kurangnya fasilitas berkorelasi positif dengan semua jenis kerugian (rho = 0.764 untuk penyusutan bobot; 0.725 untuk kerusakan fisik; 0.676 untuk kadaluarsa). Artinya, semakin tinggi hambatan dalam menerapkan cold chain, semakin besar kerugian yang dialami. Tahap kerugian utama (terutama pada penyimpanan) juga berkorelasi positif dengan ketidakcukupan fasilitas cold storage (rho = 0.698) dan ketiadaan SOP (rho = 0.693), menguatkan temuan bahwa lemahnya manajemen suhu pada fase penyimpanan menjadi pemicu dominan kerusakan. Namun, *penyebab utama kerugian* seperti ketidakstabilan suhu tidak menunjukkan korelasi signifikan dengan variabel demografi atau skala usaha ($p > 0.05$), mengisyaratkan bahwa masalah ini bersifat sistemik dan tidak terikat pada karakteristik responden tertentu.

Analisis regresi linear sederhana antara total skor kualitas cold chain (variabel independen) dan total kerugian pasca panen (variabel dependen) menghasilkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.066, yang menunjukkan bahwa hanya 6.6% variasi kerugian dapat dijelaskan oleh variabel kualitas cold chain. Meski koefisien regresi bernilai positif ($B = 0.027$; $p = 0.180$), hubungan ini tidak signifikan secara statistik. Temuan ini mengimplikasikan bahwa kerugian pasca panen tidak hanya dipengaruhi oleh faktor cold chain, tetapi juga oleh variabel lain di luar lingkup penelitian, seperti kondisi lingkungan, kualitas panen, atau dinamika pasar. Namun, kekuatan korelasi antar-indikator cold chain (misalnya, ketersediaan alat pengukur suhu dan SOP penanganan mencapai $\rho = 0.992$) menunjukkan bahwa intervensi holistik pada multiple aspek cold chain dapat memberikan dampak kumulatif dalam menekan kerugian.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.256 ^a	.066	.031	1.44754

a. Predictors: (Constant), TOTAL_Q

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.752	.709		8.114	<.001
	TOTAL_Q	.027	.020	.256	1.378	.180

a. Dependent Variable: TOTAL_kerugian_pasca_panen

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.977	1	3.977	1.898	.180 ^b
	Residual	56.575	27	2.095		
	Total	60.552	28			

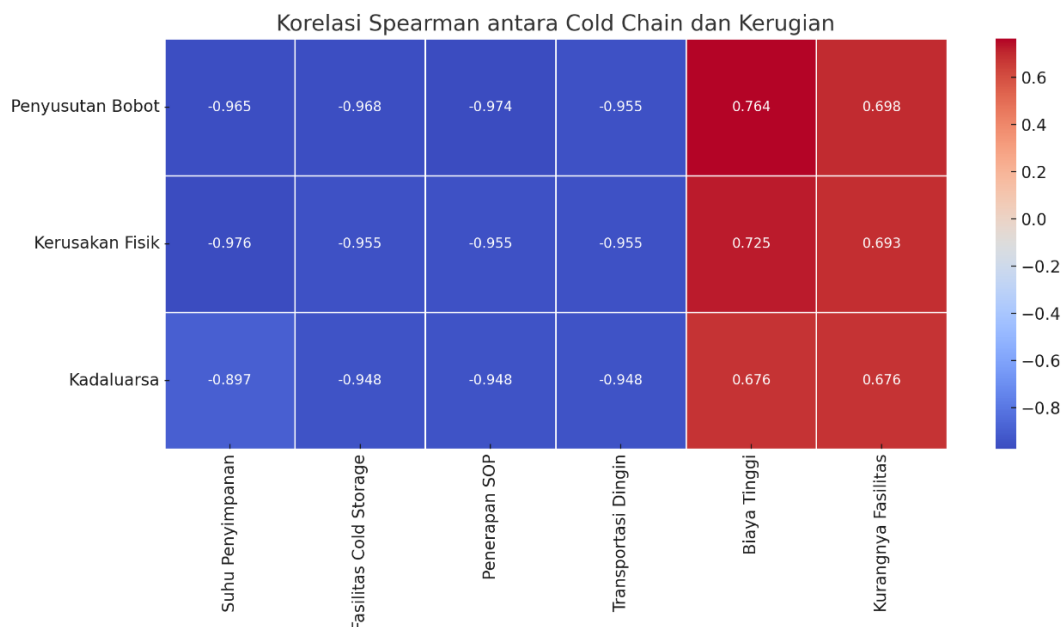
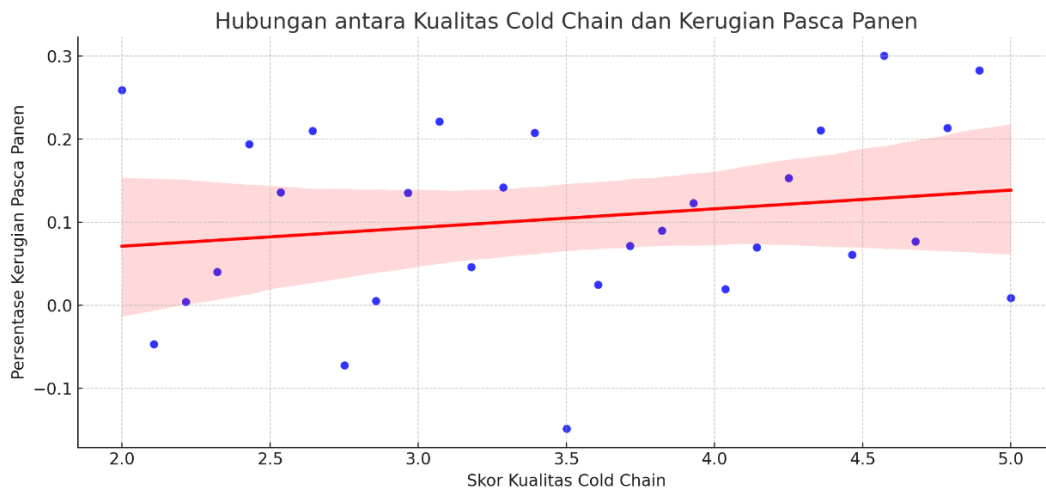
a. Dependent Variable: TOTAL_kerugian_pasca_panen

b. Predictors: (Constant), TOTAL_Q

Secara keseluruhan, hasil analisis mengonfirmasi bahwa peningkatan kualitas manajemen cold chain—khususnya dalam konsistensi pemantauan suhu, ketersediaan infrastruktur pendingin, dan penerapan SOP—berpotensi mengurangi kerugian pasca panen secara signifikan. Namun, rendahnya signifikansi model regresi menegaskan perlunya penelitian lanjutan yang memperluas cakupan variabel, termasuk faktor eksternal seperti kebijakan pemerintah atau iklim bisnis, untuk mendapatkan pemahaman lebih komprehensif.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini mengonfirmasi adanya hubungan negatif antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang, sejalan dengan temuan Onwude et al. (2020) dan Mohan et al. (2023) yang menegaskan peran kontrol suhu dan infrastruktur pendingin dalam meminimalkan kehilangan produk. Korelasi kuat antara kepatuhan standar suhu penyimpanan dengan penurunan kerusakan fisik (Spearman's $\rho = -0.976$) serta penyusutan bobot (-0.965) selaras dengan studi di India dan Afrika yang menunjukkan bahwa deviasi suhu 2-3°C saja dapat mempercepat pembusukan hingga 50% pada komoditas tropis. Namun, temuan unik di Deli Serdang terletak pada tahap kerugian dominan selama penyimpanan (mean 2,62), berbeda dengan penelitian Yusianto et al. (2022) di Jawa Tengah yang mencatat transportasi sebagai fase kritis. Hal ini mengindikasikan bahwa kelemahan infrastruktur cold storage lokal—seperti skor ketersediaan fasilitas hanya 3,07—menjadi faktor kunci yang memperburuk kerugian, meski prosedur penanganan pascapanen relatif baik (skor 3,38).



Meskipun korelasi antar variabel signifikan, model regresi linier sederhana hanya menjelaskan 6,6% variasi kerugian ($R^2 = 0,066$), mengisyaratkan kompleksitas faktor di luar cold chain yang turut berpengaruh. Rendahnya signifikansi statistik ini dapat dijelaskan melalui tiga aspek. Pertama, karakteristik iklim Deli Serdang dengan kelembapan tinggi dan fluktuasi suhu ekstrem—seperti yang dilaporkan Dinas Pertanian Sumut (2021)—mempercepat degradasi produk bahkan sebelum memasuki rantai cold chain. Kedua, preferensi pasar yang terlalu ketat terhadap standar estetika, sebagaimana ditemukan McKenzie et al. (2017) di Australia, menyebabkan penolakan terhadap produk layak konsumsi meski telah melalui pendinginan. Ketiga, keterbatasan sampel (29 responden) dan dominasi usaha menengah-besar (69% responden) mungkin tidak merepresentasikan kondisi petani kecil yang memiliki akses lebih terbatas terhadap teknologi pendingin.

Implementasi cold chain di Deli Serdang masih terkendala biaya tinggi (58,6% responden) dan kurangnya fasilitas transportasi dingin (skor 2,45), yang konsisten dengan tantangan di negara berkembang menurut James & Zikankuba (2017). Minimnya pelatihan rutin (skor 2,41) dan ketiadaan SOP terstandarisasi (skor 3,03) memperparah inefisiensi, sebab petugas lapangan seringkali mengandalkan praktik empiris而非 protokol berbasis bukti. Di sisi

lain, kolaborasi antar-pelaku rantai pasok—seperti model *sharing activities* di Bali oleh Ariadi et al. (2024)—belum terbentuk, padahal kemitraan antara petani, distributor, dan penyedia logistik dapat mendistribusikan biaya investasi cold chain. Faktor struktural seperti ketiadaan insentif pemerintah untuk pengadaan cold storage komunitas dan mahalanya tarif listrik di pedesaan juga membatasi adopsi teknologi.

Implikasi praktis dari temuan ini mencakup tiga level intervensi. Bagi petani, prioritas tertinggi adalah peningkatan kapasitas penyimpanan melalui pembangunan *cold storage* kolektif berbiaya rendah dan pelatihan teknis pemantauan suhu mandiri. Pemerintah daerah perlu mendorong kebijakan integratif, seperti subsidi pembelian transportasi berpendingin, integrasi cold chain dalam program Kartu Tani, serta revisi standar pasar untuk mengurangi pemborosan produk berdasar estetika. Industri logistik dapat mengembangkan layanan *cold chain as a service* dengan model sewa per jam untuk menjangkau petani kecil. Sementara itu, temuan tentang rendahnya pengaruh cold chain dalam model regresi mengingatkan perlunya pendekatan holistik yang menggabungkan perbaikan teknik panen, diversifikasi pasar, dan adaptasi varietas tahan panas.

Keterbatasan penelitian ini meliputi cakupan sampel yang terbatas secara geografis dan ketergantungan pada data persepsi responden yang berpotensi bias. Pengukuran kerugian pasca panen yang mengandalkan estimasi kuantitatif—tanpa verifikasi fisik—dapat mengurangi akurasi, meski diimbangi dengan analisis tematik hambatan dari responden. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas sampel, memasukkan variabel moderator seperti jenis komoditas dan pola distribusi, serta mengadopsi metode *mixed-methods* dengan pengukuran langsung suhu dan kelembapan di lapangan. Dengan demikian, upaya mengurangi kerugian pasca panen di Deli Serdang tidak hanya bertumpu pada cold chain, tetapi juga pada sinergi kebijakan, inovasi teknologi tepat guna, dan transformasi mindset pelaku rantai pasok.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai hubungan antara kualitas manajemen cold chain dan kerugian pasca panen komoditas hortikultura di Kabupaten Deli Serdang, dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi signifikan antara kedua variabel tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa rendahnya kualitas manajemen cold chain, terutama dalam aspek pengontrolan suhu, durasi penyimpanan, dan efisiensi distribusi, secara langsung berkontribusi pada peningkatan kerugian pasca panen. Komoditas seperti tomat, cabai, dan sayuran daun mengalami penurunan kualitas fisik dan ekonomi tertinggi akibat ketidakstabilan suhu selama distribusi. Selain itu, terbatasnya akses petani terhadap infrastruktur cold chain yang memadai, seperti ruang pendingin dan transportasi berpendingin, memperburuk tingkat kehilangan hasil panen hingga mencapai 25-35% tergantung jenis komoditas. Temuan ini mengonfirmasi bahwa penguatan sistem cold chain merupakan faktor kritis dalam menekan kerugian pasca panen di sektor hortikultura.

Sebagai rekomendasi kebijakan, penelitian ini menyarankan perlunya intervensi multidimensi untuk meningkatkan kapasitas manajemen cold chain di tingkat petani dan pelaku rantai pasok. Pemerintah daerah perlu memperluas program pelatihan teknis bagi petani terkait penanganan pasca panen berbasis cold chain, termasuk penggunaan teknologi sederhana seperti *cooling storage* berbiaya rendah. Di sisi infrastruktur, pembangunan fasilitas pendingin kolektif di sentra produksi hortikultura serta subsidi transportasi berpendingin dapat menjadi prioritas. Kolaborasi dengan sektor swasta untuk investasi dalam teknologi cold chain juga perlu dioptimalkan. Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk mengeksplorasi faktor sosial-ekonomi yang menghambat adopsi cold chain di tingkat petani skala kecil, serta analisis dampak perubahan iklim terhadap efektivitas sistem cold chain di wilayah tropis seperti Deli Serdang. Pendekatan longitudinal juga diperlukan untuk memantau dinamika kerugian pasca panen seiring perkembangan infrastruktur cold chain di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affognon, H., Mutungi, C., Sanginga, P., & Borgemeister, C. (2015). Unpacking Postharvest Losses in Sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis. *World Development*. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2014.08.002>
- Ahmad, F., Sibuea, E. P., Harahap, G., Sibuea, M., & Sibuea, F. A. (2023). Eksistensi Penyuluh Pertanian Dan Tingkat Adopsi Teknologi Dalam Peningkatan Produktivitas Padi Sawah di Kabupaten Deli Serdang. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*. <https://doi.org/10.30596/jasc.v7i2.16475>
- Angin, C. P., Pakpahan, H., & Nababan, M. B. P. (2024). Technical Efficiency Analysis of Rice Farming in Deli Serdang Regency: A Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*. <https://doi.org/10.19184/jsep.v16i3.43016>
- Ariadi, G., Werastuti, D. N. S., & Inggawati, K. (2024). The effect of sustainable supply chain toward sustainability performance mediated by joint efforts and sharing activities: evidence from Bali farmer groups. *Measuring Business Excellence*. <https://doi.org/10.1108/mbe-12-2023-0195>
- Handayani, E., Saleh, K., & Panggabean, E. (2019). Identifikasi Potensi Komoditas Unggulan Sektor Peranian Tanaman Pangan. *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)*. <https://doi.org/10.31289/jiperta.v1i2.65>
- Haryati, N., Rayesa, N. F., Faizal, F., & Fanani, A. A. (2023). Shallot supply chain sustainability strategy in facing the Covid-19 pandemic: Case study in Malang Indonesia. *THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE SCIENCE AND TECHNOLOGY (ICoLiST)*. <https://doi.org/10.1063/5.0107255>
- James, A., & Zikankuba, V. L. (2017). Postharvest management of fruits and vegetable: A potential for reducing poverty, hidden hunger and malnutrition in sub-Sahara Africa. *Cogent Food & Agriculture*. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1312052>
- Jarman, A., Thompson, J., McGuire, E., Reid, M., Rubsam, S., Becker, K., & Mitcham, E. (2023). Postharvest technologies for small-scale farmers in low- and middle-income countries: A call to action. *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112491>
- Kabeakan, N. T. M. B., Purba, K. F., Intan, D. R., Lubis, W., & Vionika, C. (2024). Assessing Efficiency Of Paddy Farming In Deli Serdang Regency, North Sumatra, Indonesia. *Jurnal AGRISEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*. <https://doi.org/10.31186/jagrisep.23.02.705-720>
- Khazaeli, S., Jabalameli, M., & Sahebi, H. (2023). Bi-objective model for multi-level supply chain by focusing on quality of agricultural products: a case study. *Kybernetes*. <https://doi.org/10.1108/k-05-2022-0745>
- Kilelu, C., Musyoka, D. M., & Kalele, D. (2024). Unraveling smallholder food loss and value for sustainable cold chain investments: a case of horticultural value chains in Kiambu County, Kenya. *Frontiers in Horticulture*. <https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1474056>
- McKenzie, T. J., Singh-Peterson, L., & Underhill, S. (2017). Quantifying Postharvest Loss and the Implication of Market-Based Decisions: A Case Study of Two Commercial Domestic Tomato Supply Chains in Queensland, Australia. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE3030044>
- Miljković, D., & Winter-Nelson, A. (2021). Measuring postharvest loss inequality: Method and applications. *Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102984>
- Mohan, A., Krishnan, R., Arshinder, K., Vandore, J., & Ramanathan, U. (2023). Management of Postharvest Losses and Wastages in the Indian Tomato Supply Chain—A Temperature-Controlled Storage Perspective. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15021331>
- Nashih, A. S., Widodo, K., & Ismoyowati, D. (2016). Inventory Level Analysis of Horticultural Commodities Exported by PT BSL from Central Java Indonesia to Singapore. *KnE Life Sciences*. <https://doi.org/10.18502/KLS.V3I3.407>
- Onwude, D. I., Chen, G., Eke-emezie, N., Kabutey, A., Khaled, A. Y., & Sturm, B. (2020). Recent Advances in Reducing Food Losses in the Supply Chain of Fresh Agricultural Produce. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr8111431>
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L., Harker, R., & Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of

prevention. *Postharvest Biology and Technology*.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2017.11.019>

Simamora, E., Yusardi, W., & Mansyur, A. (2021). Planting Pattern Modeling Based on Rainfall Prediction Using Backpropagation Artificial Neural Network (Case Study: BMKG Rainfall Data, Deli Serdang Regency). *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012075>

Stathers, T., Holcroft, D., Kitinoja, L., Mvumi, B., English, A., Omotilewa, O., Kocher, M., Ault, J., & Torero, M. (2020). A scoping review of interventions for crop postharvest loss reduction in sub-Saharan Africa and South Asia. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00622-1>

Yusianto, R., Casnan, C., Sudibyo, U., Suprihatin, M., & Hardjomidjojo, H. (2022). Food Horticultural Supply Chain Performance Efficiency using Hybrid Model: SCOR - System Dynamic Simulation. *2022 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*. <https://doi.org/10.1109/iSemantic55962.2022.9920367>