

BAB II

TINJAUAN PUSATAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1 Cold Chain Logistics

Cold Chain Logistics merupakan sistem logistik yang berperan dalam menjamin keamanan, kualitas hingga umur produk akibat pengaruh suhu sejak titik asal hingga sampai kepada konsumen. *Cold chain* menjamin pemeliharaan rantai suhu yang tidak terputus dalam suatu rentang suhu dan kelembapan optimal sepanjang proses logistik dengan tujuan mencegah degradasi produk dan memastikan produk memiliki kualitas yang tinggi sehingga produk dinyatakan layak konsumsi. Penyimpanan produk pada suhu optimal dapat memperlambat penuaan buah dan sayuran, serta mencegah perubahan tekstur dan warna yang diakibatkan oleh aktivitas enzim dan mikroba. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu yang ketat dalam setiap proses *cold chain logistics* sangat penting diperhatikan agar tidak terjadi kerusakan (Shi et al., 2024).

Jaelani et al. (2025) menambahkan terdapat beberapa kompleksitas juga dialami oleh sistem *cold chain* yang melibatkan banyak pemangku kepentingan, penyebaran geografis yang tinggi dan ketergantungan terhadap infrastruktur dan teknologi. Gangguan yang dialami dalam hal tersebut bisa berupa kelalaian manusia, kegagalan peralatan, kondisi iklim, kegagalan manajerial hingga faktor eksternal lain yang menjadikan sistem *cold chain* menjadi kompleks. Gangguan tersebut tentunya berdampak langsung pada kerusakan produk, penurunan kualitas, hingga kerugian ekonomi yang besar. Oleh karena itu, pengelolaan dalam *cold*

chain tidak hanya penting pada sisi operasional, tetapi juga memperhatikan dimensi keberlanjutan seperti aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial.

2.1.1.1 Karakteristik Utama Cold Chain

Cold chain berperan dalam menjaga kualitas produk mudah rusak melalui pengendalian suhu terkendali, sehingga pembusukan dapat dikurangi dan masa simpan dapat lebih panjang. Pada distribusi obat, vaksin dan produk-produk yang sensitif terhadap suhu dan kelembapan, efektivitas serta keamanan produk bergantung langsung pada sistem rantai dingin (K. Wang & Du, 2025). Menurut Jaelani et al. (2025) karakteristik utama *cold chain* meliputi:

1. *Temperature-controlled end-to-end system*, karena dalam menjaga kualitas dan keamanan produk, sistem *cold chain* memerlukan pengendalian suhu berkelanjutan dari titik produksi hingga konsumen
2. Sensitivitas produk terhadap suhu perlu diperhatikan agar penurunan mutu pada produk-produk yang memiliki sensitivitas tinggi seperti bahan pangan segar dan farmasi, diakibatkan oleh deviasi suhu.
3. Integrasi transportasi, penyimpanan, dan distribusi perlu diperhatikan dengan penuh karena *cold chain* melibatkan integrasi beberapa tahapan logistik, seperti penyimpanan berpendingin, transportasi terkendali suhu, dan proses distribusi yang bergantung satu sama lain.
4. Ketergantungan pada teknologi *monitoring* dan *traceability*, karena dalam *cold chain*, teknologi pemantauan suhu dan sistem pelacakan dalam pengendalian distribusi *real-time* sangat berpengaruh dalam sistem *cold chain*.

5. Kompleksitas operasional yang tinggi, dikarenakan banyaknya tahapan distribusi yang disertai kebutuhan pengendali kondisi lingkungan menjadi salah satu alasan *cold chain* sebagai sistem logistik dengan kompleksitas dan operasional yang tinggi.
6. Kebutuhan kepatuhan terhadap regulasi yang ketat, faktor terpenting dalam menjaga kualitas serta keamanan selama proses distribusi adalah dengan adanya penerapan standar distribusi dan regulasi keamanan produk.
7. Risiko operasional yang terjadi pada proses distribusi, seperti penyimpangan suhu, kegagalan peralatan, serta keterlambatan transportasi dalam proses distribusi menjadi risiko utama dalam sistem *cold chain*.
8. Konsumsi energi yang tinggi diakibatkan oleh kebutuhan dalam menggunakan fasilitas pendingin dalam penyimpanan dan pendistribusian produk.

2.1.1.2 Rentang Suhu dalam *Cold Chain*

Pengendalian suhu menjadi faktor utama dalam *cold chain*. Perubahan temperatur, deviasi kecil sekalipun, dapat mempercepat mengurangi umur simpan dan mutu produk. Hal ini menunjukkan rentang suhu tidak hanya berkaitan dengan pencapaian suhu target namun sistem logistik yang mampu dalam menjaga stabilitas temperatur dan membatasi fluktuasi suhu selama aktivitas distribusi berlangsung (Yang et al., 2025).

Dalam sistem penyimpanan dan distribusi *cold chain*, penentuan rentang suhu transportasi diklasifikasikan sesuai tingkat sensitivitas produk terhadap temperatur. Beberapa kategori suhu terbagi pada transportasi terkendali suhu, yaitu *deep freeze* pada rentang -28°C hingga -30°C digunakan untuk distribusi produk makanan laut dan ekspor daging, *frozen* pada -16°C hingga -20°C untuk produk daging serta komoditas pangan beku tertentu, dan *chiller* untuk buah, sayur dan produk susu pada rentang 2°C hingga 4°C . Perbedaan klasifikasi suhu tersebut mengindikasikan bahwa pengendalian temperatur yang spesifik terhadap tiap produknya merupakan hal terpenting dalam mempertahankan kualitas produk dan kinerja sistem *cold chain* (Steedman, 2025).

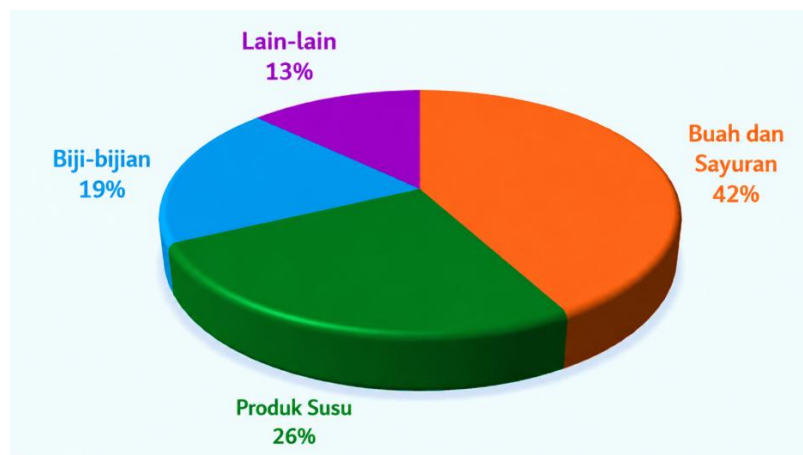
2.1.1.3 Produk yang Memerlukan *Cold Chain*

Sebagai komoditas yang sensitif terhadap perubahan suhu, produk *cold chain* memerlukan pengendalian temperatur secara berkelanjutan sepanjang rantai pasok, mulai dari proses produksi hingga distribusi. Produk pangan segar seperti hasil pertanian, daging dan perikanan kualitasnya sangat bergantung pada stabilitas suhu selama penyimpanan dan transportasi. Pengendalian suhu yang ketat juga diperlukan untuk produk farmasi agar stabilitas dan efektivitasnya selama proses distribusi terjaga (Shi et al., 2024).

Setiap jenis produk *cold chain* memiliki kebutuhan suhu penyimpanan yang berbeda, sehingga pengelolaan temperatur menjadi faktor terpenting dalam pertahanan kualitas dan keamanan produk. Produk segar membutuhkan suhu rendah untuk memperlambat proses pembusukan, dan produk farmasi yang memerlukan rentang suhu tertentu agar stabilitas kandungannya tetap terjaga.

Perbedaan karakteristik inilah yang menyebabkan distribusi cold chain memerlukan penanganan khusus yang mampu menjaga kondisi lingkungan secara konsisten selama proses logistik berlangsung (Shi et al., 2024).

2.1.1.4 Tantangan dalam Cold Chain Logistics



Gambar 2. 1 Distribusi Persentase Jenis Limbah Pangan
Sumber : Diadaptasi dari Bai et al. (2023)

Satu dari setiap 32 produk yang didistribusikan dilaporkan mengalami setidaknya satu penyimpangan suhu selama proses pengiriman yang berakibat pada *food waste*. Tahap *last-mile delivery* pada *cold chain* diidentifikasi sebagai bagian paling rentan yang dipengaruhi oleh rendahnya kinerja sistem pendingin kendaraan, keterlambatan dalam pengiriman, hingga praktik penanganan oleh konsumen yang kurang tepat. Terjadinya keterbatasan infrastruktur, kurang memadainya fasilitas penyimpanan, keterbatasan pasokan listrik maupun tenaga kerja terlatih dan penerapan standar *Good Distribution Practice (GDP)* dan *Food Safety Modernization Act (FSMA)* yang belum konsisten, dengan tingkat kepatuhan penuh hanya sekitar 21% (Ahmed et al., 2025).

Banyak tantangan dalam *cold chain* tersebut muncul karena melibatkan ketergantungan pada peran teknologi dan distribusi geografis yang luas sehingga berdampak langsung pada resiko operasional. Gangguan seperti deviasi temperatur, kegagalan peralatan, keterlambatan transportasi, hingga kesalahan manajerial menyebabkan penurunan kualitas dan kerugian biaya pada rantai dingin. Kompleksitas operasional tersebut semakin meningkat karena produk yang ditangani bersifat mudah rusak dan sensitif terhadap perubahan lingkungan dapat memicu kerusakan produk dan menurunkan keamanan pangan atau farmasi (Jaelani et al., 2025). Tantangan ini mengharuskan penyelesaian melalui inovasi teknologi dan model oleh perusahaan cold chain. Biaya distribusi yang tinggi dalam logistik rantai dingin dapat menjadi penghambat dalam perkembangan perusahaan dan menjadi masalah utama yang perlu diatasi dengan segera.

2.1.2. *Multi Temperature Joint Distribution (MTJD)*

2.1.2.1 *Konsep Joint Distribution*

Joint Distribution merupakan pendekatan operasional dalam logistik yang mengintegrasikan aktivitas distribusi ke beberapa titik permintaan dalam sistem pengiriman bersama dengan tujuan meningkatkan efisiensi jaringan distribusi. Dalam strategi ini, koordinasi sumber daya transportasi, konsolidasi muatan, serta optimalisasi rute distribusi sangat ditekankan sehingga proses pengiriman dapat dilakukan secara lebih efisien dibandingkan sistem distribusi tradisional yang dilakukan secara terpisah. Selain memanfaatkan kapasitas kendaraan secara optimal, *joint distribution* dalam *cold chain* juga merupakan strategi untuk menekan biaya operasional, mengurangi jarak tempuh distribusi, hingga dampak lingkungan

dengan mengurangi emisi karbon. *Joint Distribution* juga membantu dalam pengambilan keputusan terkait penjadwalan, pemilihan rute, serta alokasi kendaraan sehingga dapat mencapai keseimbangan antara efisiensi biaya, kualitas layanan, dan keberlanjutan operasional (Shi et al., 2024).

Dalam hal *crowdsourced last-mile delivery* yang dijelaskan oleh L. Wang et al. (2023), *joint distribution* dibuat sebagai proses optimasi terintegrasi yang menggabungkan keputusan alokasi pengiriman barang dan penentuan rute pengiriman dengan valid. Sistem menentukan penugasan paket kepada kurir berdasarkan kapasitas, lalu rute pengiriman ditempuh oleh masing-masing kurir secara optimal. Hal ini dapat meminimalkan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya dalam *last-mile delivery*.

2.1.2.2 Prinsip Multi-Temperature Joint Distribution (MTJD)

Produk segar seperti buah-buahan, sayur, daging, dan bahan segar lainnya perlu dijaga kualitasnya melalui *cold chain*, dan membutuhkan sebuah sistem yang mampu beradaptasi dengan berbagai zona suhu dengan persyaratan suhu yang berbeda. Keterbatasan kendaraan dengan suhu tunggal pada sistem logistik menyebabkan berbagai produk pertanian dengan kebutuhan temperatur berbeda tidak dapat diangkut dengan waktu yang bersamaan. Kondisi ini sering mengharuskan dilakukan pengiriman secara terpisah, hingga berdampak pada peningkatan waktu distribusi serta biaya transportasi (Qi, 2024).

Multi Temperature Joint Distribution (MTJD) merupakan konsep distribusi dalam *cold chain* yang memungkinkan pengiriman beberapa produk dengan

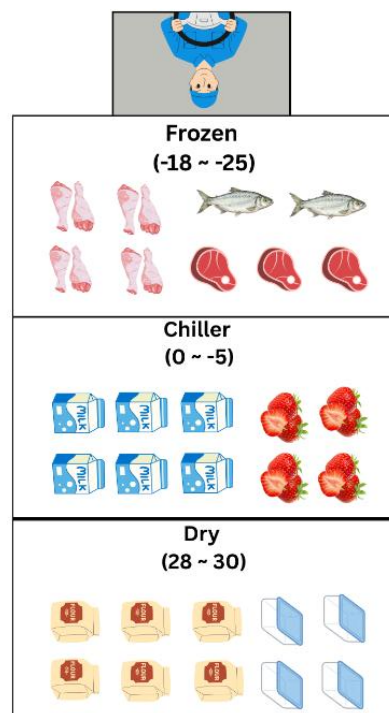
kebutuhan suhu penyimpanan yang berbeda secara simultan dengan satu sistem distribusi terkendali. Setiap kompartemen dikendalikan secara independen dengan bantuan evaporator dan pengaturan suhu yang berbeda, sehingga karakteristik suhu masing-masing produk dapat dipertahankan selama proses distribusi (GCCA, 2024). Permintaan produk *perishable* yang memerlukan pengendalian suhu yang bervariasi selama proses distribusi memicu munculnya MTJD. Pada sistem distribusi konvensional, produk yang memiliki perbedaan suhu dikirim menggunakan armada yang terpisah, sehingga meningkatkan biaya investasi, operasional sekaligus menurunkan efisiensi pemanfaatan kendaraan. Dalam permasalahan tersebut, MTJD menjadi solusi dengan penggunaan kendaraan berkompartemen *multi-temperature* yang mampu menjaga kondisi suhu optimal bagi berbagai jenis produk dalam sekali perjalanan distribusi. Selain menjaga kualitas produk, MTJD juga mengurangi biaya distribusi dan meningkatkan efektivitas operasi distribusi (Golestani et al., 2021)

2.1.2.3 Sistem Kompartemen Suhu pada MTJD

Untuk kategori produk yang bervariasi, pengangkutan suhu terkontrol bukanlah hanya sekedar pilihan, melainkan sebuah keharusan. Paparan akibat faktor suhu yang melebihi batas dapat mengakibatkan kerusakan. Oleh karena itu, sistem distribusi *cold chain* ini didukung dengan penggunaan *refrigerated truck* yang dilengkapi dengan *refrigeration unit* sebagai sumber utama pendinginan. Unit ini bekerja dengan menghasilkan udara dingin melalui evaporator yang kemudian didistribusikan ke dalam ruang kargo. Praktik terbaik industri merekomendasikan penggunaan bulkhead untuk memisahkan kompartemen frozen dan chilled. Pada

perjalanan dengan durasi yang lebih panjang, bulkhead tambahan dapat digunakan untuk memisahkan kompartemen chilled dan ambient guna mengurangi perpindahan suhu antar zona. Selain berfungsi sebagai pemisah suhu, bulkhead harus dipasang dengan aman, tidak mudah bergeser selama perjalanan, serta tetap dapat dibuka dengan aman ketika proses pembongkaran muatan dilakukan (GCCA, 2024)

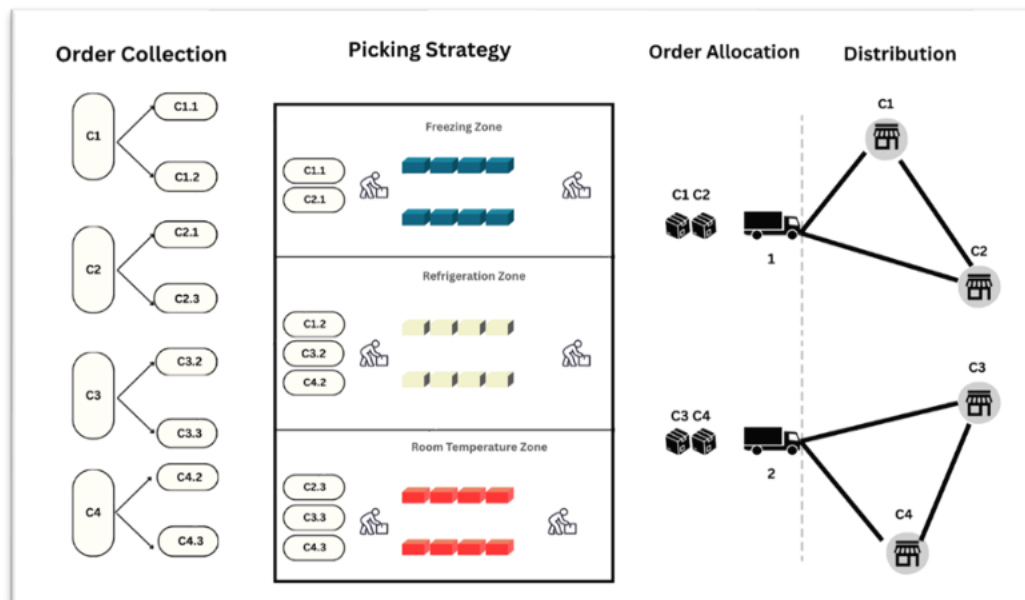
Chang (2022) memaparkan bahwa setiap titik *customer* memiliki kebutuhan terhadap beberapa jenis produk yang masing-masing kategori produk tersebut memerlukan distribusi dengan kompartemen suhu yang berbeda sesuai dengan karakteristik temperaturnya.



Gambar 2. 2 Kompartemen Suhu pada Strategi MTJD
Sumber : Diadaptasi dari Zhan & Jiang (2022)

Global Cold Chain Alliance (2024), menyatakan bahwa dalam kendaraan multi-suhu, produk beku dan produk dingin dapat didistribusikan secara bersamaan selama pengendalian suhu dan pemisahan kompartemen dilakukan dengan baik. Namun, produk suhu ruang (ambient/dry) tidak direkomendasikan untuk ditempatkan bersama produk berpendingin dalam satu kendaraan multi-suhu. Kompartemen suhu pada *Multi-Temperature Joint Distribution* (MTJD) memungkinkan satu kendaraan distribusi mengangkut produk dengan kebutuhan suhu yang berbeda dengan adanya pembagian ruang muat ke dalam kompartemen yang dikontrol secara independen dengan menggunakan sekat. Sistem ini mengintegrasikan pengiriman berbagai kategori produk dalam satu rute pengiriman tanpa adanya kontaminasi suhu pada masing-masing komoditas. Model MTJD memanfaatkan pengaturan suhu yang terpisah untuk menjaga kualitas produk sekaligus peningkatan efisiensi operasional karena tidak perlu memisahkan armada berdasar jenis suhu layanan. Dengan demikian, sistem kompartemen dalam MTJD menjadi elemen utama dalam konsolidasi distribusi sekaligus pertahanan stabilitas kondisi penyimpanan selama proses transportasi (Zhan & Jiang, 2022). Berdasarkan kategorinya, suhu frozen terdiri atas bahan makanan pada kisaran suhu *dry* (18°C-25 °C) untuk *delicatessen items*, perabotan untuk keperluan usaha dan resto, zona *chiller* (0°C--5°C) untuk buah dan sayuran, dan zona *frozen* (-18°C--25°C) untuk daging, frozen food, dan cokelat

2.1.2.4 Penerapan MTJD pada Distribusi *Cold Chain*



Gambar 2.3 Penerapan Multi-Temperature Joint Distribution

Sumber : Diadaptasi berdasar Zhan & Jiang (2022)

Penerapan *Multi-Temperature Joint Distribution* (MTJD) dalam distribusi *cold chain* dengan beberapa tahapan operasional yang terintegrasi. Zhan & Jiang (2022) menyebutkan terdapat 4 (empat) tahapan operasional yang terintegrasi dalam memastikan efisiensi proses distribusi produk *multi-temperature* seperti berikut :

1) *Order Collection*

Tahap pertama dalam kegiatan operasional produk *multi-temperature* adalah mengumpulkan pesanan dari customer. Informasi yang dikumpulkan dalam tahapan ini meliputi jumlah permintaan, lokasi pengiriman, serta estimasi tiba. Data pesanan ini menjadi hal terpenting dalam proses perencanaan distribusi karena setiap pesanan yang diminta memiliki karakteristik kebutuhan yang berbeda, terutama dalam hal waktu layanan dan lokasi pengiriman.

2) *Picking Strategy*

Tahap kedua yaitu dengan berfokus pada proses pengambilan barang di gudang berdasarkan karakteristik pesanan. Dilakukan pengelompokan (*grouping*) berdasar rute armada dan zona suhu *freezing zone*, *refrigeration zone*, dan *room temperature zone*. Sistem menentukan waktu untuk proses *picking* dengan menjadikan estimasi waktu *picking* dan target waktu pengiriman sebagai bahan pertimbangan, sehingga pesanan sampai tepat waktu sesuai dengan harapan *customer*.

3) *Order Allocation*

Tahap ketiga yang dilakukan dalam kegiatan operasional ini adalah melakukan alokasi pesanan dengan menggabungkan *sub-order* ke dalam kendaraan berkompartemen. Penggabungan order dilakukan dengan pertimbangan kesesuaian zona suhu, efisiensi pengiriman, sehingga pesanan dapat dikirim menggunakan kendaraan yang sama. Zhan & Jiang (2022) juga menambahkan masing-masing kategori suhu seperti *Freezing zone*, yang digunakan untuk menjaga produk beku (*frozen*) dengan mempertahankan kondisi produk dan mencegah pertumbuhan mikroorganisme. *Refrigeration zone* membantu mempertahankan kesegaran produk tanpa proses pembekuan dengan suhu dingin (*chiller*). Sementara itu, *room temperature zone* dikhususkan untuk menjaga kesegaran produk tanpa memerlukan suhu dingin (*dry*).

4) *Distribution*

Tahapan terakhir dalam kegiatan operasional produk *multi-temperature* adalah menentukan rute pengiriman dan urutan pelayanan *customer* (*drop point*). Produk

mulai didistribusikan dalam satu perjalanan tanpa mengganggu stabilitas suhu masing masing kompartemen kepada beberapa *customer*.

2.1.2.5 Manfaat dan Risiko Operasional MTJD

Sebagai bentuk strategi yang efektif dalam menekan biaya logistik sekaligus mencegah penurunan kualitas pada produk pertanian selama proses distribusi, strategi *Multi-Temperature Joint Distribution* (MTJD) memiliki keunggulan efisiensi operasional yang tinggi dan biaya relatif rendah yang cocok sesuai untuk diterapkan pada penyebaran distribusi di semua titik permintaan (Golestani et al., 2021). Xu et al. (2023) berpendapat bahwa penerapan *Multi-Temperature Joint Distribution* (MTJD) dalam sistem *cold chain*, mampu memaksimalkan utilitas kapasitas kendaraan yang ada, sehingga biaya transportasi dan konsumsi dapat ditekan.

Namun dalam penerapannya, MTJD juga berpotensi menimbulkan risiko operasional, terutama dalam meningkatnya kompleksitas dalam perencanaan rute dan penjadwalan distribusi. Kendala seperti batasan waktu distribusi, kapasitas kendaraan, dan kebutuhan suhu yang berbeda untuk masing-masing produk harus diperhatikan karena akan sangat berpengaruh dalam menimbulkan tantangan dalam menjaga stabilitas suhu selama proses distribusi dan berdampak pada kualitas produk yang dikirimkan.

2.1.3 Manajemen Distribusi Cold Chain

2.1.3.1 Perencanaan Rute Distribusi (Routing)

Perencanaan rute distribusi dalam *cold chain* merupakan suatu proses dalam menentukan jalur pengiriman yang optimal dalam meningkatkan efisiensi operasional sekaligus kualitas layanan *customer*. Rute distribusi yang tidak optimal dapat berdampak langsung pada peningkatan biaya transportasi, memperpanjang waktu pengiriman, hingga menurunkan kualitas produk akibat waktu pendistribusian yang relatif lama. Oleh karena itu, waktu pengiriman, prioritas *customer*, total keseluruhan biaya distribusi hingga penalti jika terjadi keterlambatan sangat dipertimbangkan dalam optimasi rute kendaraan berpendingin (S. Liu & Zhang, 2022).

Perencanaan rute dalam distribusi *cold chain*, tidak hanya berfokus pada meminimalkan jarak tempuh, namun juga keseimbangan antara efisiensi biaya dan peningkatan *customer satisfaction*. Routing juga dikembangkan dengan pertimbangan beberapa komponen biaya distribusi, operasional, kerusakan produk, emisi karbon dan waktu tunggu pengiriman, sehingga jalur distribusi yang sudah direncanakan dapat menekan biaya selama proses pengiriman barang berlangsung (Liu, 2023). Salsabila Islami Yusnindi & Handayani (2022) dalam penelitiannya menambahkan bahwa penggabungan customer dalam proses distribusi dapat meminimalisir rute dengan cara meningkatkan kapasitas armada. Selain berdampak pada efisiensi operasional pada proses distribusi, melibatkan penggabungan customer pada perancangan rute mampu mengurangi total biaya transportasi.

2.1.3.2 Penjadwalan Pengiriman

Hal yang tak kalah penting dalam sebuah kegiatan distribusi barang adalah melakukan penjadwalan pengiriman. Penjadwalan pengiriman (*delivery scheduling*) dalam distribusi *cold chain* sangat terintegrasi dengan penentuan waktu operasional kendaraan yang mempertimbangkan karakteristik jaringan transportasi yang bersifat *time-dependent*. *Y. Liu et al. (2025)* menjelaskan bahwa waktu perjalanan pada kendaraan dapat berubah bergantung pada kondisi lalu lintas periode tertentu, sehingga keputusan distribusi tidak hanya tentang penentuan rute, namun juga optimasi keberangkatan barang agar tidak terjadi keterlambatan. Penjadwalan pengiriman biasanya dilakukan setelah order diterima oleh perusahaan dari customer. Penjadwalan pengiriman dilakukan atas pertimbangan yang matang berdasar permintaan customer, ketersediaan armada, dan estimasi pengiriman. Dalam hal ini, untuk mencapai efisiensi distribusi, pengiriman harus dijadwalkan dengan baik agar tidak berbenturan dalam proses pengiriman produk lainnya, sampai ke tangan customer dengan kondisi yang baik dan layak, serta

2.1.3.3 Efisiensi Transportasi Berpendingin

Transport Refrigerated Units (TRUs) dalam *cold chain* merupakan pondasi penting bagi perdagangan global seiring meningkatnya permintaan konsumen terhadap produk pangan segar. Sistem ini berkepentingan dalam menjaga keamanan dan kualitas komoditas barang mudah rusak sepanjang proses distribusi, mulai dari produksi hingga konsumsi dengan kendali suhu yang sesuai untuk mencegah kerusakan (*Mohan & Amin, 2025*). *He et al. (2024)* mengungkapkan efisiensi

kendaraan berpendingin melalui penerapan strategi MTJD dapat dibuktikan dengan perbandingan langsung antara *Single Temperature Distribution* (STD) dan *Multi Temperature Joint Distribution* (MTJD) pada kasus distribusi dengan 25 *customer*. Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa sistem STD membutuhkan 12 kendaraan untuk mendistribusikan produk dengan 3 zona suhu terpisah, sedangkan MTJD hanya memerlukan 5 kendaraan untuk jumlah *customer* yang sama. Ia juga menambahkan efisiensi kendaraan berpendingin juga dipengaruhi oleh adanya pengelolaan *time window* saat proses distribusi. Perluasan *time window* secara bertahap dari 0% hingga 200% sangat berdampak pada penurunan jumlah kendaraan dan total biaya yang dibutuhkan selama proses distribusi berlangsung.

2.1.4 Kompleksitas Operasional Distribusi Multisuhu

2.1.4.1 Karakteristik Distribusi Multisuhu

Produk multisuhu merupakan produk-produk yang melibatkan lebih dari satu kategori suhu. Umumnya, produk multisuhu memiliki karakteristik utama yaitu mudah mengalami kerusakan dan penurunan kualitas akibat perubahan suhu yang tidak sesuai dengan sifat dari produk itu sendiri. Produk yang sudah mengalami kerusakan dan penurunan kualitas akibat perubahan suhu dapat mengakibatkan produk berbahaya untuk dikonsumsi. Dalam *Multi-Temperature Joint Distribution* (MTJD), merupakan suatu sistem distribusi menggunakan kendaraan multi-kompartemen yang diatur pada zona suhu spesifik (*Multi-Compartment Vehicle/MCV*) sebagai solusi dalam pengiriman produk sensitif suhu dengan tiga zona suhu, suhu *dry* (18°C-25 °C) untuk *delicatessen items*, zona *chiller* (0°C--5°C) untuk buah dan sayuran, dan zona *frozen* (-18°C--25°C) untuk daging (Zhan &

Jiang, 2022). Pada era *e-commerce*, distribusi multisuhu memiliki karakteristik utama yakni pengendalian suhu yang ketat dan sensitivitas yang tinggi terhadap waktu (*time-critically*), kondisi ini menuntut stabilitas suhu terjaga selama proses distribusi tanpa adanya keterlambatan waktu pengiriman (Tsang et al., 2025).

2.1.4.2 Faktor dan Dampak Penyebab Kompleksitas terhadap Distribusi

Kompleksitas merupakan kerumitan yang terjadi dalam suatu proses, dimana hal ini dapat menjadikan tantangan dalam mencapai sesuatu. Kompleksitas yang terjadi dalam proses distribusi *cold chain* meliputi beberapa aspek yang terintegrasi, seperti sifat produk yang mudah rusak (*perishability*) serta keragaman karakteristik produk dengan pengawasan kontrol suhu yang ketat. Karena produk *cold chain* memiliki kompleksitas yang tinggi baik dalam segi penyimpanan hingga distribusi, diperlukan penanganan khusus terhadap produk-produk tersebut. Keterbatasan fasilitas dan peralatan, infrastruktur berpendingin, dan jumlah armada yang kurang memadai juga berpengaruh pada peningkatan kompleksitas operasional (B. Zhang & Mohammad, 2024). Beliau juga menyebutkan bahwa kompleksitas dalam proses distribusi berdampak pada meningkatnya tuntutan operasional yang harus dikelola secara bersamaan, terutama akibat sifat dan karakteristik produk yang mudah rusak, yang mendorong peningkatan kebutuhan akan fasilitas, peralatan, dan konsumsi energi yang dibutuhkan pada proses distribusi. Kompleksitas selama proses pengelolaan *cold chain* yang tidak diatasi dengan baik akan menimbulkan banyak ancaman bagi distribusi *cold chain* itu sendiri. Pengelolaan distribusi juga mengalami kendala akibat keterbatasan sistem informatisasi dan potensi keterlambatan pengiriman, hal ini adalah tantangan sebuah perusahaan *cold chain* dalam menjaga konsistensi suhu selama proses distribusi, dan dapat memicu deviasi suhu jika tidak dikendalikan optimal (B. Zhang & Mohammad, 2024).

2.1.5 Deviasi Suhu dalam Cold Chain

2.1.5.1 Konsep Deviasi Suhu

Faktor terpenting dalam mempertahankan kualitas dan umur simpan produk *perishable* sepanjang rangkaian cold chain adalah suhu selama penyimpanan (Eze et al., 2024). Kualitas produk *perishable* akan terus mengalami penurunan kualitas seiring berjalannya waktu, hingga produk tersebut tidak layak konsumsi. Eze et al. (2024) juga menjelaskan bahwa deviasi suhu yang terjadi dalam *cold chain*, merujuk pada kondisi suhu penyimpanan produk yang menyimpang dari rentang suhu karakteristik produk yang seharusnya. Penanganan suhu yang tidak tepat sepanjang proses cold chain, seperti saat proses penyimpanan, pemuatan, transportasi hingga bongkar muatan sudah cukup menghasilkan penurunan kualitas produk.

2.1.5.2 Penyebab Deviasi Suhu

Deviasi suhu dalam *cold chain* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya seperti faktor kargo, efisiensi peralatan, driver, teknologi, hingga lingkungan (Skawińska & Zalewski, 2022). Proses pemuatan (*loading*) dan pembongkaran muatan (*unloading*) merupakan titik kritis yang rentan mengalami deviasi suhu pada sistem *cold chain*. Aktivitas buka tutup pintu pada kendaraan berpendingin yang dilakukan secara berulang terbukti menimbulkan fluktuasi suhu yang berpengaruh, dengan adanya peningkatan 10°C selama kegiatan *loading* dan *unloading* berlangsung.

Selain proses bongkar muat barang, terdapat faktor lingkungan ambien yang memberikan pengaruh langsung pada suhu kendaraan. Skawińska & Zalewski

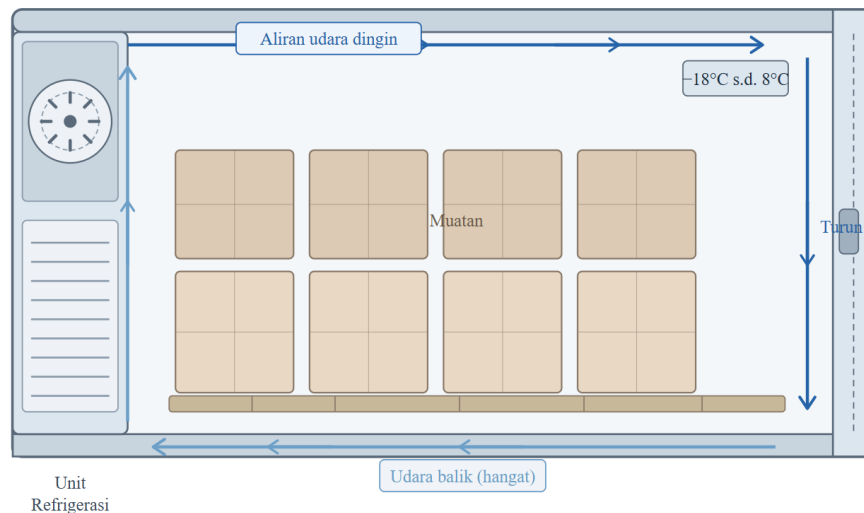
(2022) juga menyebutkan bahwa peranan sumber daya manusia dari segi keterampilan, pengalaman, kejujuran, hingga kepatuhannya terhadap prinsip bisnis tidak kalah penting dalam mencegah penyebab deviasi suhu. Sebagian besar pelaku transportasi hanya merespons sinyal alarm pada saat suhu terlampaui, tanpa menganalisis penyebab adanya ketidakstabilan suhu.

2.1.5.3 Dampak Deviasi Suhu terhadap *Cold Chain*

Deviasi suhu adalah kondisi dimana terjadinya penyimpangan suhu aktual yang diukur pada suatu titik berbeda dari suhu yang ditetapkan. Deviasi suhu memicu aktivitas biologis yang mempercepat kerusakan produk. Bai et al. (2023) menjelaskan kondisi suhu yang tidak stabil dan tidak sesuai berpotensi meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme. Kondisi ini tidak hanya menyebabkan kerugian pangan dan pemborosan sumber daya, namun juga ancaman penyakit bawaan yang membahayakan kesehatan manusia. Berdasarkan estimasi FAO yang dilaporkan oleh Bai et al. (2023), sepertiga dari total produksi pangan dunia atau setara dengan 1,3 miliar ton yang diperuntukkan sebagai bahan konsumsi, terbuang setiap tahunnya. Total *food lost* mencapai 15-20% untuk sayuran, 10-15% untuk buah buahan terjadi pada proses penyimpanan, dan 5-10% dari total produksi terjadi pada proses distribusi. Oleh karena itu, keseimbangan dalam *cold chain* perlu diperhatikan agar kegiatan operasional dapat berjalan lancar.

2.1.6 Pengendalian dan Monitoring Suhu

2.1.6.1 Standar Pengendalian Suhu Distribusi



Gambar 2. 4 Sirkulasi Udara Dingin pada Kendaraan Berpendingin (Cold Chain)

Sumber : Diolah penulis berdasar (Pajić et al., 2024)

Perubahan suhu yang tidak terduga dan pengelolaan yang kurang tepat dapat menimbulkan kerugian terhadap kualitas pangan hingga menurunkan kepercayaan konsumen (Qian et al., 2022). Standar suhu yang dipersyaratkan pada distribusi *cold chain* adalah berdasarkan jenis produknya. Qian et al. (2022) menjelaskan mengenai teknis pengendalian suhu transportasi pangan *perishable* di China berdasarkan GB/T 22918-2008, yang mewajibkan produk ikan dan daging beku wajib pada suhu -18°C , sayuran berdaun pada suhu $0-3^{\circ}\text{C}$, kacang-kacangan pada suhu $2-7^{\circ}\text{C}$ dan buah beri pada suhu $0-3^{\circ}\text{C}$. Seluruh produk *perishable* sudah tercantum pada suhu standar skala internasional yang telah disetujui 49 negara

melalui ATP (*Agreement Concerning the International Carriage of Perishable Foodstuffs and on the Special Equipment to be Used for Such Carriage*).

Pengendalian suhu dinyatakan mampu meningkatkan keamanan pangan karena sangat berpengaruh pada umur simpan produk. Dalam mendukung standar pengendalian suhu, *cold chain* memanfaatkan teknologi IoT melalui sensor nirkabel dan tag RFID yang digunakan untuk pemantauan suhu secara *real-time* pada proses penyimpanan di gudang maupun proses distribusi di kendaraan berpendingin (Qian et al., 2022).

2.1.6.2 Monitoring dan *Traceability* Suhu

Sistem *traceability* pada *cold chain* produk pertanian mencakup seluruh rantai mulai dari penanaman, panen, penyimpanan, pengolahan, distribusi, penjualan, hingga konsumsi yang melibatkan banyak pihak sehingga menjadi tantangan dalam kegiatan operasional, khususnya dalam pengawasan dan *traceability* (X. Zhang et al., 2022). Sistem *traceability* tradisional yang mengandalkan pengelolaan basis data terpusat menghadapi permasalahan berupa keandalan data yang rendah, kemudahan manipulasi data, hingga kesulitan mengidentifikasi pihak terkait saat insiden keamanan pangan terjadi.

Cold chain mengandalkan prinsip kerja kombinasi RFID, GPS, GIS, komunikasi berjarak, dan teknologi kontrol suhu yang bertujuan merekam perubahan suhu dan kelembapan, yang akan otomatis terunggah ke platform manajemen untuk pemantauan kualitas produk secara *real time*. Pemantauan suhu dan kelembapan wajib dicatat secara akurat pada tahap penyimpanan, karena keamanan penyimpanan dingin secara penuh bergantung pada sensor suhu. Sama

halnya pada tahap penyimpanan, tahap transportasi juga wajib dilengkapi perekam suhu berkeluaran kontinu yang tidak dapat diubah secara manual, dilengkapi dengan pelacakan posisi melalui GPS dan GIS untuk memantau kondisi produk di dalam armada sepanjang proses distribusi (X. Zhang et al., 2022).

2.1.6.3 Dampak Penyimpangan Suhu terhadap Produk

Assesment of medicines cold chain storage conformity (2023) mengungkapkan penyimpangan suhu pada *cold chain* menunjukkan adanya ketidaksesuaian terhadap standar yang telah ditetapkan dan berdampak langsung pada kualitas produk, yang pada akhirnya mempengaruhi efektivitasnya. Penyimpangan suhu dalam cold chain berpengaruh langsung pada percepatan kerusakan produk, terutama terhadap komoditas pangan seperti buah dan sayuran. Kondisi suhu yang tidak stabil dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan mempercepat proses biologis pada produk sehingga mempercepat proses pembusukan (Bai et al., 2023). Temuan tersebut menunjukkan bahwa deviasi suhu adalah faktor kritis yang dapat mengganggu integritas produk selama proses penyimpanan, sehingga berdampak pada penurunan mutu secara keseluruhan.

2.1.7 Efisiensi Operasional dalam Distribusi Cold Chain

2.1.7.1 Konsep Efisiensi Operasional

Efisiensi operasional mencerminkan kemampuan perusahaan dalam mengelola proses bisnis serta memanfaatkan sumber daya secara optimal guna menekan biaya operasional dan meningkatkan produktivitas. Peng et al. (2023) memaparkan kemampuan sistem distribusi *cold chain* dalam menjaga kelancaran aliran barang dari titik asal hingga tujuan sangat berkaitan langsung dengan efisiensi operasional. Efisiensi operasional dapat mengalami hambatan seperti

pembatasan mobilitas, penutupan jalur transportasi, hingga penurunan aktivitas operasional itu sendiri yang mengakibatkan terhambatnya pergerakan barang. Terganggunya sirkulasi barang antar wilayah yang mengakibatkan penumpukan produk pada suatu titik juga berdampak pada penurunan suatu sistem dalam memenuhi permintaan pasar dengan tepat waktu. Hal yang sama pentingnya untuk diatasi dalam konteks efisiensi operasional adalah pemanfaatan kendaraan secara lebih optimal dalam seluruh kegiatan distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa kelancaran distribusi dan pengelolaan sumber daya sangat berpengaruh pada efisiensi operasional pada perusahaan *cold chain*.

2.1.7.2 Indikator Efisiensi Operasional

Efisiensi operasional adalah perbandingan antara biaya operasional yang dikeluarkan dan total pendapatan yang dihasilkan, dengan berprinsip mencapai hasil yang optimal dengan penggunaan sumber daya seminimal mungkin (Tian et al., 2024). Tian et al. (2024) juga mengidentifikasi bahwa terdapat enam parameter dalam mengukur efisiensi distribusi, diantaranya yaitu keterlibatan tenaga kerja, luas area yang digunakan, keterlibatan kendaraan transportasi, inventaris, jumlah lokasi pengiriman, dan konsumsi energi. Efisiensi operasional dalam distribusi dapat dinyatakan akurat jika mengukur seluruh indikator, mulai dari kendaraan transportasi, biaya distribusi, dan seluruh aktivitas distribusi diintegrasikan secara bersamaan, tidak terpisah antar aspek. Oleh karena itu, penting bagi sebuah perusahaan mempertimbangkan banyak hal dalam perencanaan distribusi barang. Hal ini berdampak pada keuntungan banyak pihak baik dari *customer* melalui

murahnya biaya tanggungan distribusi, maupun perusahaan yang dalam hal kegiatan operasional, finansial dan sumber daya manusia.

2.1.7.3 Faktor yang Memengaruhi Efisiensi Operasional

Efisiensi sebuah kegiatan operasional adalah kunci keberhasilan suatu perusahaan, terutama dalam distribusi logistik di tengah persaingan pasar yang ketat (Dwi Cahyani et al., 2024.). Strategi transportasi yang efektif terbukti mampu meminimalkan biaya dan waktu pengiriman sekaligus memastikan keandalan pemenuhan permintaan pelanggan. Dalam konteks distribusi, beberapa faktor yang diperhatikan untuk mencapai efisiensi meliputi risiko kecelakaan kerja, biaya, waktu, dan kepuasan pelanggan. Jika salah satu tahapan alur distribusi mengalami gangguan, dampaknya tidak hanya mempengaruhi kepuasan pelanggan, namun juga reputasi perusahaan di industri.

Diagram *fishbone* merupakan metode analisis yang digunakan untuk menelusuri akar penyebab suatu permasalahan dengan cara mengidentifikasi, mengelompokkan, dan menggambarkan keterkaitan antara masalah dengan berbagai faktor penyebabnya secara terstruktur. Metode ini memungkinkan analisis difokuskan pada penyebab utama yang mendasari suatu permasalahan, bukan hanya pada dampak atau gejala yang terlihat, sehingga dapat menjadi dasar dalam merumuskan tindakan perbaikan yang lebih tepat. Melalui pengelompokan penyebab ke dalam kategori-kategori utama, diagram fishbone membantu proses identifikasi aspek-aspek yang memerlukan perbaikan sehingga dapat mendukung

peningkatan kualitas proses serta efisiensi operasional secara berkelanjutan (Kumah et al., 2024).

Berdasarkan analisis menggunakan diagram *fishbone*, Dwi Cahyani et al. (2024) mengidentifikasi bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi operasional distribusi bersumber dari empat dimensi utama, yaitu *man*, *method*, *machine*, dan *material* seperti yang dijelaskan berikut :

1. *Man*

Dimensi *Man* sangat berkaitan dengan kompetensi dan koordinasi antar pekerja di lapangan. Pelatihan yang tidak memadai dan dilaksanakan secara kurang maksimal oleh para pekerja akan berdampak langsung pada kendala proses logistik dikarenakan kesalahan dalam memahami prosedur distribusi. Komunikasi yang baik juga sangat dibutuhkan antar pekerja agar waktu operasional berjalan lancar dan tidak memakan banyak waktu akibat mis-komunikasi.

2. *Method*

Dimensi *Method* ini berkaitan dengan sistem yang digunakan dalam perencanaan hingga pelaksanaan proses distribusi. Tanpa adanya evaluasi yang sistematis dalam pemilihan kendaraan yang sesuai dengan karakteristik produk yang akan didistribusikan, dapat mengurangi tingkat kepuasan pelanggan akibat ketidaktepatan waktu hingga kerusakan produk

3. *Machine*

Dimensi *Machine* berkaitan dengan kesiapan dan kesesuaian armada kendaraan yang digunakan. Ketidaksesuaian kapasitas kendaraan dengan ukuran dan berat produk memaksa perusahaan mengganti atau menambah armada di tengah proses

distribusi. Hal tersebut berakibat pada pembengkakan biaya operasional dan estimasi pengiriman yang terlambat

4. *Material*

Dimensi *Material* berkaitan dengan fisik dan kebutuhan khusus produk yang menjadi objek distribusi. Produk yang terpantau melampaui kapasitas standar kendaraan atau bersifat sensitif terhadap suhu, tekanan, maupun kelembaban membutuhkan penanganan yang berbeda dari produk biasa. Risiko kerusakan produk dan pemborosan sumber daya dalam proses distribusi akan sulit dihindari jika penanganan dilakukan dengan tidak tepat.

2.2. *Kajian Penelitian Terdahulu*

Kajian penelitian terdahulu atau literature review adalah sekumpulan tinjauan dari berbagai penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang peneliti angkat. Bagan ini sangat penting karena membantu peneliti dalam melakukan perbandingan mendalam serta menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya. Melalui kajian ini, peneliti menghindari adanya duplikasi, penentuan dalam posisi penelitian, serta menegaskan keaslian dan relevansinya dalam konteks ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, bagian ini membahas berbagai temuan penelitian terkait, baik yang sudah dipublikasikan maupun belum. Berikut beberapa topik yang mendukung adanya topik penelitian ini :

Tabel 2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1.	<i>A Multi-Objective Green Hub Location Problem with Multi Item-Multi Temperature Joint Distribution for Perishable Products in Cold Supply Chain.</i> Golestani et al (2021)	Melakukan investigasi penentuan lokasi hub hijau biobjektif, berbagai produk mudah rusak dengan berbagai suhu penyimpanan dapat didistribusikan secara bersamaan dalam <i>cold chain</i> , dengan meminimalkan biaya sistem dan memaksimalkan kualitas produk untuk dikirim.	Kuantitatif	Titik keseimbangan Pareto diperoleh pada nilai 20,462 dan 255.120. Peningkatan permintaan 30% menaikkan biaya 19,32% dan menurunkan kualitas 5,51%, sedangkan penambahan hub tidak selalu menurunkan biaya secara linear.	Kedua penelitian membahas distribusi produk multi-suhu (<i>Multi-Temperature Joint Distribution</i>) dalam <i>cold chain</i>	Penelitian Golestani et al. (2021) menggunakan metode kuantitatif dengan fokus pada minimisasi biaya dan maksimalisasi kualitas produk, sedangkan penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang berfokus pada dampak MTJD terhadap efisiensi operasional.

No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
2.	<i>Integrated Optimization of Order Allocation and Last-Mile Multi-Temperature Joint Distribution for Fresh Agriproduct Community Retail.</i> Zhan & Jiang (2022)	Bertujuan untuk mengoptimalkan proses alokasi pesanan, penjadwalan pengambilan barang, serta distribusi dengan berbagai tingkat suhu secara bersamaan (<i>multi-temperature</i>)	Kuantitatif	Model MGA yang berhasil mengoptimalkan rute distribusi untuk 16 komunitas menggunakan 7 kendaraan. Dibandingkan VNS dan GA, MGA	Membahas optimasi distribusi produk segar dengan <i>multi-temperature joint distribution</i> (MTJD) menggunakan kendaraan berkompartment banyak (<i>Multi-compartment Vehicle</i>)	Zhan dan Jiang (2022) menggunakan metode kuantitatif dengan fokus pada kepuasan customer, sedangkan penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan fokus pada efisiensi operasional.
3.	<i>Cold Chain Logistics Distribution Path Planning of Fresh Products in Beijing Subcenter.</i> Li, et al (2022)	Mengoptimalkan rute distribusi <i>cold chain</i> produk segar untuk meminimalkan biaya distribusi dan emisi karbon menggunakan <i>improved ant colony optimization</i> .	Kuantitatif	Rute optimal menggunakan 6 kendaraan dengan tingkat muatan hingga 99,7%, dengan perbedaan biaya bahan bakar harian sebesar 15,17 RMB.	Kedua penelitian tersebut membahas optimasi rute distribusi <i>cold chain</i> produk segar dengan pertimbangan kapasitas kendaraan	Li et al. (2022) berfokus pada optimasi biaya operasional, sedangkan penelitian ini berfokus pada minimisasi <i>handling</i> untuk meningkatkan efisiensi operasional.

No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
4.	<i>Cold Chain Distribution Route Optimization for Mixed Vehicle Types of Fresh Agricultural Products Considering Carbon Emissions : Study Based on a Survey in China.</i> Pan et al. (2023)	Mengoptimalkan rute distribusi barang dengan pertimbangan emisi CO ₂ untuk armada campuran (<i>mixed-fleet</i>) dengan tujuan meminimalkan total biaya distribusi sekaligus mengurangi emisi karbon.	Kuantitatif	Model optimasi berhasil mengurangi jumlah kendaraan dari 13 menjadi 12, menurunkan biaya distribusi sebesar 283,45 yuan, serta mengurangi emisi karbon sebesar 139,96 kg.	Membahas aspek efisiensi dan optimasi rute pada distribusi <i>cold chain</i> produk segar.	Pan et al. (2023) berfokus pada pengurangan biaya transportasi dan emisi CO ₂ melalui optimasi kendaraan dan rute, sedangkan penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi operasional melalui pengurangan handling pada proses MTJD.
5.	<i>Cold Chain Distribution Route Optimization Considering Customer Satisfaction in the Context of Carbon Emission Reduction.</i> Liu (2023)	Mengembangkan model optimasi rute untuk meminimalkan biaya <i>cold chain</i> dan memaksimalkan kepuasan pelanggan, mempertimbangkan emisi karbon, waktu, dan kualitas layanan.	Kuantitatif	Model berhasil menyeimbangkan biaya logistik <i>cold chain</i> dan kepuasan pelanggan serta terbukti akurat dan stabil melalui pengujian.	Kedua penelitian membahas strategi dalam optimasi rute distribusi.	Liu (2023) berfokus pada kepuasan pelanggan pada distribusi <i>single-temperature</i> , sedangkan penelitian ini berfokus pada efisiensi operasional distribusi <i>multi-temperature</i> .

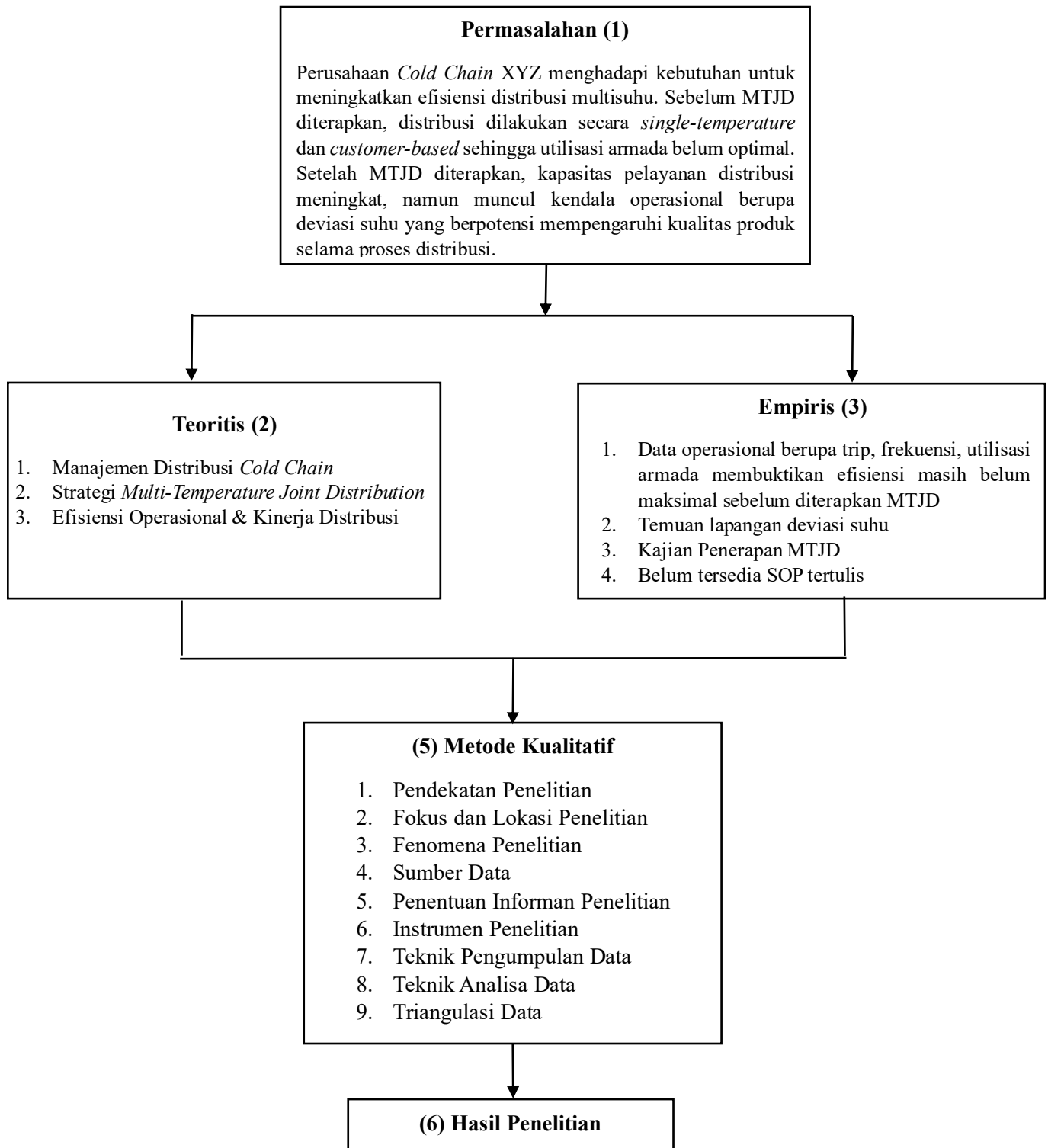
No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
6.	<i>Cold Chain Logistics and Joint Distribution : A Review of Fresh Logistics Modes.</i> Shi et al., (2024)	Melakukan penelitian mendalam terhadap <i>cold chain logistics</i> dan <i>joint distribution</i> , khususnya pada produk segar, mencakup mode operasi, keunggulan, tantangan, dan tren perkembangan di masa mendatang.	Kualitatif	Joint distribution terbukti meningkatkan efisiensi logistik, menurunkan biaya dan emisi karbon, dengan dukungan inovasi teknologi dalam pengembangan <i>cold chain logistics</i> .	Membahas <i>cold chain logistics</i> dan distribusi produk segar, serta pertimbangan efisiensi operasional.	Shi et al. (2024) mengkaji <i>cold chain logistics</i> secara umum, sedangkan penelitian ini berfokus pada optimasi rute distribusi MTJD melalui pengiriman multi-customer.
7.	Logistik untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keefektifan Operasional pada PT. XX. Cahyani., et al (2024)	Mengidentifikasi permasalahan operasional distribusi logistik PT. XX dan menemukan solusi konkret untuk meningkatkan efisiensi serta efektivitas distribusi logistik perusahaan.	Kualitatif	Permasalahan utama meliputi keterbatasan armada, kendala bahan baku, dan fasilitas produksi, yang diatasi melalui penambahan kendaraan, peningkatan komunikasi vendor, dan penerapan ERP.	Membahas efisiensi operasional distribusi logistik dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kelancaran distribusi barang.	Cahyani et al. (2024) mencapai efisiensi operasional melalui penambahan armada, sedangkan penelitian ini memaksimalkan utilitas armada yang ada melalui MTJD.

No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
8.	<i>Enhancing Cold Chain Logistics: A Framework for Advanced Temperature Monitoring in Transportation and Storage</i> Pajic et al (2024)	Menetapkan kerangka untuk pemantauan suhu dalam <i>cold chain logistic</i> , berfokus pada aspek transportasi dan pergudangan, hingga solusi untuk pemantauan yang efektif	Studi literatur	Dihasilkan pemantauan suhu pada transportasi dan pergudangan, serta teridentifikasi kebutuhan akan teknologi sensor canggih, sistem data terintegrasi, dan protokol yang terstandarisasi dalam cold chain.	Membahas <i>cold chain logistic</i> dan pentingnya menjaga kondisi suhu selama proses transportasi untuk menjamin produk segar.	Pajic et al. (2024) berfokus pada pemantauan suhu melalui studi literatur, sedangkan penelitian ini berfokus pada pemantauan suhu dan pengelolaan produk multi-temperature dengan metode kualitatif.
9.	Penentuan Lokasi <i>Cold Storage</i> dan Rute Kendaraan pada Produk <i>Perishable</i> dengan <i>Location Routing Problem</i> Bisma et al (2025)	Penelitian ini menghasilkan usulan lokasi <i>cold storage</i> dan rute distribusi yang lebih optimal, sehingga mengurangi jarak tempuh kendaraan serta menghemat penggunaan dua unit kendaraan hulu.	Kuantitatif	Usulan lokasi <i>cold storage</i> baru dengan cakupan yang dilayani lebih besar dengan jarak tempuh terpendek	Kedua penelitian membahas mengenai optimasi rute distribusi <i>cold chain</i> dan melibatkan <i>multicustomer</i>	Bisma et al. (2025) berfokus pada relokasi <i>cold storage</i> secara kuantitatif, sedangkan penelitian ini berfokus pada optimalisasi armada multisuhu dan <i>multicustomer</i> secara kualitatif.

No	Judul Penelitian, Nama Peneliti, dan Tahun Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan Penelitian	Perbedaan Penelitian
10.	Optimasi Rute Distribusi Logistik Menggunakan Algoritma Genetika Berbasis Google Maps API untuk Efisiensi Biaya Operasional (Baidawi et al., 2025)	Penelitian ini mengembangkan model optimasi rute distribusi menggunakan VRP dan Algoritma Genetika untuk mengurangi jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional akibat penentuan rute secara manual.	Kuantitatif	Merancang bangun sistem pendukung keputusan logistik berbasis web yang mengintegrasikan Algoritma Genetika dengan Google Maps. Sistem terbukti mampu merekonstruksi pola distribusi menjadi lebih akurat	Kedua penelitian membahas optimasi rute distribusi	Penelitian (Baidawi et al., 2025) dilakukan secara kuantitatif, sedangkan penelitian dilakukan secara kualitatif. Penelitian dilakukan untuk optimasi rute yang berdampak pada efisiensi biaya operasional, sedangkan penelitian melakukan optimasi rute dengan melakukan distribusi multi-suhu dan multicustomer pada satu rute tertentu yang sudah ditentukan secara sistem oleh tim routing.

Sumber : Olah Data Peneliti, 2026

2.3. Alur Kerangka Penelitian



Gambar 2.1 Diagram kerangka konsep

(Sumber : Olah Data Peneliti, 2026)