



Optimalisasi Kendaraan Pengantaran Susu pada Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU) Lembang Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamis

Nabila Rishania¹, Maria Enggelina Br Ginting², Nadif Rizki Sahrial³, Retta Cendana Wangi Butar⁴, Aulia Chantyka Sudrajat⁵

¹⁻⁵Program Studi S-1 Manajemen Logistik, Fakultas Logistik, Teknologi dan Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional (ULBI), Bandung, Indonesia

Email: 182220017@std.ulbi.ac.id ; 182220174@std.ulbi.ac.id ; 182220211@std.ulbi.ac.id ; 182220066@std.ulbi.ac.id ; 182220232@std.ulbi.ac.id

Abstrak

Industri susu segar di Indonesia menghadapi tantangan besar dalam menjaga efisiensi rantai pasok, terutama pada aspek distribusi. Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU) Lembang, sebagai salah satu koperasi susu terbesar di Jawa Barat dengan lebih dari 7.000 anggota aktif, mendistribusikan susu segar ke dua mitra industri pengolahan susu (PT Frisian Flag dan PT Diamond Cold Storage) serta unit retail sendiri. Ketidakefisienan sistem distribusi berdampak pada tingginya biaya operasional kendaraan, emisi karbon, dan risiko penurunan kualitas produk. Penelitian ini bertujuan menganalisis variabel yang paling berpengaruh terhadap biaya operasional kendaraan pengantaran susu, termasuk faktor Vehicle Carbon dan jumlah pengiriman permintaan produk, serta merancang skenario optimalisasi menggunakan pendekatan sistem dinamis. Metode penelitian menggabungkan data primer dari wawancara dengan pihak KPSBU dan data sekunder dari studi literatur, yang selanjutnya diolah menjadi Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock Flow Diagram (SFD) menggunakan perangkat lunak AnyLogic. Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa variabel pemerasan susu dan jumlah anggota aktif KPSBU bersifat sensitif terhadap Total Vehicle Carbon dan Total Biaya BBM, sedangkan variabel kualitas susu tidak sensitif. Skenario optimalisasi terbaik (skenario pertama/kedua) menghasilkan peningkatan jumlah pengiriman sebesar 25%, namun disertai kenaikan Vehicle Carbon dan biaya BBM sebesar 37%, sehingga diperlukan strategi mitigasi seperti optimalisasi rute dan efisiensi armada. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi KPSBU dalam merancang strategi distribusi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci: rantai pasok susu; sistem dinamis; AnyLogic; Vehicle Carbon; optimalisasi distribusi

Abstract

The fresh milk industry in Indonesia faces significant challenges in maintaining supply chain efficiency, particularly in distribution. The North Bandung Dairy Farmers Cooperative (KPSBU) Lembang, one of the largest dairy cooperatives in West Java with more than 7,000 active members, distributes fresh milk to two milk-processing partners (PT Frisian Flag and PT Diamond Cold Storage) as well as its own retail unit. Inefficiencies in the distribution system result in high vehicle operational costs, carbon emissions, and the risk of declining product quality. This study aims to analyze the variables that most influence the operational costs of milk delivery vehicles, including the Vehicle Carbon factor and the volume of product delivery demand, and to design optimization scenarios using a system dynamics approach. The research method combines primary data from interviews with KPSBU and secondary data from literature studies, which are then developed into a Causal Loop Diagram (CLD) and a Stock Flow Diagram (SFD) using AnyLogic software. Sensitivity test results show that milking volume and the number of active KPSBU members are sensitive variables affecting Total Vehicle Carbon and Total Fuel Cost, while milk quality is not sensitive. The best optimization scenario increases delivery volume by 25%, but is accompanied by a 37% increase in Vehicle Carbon and fuel cost, indicating the need for mitigation strategies such as route optimization and fleet efficiency improvement. This

study is expected to serve as a reference for KPSBU in designing a more efficient and sustainable distribution strategy.

Keywords: *milk supply chain; system dynamics; AnyLogic; Vehicle Carbon; distribution optimization*

1. PENDAHULUAN

Industri susu di Indonesia mengalami pertumbuhan dalam beberapa tahun terakhir, namun belum mampu memenuhi kebutuhan konsumsi nasional secara optimal. Pada tahun 2017, produksi susu nasional hanya mampu memenuhi sekitar 22% dari total konsumsi susu nasional, yang menunjukkan adanya kesenjangan antara produksi dan permintaan (Ginny dkk., 2021). Salah satu faktor utama yang menyebabkan hal ini adalah ketergantungan peternak susu pada industri pengolahan susu, yang lebih mengutamakan bahan baku impor dibandingkan susu lokal. Situasi ini menciptakan tantangan bagi peternak dalam mengembangkan usaha mereka secara berkelanjutan.

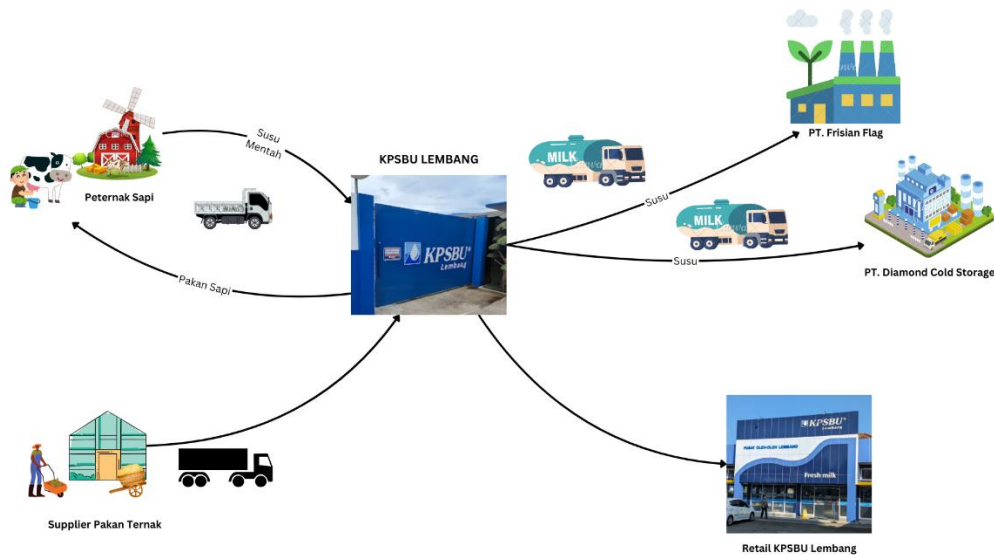
Distribusi susu segar di Indonesia juga menghadapi tantangan yang cukup kompleks. Koperasi susu seperti Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU) berperan penting dalam menyalurkan susu dari peternak ke industri pengolahan. Namun, persaingan bisnis yang semakin ketat menuntut adanya pengelolaan rantai pasok yang lebih efisien, termasuk dalam logistik inbound, yang melibatkan proses penerimaan dan penyimpanan bahan baku sebelum diproses lebih lanjut (A. D. Mulia dkk., 2022). Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi tantangan dalam rantai pasok demi efisiensi biaya dan produk adalah penerapan Green Supply Chain Management (GSCM) atau green logistic (Adelina dkk., 2024). PT Narmada Awet Muda, misalnya, telah menerapkan berbagai strategi ramah lingkungan dalam proses manufakturnya, termasuk pengolahan limbah dan keterlibatan masyarakat dalam kegiatan produksi, meskipun masih terdapat hambatan berupa biaya tambahan untuk pengelolaan limbah dan transportasi bahan baku (Febriana dkk., 2022).

Dalam menghadapi kompleksitas industri susu, pendekatan berbasis simulasi dapat memberikan gambaran lebih jelas mengenai berbagai skenario yang mungkin terjadi apabila terdapat perubahan dalam rantai pasok atau kebijakan industri. Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak AnyLogic memungkinkan analisis sistem dinamis melalui Stock and Flow Diagram (SFD) serta Causal Loop Diagram (CLD) (Fikri dkk., 2023). Dengan simulasi ini, pemangku kepentingan dapat menguji berbagai strategi untuk meningkatkan efisiensi produksi, distribusi, dan keberlanjutan industri susu. Studi oleh Sunardhi dkk. (2025) juga menunjukkan bahwa distribusi barang, misalnya LPG, dapat dioptimalkan dengan pendekatan Vehicle Routing Problem (VRP) untuk mengurangi jarak tempuh dan biaya operasional; pendekatan serupa relevan diterapkan pada rantai pasok susu segar dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, permintaan pasar, dan kondisi jalan.

Perubahan permintaan dari perusahaan besar seperti PT Frisian Flag (PTA) dan PT Diamond Cold Storage (PTB), serta pusat oleh-oleh yang dikelola KPSBU sendiri, memberikan dampak signifikan terhadap rantai pasok susu segar. Bertambahnya jumlah anggota koperasi, kapasitas penyimpanan yang terbatas, serta pembaruan armada kendaraan (misalnya truk listrik) merupakan faktor-faktor yang perlu diperhitungkan agar distribusi

tetap efisien dan minim dampak lingkungan (Sianipar dkk., 2024; Cheng & Lin, 2024). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menggunakan sejumlah teknik analisis pendahuluan yaitu Rich Picture Diagram, enam elemen masalah, analisis pemangku kepentingan, gap analysis, fishbone diagram, dan 5W+1H, sebagaimana diuraikan pada bagian berikut.

1.1 Identifikasi Masalah Awal



Gambar 1. Rich Picture Diagram (RPD) Sistem Distribusi KPSBU

Sumber: Penulis (2025)

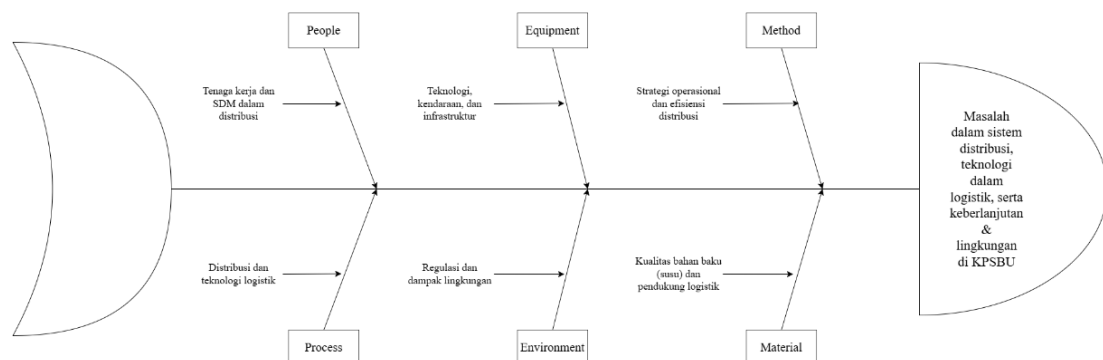
Rich Picture Diagram pada Gambar 1 menggambarkan komponen-komponen yang saling terkait dalam sistem produksi dan distribusi di KPSBU. Aktor utama adalah para pelaku bisnis KPSBU yang menjalankan aktivitas produksi susu sapi, pengiriman, dan distribusi produk ke dua mitra kemitraan yaitu PT Frisian Flag dan PT Diamond Cold Storage. Objek yang terlibat meliputi susu sapi sebagai produk utama, berbagai jenis kendaraan untuk transportasi, serta pakan ternak, dengan lokasi meliputi peternakan sebagai tempat produksi, KPSBU sebagai fasilitas pengolahan, dan pasar sebagai tujuan akhir distribusi.

Analisis enam elemen masalah (decision maker, objective, decision criterion, performance measure, control input, dan context) mengidentifikasi bahwa pengambil keputusan utama adalah pengurus KPSBU, dengan tujuan meningkatkan kesejahteraan anggota dan efisiensi produksi. Kriteria keputusan mencakup biaya produksi, kualitas produk, dan dampak lingkungan, sementara ukuran kinerja meliputi peningkatan produksi susu dan penurunan biaya distribusi. Analisis pemangku kepentingan mengidentifikasi KPSBU sebagai problem owner, divisi transportasi dan pengemudi sebagai problem user, anggota aktif KPSBU sebagai problem customer, serta mahasiswa/i ULBI sebagai problem analyst and solver.

Tabel 1. Gap Analysis Sistem Distribusi KPSBU

Aspek	Kondisi Saat Ini	Kondisi yang Diharapkan	Gap (Kesenjangan)	Strategi Perbaikan
Sistem Distribusi	Distribusi menggunakan truk besar dan kecil, belum optimal dalam rute dan waktu pengiriman.	Sistem distribusi efisien dengan rute terencana, biaya rendah, dan tepat waktu.	Kurangnya sistem perencanaan rute yang optimal.	Implementasi teknologi informasi untuk optimasi rute dan pemantauan real-time.
Teknologi dalam Logistik	Minim penggunaan sistem digital dalam manajemen rantai pasok.	Pemanfaatan software supply chain management dan IoT untuk tracking.	Kurangnya penerapan teknologi modern.	Investasi software manajemen rantai pasok dan pelatihan SDM.
Keberlanjutan & Lingkungan	Belum ada pengelolaan limbah optimal, konsumsi bahan bakar tinggi.	Sistem produksi dan distribusi yang lebih ramah lingkungan.	Emisi karbon dan limbah belum terkendali maksimal.	Implementasi green logistics dan energi terbarukan.

Sumber: Penulis (2025)



Gambar 2. Fishbone Diagram Ketidakefisienan Distribusi Susu

Sumber: Penulis (2025)

Diagram fishbone dengan pendekatan 6M (Man, Machine, Method, Material, Environment, Measurement) digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab ketidakefisienan distribusi susu di KPSBU. Pada aspek Man ditemukan kurangnya pelatihan pengemudi dalam manajemen rute; pada aspek Machine, armada distribusi yang sudah tua meningkatkan biaya perawatan; pada aspek Method, belum ada sistem perencanaan rute yang optimal; pada aspek Material, kualitas susu segar rentan menurun tanpa sistem pendingin memadai; pada aspek Environment, kondisi jalan dan cuaca memengaruhi ketepatan waktu pengiriman; serta pada aspek Measurement, belum ada pemantauan indikator kinerja utama (KPI) distribusi secara berkala.

Analisis 5W+1H menegaskan bahwa masalah utama adalah kurangnya efisiensi sistem distribusi dan pemanfaatan teknologi logistik yang belum optimal (What), disebabkan oleh minimnya pemanfaatan teknologi perencanaan rute serta keterbatasan infrastruktur ramah lingkungan (Why), melibatkan KPSBU, divisi transportasi, anggota aktif, dan mahasiswa peneliti (Who), terjadi di sepanjang rantai distribusi dari pengumpulan hingga pengiriman ke mitra industri dan ritel (Where), muncul terutama saat volume produksi meningkat namun distribusi belum optimal (When), dan dapat diatasi melalui optimalisasi manajemen transportasi berbasis teknologi serta penerapan kebijakan keberlanjutan (How).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah: (1) variabel apa saja yang paling berpengaruh terhadap biaya operasional kendaraan pengantaran susu di KPSBU, termasuk faktor Vehicle Carbon dan jumlah pengiriman permintaan produk; dan (2) skenario optimalisasi seperti apa yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi kendaraan pengantaran susu di KPSBU.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis variabel yang paling berpengaruh terhadap biaya operasional kendaraan pengantaran susu di KPSBU, termasuk konsumsi bahan bakar, rute perjalanan, efisiensi kendaraan, Vehicle Carbon, serta jumlah pengiriman permintaan produk; dan (2) mengevaluasi dan merancang skenario optimalisasi kendaraan pengantaran susu yang dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya logistik, serta meminimalkan dampak lingkungan melalui strategi perencanaan rute dan pemanfaatan teknologi logistik yang lebih baik.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini berfokus pada sistem distribusi susu di KPSBU Lembang, khususnya kendaraan pengantaran susu yang digunakan untuk mendistribusikan produk ke PT Frisian Flag dan PT Diamond Cold Storage. Variabel yang dikaji meliputi konsumsi bahan bakar, jarak tempuh, frekuensi pengiriman, Vehicle Carbon, serta jumlah pengiriman permintaan produk, tanpa membahas aspek produksi susu di peternakan maupun strategi pemasaran KPSBU secara mendalam. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak AnyLogic dengan data operasional KPSBU pada periode tertentu, sehingga hasil analisis dapat dipengaruhi oleh kondisi spesifik dalam periode tersebut.

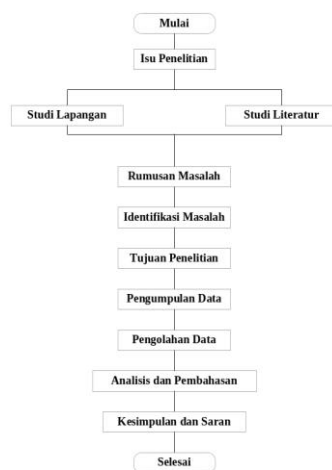
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi sistem dinamis (system dynamics), yang menggabungkan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan pengurus dan pihak terkait di KPSBU Lembang untuk menggali informasi mendalam mengenai praktik distribusi, tantangan operasional, dan kebutuhan optimalisasi. Data sekunder dihimpun melalui studi literatur secara sistematis dari jurnal ilmiah, artikel, dan publikasi resmi terkait rantai pasok susu,

green logistics, dan pemodelan sistem dinamis, guna membangun landasan teori serta mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan yang relevan.

Kombinasi kedua metode ini didasarkan pada prinsip sinergi: data primer memberikan konteks empiris mengenai realitas operasional KPSBU, sementara studi literatur memperkaya perspektif teoretis. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk analisis statistik deskriptif, parameterisasi model, uji sensitivitas, dan pengolahan hasil uji skenario, serta perangkat lunak AnyLogic untuk membangun model simulasi berupa Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock Flow Diagram (SFD).

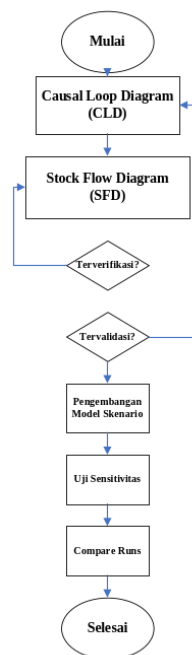
2.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3. Flowchart Metode Penelitian
Sumber: Penulis (2025)

Tahapan penelitian diawali dari ketertarikan peneliti terhadap isu persediaan dan distribusi susu di KPSBU, dilanjutkan dengan identifikasi isu penelitian secara spesifik, studi literatur untuk membangun landasan teori, dan studi lapangan melalui wawancara semi-terstruktur dengan pihak KPSBU. Berdasarkan hasil tersebut, peneliti merumuskan masalah dan melakukan identifikasi masalah secara lebih rinci, menetapkan tujuan penelitian, mengumpulkan data primer dan sekunder secara sistematis, kemudian mengolah data menggunakan Excel dan AnyLogic. Tahap akhir berupa analisis dan pembahasan hasil simulasi, penarikan kesimpulan, serta penyusunan saran yang actionable bagi KPSBU.

2.2 Alur Pengolahan Data dalam AnyLogic



Gambar 4. Flowchart Pengolahan Data AnyLogic

Sumber: Penulis (2025)

Pengolahan data simulasi diawali dengan penyusunan Causal Loop Diagram untuk memvisualisasikan hubungan sebab-akibat antarvariabel dalam sistem produksi dan distribusi susu, sehingga dapat diidentifikasi umpan balik positif (reinforcing) dan negatif (balancing) yang memengaruhi dinamika sistem. Selanjutnya, CLD dikembangkan menjadi Stock Flow Diagram yang merepresentasikan aliran materi (flow) dan akumulasi (stock) secara lebih rinci, seperti jumlah susu dalam penyimpanan dan laju pengiriman. Model kemudian diverifikasi untuk memastikan kesesuaian dengan CLD, serta divalidasi dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data empiris. Tahap berikutnya adalah penyusunan skenario untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan kondisi, uji sensitivitas untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh terhadap output model, dan compare runs untuk membandingkan kinerja sistem pada berbagai skenario guna menentukan strategi optimalisasi yang paling efektif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU) Lembang merupakan koperasi peternak sapi perah yang bergerak dalam sektor produksi susu sapi, mewadahi para peternak rakyat di wilayah kerja KPSBU Lembang. KPSBU berkomitmen menjamin kepastian pasar, harga, dan penjualan susu yang dihasilkan anggotanya, serta menjalin kemitraan (bukan hubungan bisnis semata) dengan anggota dan industri pengolahan susu (IPS) untuk membangun ekosistem perekonomian rakyat yang sehat. KPSBU didirikan pada 8 Agustus 1971 dan saat ini memiliki lebih dari 7.000 anggota aktif. Bisnis utama KPSBU

adalah produksi susu, dengan rata-rata perolehan susu sekitar 112 liter per hari per satuan pengukuran yang ditampung dari peternak anggota. Setelah melalui pengecekan laboratorium dan pendinginan di cooling unit, susu dikirimkan ke PT Diamond International Indonesia dan PT Frisian Flag Indonesia, serta sebagian diolah menjadi produk olahan susu bermerek Freshtime KPSBU.

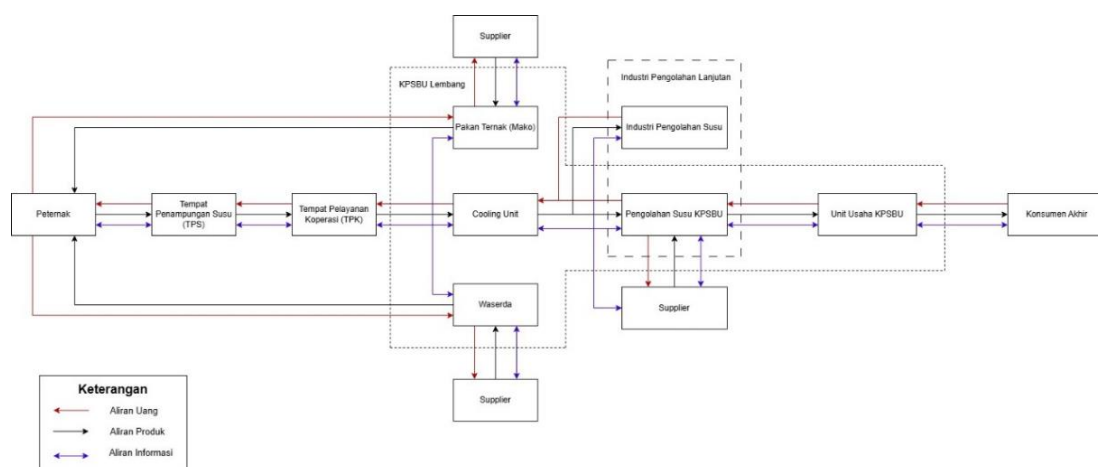
Tabel 2. Ringkasan Data Operasional KPSBU (Hasil Wawancara)

Parameter	PT Frisian Flag (PTA)	PT Diamond Cold Storage (PTB)
Persentase permintaan	10%	90%
Jumlah kendaraan	23 unit	4 - 8 unit
Lama pengiriman	4 - 5 jam	30 - 60 menit
Kapasitas produksi harian	112 ton/hari (total)	-
Jumlah anggota KPSBU	7.552 terdaftar	± 7.000 aktif

Sumber: Penulis (2025)

Analisis awal menunjukkan bahwa produksi dan distribusi susu di KPSBU memiliki potensi besar dengan kapasitas harian yang signifikan, namun masih bergantung pada dua supplier utama sehingga rentan terhadap fluktuasi permintaan. Ditemukan pula bahwa perusahaan belum menerapkan konsep green logistics dan belum memiliki sistem penanganan khusus untuk produk rusak atau basi, sehingga menjadi salah satu peluang perbaikan utama dalam penelitian ini. Data teknis kendaraan diperoleh dari situs resmi PT Hino Motors Sales Indonesia (2019) untuk truk besar seri FG 260 JU – Euro 4 (mesin 7.684 cc) dan PT Karma Yudha Tiga Berlian Motors (2024) untuk truk sedang seri Canter FE 73 (mesin 3.907 cc), sedangkan faktor emisi karbon per kilometer mengacu pada Mulholland dkk. (2020), yaitu 850 gram CO₂/km untuk truk besar dan 600 gram CO₂/km untuk truk sedang.

3.2 Struktur Model Rantai Pasokan

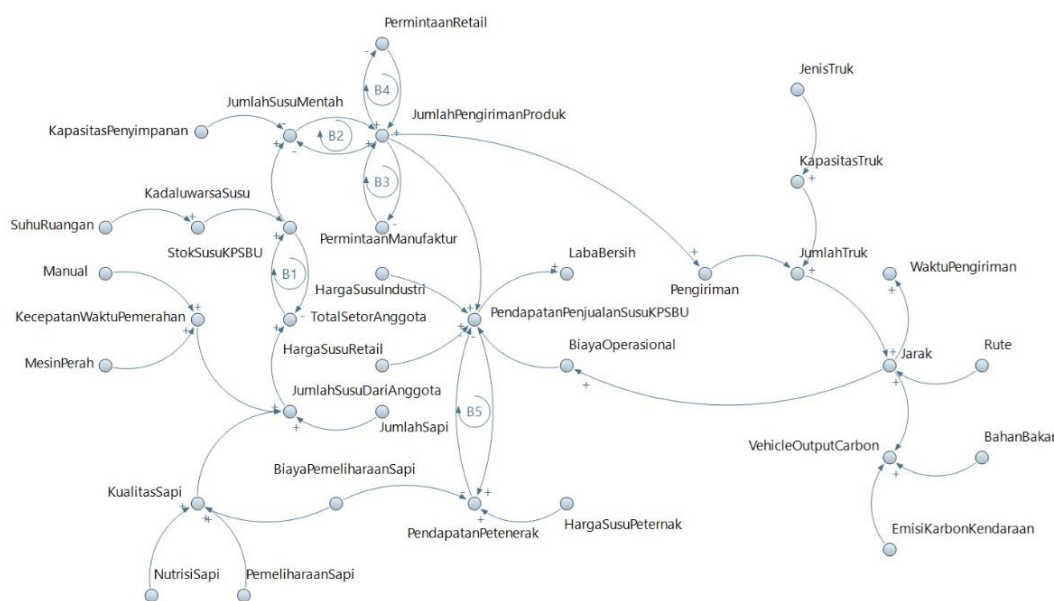


Gambar 5. Struktur Model Rantai Pasokan KPSBU Lembang

Sumber: Penulis (2025)

KPSBU Lembang mendistribusikan produk susunya ke tiga tujuan utama: PT Frisian Flag, PT Diamond Cold Storage, dan retail (pusat oleh-oleh) milik sendiri. Rantai pasok bermula dari pengadaan pakan ternak dari pemasok eksternal, yang kualitas dan ketersediaannya sangat memengaruhi produktivitas sapi. Susu segar yang dihasilkan kemudian dikumpulkan, diperiksa kualitasnya, didinginkan, dan didistribusikan melalui saluran industri maupun retail. Efisiensi pada tahap distribusi ini sangat penting untuk menjaga kualitas produk dan meminimalkan biaya operasional, mengingat sifat susu segar yang mudah rusak (perishable). KPSBU dapat mempertimbangkan integrasi vertikal, penerapan sistem informasi manajemen dan Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time, serta kemitraan strategis guna meningkatkan efisiensi dan daya tawar dalam rantai pasoknya.

3.3 Causal Loop Diagram (CLD)



Gambar 6. Causal Loop Diagram (CLD) Sistem Distribusi Susu KPSBU

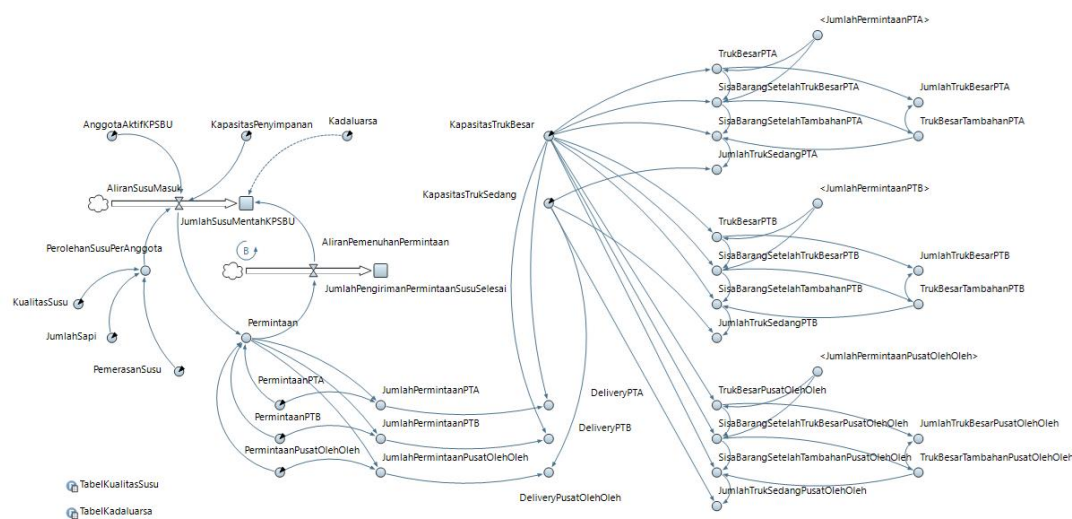
Sumber: Penulis (2025)

Causal Loop Diagram pada Gambar 6 menggambarkan interaksi kompleks antara variabel-variabel dalam sistem produksi dan distribusi susu KPSBU, meliputi jumlah sapi, kualitas susu, kapasitas penyimpanan, dan jarak pengiriman. Proses pengumpulan susu dimulai dari Total Setor Anggota, yang berkontribusi terhadap Jumlah Susu Mentah sebagai bahan baku utama. Jumlah Pengiriman Produk bergantung pada ketersediaan susu mentah serta Permintaan Manufaktur (PTA dan PTB) dan Permintaan Retail. Jumlah Truk yang dibutuhkan dipengaruhi oleh Kapasitas Truk dan volume pengiriman, sedangkan Jarak dan Jenis Truk memengaruhi Waktu Pengiriman serta konsumsi Bahan Bakar. Konsumsi bahan bakar dan jarak tempuh selanjutnya menentukan Vehicle Output Carbon, yang menjadi salah satu variabel lingkungan utama dalam penelitian ini.

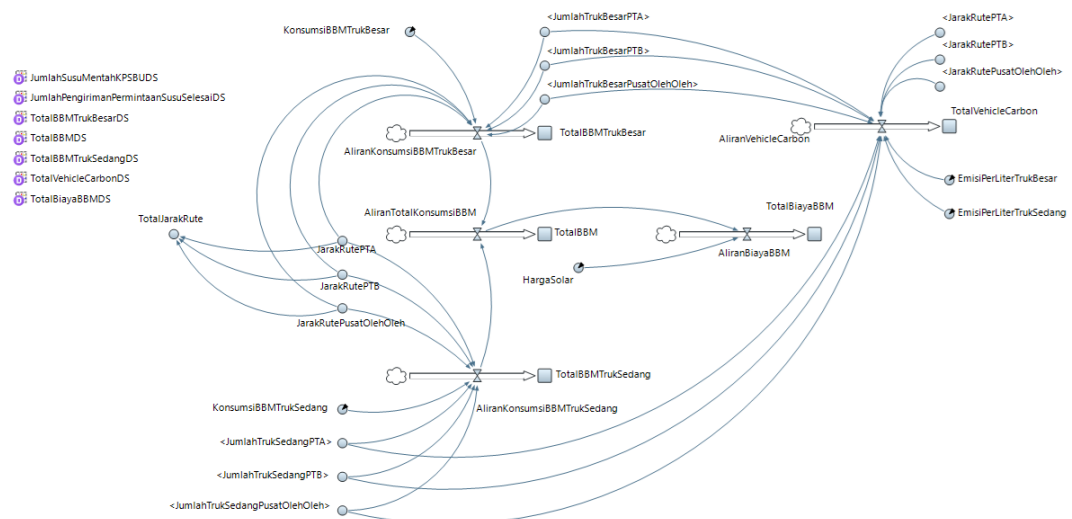
Dari sisi keuangan, Pendapatan Penjualan Susu KPSBU dipengaruhi oleh Jumlah Pengiriman Produk dan Harga Susu, sementara Biaya Operasional dipengaruhi oleh Jumlah

Truk, Jarak, dan Bahan Bakar yang digunakan. Selisih antara pendapatan dan biaya operasional menghasilkan Laba Bersih yang memengaruhi kemampuan pengembangan armada di masa mendatang. Model CLD ini mengidentifikasi berbagai loop, baik reinforcing loop (umpan balik positif yang memperkuat perubahan) maupun balancing loop (umpan balik negatif yang mengembalikan sistem ke keseimbangan). Salah satu balancing loop paling fundamental adalah mekanisme pasar: ketika produksi melebihi permintaan, harga susu cenderung turun sehingga peternak termotivasi mengurangi produksi, dan sebaliknya. Balancing loop lain terlihat pada pengelolaan tingkat persediaan susu, di mana stok yang terlalu tinggi mendorong pengurangan produksi untuk menghindari pemborosan, sementara stok yang terlalu rendah mendorong peningkatan produksi guna memenuhi permintaan.

3.4 Stock Flow Diagram (SFD)



Gambar 7. Stock Flow Diagram (SFD) Distribusi Susu KPSBU (Bagian Persediaan)
Sumber: Penulis (2025)



Gambar 8. Stock Flow Diagram (SFD) Distribusi Susu KPSBU (Bagian Distribusi dan Emisi)
Sumber: Penulis (2025)

Stock Flow Diagram menggambarkan aliran dan stok dalam sistem distribusi susu KPSBU secara lebih kuantitatif, dengan komponen utama berupa stock (jumlah barang tersimpan), flow (perubahan jumlah stok per periode), parameter (nilai tetap), dynamic variable (variabel yang berubah berdasarkan parameter dan aliran), data set, dan table function. Aliran Susu Masuk dipengaruhi oleh jumlah anggota aktif dan perolehan susu per anggota, kemudian disalurkan ke stok Jumlah Susu Mentah KPSBU yang memiliki batas kedaluwarsa dua hari. Susu dalam stok selanjutnya dikirimkan sesuai variabel Permintaan, yang terbagi berdasarkan proporsi masing-masing tujuan (PTA 45%, PTB 45%, dan pusat oleh-oleh 10%), membentuk balancing loop antara aliran masuk dan aliran pemenuhan permintaan.

Pemilihan jenis kendaraan pengiriman didasarkan pada kapasitas angkut: truk besar berkapasitas 20.000 liter dan truk sedang berkapasitas 12.000 liter, di mana pengiriman kurang dari 12.000 liter menggunakan truk sedang dan pengiriman lebih dari itu menggunakan truk besar (atau kombinasi keduanya). Konsumsi bahan bakar truk (AliranKonsumsiBBMTruk) ditentukan oleh jarak rute masing-masing tujuan dan jenis kendaraan, yang kemudian menghasilkan Total Konsumsi BBM, Total Vehicle Carbon, dan Total Biaya BBM sebagai output utama model. Tabel 3 merangkum sejumlah parameter kunci yang digunakan dalam model SFD ini.

Tabel 3. Ringkasan Parameter Kunci Model Simulasi

Nama Variabel	Nilai	Satuan
Anggota Aktif KPSBU	7.000	Orang
Jumlah sapi per anggota	4	Ekor/anggota
Pemerasan susu	4	Liter/sapi/hari
Kapasitas penyimpanan	120.000	Liter
Batas kedaluwarsa susu	2	Hari
Proporsi permintaan PTA	0,45	Proporsi
Proporsi permintaan PTB	0,45	Proporsi
Proporsi permintaan Pusat Oleh-oleh	0,10	Proporsi
Kapasitas truk besar	20.000	Liter/truk
Kapasitas truk sedang	12.000	Liter/truk
Konsumsi BBM truk besar	3,5	Km/liter
Konsumsi BBM truk sedang	5	Km/liter
Harga solar	6.800	Rupiah/liter
Emisi truk besar	850	Gram CO2/km
Emisi truk sedang	600	Gram CO2/km
Jarak rute PTA (pp)	307,8	Km
Jarak rute PTB (pp)	254,4	Km

Sumber: Penulis (2025)

Hasil verifikasi model menunjukkan bahwa SFD tidak mengandung error dan telah terverifikasi berjalan sesuai dengan konseptualisasi CLD, sehingga model dapat digunakan untuk pengujian skenario lebih lanjut.

3.5 Uji Sensitivitas

Uji sensitivitas dilakukan terhadap tiga variabel utama, yaitu pemerasan susu, kualitas susu, dan jumlah anggota aktif KPSBU, untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap tiga output model: Jumlah Pengiriman Permintaan Susu Selesai, Total Vehicle Carbon, dan Total Biaya BBM.

Tabel 4. Hasil Uji Sensitivitas Variabel Pemerasan Susu

Output	Perubahan Input	Perubahan Output (maks.)	Kesimpulan
Jumlah Pengiriman Permintaan Susu Selesai	$\pm 75\%$	$\pm 75\%$ (linear)	Tidak Sensitif
Total Vehicle Carbon	25%	33%	Sensitif
Total Biaya BBM	25%	26%	Sensitif

Sumber: Penulis (2025)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variabel pemerasan susu bersifat sensitif terhadap Total Vehicle Carbon dan Total Biaya BBM pada titik perubahan input tertentu, yang berarti perubahan kecil pada volume pemerahan dapat berdampak signifikan terhadap output tersebut, meskipun terhadap Jumlah Pengiriman Permintaan Susu Selesai variabel ini bersifat proporsional (tidak sensitif). Sebaliknya, variabel kualitas susu terbukti tidak sensitif terhadap ketiga output, yang berarti perubahan kualitas dalam skala pengujian tidak memberikan dampak signifikan terhadap volume pengiriman, emisi, maupun biaya BBM, meskipun kualitas susu tetap berkontribusi terhadap penerimaan produk secara umum.

Tabel 5. Hasil Uji Sensitivitas Variabel Anggota Aktif KPSBU

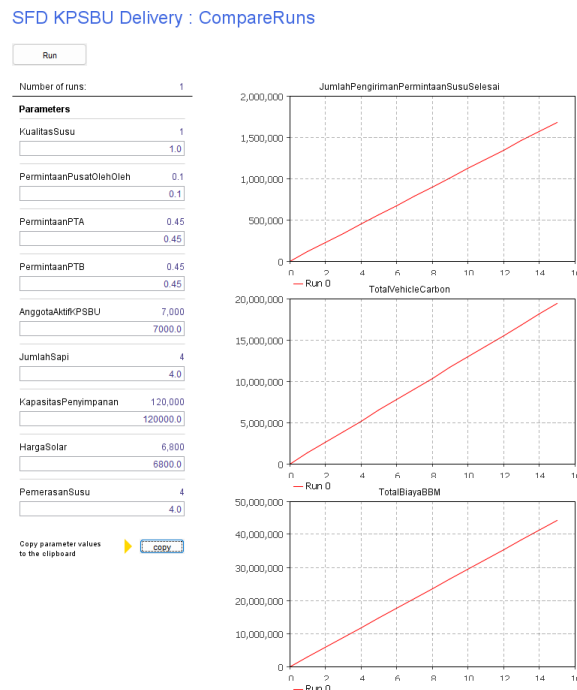
Output	Perubahan Input	Perubahan Output (maks.)	Kesimpulan
Jumlah Pengiriman Permintaan Susu Selesai	7.250 - 7.500 anggota	$\pm 7\%$	Tidak Sensitif
Total Vehicle Carbon	7.250 - 7.500 anggota	hingga 11%	Sensitif
Total Biaya BBM	7.250 - 7.500 anggota	hingga 11%	Sensitif

Sumber: Penulis (2025)

Variabel jumlah anggota aktif KPSBU juga terbukti sensitif terhadap Total Vehicle Carbon dan Total Biaya BBM: peningkatan jumlah anggota dari 7.250 menjadi 7.500 memicu kenaikan volume susu yang harus diangkut sehingga menambah jumlah truk besar yang beroperasi, yang berdampak lebih besar terhadap emisi dan biaya dibandingkan

proporsinya terhadap output pengiriman itu sendiri. Temuan ini menegaskan bahwa pertumbuhan keanggotaan KPSBU perlu diiringi dengan penyesuaian kapasitas armada dan strategi rute agar peningkatan emisi karbon dan biaya operasional dapat ditekan.

3.6 Uji Skenario dan Perbandingan Simulasi



Gambar 9. Grafik Hasil Skenario Dasar

Sumber: Penulis (2025)

Model diuji melalui empat skenario simulasi (skenario dasar/aktual dan tiga skenario optimalisasi) dengan memvariasikan frekuensi pengiriman dan proporsi permintaan masing-masing mitra. Tabel 6 merangkum hasil compare runs pada AnyLogic untuk keempat skenario tersebut.

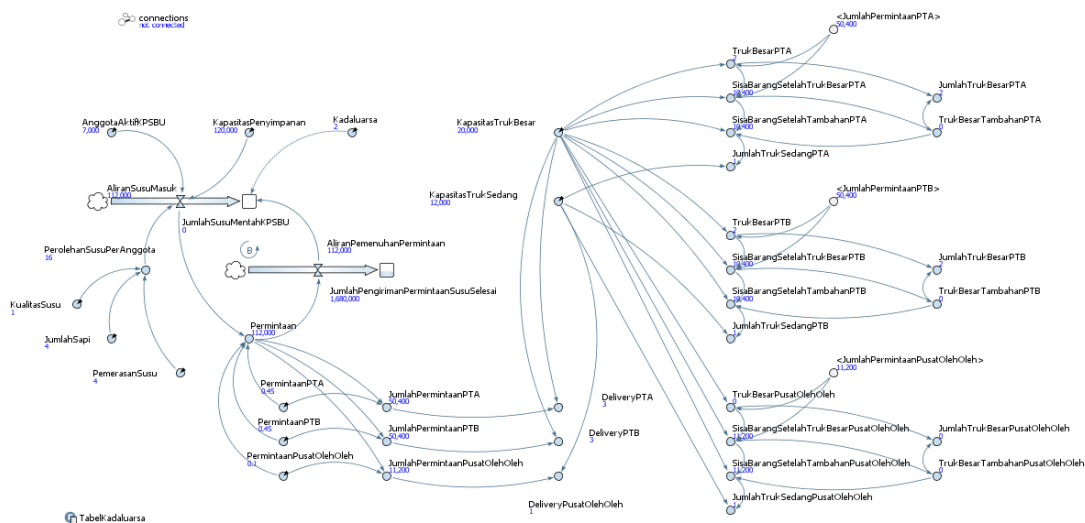
Tabel 6. Perbandingan Hasil Simulasi Antarskenario

Skenario	Jumlah Pengiriman Selesai (liter)	Total Vehicle Carbon (gram CO ₂)	Total Biaya BBM (Rp)
Dasar (Aktual)	1.680.000	19.396.800	44.239.148,57
Skenario 1	2.100.000	26.565.225	60.624.137,14
Skenario 2	2.100.000	27.246.075	62.180.365,71
Skenario 3	2.100.000	25.884.375	59.067.908,57

Sumber: Penulis (2025)

Ketiga skenario optimalisasi menghasilkan peningkatan volume pengiriman yang sama (25% dari kondisi dasar), namun dengan variasi kenaikan Vehicle Carbon dan biaya BBM. Skenario pertama dipilih sebagai skenario yang paling direkomendasikan karena mencerminkan kondisi ketika terjadi peningkatan produksi dan kapasitas penyimpanan

sehingga pengiriman susu dapat lebih banyak dan berpotensi meningkatkan keuntungan, sedangkan skenario kedua dan ketiga memberikan gambaran dampak perubahan proporsi permintaan pada masing-masing perusahaan mitra.



Gambar 10. Hasil Simulasi pada Antarmuka AnyLogic
Sumber: Penulis (2025)

Secara keseluruhan, hasil compare runs menunjukkan bahwa optimalisasi distribusi berpotensi meningkatkan biaya operasional kendaraan pengantaran susu di KPSBU sebesar 25%, yang disertai kenaikan Vehicle Carbon sebesar 37% dan jumlah pengiriman permintaan produk sebesar 37% dibandingkan kondisi dasar. Temuan ini mengindikasikan trade-off antara peningkatan volume pengiriman dan dampak lingkungan/biaya, sehingga peningkatan kapasitas distribusi perlu diimbangi dengan strategi mitigasi seperti optimalisasi rute (misalnya pendekatan Vehicle Routing Problem), penggunaan kendaraan yang lebih hemat bahan bakar atau berbasis energi terbarukan, serta konsolidasi pengiriman untuk memaksimalkan utilisasi kapasitas truk.

3.7 Pembahasan Umum

Hasil simulasi secara konsisten menunjukkan bahwa variabel Vehicle Carbon dan jumlah pengiriman permintaan produk merupakan variabel kunci yang paling berpengaruh terhadap biaya operasional kendaraan pengantaran susu di KPSBU, sejalan dengan rumusan masalah penelitian. Variabel pemerasan susu dan jumlah anggota aktif KPSBU terbukti sensitif terhadap kedua output tersebut, sehingga pertumbuhan produksi maupun keanggotaan koperasi perlu direncanakan bersamaan dengan penyesuaian kapasitas armada dan strategi distribusi. Sebaliknya, kualitas susu tidak memberikan dampak signifikan terhadap emisi maupun biaya BBM dalam rentang pengujian, meski tetap relevan bagi penerimaan produk oleh mitra industri. Temuan ini sejalan dengan penelitian Irajani dkk. (2024) dan Syahputro dkk. (2024) yang menekankan pentingnya efisiensi operasional dalam pengelolaan produksi susu di KPSBU, serta relevan dengan prinsip green logistics yang dikemukakan Adelina dkk. (2024) dalam mendorong strategi ramah lingkungan pada rantai pasok. Dengan demikian, optimalisasi kendaraan pengantaran susu di KPSBU idealnya tidak hanya berfokus pada

peningkatan volume pengiriman, tetapi juga pada pengendalian emisi karbon dan efisiensi biaya bahan bakar secara simultan melalui perencanaan rute berbasis teknologi informasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pemecahan masalah, ditemukan bahwa variabel utama yang berpengaruh terhadap biaya operasional kendaraan pengantaran susu di KPSBU mencakup faktor Vehicle Carbon dan jumlah pengiriman produk. Variabel pemerasan susu dan jumlah anggota aktif KPSBU merupakan variabel yang sensitif, di mana perubahan kecil pada input dapat menghasilkan perubahan output yang lebih besar — pada Total Vehicle Carbon, peningkatan input sebesar 3 satuan menghasilkan kenaikan output sebesar 8%, dan pada jumlah anggota aktif, peningkatan dari 7.250 menjadi 7.500 anggota menghasilkan perubahan Total Vehicle Carbon dan Total Biaya BBM hingga 11%. Sebaliknya, variabel kualitas susu dikategorikan tidak sensitif, meskipun tetap berkontribusi terhadap jumlah pengiriman produk. Variabel lain yang turut memengaruhi sistem meliputi permintaan dari PTA, PTB, dan pusat oleh-oleh, jumlah sapi, kapasitas penyimpanan, serta harga bahan bakar.

Melalui analisis perbandingan simulasi pada parameter frekuensi pengiriman menggunakan AnyLogic, skenario kedua dipilih sebagai skenario optimal karena peningkatan produksi dan kapasitas penyimpanan dapat meningkatkan jumlah pengiriman susu sehingga mendorong peningkatan keuntungan dan efisiensi kendaraan pengantaran, sementara skenario ketiga dan keempat memberikan gambaran dampak perubahan permintaan dari masing-masing perusahaan mitra. Analisis menunjukkan bahwa optimalisasi distribusi berpotensi meningkatkan biaya operasional kendaraan pengantaran susu sebesar 25%, dengan kenaikan Vehicle Carbon dan jumlah pengiriman permintaan produk masing-masing sebesar 37%. Temuan ini menegaskan bahwa optimalisasi sistem distribusi sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi operasional KPSBU, dan implementasi strategi perencanaan rute yang lebih baik serta pemanfaatan teknologi logistik diharapkan dapat mengurangi biaya logistik sekaligus meminimalkan dampak lingkungan, sejalan dengan tujuan penelitian ini.

4.2 Saran

Penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi sejumlah aspek penting dalam sistem distribusi susu di KPSBU, namun ruang lingkupnya masih terbatas sehingga informasi yang diperoleh belum sepenuhnya komprehensif. Untuk penelitian lanjutan, disarankan mempertimbangkan variabel-variabel lain yang berpotensi berpengaruh, seperti faktor cuaca, kebijakan pemerintah, dan fluktuasi harga pasar, serta memperluas cakupan simulasi pada aspek produksi di tingkat peternak. Bagi KPSBU, disarankan untuk melakukan evaluasi berkala terhadap kinerja sistem distribusi guna mengidentifikasi masalah baru secara dini, mempertimbangkan investasi pada teknologi perencanaan rute dan pemantauan armada secara real-time, serta menjajaki penerapan kendaraan yang lebih ramah lingkungan (misalnya truk listrik) untuk menekan pertumbuhan emisi karbon seiring peningkatan volume produksi dan keanggotaan koperasi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- A. D. Mulia, E. Taufik, & A. Atabany. (2022). Analisis Kinerja Inbound Logistik Susu Segar di Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU) Lembang. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 10(1), 1-7. <https://doi.org/10.29244/jipthp.10.1.1-7>
- Adelina, F., Verawati, K., & Rahmayanti, H. (2024). Green Logistics (D. Apriyani & V. T. Fauziatuti, Ed.). Minhaj Pustaka. <https://doi.org/10.62083/d020vv36>
- Aprillia, A., Wangsaputra, R., & Siswanto, B. N. (2021). Risiko Rantai Pasok Susu Olahan KPSBU Lembang dan Penyusunan Mitigasi Risiko (Studi Kasus: KPBS Lembang). *STIMLOG Indonesia*. <https://eprints.ulbi.ac.id/741/>
- Ben Rabia, M. A., & Bellabdaoui, A. (2020). Simulation as a decision-making tool in a business analytics environment. *2020 5th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/GOL49479.2020.9314725>
- Cheng, X., & Lin, J. (2024). Is electric truck a viable alternative to diesel truck in long-haul operation? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 129, 104119. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104119>
- Febriana, W., Palit, J., & Ardiansyah, L. Y. (2022). Implementasi Green Supply Chain Management di PT. Narmada Awet Muda. *JISHUM Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 1(1), 43-58. <https://doi.org/10.57248/jishum.v1i1.10>
- Fikri, L. R., Nabhan, M. F., & Rahma, P. J. (2023). Analisis Sistem Pemodelan Pada Hotel Semester Semarang. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(17), 470-475.
- Ginny, P. L., Farunik, C. G., & Fung, T. S. (2021). Potensi Pengembangan Usaha Peternakan Sapi Babussalam Al Barokah Pada Kawasan Sapi Ternak Di Kabupaten Bogor. *eCo-Buss*, 4(1), 58-80. <https://doi.org/10.32877/eb.v4i1.209>
- Irajani, Y. S., Kurniawan, A. A., & Priharssari, S. (2024). Analisis Operasional Produksi Susu dan Strategi Pengembangan Unit Usaha Sapi Perah pada Koperasi Peternak Sapi Bandung Utara (KPSBU). *Neraca: Jurnal Ekonomi, Manajemen dan Akuntansi*, 2(2), 671-679.
- Jamal, R., Ikhval, A. A., Nisa, N. A., Qulbi, S. H., & Arifin, M. U. (2024). Penggunaan Teknologi Informasi dalam Mengoptimalkan Supply Chain Management. *Jurnal Inovasi Global*, 2(7), 737-750. <https://doi.org/10.58344/jig.v2i7.117>
- Mulholland, E., Ragon, P.-L., & Rodriguez, F. (2020). CO2 emissions from trucks in the European Union: An analysis of the 2020 reporting period. *International Council on Clean Transportation*.
- Nazir, S., Zhaolei, L., Mehmood, S., & Nazir, Z. (2024). Impact of Green Supply Chain Management Practices on the Environmental Performance of Manufacturing Firms. *Sustainability*, 16(6), 2278. <https://doi.org/10.3390/su16062278>
- Ogunmola, G. A., & Kumar, V. (2024). A strategic model for attracting and retaining environmentally conscious customers in E-retail. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2024.100274>

- Pramesti, R. I. (2020). Membangun Green Supply Chain Management (GSCM) Scorecard. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PT Hino Motors Sales Indonesia. (2019). Truk FG 260 JU - Euro4. <https://www.hino.co.id/product-detail/euro4/2/fg-260-ju-euro4>
- PT. Karma Yudha Tiga Berlian Motors. (2024). Canter FE 73. <https://www.ktbfuso.co.id/product-detail/6/fe-73/>
- Rosyad, A., Satriani, R., & Astuti, T. Y. (2019). Farmer satisfaction to dairy cattle cooperative business in Banyumas District, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 250, 012075.
- Sianipar, J. T. P., Astanti, Y. D., & Berlianty, I. (2024). Simulasi Perbaikan Tata Letak Fasilitas Produksi untuk Meminimalisir Jarak Perpindahan di Industri Katering Nara Kitchen. *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 7(1), 145-160. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v7i1.211>
- Siswanto, B. N., Adriant, I., Sari, R. P., & Rahayu, A. (2025). Green strategy for gaining competitive advantage in pharmacy. *Asian Management and Business Review*, 60-73. <https://doi.org/10.20885/AMBR.vol5.iss1.art5>
- Siswanto, B. N., Satiadharma, M., & Arfiansyah, F. (2023). A Green Supply Chain-Oriented Research Mapping for the Green Marketing: A Bibliometric Analysis. *Income Jurnal*, 2(1), 11-19.
- Sunardhi, Y., Ikar, A., Lamhot, N., & Safira, L. (2025). Analisis Kinerja Jaringan Distribusi LPG: Studi Kasus di Kecamatan Compreg. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 1, 2090-2106.
- Syahputro, A., Inansyah, A. D., Stevany, R. R., & Arianti, B. W. (2024). Mengoptimalkan Persediaan Produk Susu dan Mencapai Ketepatan Alokasi ke Setiap Permintaan Konsumen di Koperasi Peternakan Sapi Bandung Utara (KPSBU). *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 3(1), 725-734.
- Tappi Allo, L., & Sabir, M. (2024). Analisis Peran Koperasi Komunitas Peternak dalam Meningkatkan Kesejahteraan Anggotanya. *Jurnal Kritis (Kebijakan, Riset, dan Inovasi)*, 8(1), 21.