

Usulan Kebijakan Rantai Pasok Susu Segar dalam Mendukung Ketahanan Pangan Nasional dengan Pendekatan Sistem Dinamis

(*Leveraging System Dynamics for Sustainable Fresh Milk Supply Chain Governance: Policy Implications for National Food Resilience*)

Resista Vikaliana ^{1*}, Yelita Anggiane Iskandar ², Luki Trihardani ³, Putri Amelia ⁴, Oktania Purba ⁵

^{1,2,5} Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

^{3,4} Universitas Internasional Semen Indonesia, Gresik, Indonesia

¹ resista.vikaliana@universitaspertamina.ac.id ^{*}; ² yelita.ai@universitaspertamina.ac.id , ³ juki.trihardini@uisi.ac.id ,

⁴ putri.amelia@uisi.ac.id, ⁵ 102421058@student.universitaspertamina.ac.id

* corresponding author : Resista Vikaliana

ARTICLE INFO

Article history

Received : November 10, 2025
Revised : December 11, 2025
Accepted : December 20, 2025

Kata Kunci

Rantai Pasok;
Susu Sapi Segar;
Ketahanan Pangan Nasional;
Sistem Dinamis;
Kebijakan;

Keywords :

Supply Chain;
Fresh Milk;
National Food Resilience
System Dynamics
Policy



This is an open access article under the CC-BY-SA license. Copyright (c) 2025 Transparansi : Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan model sistem dinamis untuk mengatasi tantangan pasokan susu segar nasional yang masih bergantung pada impor, berisiko melemahkan ketahanan pangan. Tahapan meliputi identifikasi variabel (ketersediaan susu segar, populasi sapi perah, impor susu), pembuatan causal loop diagram, stock flow diagram, formulasi model, verifikasi-validation (AME $0,00698 \leq 5\%$), dan perancangan skenario. Hasil simulasi menunjukkan variabel impor dan sapi produktif paling berpengaruh. Dirancang tiga skenario. Skenario 1(impor susu 50%): impor 93.820 ton (2030). Skenario 2 (impor susu 20%): impor 48.426 ton (2030). skenario 3 (peningkatan sapi produktif) 1.993.430 ekor (2030). Skenario 2 dan 3 paling optimal. Skenario 2 meminimalkan impor, sedangkan Skenario 3 meningkatkan produksi dalam negeri sesuai target pemerintah.

Abstract

This study developed a dynamic system model to address the challenges of the national fresh milk supply, which is still dependent on imports and risks weakening food security. The stages include variable identification (fresh milk availability, dairy cow population, milk imports), causal loop diagram creation, stock flow diagram, model formulation, verification-validation (AME $0,00698 \leq 5\%$), and scenario design. Simulation results show that the variables of imports and productive cows are the most influential. Three scenarios were designed. Scenario 1 (50% milk imports): imports of 93,820 tons (2030). Scenario 2 (20% milk imports): imports of 48,426 tons (2030). Scenario 3 (increase in productive cows): 1,993,430 cows (2030). Scenarios 2 and 3 are the most optimal. Scenario 2 minimizes imports, while Scenario 3 increases domestic production in line with government targets.

PENDAHULUAN

Kebijakan ketahanan pangan Indonesia, sebagaimana diatur dalam UU No. 18 Tahun 2012 dan KSPG, bertujuan meningkatkan kualitas sumber daya manusia melalui pembangunan berkelanjutan dengan lima pilar utama, yakni ketersediaan, keterjangkauan, pemanfaatan pangan, perbaikan gizi, dan penguatan kelembagaan. Ketahanan pangan memiliki kaitan erat dengan ketahanan nasional serta menjadi isu multidimensi yang mencakup aspek sosial, ekonomi, politik, dan lingkungan. Berbagai lembaga internasional seperti FAO, APEC, dan ASEAN juga menekankan pentingnya ketahanan pangan sebagai hak fundamental masyarakat, dengan indikator utama berupa ketersediaan, konsumsi, akses ekonomi, dan stabilitas pasokan.

Salah satu fokus ketahanan pangan nasional adalah susu segar [1], namun konsumsi susu di Indonesia masih rendah, hanya 16,5 kg per kapita pada 2024 [2], jauh di bawah Malaysia, Thailand, maupun Brunei Darussalam. Ketersediaan susu segar terus menurun dalam enam tahun terakhir akibat rendahnya produksi domestik. Kondisi ini mendorong pemerintah untuk meningkatkan pasokan, antara lain melalui program makanan bergizi gratis termasuk distribusi susu bagi anak-anak [3].

Data BPS menunjukkan ketersediaan susu segar di Indonesia cenderung menurun dari 2019 hingga 2024, terutama akibat wabah penyakit mulut dan kuku (PMK) yang menurunkan populasi sapi perah. Produksi domestik hanya mampu memenuhi sekitar 20% kebutuhan nasional [4], sehingga 80% sisanya ditutupi melalui impor yang terus meningkat dari tahun ke tahun.

Penurunan produksi juga dipengaruhi faktor struktural, seperti peternak rakyat yang umumnya hanya memiliki 2-3 ekor sapi [5], rendahnya literasi manajemen peternakan, keterbatasan pakan berkualitas, kesehatan hewan, serta pencatatan manual yang memengaruhi kualitas susu [6]. Kondisi ini membuat industri pengolahan susu (IPS) lebih memilih impor dibanding membeli dari peternak lokal.

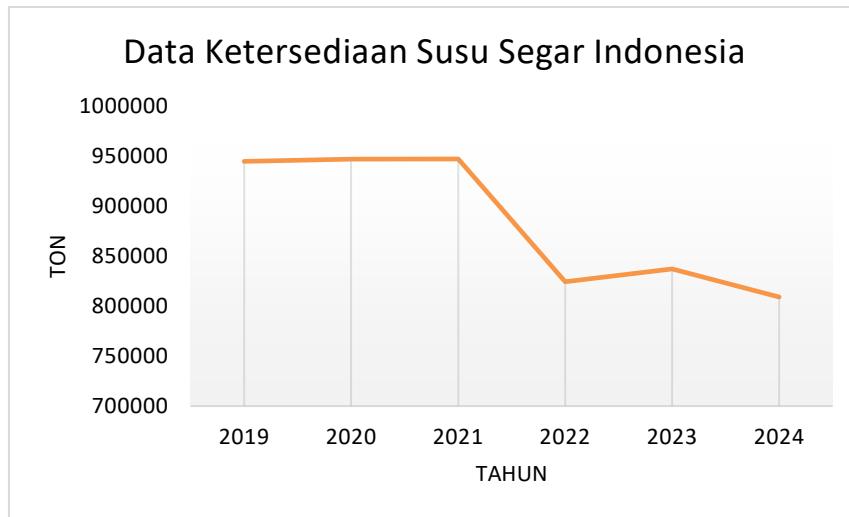
Selain itu, rendahnya produktivitas sapi perah (8-12 liter/ekor/hari), infrastruktur distribusi yang belum optimal, serta minimnya dukungan kebijakan menambah kompleksitas masalah. Akibatnya, Indonesia sangat bergantung pada impor bahan baku seperti susu skim dan produk olahan untuk memenuhi kebutuhan.

Kebijakan ketahanan pangan dan gizi di Indonesia, yang diatur dalam UU No. 18 Tahun 2012 tentang Pangan dan (Permendag No. 83, n.d.) tentang Kebijakan Strategis Pangan dan Gizi (KSPG), bertujuan mewujudkan sumber daya manusia yang berkualitas melalui pembangunan berkelanjutan dengan fokus pada lima pilar utama: (1) ketersediaan pangan yang cukup dan beragam, (2) keterjangkauan pangan bagi seluruh masyarakat, (3) pemanfaatan pangan melalui literasi gizi, (4) perbaikan gizi untuk mengatasi masalah seperti stunting, serta (5) penguatan kelembagaan pangan. Kebijakan ini dilaksanakan melalui sinergi antara pemerintah pusat, daerah, dan pemangku kepentingan, sekaligus mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) nomor 2 tentang penghapusan kelaparan, ketahanan pangan, dan pertanian berkelanjutan. Ketahanan pangan juga disebutkan dalam Undang-Undang tersebut sebagai tanggung jawab pemerintah masyarakat. Untuk mencapai ketahanan pangan tersebut pemerintah menyelenggarakan, membina, dan atau mengoordinasikan segala upaya atau kegiatan untuk mewujudkan cadangan pangan nasional, (Undang - Undang RI, 2012). Ketahanan pangan dan ketahanan nasional memiliki hubungan yang erat. Ketahanan pangan merupakan kajian mikro dalam ketahanan nasional. Ketahanan pangan ini juga mampu mendukung ketahanan nasional pada gatra ekonomi dengan peningkatan penghasilan yang mendukung gatra ekonomi serta gatra sumber daya alam yang berupa pemanfaatan hasil pertanian yang melimpah (Wibowo, 2020).

Berbagai lembaga internasional membahas secara mendalam upaya perwujudan ketahanan pangan, seperti yang dilaksanakan oleh *food and agriculture organization* (FAO) atau organisasi pertanian dan pangan dunia, *asia and the pacific economic coorporetaion* (APEC) atau kerja sama ekonomi asia dan pasifik, *Association of Southeast Asia Nations* (ASEAN) (Suryana, 2015). Ketahanan pangan merupakan isu multi dimensi dan sangat kompleks, meliputi aspek sosial, ekonomi, politik, dan lingkungan. Di Indonesia, ketahanan pangan menjadi prioritas pembangunan nasional. Fokus utama Indonesia yaitu memastikan ketersediaan, keterjangkauan, dan pemanfaatan pangan yang cukup bagi seluruh masyarakat (Bappenas, 2025). Ketahanan pangan suatu negara dianggap baik jika mampu memenuhi kebutuhan pangan seluruh penduduknya, dan hak mendapatkan pangan dianggap hak fundamental bagi setiap individu atau masyarakat (Saputra & Mulyaningsih, 2023). Menurut, (Kurniawan, 2015) indikator utama yang digunakan dalam ketahanan pangan adalah ketersediaan pangan, tingkat konsumsi, akses ekonomi terhadap pangan, dan stabilitas pasokan. Indikator yang lain yaitu ketahanan pangan meliputi ketersediaan pangan yang cukup dari segi jumlah dan kualitas, distribusi yang merata, akses yang mudah dan terjangkau bagi seluruh masyarakat (Atmoko & Fajarwati, 2022).

Salah satu ketahanan pangan nasional yang menjadi fokus utama di Indonesia adalah ketahanan pangan susu segar (Widianingrum & Septio, 2023). Konsumsi susu di Indonesia masih tergolong lebih rendah dibandingkan dengan negara di Asia Tenggara (Orami, 2022). Indeks konsumsi susu di Indonesia, ditahun 2024 mencapai 16,5 kilogram per kapita per tahun. Jumlah konsumsi susu di Indonesia tersebut masih lebih rendah dibandingkan sejumlah negara di Asia Tenggara lainnya, seperti Malaysia (40 kilogram per kapita) per tahun , Thailand sekitar (25-26 kilogram per kapita) per tahun, dan Brunei Darussalam mencapai (120 kilogram per kapita). Bila melihat dari enam tahun kebelakang ketersediaan susu segar di Indonesia semakin menurun (BPS, 2025). Rendahnya pasokan susu di

Indonesia, membuat pemerintah berupaya untuk meningkatkan pasokan susu, khususnya dengan adanya program makanan bergizi gratis, termasuk program susu gratis untuk anak-anak (Tiofani, 2024).

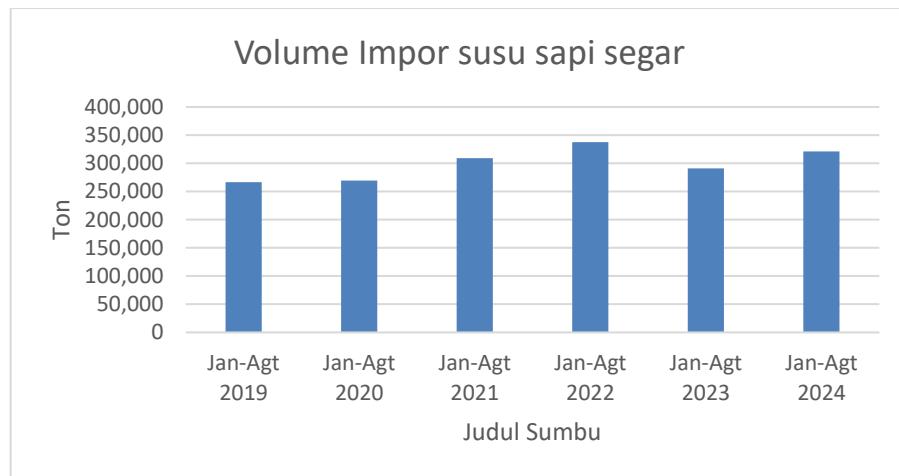


Gambar 1 Data Ketersediaan Susu Segar Indonesia

Gambar 1 merupakan grafik ketersediaan susu di Indonesia berdasarkan data BPS . Pada tahun 2019, ketersediaan susu sebanyak 944.537,08 ribu ton susu segar. Selanjutnya di tahun 2020 jumlah ketersediaan susu 946.912,81 ribu ton susu segar . Lalu jumlah ketersediaan susu di tahun 2021 sebanyak 946.388,17 ribu ton. Di tahun, 2022 sebanyak 824.273,20 ribu ton. Pada tahun 2022 terjadi penurunan yang signifikan terhadap ketersediaan susu sapi segar akibat adanya penyakit mulut dan kuku yang menyerang ternak. Kemudian di tahun 2023, 837.223,20 ribu ton dan Selanjutnya di tahun 2024 jumlah ketersediaan susu sebanyak 808.352,61 ribu ton mengalami penurunan kembali akibat wabah penyakit mulut kuku yang kembali merebak. Jika dibandingkan dengan negara lain seperti India, produksi susu yang diperoleh mencapai rata-rata 101,28 juta ton atau 91,97%. Negara-negara penghasil susu terbesar selanjutnya yaitu Brasil dengan menghasilkan produksi susu 3,01 juta ton kemudian Tiongkok dengan produksi susu rata-rata 1,17 juta ton (Ali Nugroho, 2023).

Berdasarkan hasil wawancara dengan Ibu Erma selaku ketua kelompok sosial ekonomi di pusat sosial ekonomi kebijakan pertanian (PSEKP), jumlah ketersediaan susu segar menurun dari tahun ke tahun diakibatkan mayoritas peternak menganggap beternak sapi perah sebagai pekerjaan tambahan, bukan mata pencarian utama yang mengakibatkan peternak cenderung tidak fokus untuk merawat sapi perah. Kemudian, permasalahan yang lain minimnya literasi tentang manajemen peternakan modern, pakan berkualitas, dan kesehatan hewan.

Selanjutnya, dari data di Gambar 1, dapat dilihat penurunan produksi susu menurun secara signifikan pada tahun 2024 terjadi karena wabah penyakit mulut dan kuku (PMK) yang menyerang sapi perah dan menyebabkan penurunan populasi sapi perah dan produksi susu segar (Tempo, 2025). Kualitas susu para peternak sapi perah di Indonesia relatif masih rendah (Anugrah et al., 2021). Oleh karena itu, banyak Industri pengolahan susu (IPS) di Indonesia menetapkan harga yang rendah dan lebih memilih mengimpor susu. Di Indonesia, hanya ada beberapa IPS seperti Nestle, Sari Husada, Indomilk, Cimory, Frisian Flag dan lainnya, namun seluruhnya lebih memilih untuk impor susu dari negara lain. Indonesia memiliki ketergantungan impor yang sangat tinggi yakni mencapai, 80% dari total kebutuhan susu nasional (Holil Asy'ari & Zaehol Fatah, 2025). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), selama periode Januari-Agustus 2024 Indonesia mengimpor susu sebanyak 321,04 ribu ton. Impor susu Indonesia meningkat di periode Januari-Agustus tahun 2024 meningkat 9,9% dibanding Januari-Agustus 2023. Volume tersebut juga lebih tinggi dibanding impor Januari-Agustus tahun 2019-2021, seperti terlihat pada Gambar 2.



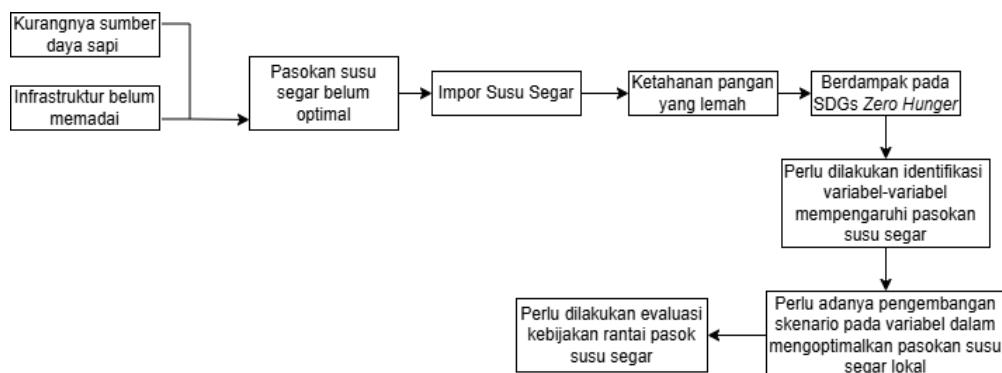
Gambar 2 Data Impor Susu Segar
Sumber : (Ahdiat, 2024)

Susu yang menjadi salah satu komoditas pangan strategi yang berperan dalam meningkatkan gizi, mendukung kesehatan, serta menggerakan roda ekonomi sektor peternakan dan industri olahan. Saat ini ketersediaan susu di Indonesia masih ditopang dengan impor, mengingat peternak hanya mampu memenuhi 20% kebutuhan susu nasional (Firdaus, 2025). Berdasarkan pernyataan melalui wawancara Bapak Dedi, seorang ahli dan praktisi komoditi susu, menyebutkan Indonesia rata-rata masih mengandalkan sapi perah milik peternak rakyat kecil yang hanya memiliki 2-3 ekor per peternak, serta produktivitas sapi yang masih rendah, yaitu sekitar 8-12 liter per ekor per hari. Tentunya, hal ini sangat membuat ketersediaan susu segar sapi sangat minim. Pencatatan manual dan kualitas susu yang masih belum terkontrol juga menjadi kendala dalam rantai pasok susu nasional (Abdul & Thalib, 2024).

Selain itu, kendala lainnya seperti terbatasnya kapasitas produksi domestik yang tidak mampu memenuhi permintaan nasional, ketergantungan pada impor bahan baku seperti susu skim dan produk olahan lainnya, serta rendahnya produktivitas peternak kecil yang menjadi produsen utama susu segar. Selain itu, infrastruktur distribusi yang belum optimal dan kurangnya dukungan kebijakan yang memadai juga menjadi hambatan dalam meningkatkan pasokan susu segar secara nasional (Saptati & Priyono, 2021).

Berdasarkan wawancara dengan beberapa pihak, penyebab permasalahan yang diidentifikasi yaitu kurangnya sumber daya sapi perah dan infrastruktur belum memadai. Kurangnya sumber daya sapi perah mengacu pada ketidakcukupan pasokan sapi perah dan faktor pendukungnya untuk memenuhi kebutuhan susu dalam negeri. Kemudian kurangnya infrastruktur yaitu keterbatasan lahan peternakan kurangnya lahan hijauan pakan berkualitas dan kepemilikan peternakan skala kecil (rata-rata peternak hanya memiliki 2-3 ekor sapi). Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kebijakan rantai pasok susu sapi segar.

Permasalahan mendasar yang diidentifikasi mencakup keterbatasan sumber daya sapi perah, skala peternakan kecil, kurangnya lahan hijauan pakan, serta infrastruktur yang belum memadai. Hal ini menunjukkan perlunya evaluasi dan perbaikan kebijakan rantai pasok susu sapi segar secara menyeluruh



Gambar 3. Diagram Keterkaitan Masalah

Menurut [7] terdapat tiga pendekatan dalam penyelesaian masalah, yaitu heuristik, analitik, dan simulasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi dengan metode sistem dinamis karena mampu memodelkan interaksi antar variabel, menggambarkan perilaku sistem dari waktu ke waktu, serta mengevaluasi dampak kebijakan secara komprehensif.

Beberapa studi terdahulu menunjukkan efektivitas sistem dinamis dalam menganalisis kebijakan persusuan. Misalnya, penerapan tarif impor susu di Indonesia [6], pemodelan faktor produksi di peternakan Fereidan Ahrar [8], serta analisis permintaan susu nasional [9]. Hasil penelitian-penelitian tersebut menegaskan bahwa sistem dinamis dapat memberikan gambaran kebijakan yang lebih kompleks dibanding metode lain.

Dalam konteks Indonesia, ketergantungan impor susu menimbulkan risiko serius terhadap ketahanan pangan, salah satunya meningkatnya konsumsi susu kental manis yang berdampak pada stunting. Oleh karena itu, Kementerian Pertanian mendorong regulasi agar industri pengolahan susu menyerap produksi lokal, guna menjaga harga, meningkatkan motivasi peternak, dan mengurangi impor.

Penelitian ini difokuskan pada bagian hulu rantai pasok, yaitu peternak, pengumpul, regulasi, dan importir, karena aspek logistik pada tahap ini sangat menentukan ketersediaan, kualitas, dan keberlanjutan pasokan susu segar. Intervensi di sisi pemasok dianggap paling strategis untuk meningkatkan produksi dalam negeri sekaligus mengurangi ketergantungan pada impor, sehingga mendukung ketahanan pangan nasional secara berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini merumuskan masalah mengenai bagaimana merancang pemodelan sistem pasokan susu sapi segar dalam rangka meningkatkan ketahanan pangan nasional dan ketersediaan susu sapi segar bagi masyarakat, serta bagaimana mensimulasikan berbagai skenario kebijakan rantai pasok untuk memperoleh sistem pasokan yang optimal. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh dalam sistem rantai pasok susu sapi segar serta menentukan skenario kebijakan yang relevan guna mengoptimalkan pasokan dan meningkatkan produktivitas susu sapi segar nasional.

METODE

Data pada penelitian ini menggunakan data sekunder dan data dari wawancara beberapa pihak terkait seperti praktisi dari pihak dairy pro, pihak PSEKP, pihak Kementerian, pihak GKSI untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan obat. Beberapa data yang diperlukan adalah data ketersediaan susu sapi segar, data populasi sapi, data volume impor.

Setelah data terkumpul, langkah berikutnya adalah mengolah data. Bagian ini merupakan bagian pembangunan model sistem dinamis untuk menggambarkan bagaimana faktor-faktor penyebab impor saling mempengaruhi terhadap ketersediaan susu sapi segar. Tahap ini melibatkan analisis dan interpretasi data yang diperoleh untuk mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan antar variabel yang relevan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam membangun model sistem dinamis tersebut adalah sebagai berikut.

Langkah pertama dalam pembangunan model sistem dinamis adalah mengidentifikasi variabel-variabel yang saling berkaitan dalam mengatasi jumlah impor susu sapi segar. Variabel-variabel ini akan membentuk dasar dari model yang akan dikembangkan. Proses identifikasi variabel ini diperoleh berdasarkan pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder.

Setelah variabel-variabel data untuk model simulasi teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah pembuatan diagram sebab akibat atau CLD. Pembuatan CLD ini bertujuan untuk menggambarkan hubungan dan keterkaitan antar variabel satu sama lain. Pada tahap ini, setiap variabel akan dianalisis untuk melihat apakah terdapat feedback yang menggambarkan adanya hubungan saling menguatkan (*Reinforcement Loop*) atau hubungan yang menyeimbangkan (*Balancing Loop*).

Pada tahap ini, CLD yang telah dibuat kemudian ditransformasi ke dalam bentuk aliran SFD menggunakan software VENSIM. SFD merupakan model simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis dinamika sistem pengendalian sistem rantai pasok susu sapi segar.

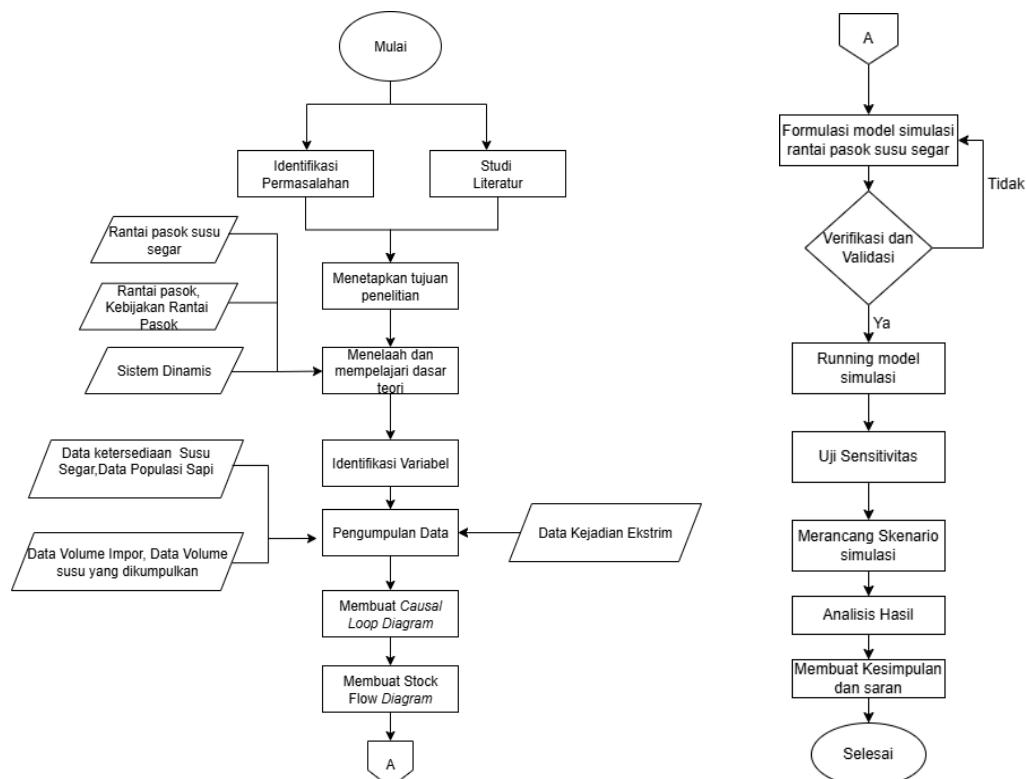
Dalam SFD, setiap variabel dalam CLD direpresentasikan sebagai sebuah stok, yang mewakili jumlah atau akumulasi dari variabel tersebut dalam sistem.

Formulasi simulasi model dalam penelitian ini melibatkan langkah-langkah yang menggambarkan secara matematis dinamika sistem rantai pasok susu sapi segar. Langkah pertama adalah menentukan persamaan aliran untuk setiap hubungan antar variabel dalam SFD. Penentuan persamaan aliran diperlukan untuk menggambarkan bagaimana nilai atau jumlah variabel dalam sistem berubah seiring waktu. Persamaan aliran ini memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhi perubahan nilai variabel dari waktu ke waktu, seperti tingkat ketersediaan susu segar, volume impor, populasi sapi perah. Persamaan akumulasi stok digunakan untuk menggambarkan bagaimana nilai variabel dalam sistem bertambah atau berkurang seiring waktu berdasarkan aliran masuk dan keluar dari variabel tersebut.

Setelah formulasi selesai, langkah selanjutnya adalah verifikasi dan validasi model dengan menggunakan data aktual untuk memastikan bahwa perilaku model sesuai dengan yang diharapkan. Verifikasi bertujuan untuk memeriksa kesesuaian antara model yang telah dibuat dengan teori, konsep, dan prinsip yang digunakan dalam pembuatannya. Sedangkan validasi bertujuan untuk memastikan bahwa model mampu memproduksi perilaku sistem sebenarnya dengan akurasi yang memadai terhadap data aktual. Jika hasil simulasi dari model sesuai dengan data aktual dan perilaku yang diharapkan, maka model tersebut dianggap valid dan dapat digunakan untuk melakukan analisis lebih lanjut atau mendukung pengambilan keputusan. Namun, jika terdapat ketidaksesuaian antara hasil simulasi dan data aktual, maka model perlu direvisi atau diperbaiki sehingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan relevan.

Langkah selanjutnya adalah perancangan skenario baru yang diterapkan untuk mengoptimalkan nilai impor susu sapi segar. Perancangan skenario ini bertujuan mengevaluasi berbagai alternatif kebijakan atau tindakan yang dapat diambil untuk meningkatkan ketersediaan susu sapi segar sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Diagram alir penelitian ini menggambarkan secara sistematis langkah-langkah yang jelas dan terstruktur terkait proses penelitian yang akan dilakukan. Fig. 2 dibawah ini, merupakan alur penelitian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini.

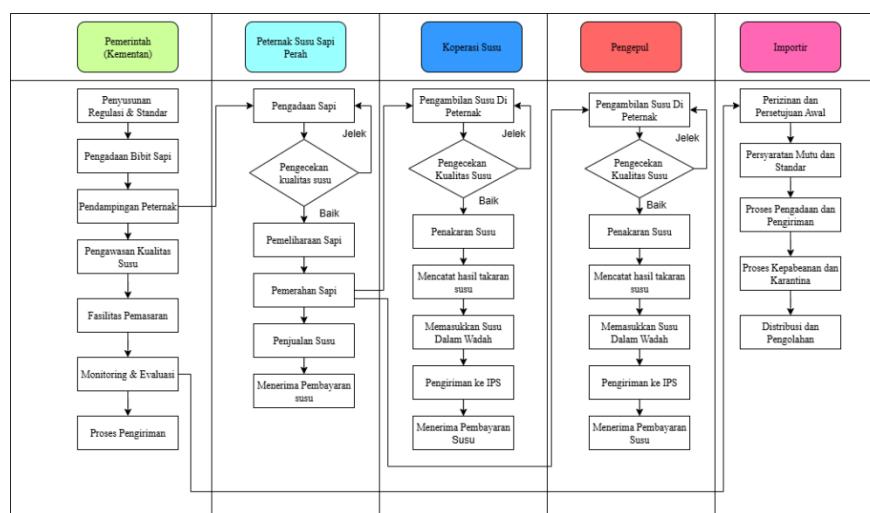


Gambar 4. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pemenuhan persediaan susu segar nasional masih sangat bergantung pada impor, dengan produksi dalam negeri hanya mencapai 20% dari kebutuhan. Penelitian ini berfokus pada bagian *supplier* sebagai titik awal rantai pasok, mencakup pengadaan bahan baku dari peternak hingga pengumpulan oleh koperasi atau pengepul. Faktor-faktor seperti produktivitas peternak, kualitas pakan, kapasitas produksi lokal, infrastruktur logistik, serta regulasi pemerintah sangat memengaruhi efektivitas pengadaan. Keterbatasan suplai domestik menyebabkan tingginya impor susu bubuk sebagai substitusi. Oleh karena itu, penguatan bagian hulu melalui koordinasi peternak, koperasi, pengepul, dan regulator menjadi kunci dalam mengurangi ketergantungan impor, memperkuat rantai pasok, dan mendukung ketahanan pangan nasional.



Gambar 5. Aktivitas Rantai Pasok Susu

Produksi susu lokal hanya mampu memenuhi 20% kebutuhan nasional, sementara 80% sisanya bergantung pada impor, sehingga menimbulkan kerentanan terhadap fluktuasi pasar global. Mayoritas produksi berasal dari peternak rakyat kecil dengan keterbatasan jumlah ternak, produktivitas, akses teknologi, manajemen pakan, dan kesehatan hewan. Selain itu, infrastruktur penyimpanan dan distribusi yang kurang memadai menyebabkan penurunan mutu serta pemborosan susu segar.

Identifikasi Variabel

Tabel 1 di bawah ini merupakan tabel identifikasi variabel untuk lanjutan tabel dapat dilihat pada lampiran

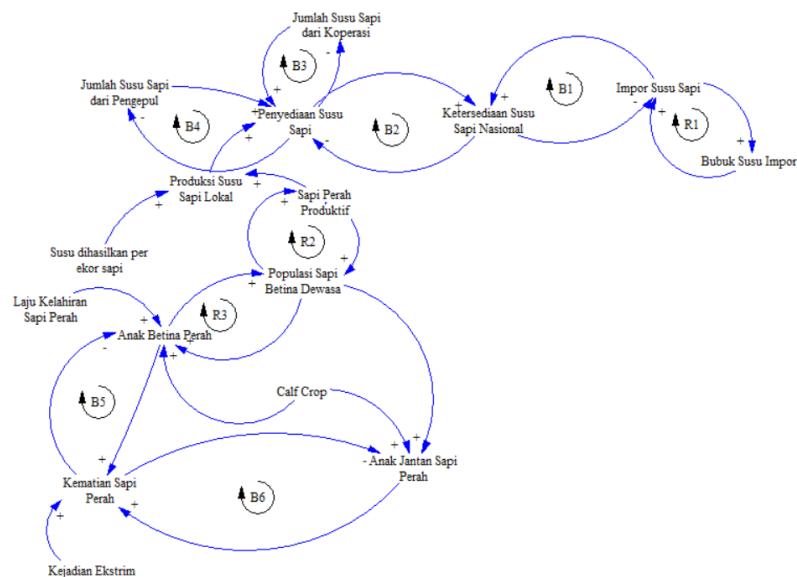
Table 1. Identifikasi Variabel

No	Variabel	Deskripsi	Unit	Referensi
1	Impor Susu Sapi	Total Keseluruhan Jumlah Impor Susu Sapi	Ton	[10]
2	Bubuk Susu Impor	Jumlah susu sapi yang diimpor untuk menutupi kekurangan pasokan dalam negeri	Ton	[10]
3	Ketersediaan Susu Sapi Nasional	Stok susu sapi yang tersedia di tingkat nasional	Ton	[10]
4	Penyediaan Susu Sapi	Total susu sapi yang dihasilkan oleh peternak baik yang tergabung dalam koperasi maupun pengepul	Ton	[11]
5.	Jumlah susu dari pengepul	Banyaknya susu yang dikumpul dari pengepul	Ton	[10]
6.	Jumlah susu dari koperasi	Banyaknya susu yang dikumpulkan oleh koperasi	Ton	[10]
7.	Produksi susu sapi lokal	Jumlah susu sapi yang telah dihasilkan dalam negeri	Ton	[10]
8.	Sapi perah produktif	Jumlah sapi perah yang berada dalam masa laktasi dan mampu menghasilkan susu	Ekor	[10]

No	Variabel	Deskripsi	Unit	Referensi
9.	Susu dihasilkan per ekor sapi	Rata-rata jumlah susu yang dihasilkan oleh seekor sapi perah dalam satu periode	Ton/Ekor	[11]
10	Populasi sapi perah betina dewasa	Jumlah sapi perah betina dewasa yang siap diperah	Ekor	[11]
11	Kematian Sapi Perah	Tingkat kematian sapi perah akibat wabah penyakit PKM	Ekor/Thn	[11]
12	Kejadian Ekstrim	Faktor Eksternal seperti wabah penyakit PKM	Ekor/Thn	[12]
13	Anak Betina Sapi Perah	Anak sapi betina yang nantinya akan menjadi sapi perah produktif	Ekor	[10]
14	Anak jantan Sapi Perah	Anak sapi jantan yang biasanya dijual atau digunakan untuk tujuan lain di luar produksi susu	Ekor/Thn	[10]
15	Calf Crop	Jumlah anak sapi yang lahir dalam satu periode	Ekor/Thn	[10]
16	Kelahiran Sapi Perah	Jumlah anak sapi perah dalam periode tertentu	Ekor/Thn	[10]

Causal Loop Diagram

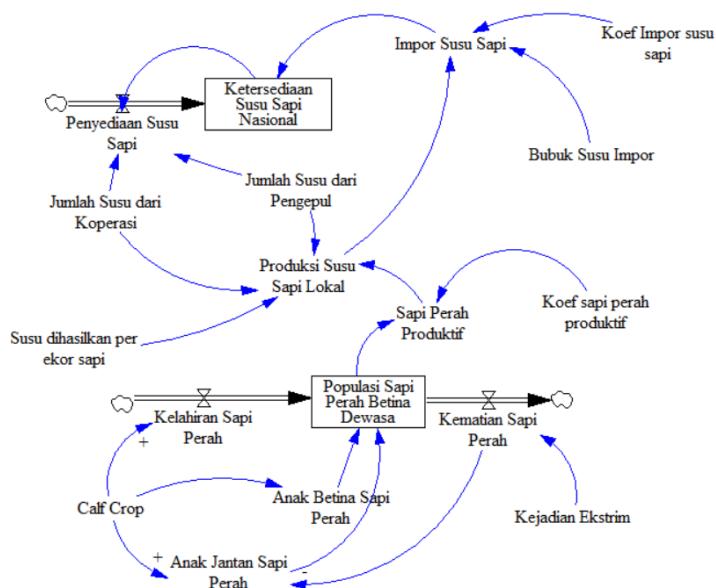
CLD pada Fig. 4 menunjukkan keterkaitan variabel dalam sistem pasokan susu segar nasional di bagian hulu. Wabah Penyakit Mulut dan Kuku (PMK) menjadi faktor ekstrem yang meningkatkan angka kematian sapi, menurunkan populasi sapi perah produktif, dan mengurangi produksi susu lokal. Keterbatasan produksi domestik kemudian ditutupi oleh impor susu bubuk untuk memenuhi kebutuhan nasional. Variabel populasi sapi, produktivitas, kualitas pakan, serta peran koperasi dan pengepul menjadi penentu utama stabilitas rantai pasok dan fokus penting dalam kebijakan ketahanan pangan nasional.



Gambar 6. Causal Loop Diagram

Stock Flow Diagram

Stock Flow Diagram (SFD) sistem persusuan nasional menggambarkan interaksi variabel utama yang memengaruhi dinamika pasokan susu di Indonesia. *Stock* merepresentasikan akumulasi seperti populasi sapi perah betina produktif dan ketersediaan susu nasional, sementara *flow* berupa kelahiran, kematian, produksi, dan impor menentukan perubahan stok tersebut. *Converter* berfungsi sebagai variabel perantara, misalnya jumlah sapi produktif, rata-rata produksi per ekor, serta faktor eksternal seperti wabah penyakit.



Gambar 7. Stock Flow Diagram

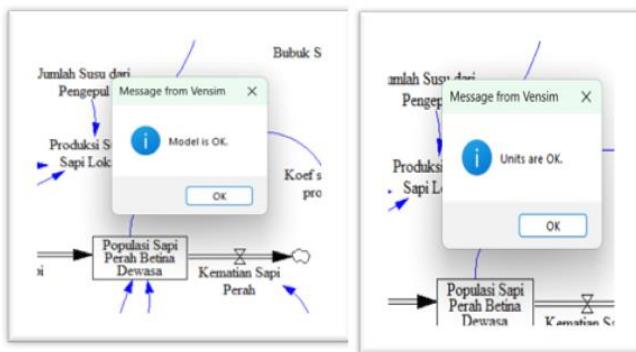
Diagram ini menunjukkan bahwa produksi lokal baru memenuhi sekitar 20% kebutuhan, sehingga impor tetap dominan, dan SFD digunakan untuk menyimulasikan skenario kebijakan dalam mengurangi ketergantungan impor serta meningkatkan produktivitas domestik.

Table 2. Formula Stock Flow Diagram

No	Variabel	Jenis	Formula
1	Populasi Sapi Perah Betina Dewasa	Stock	(Kelahiran Sapi Perah-Kematian)+Sapi Perah+Anak Jantan Sapi Perah+Anak Betina Sapi Perah
2	Ketersediaan Susu Sapi Nasional	Stock	Penyediaan Susu Sapi+Impor Susu Sapi
3	Kelahiran Sapi Perah	Flow	Calf Crop*0.8
4	Kematian Sapi Perah	Flow	Kejadian Ekstrim*0.8
5	Penyediaan Susu Sapi	Auxiliary	IF THEN ELSE(Ketersediaan Susu Sapi Nasional>809000, Jumlah Susu dari Koperasi+Jumlah Susu dari Pengepul,0)
6	Impor Susu	Auxiliary	IF THEN ELSE(Produksi Susu Sapi Lokal<Bubuk Susu Impor, Produksi Susu Sapi Lokal, Bubuk susu Impor*Koef Impor susu sapi)
7	Sapi Perah Produktif	Auxiliary	Populasi Sapi Perah Betina Dewasa*Koef Sapi perah produktif
8	Produksi Susu Sapi Lokal	Auxiliary	(Sapi Perah Produktif*Susu dihasilkan per ekor sapi)+Jumlah Susu dari koperasi+Jumlah Susu dari Pengepul
9	Susu dihasilkan per ekor sapi	Auxiliary	RANDOM UNIFORM(920,957,0)
10	Jumlah Susu dari Koperasi	Auxiliary	330000*1
11	Jumlah Susu dari Pengepul	Auxiliary	140000*1
12	Bubuk Susu Impor	Auxiliary	RANDOM UNIFORM(145,190,0)
13	Calf Corp	Auxiliary	10000*1
14	Anak Betina Sapi Perah	Auxiliary	Calf Crop*0.8
15	Anak Betina Sapi Perah	Auxiliary	Calf Crop*0.8
16	Kejadian Ekstrim	Auxiliary	RANDOM UNIFORM (0,0,13000,0)

Verifikasi dan Validasi Model

Sebelum simulasi dijalankan, dilakukan verifikasi model melalui pengecekan konsistensi unit atau dimensi. Model dinyatakan ter verifikasi apabila seluruh variabel memiliki kesesuaian satuan, yang pada penelitian ini telah dipastikan tidak terdapat inkonsistensi. Proses ini penting untuk menjamin model dapat berfungsi dengan baik sebelum tahap simulasi.



Gambar 8. Hasil Proses Verifikasi

Setelah verifikasi, dilakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data aktual menggunakan metode AME (*Absolute Mean Error*). Model dikatakan valid apabila $AME \leq 5\%$. Hasil validasi menunjukkan nilai AME sebesar 0,69 atau sekitar 1%, yang jauh di bawah ambang batas. Hal ini membuktikan bahwa model yang dikembangkan telah valid dan mampu merepresentasikan kondisi nyata dengan baik.

Table 3. Uji Konsistensi Model Unit

Rata-rata	Simulasi	Aktual
	172.245	161.000

$$E = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}}$$

$$E = \frac{|172.245 - 161.000|}{161.000}$$

$$E = 0.0698 = 0,69 \approx 1\%$$

Table 4. Perbandingan Jumlah impor simulasi dan aktual

Perbandingan Jumlah Impor Susu Segar Hasil Simulasi Dengan Data Aktual (Ton)										
2020		2021		2022		2023		2024		
Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi
151.362	150.000	171.207	160.000	155.976	190.000	181.063	160.000	186.385	145.000	

Perancangan Skenario

Berdasarkan hasil dari uji sensitivitas yang telah dilakukan, terdapat 2 *auxiliary* yang sensitif terhadap model yang akan disimulasikan pada “jumlah impor susu sapi segar” dan juga “jumlah sapi produktif”. Hasil uji sensitivitas *Auxiliary* ditampilkan pada Table 5.

Table 5. Hasil Uji Sensitivitas

No	Auxiliary	Initial	Pengaruh Terhadap Impor	Pengaruh Terhadap Sapi
			Susu	Produktif
1	Koefisien Sapi Produktif	Naik	Turun	Tidak Konsisten
2	Koefisien Impor susu	Naik	Naik	Tidak Konsisten

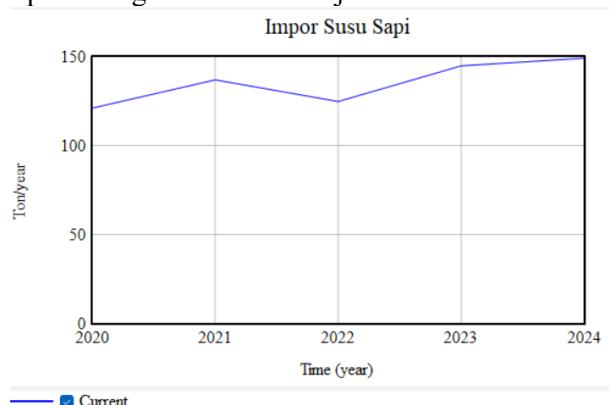
Dari kedua *auxiliary* tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengaturan koefisien susu produktif dan koefisien impor susu dapat efektif mengatasi masalah ketergantungan impor susu yang terjadi saat ini. Dengan mengurangi persentase impor, jumlah impor yang ada juga akan berkurang. Sementara itu, pengaturan koefisien sapi produktif dapat meningkatkan jumlah sapi produktif yang ada. Hal tersebut, akan berpengaruh ke tingkat ketersediaan sapi nasional.

- Skenario 1 :** Perubahan pada persentase impor susu sapi segar menjadi 50% (*moderate*) dengan jumlah impor yang dibutuhkan berdasarkan permintaan tahun sebelumnya
- Skenario 2 :** Perubahan pada persentase impor susu sapi segar menjadi 20% (*optimis*) dengan jumlah impor yang dibutuhkan berdasarkan permintaan tahun sebelumnya
- Skenario 3 :** Perubahan pada persentasi sapi produktif yang berguna untuk melihat jumlah peningkatan dan penurun sapi produktif yang menghasilkan susu segar.

Analisis Hasil

Simulasi model dilakukan dengan menggunakan data aktual periode 2020–2024 yang telah diverifikasi dan divalidasi, mencakup ketersediaan susu sapi, populasi sapi, serta jumlah susu yang

dikumpulkan. Model ini dibangun untuk memproyeksikan jumlah impor susu dan populasi sapi produktif sebagai dasar perancangan skenario kebijakan.



Gambar 9. Pergerakan Jumlah Impor Susu Sapi

Hasil simulasi pada Fig. 7 menunjukkan tren peningkatan jumlah impor susu sapi dari tahun ke tahun. Hal ini menegaskan bahwa kebutuhan susu segar di Indonesia masih sangat bergantung pada impor, dengan kontribusi produksi lokal yang relatif kecil.



Gambar 10. Jumlah Sapi Produktif

Sementara itu, Fig. 8 memperlihatkan dinamika jumlah sapi produktif yang berfluktuasi. Penurunan signifikan terjadi pada tahun 2024 akibat wabah penyakit menular, yang mengindikasikan kerentanan populasi sapi perah terhadap faktor eksternal. Kondisi ini menurunkan keberlanjutan produksi susu nasional dan menyoroti lemahnya sistem mitigasi serta pengendalian penyakit di tingkat peternak.

Dengan demikian, hasil simulasi memperlihatkan dua tantangan utama dalam sistem persusuan nasional, yaitu tingginya ketergantungan pada impor dan kerentanan populasi sapi produktif terhadap gangguan eksternal, yang keduanya perlu menjadi perhatian dalam perumusan kebijakan ketahanan pangan.

Rencana kebijakan pangan 2030 menekankan penguatan rantai pasok susu segar untuk mendukung ketahanan pangan nasional. Target utama yang ingin dicapai adalah swasembada 1 juta ekor sapi perah dan penurunan impor susu segar sebesar 50 ribu ton pada tahun 2030. Saat ini, impor masih mendominasi sekitar 80% kebutuhan susu nasional, dengan volume impor yang terus meningkat, yakni 121.089 ribu ton pada tahun 2020, 128.317 ribu ton pada 2025, hingga diproyeksikan mencapai 150.112 ribu ton pada 2030. Angka ini kemudian digunakan sebagai *baseline* dalam pengembangan model simulasi dengan perangkat lunak Vensim, yang memodelkan interaksi antara jumlah sapi produktif dan kebutuhan impor susu segar.

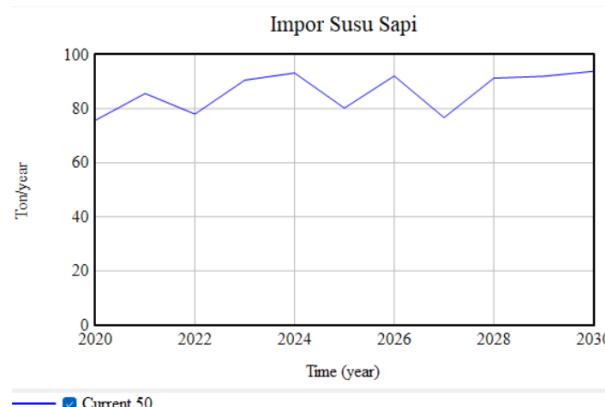
Model simulasi yang dibangun menunjukkan tingkat akurasi tinggi. Berdasarkan hasil validasi dengan menggunakan metode *Absolute Mean Error* (AME), selisih antara data aktual dan data simulasi hanya sebesar 0,69% atau dibulatkan menjadi 1%. Nilai ini jauh lebih rendah dari batas maksimal 5% yang ditetapkan sebagai kriteria validitas, sehingga dapat disimpulkan bahwa model

yang digunakan sudah layak untuk dijadikan acuan dalam pengembangan skenario kebijakan pengurangan impor susu segar nasional.

Melalui model tersebut, diuji beberapa skenario kebijakan. Pada skenario pertama, ditetapkan target penurunan impor susu sebesar 50% sehingga pada 2030 volume impor diharapkan turun menjadi 50 ribu ton. Namun, hasil simulasi justru menunjukkan angka sebesar 93.820 ton, sehingga target belum tercapai. Hal ini menunjukkan bahwa skenario pertama masih kurang efektif dalam menekan impor.

Table 6. Perbandingan Impor Susu Segar Skenario 1

Tahun	Aktual/Simulasi	Skenario 1	Selisih (Skenario 1 - Aktual)
2020	121.089	75.680	-45.409
2021	136.966	85.603	-51.363
2022	124.781	77.988	-46.793
2023	144.851	90.531	-54.320
2024	149.108	93.192	-55.916
2025	128.317	80.198	-48.119
2026	147.361	92.100	-55.261
2027	122.671	76.669	-46.002
2028	146.066	91.291	-54.775
2029	147.146	91.966	-55.180
2030	150.112	93.820	-56.292

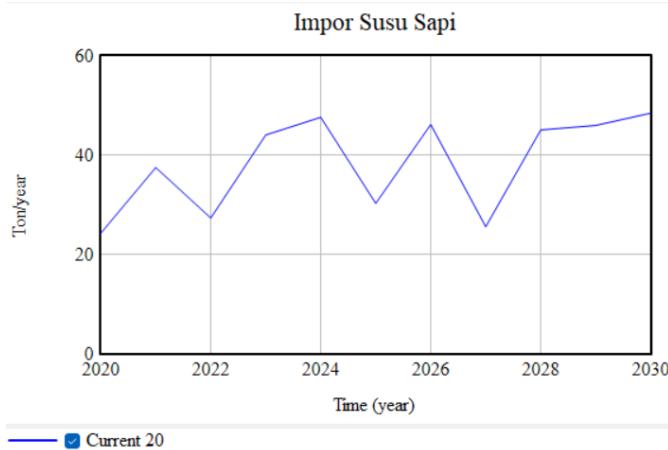


Gambar 11. Impor Susu Sapi Skenario 1

Selanjutnya, pada skenario kedua dengan pendekatan lebih optimis, dilakukan penurunan persentase impor sebesar 20%. Hasil simulasi menunjukkan volume impor susu segar pada 2030 mencapai 48.426 ribu ton, angka yang lebih mendekati target sehingga dinilai lebih realistik dan efektif dibandingkan skenario pertama.

Table 7. Perbandingan Impor Susu Segar Skenario 2

Tahun	Aktual/Simulasi	Skenario 2	Selisih (Skenario 2 - Aktual)
2020	121.089	24.241	-96.848
2021	136.966	37.471	-99.495
2022	124.781	27.317	-97.464
2023	144.851	44.042	-100.809
2024	149.108	47.590	-101.518
2025	128.317	30.264	-98.053
2026	147.361	46.134	-101.227
2027	122.671	25.559	-97.112
2028	146.066	45.054	-101.012
2029	147.146	45.955	-101.191
2030	150.112	48.426	-101.686

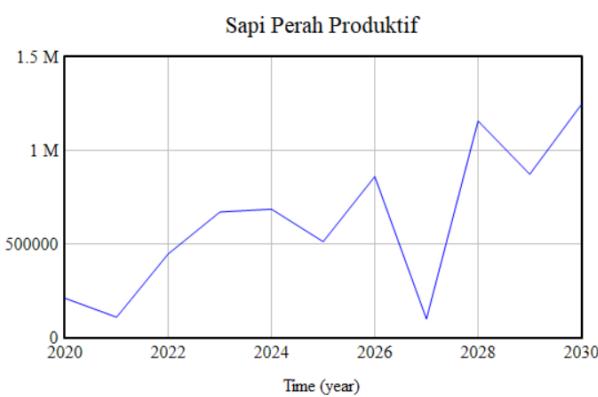


Gambar 12. Impor Susu Sapi Skenario

Selain upaya menekan impor, penelitian ini juga merumuskan skenario ketiga yang berfokus pada peningkatan jumlah sapi perah produktif. Target yang ditetapkan adalah mencapai 1 juta ekor sapi perah pada tahun 2030 dengan proyeksi peningkatan populasi hingga 80%. Asumsi dalam skenario ini adalah sumber produksi susu tidak hanya bergantung pada peternak rakyat berskala kecil, melainkan melibatkan pengembangan sektor peternakan yang lebih modern dan terintegrasi. Dengan adanya kombinasi kebijakan penurunan impor dan peningkatan populasi sapi perah produktif, diharapkan ketahanan pangan nasional khususnya pada komoditas susu dapat tercapai secara lebih berkelanjutan.

Table 8. Perbandingan Jumlah Sapi Produktif Skenario 3

2020		2025		2030	
Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi	Aktual	Simulasi
42.040	335.324	102.511	820.091	249.179	1.993.430



Gambar 13. Sapi Perah Produktif



Gambar 14. Perbandingan Jumlah Sapi Perah Produktif

Setelah menjalankan simulasi dari periode tahun 2020-2030, jumlah sapi produktif tahun 2030 sebanyak 1.993.430 ekor. Nilai ini menunjukkan bahwa target 1 juta ekor sapi tidak hanya tercapai, tetapi telah terlampaui secara signifikan.

Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa ketergantungan Indonesia terhadap impor susu sapi segar masih sangat tinggi, mencapai 80% dari total kebutuhan nasional. Hal ini mencerminkan bahwa meskipun produksi dalam negeri mengalami penurunan, terutama setelah wabah penyakit mulut dan kuku (PMK), kebutuhan akan susu segar terus meningkat. Berdasarkan hasil simulasi, ketergantungan impor ini mempengaruhi ketahanan pangan nasional, yang tidak hanya terkait dengan jumlah susu yang tersedia, tetapi juga dengan kualitas dan keberlanjutan pasokan susu segar untuk memenuhi kebutuhan masyarakat (Widianingrum & Septio, 2023).

Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa skenario dengan pengurangan impor susu sebesar 20% lebih efektif daripada skenario 50%, yang menyarankan pengurangan lebih drastis pada impor. Pengurangan impor yang terlalu cepat dapat memengaruhi kestabilan pasokan susu, mengingat infrastruktur produksi dalam negeri dan kualitas susu yang masih perlu perbaikan. Oleh karena itu, skenario yang lebih moderat dan realistik diperlukan untuk mencapai target ketahanan pangan yang berkelanjutan (Firdaus, 2025).

Kebijakan yang dapat diterapkan untuk mendukung swasembada susu sapi segar di Indonesia perlu mencakup peningkatan populasi sapi perah produktif dan pengurangan ketergantungan pada impor susu melalui beberapa langkah strategis. Hasil simulasi pada skenario ketiga, yang menargetkan peningkatan jumlah sapi perah produktif hingga mencapai 1 juta ekor pada tahun 2030, menunjukkan bahwa kebijakan ini dapat mendorong produksi susu dalam negeri lebih maksimal, sekaligus mengurangi ketergantungan pada impor (Abdul & Thalib, 2024).

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, berikut rekomendasi kebijakan yang diusulkan:

1. Peningkatan Produktivitas Sapi Perah

Pemerintah perlu memberikan insentif bagi peternak sapi perah melalui pelatihan manajemen peternakan modern, penyediaan pakan berkualitas, dan pemeliharaan kesehatan hewan yang lebih baik. Peningkatan produktivitas sapi perah akan membantu meningkatkan ketersediaan susu segar nasional (Saptati & Priyono, 2021).

2. Pengembangan Infrastruktur Peternakan

Infrastruktur yang lebih baik, termasuk penyediaan lahan untuk pakan hijauan, fasilitas pengolahan susu, dan sistem distribusi yang efisien, harus menjadi fokus utama dalam pengembangan rantai pasok susu. Dengan infrastruktur yang memadai, kualitas susu dapat terjaga, dan pemborosan yang sering terjadi dalam distribusi dapat diminimalkan (Suryani et al., 2017).

3. Mendorong Kemitraan antara Peternak, Koperasi, dan Pemerintah

Pembentukan dan penguatan koperasi peternak sapi perah dapat membantu memperbaiki akses pasar bagi peternak kecil dan meningkatkan daya tawar mereka dalam rantai pasok susu. Koordinasi antara peternak, koperasi, dan pemerintah akan menciptakan sistem yang lebih efisien dalam mengelola pasokan susu segar (Widianingrum & Septio, 2023).

4. Penerapan Kebijakan Pengurangan Impor Secara Bertahap

Mengingat ketergantungan yang tinggi terhadap impor, kebijakan pengurangan impor susu sebaiknya dilakukan secara bertahap. Hal ini akan memberi waktu bagi sektor domestik untuk beradaptasi dan meningkatkan kapasitas produksi dalam negeri (Firdaus, 2025).

5. Regulasi dan Pengawasan yang Ketat terhadap Penyakit Hewan

Pemerintah perlu meningkatkan pengawasan dan pengendalian terhadap penyakit yang dapat mempengaruhi populasi sapi perah, seperti PMK. Program vaksinasi yang lebih luas dan penanganan penyakit yang cepat dapat membantu menjaga stabilitas produksi susu nasional (Saptati & Priyono, 2021).

6. Meningkatkan Kesadaran Konsumen akan Pentingnya Konsumsi Produk Lokal

Kampanye yang lebih intensif tentang pentingnya konsumsi susu segar domestik perlu dilaksanakan untuk meningkatkan permintaan terhadap produk susu lokal. Ini juga dapat membantu mendorong pengolahan susu dalam negeri, yang akan lebih menguntungkan bagi peternak lokal (Suryani et al., 2017).

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan, kebijakan yang berfokus pada peningkatan populasi sapi perah produktif, perbaikan infrastruktur peternakan, serta pengurangan impor susu secara bertahap merupakan langkah strategis yang dapat meningkatkan ketahanan pangan nasional di sektor susu segar. Penerapan kebijakan ini diharapkan dapat menciptakan pasokan susu segar yang lebih stabil, mengurangi ketergantungan pada impor, serta mendukung target swasembada 1 juta ekor sapi perah pada tahun 2030 (Abdul & Thalib, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan perancangan, pengolahan data, serta analisis hasil yang telah dilakukan, dan sejalan dengan tujuan penelitian untuk menganalisis rantai pasok susu sapi segar yang masih bergantung pada impor serta merumuskan solusi yang tepat, maka dapat disimpulkan, Variabel signifikan dalam sistem rantai pasok susu segar yang berpengaruh terhadap ketahanan pangan nasional meliputi populasi sapi perah betina produktif, tingkat kelahiran dan proporsi anak sapi betina, produktivitas per ekor, volume susu yang dikumpulkan koperasi dan pengepul, serta tingkat impor susu bubuk. Faktor eksternal seperti wabah penyakit dan kebijakan pemerintah juga memengaruhi dinamika rantai pasok, sehingga interaksi antar variabel tersebut menentukan stabilitas pasokan susu segar nasional.

Selain itu, Skenario kebijakan yang relevan dalam optimalisasi pasokan susu segar mencakup pengurangan impor bertahap, peningkatan populasi sapi perah produktif melalui perbaikan reproduksi dan pengendalian penyakit, penguatan peran koperasi dan pengepul, serta peningkatan produktivitas per ekor dengan teknologi dan manajemen peternakan. Simulasi menunjukkan bahwa penurunan impor bertahap sebesar 20% lebih efektif dibandingkan skenario moderat (50%) dalam mendukung target swasembada sapi perah 2030. Peningkatan populasi sapi perah hingga 1 juta ekor melalui perbaikan reproduksi, pakan, dan fasilitas kesehatan terbukti signifikan dalam mendorong produksi domestik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Widaningrum and R. W. Septio, “Peran Peternakan dalam Mendukung Ketahanan Pan Indonesia: Kondisi, Potensi, dan Peluang Pengembangan,” *National Multidisciplinary Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 285–291, May 2023, doi: 10.32528/nms.v2i3.298.
- [2] Orami, “Hari Susu Sedunia: Tingkatkan Konsumsi Susu untuk Kesehatan dan Kurangi Dampak Buruknya bagi Lingkungan,” <https://www.orami.co.id/magazine/hari-susu-sedunia>.
- [3] K. Tiofani, “Angka Konsumsi Susu Sapi Indonesia Rendah, Apa Sebabnya?,” <https://www.kompas.com/food/read/2024/09/14/161255975/angka-konsumsi-susu-sapi-indonesia-rendah-apa-sebabnya>.
- [4] Firdaus, “Kolaborasi Penting Untuk Menciptakan Rantai Pasok Susu Segar,” https://www.medcom.id/gaya/fitness-health/MkMOvjRN-kolaborasi-penting-untuk-menciptakan-rantai-pasok-susu-segar#google_vignette.
- [5] R. Abdul and W. Thalib, “Kesiapan Rantai Pasok dalam Menurunkan Rasio Impor Bahan Baku sebagai Acuan Data dan Informasi Pengembangan Industri Susu Nasional,” *Multidisciplinary Scientific Journal*, vol. 1, no. 9, 2024.
- [6] R. A. Saptati and Priyono, “Impact of integration of import tariff policy and strategic programs to increase milk production on the availability of fresh milk in Indonesia,” in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2021. doi: 10.1051/e3sconf/202131601005.
- [7] M. Mundel and D. Danner, *Motion and Time Study Improving Productivity*. New Jersey: Prentice Hall. 1994.

- [8] N. Shahsavari-Pour, S. Rahimi-Ashjerdi, A. Heydari, and A. Fekih, "A System Dynamics Approach to Optimize Milk Production in an Industrial Ranch," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13031662.
- [9] E. Suryani, R. A. Hendrawan, I. Muhandhis, and L. P. Dewi, "Dynamic simulation model of cow's milk demand and supply to determine the national fulfillment ratio," *Adv Sci Lett*, vol. 23, no. 11, pp. 11057–11061, Nov. 2017, doi: 10.1166/asl.2017.10219.
- [10] M. B. Syairudin, "System Modeling Of Dairy Processing Industry Kud Nandhi Murni."
- [11] E. Siahaan, D. Anju Nadetha Pakpahan, M. Aprilya Tolimba Br Hsb, and I. Teknologi Del, "Analisis Sistem Dinamik Ketersediaan Susu Sapi Perah Di Sumatera Utara," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 11, no. 7, pp. 51–62, 2025.
- [12] G. Tsaples and T. Tarnanidis, "A System Dynamics Model and Interface for the Simulation and Analysis of Milk Supply Chains," in *Supply Chain and Logistics Management*, IGI Global, 2019, pp. 108–135. doi: 10.4018/978-1-7998-0945-6.ch006.