

Model Dinamik Produksi Kopi Berdasarkan Pemenuhan Total Kebutuhan Kopi Indonesia

Dynamic Modelling of Coffee Production Based on the Fulfillment of Total Coffee Demand in Indonesia

Rahma Septiany Faojiah^{1*}, Devi Maulida Rahmah², Rahmat Pramulya³, Elida Novita⁴, Adi Sutrisno⁵

¹Mahasiswa Sarjana Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

³Departemen Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar, Aceh Barat 23615, Indonesia

⁴Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jember 68121, Indonesia

⁵Departemen Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan 77124, Indonesia

*E-mail: rahmaseptiany19@gmail.com

Diterima: 27 April 2025; Disetujui: 12 Juli 2025

ABSTRAK

Kopi merupakan salah satu komoditas hasil perkebunan yang memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia karena berkontribusi terhadap PDB dan devisa negara. Di tengah peningkatan permintaan kopi secara global maupun domestik, produksi kopi di Indonesia kerap menghadapi berbagai tantangan, seperti perubahan iklim, alih fungsi lahan, dan rendahnya produktivitas. Tantangan tersebut berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan antara total kebutuhan kopi dan produksi kopi domestik. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap kajian pada industri kopi di Indonesia melalui analisis terhadap produksi kopi dan total kebutuhan kopi, yang mencakup akumulasi antara ekspor kopi dan konsumsi kopi domestik. Tujuan penelitian ini adalah untuk meramalkan produksi kopi serta total kebutuhan kopi pada masa mendatang. Pendekatan yang digunakan adalah model sistem dinamik, yang dibangun melalui *causal loop diagram* dan simulasi *stock and flow diagram* pada perangkat lunak STELLA. Penelitian ini menghasilkan kerangka model yang dapat membantu pembuat kebijakan mengidentifikasi titik strategis dalam sistem produksi kopi, memprediksi dampak intervensi, serta merumuskan strategi adaptif guna menjaga stabilitas pasar. Validasi model dilakukan dengan uji MAPE, dengan hasil akurasi berada dalam rentang 1 – 12%, yang menunjukkan bahwa model memiliki akurasi prediksi yang baik dan layak digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hingga tahun 2034, produksi kopi domestik masih dapat memenuhi total kebutuhan kopi. Namun, mulai tahun 2035 hingga tahun 2037, produksi kopi domestik diperkirakan tidak lagi mencukupi. Pada tahun 2037, produksi kopi domestik diprediksi mencapai 894.831 ton, sementara total kebutuhan kopi mencapai 925.806 ton.

Kata kunci: kopi; peramalan; sistem dinamik

ABSTRACT

Coffee is one of the key plantation commodities that plays an important role in Indonesia's economy, contributing to both GDP and foreign exchange earnings. Amidst rising global and domestic demand for coffee, Indonesia's coffee production continues to face several challenges, such as climate change, land-use conversion, and low productivity. These challenges have the potential to create an imbalance between total coffee demand and domestic production. This study contributes to the literature on Indonesia's coffee industry through an analysis of coffee production and total coffee demand, which include the combined volume of coffee exports and domestic consumption. This study aims to forecast future coffee production and total coffee demand. A system dynamics modelling approach was employed, developed using causal loop diagram and stock-and-flow diagram simulations with STELLA software. This research presents a model framework that can assist policymakers in identifying strategic leverage points within the coffee production system, predicting the impacts of interventions, and formulating adaptive strategies to maintain market stability. The model was validated using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) test, with accuracy ranging from 1% to 12%, indicating that the model has good predictive performance and is suitable for use. The simulation results show that until 2034, domestic coffee production can still meet total coffee demand. However, from 2035 to 2037, domestic production is projected to fall short. In 2037, domestic coffee production is forecasted to reach 894,831 tons, while total coffee demand is expected to reach 925,806 tons.

Keywords: coffee; forecasting; system dynamics

PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas hasil perkebunan yang memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia karena memberikan kontribusi yang signifikan terhadap produk domestik bruto (PDB) dan devisa negara. Indonesia, sebagai salah satu negara produsen kopi terbesar di dunia, memiliki peluang besar dalam perdagangan kopi global

(Nugroho, Sari, & Kholil, 2021; Saputera, 2022). Industri kopi tidak hanya berkontribusi terhadap pendapatan negara melalui ekspor, tetapi juga memainkan peran penting dalam meningkatkan pendapatan petani, menciptakan lapangan kerja di sektor hulu maupun hilir, serta menyerap tenaga kerja di daerah-daerah sentra produksi kopi (Putra & Sudibia, 2023; Setiawan, 2016). Oleh karena itu, industri kopi memiliki

potensi ekonomi dan sosial yang sangat besar bagi Indonesia.

Dalam beberapa tahun terakhir, permintaan kopi global terus mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan ini didorong oleh berbagai faktor, termasuk perubahan gaya hidup, perkembangan budaya konsumsi kopi di berbagai negara, serta inovasi dalam pertanian dan produk turunan kopi (Adiwinata, Sumarwan, & Simanjuntak, 2021). Bagi negara produsen kopi seperti Indonesia, ekspor menjadi saluran penting dalam memenuhi permintaan global. Menurut Kementerian Pertanian (2023), negara tujuan ekspor kopi Indonesia tersebar di 15 negara, dengan pasar terbesar yaitu Amerika Serikat, diikuti oleh Mesir. Selain itu, Spanyol, Jepang, Malaysia, Italia, dan negara lainnya juga merupakan pasar ekspor yang penting bagi Indonesia. Pada tahun 2022, ekspor kopi berkontribusi sebesar US\$1,15 miliar terhadap devisa negara, dengan volume ekspor mencapai 437.555 ton. Keunggulan komparatif Indonesia di pasar kopi global memberikan daya saing yang kuat. Namun demikian, tantangan seperti perubahan iklim dan kendala produksi masih menjadi hambatan dalam pengembangan industri ini secara berkelanjutan (Ananda, Azzahra, Susanti, & Wikansari, 2023; Manalu, Harianto, Suharno, & Hartoyo, 2019).

Tren permintaan kopi global terus mengalami peningkatan, demikian pula pasar domestik yang menunjukkan pertumbuhan konsumsi kopi dalam negeri. Meningkatnya jumlah kedai kopi atau *coffee shop* mencerminkan perubahan budaya konsumsi yang lebih luas, yang didorong oleh globalisasi dan perubahan preferensi konsumen (Pujiyanto, Yulianto, Pebrianggara, & Widyasmara, 2024). Kondisi ini semakin memperkuat permintaan kopi di dalam negeri. Menurut *International Coffee Organization* (ICO), jumlah konsumsi kopi di Indonesia pada tahun 2020/2021 mencapai 300 juta kilogram, atau sekitar 1,1 kilogram per kapita per tahun, sehingga menjadikan Indonesia sebagai negara dengan tingkat konsumsi kopi terbesar kelima di dunia. Konsumsi kopi tersebut meningkat sebesar 4,04% dibandingkan tahun sebelumnya dan diproyeksikan akan terus meningkat pada tahun-tahun mendatang.

Volume kopi yang diekspor dan volume kopi yang dikonsumsi di dalam negeri merepresentasikan permintaan kopi secara keseluruhan. Volume ekspor mencerminkan jumlah kopi yang diproduksi dan dikirim ke pasar internasional, sedangkan volume konsumsi domestik mencerminkan kebutuhan kopi di dalam negeri. Oleh karena itu, akumulasi volume ekspor kopi dan konsumsi kopi domestik didefinisikan sebagai total kebutuhan kopi yang harus dipenuhi oleh produksi kopi domestik. Pemenuhan total kebutuhan kopi ini menjadi sangat penting bagi keberlanjutan sektor kopi nasional karena memiliki implikasi langsung terhadap pertumbuhan ekonomi negara dan peningkatan kesejahteraan petani kopi yang bergantung pada pasar domestik maupun internasional.

Merujuk pada data dari Departemen Pertanian Amerika Serikat, pada tahun 2023/2024 Indonesia menempati posisi kelima sebagai produsen kopi terbesar di dunia dengan total kontribusi sebesar 5% terhadap produksi kopi global (USDA, 2023). Selama periode 2008 hingga 2023, produksi kopi domestik mengalami fluktuasi, dengan rata-rata produksi sebesar 707.745 ton per tahun. Meskipun Indonesia termasuk salah satu produsen kopi terbesar di dunia, pemenuhan total kebutuhan kopi sering kali menghadapi berbagai tantangan, antara lain keterbatasan lahan, alih fungsi lahan, perubahan dan variabilitas iklim, serta rendahnya produktivitas. Berbagai tantangan tersebut berpotensi mengancam keberlanjutan pasokan kopi domestik (Savirna et al., 2021).

Ketidakstabilan produksi akibat berbagai tantangan atau tekanan tersebut dapat menciptakan kesenjangan antara kapasitas produksi yang fluktuatif dan total kebutuhan kopi yang terus meningkat. Permasalahan dalam produksi kopi menjadi krusial bagi Indonesia, mengingat pentingnya menjaga ketersediaan kopi untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun internasional, sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi. Dengan demikian, diperlukan upaya untuk menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan produksi kopi domestik yang berbasis pada pemenuhan total kebutuhan kopi secara berkelanjutan. Jika tidak dikelola dengan baik, ketidakseimbangan ini berpotensi memicu ketidakstabilan harga dan gangguan pasokan.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan kajian yang menganalisis produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi di Indonesia. Penelitian ini menjadi krusial untuk mengetahui perkembangan produksi dan total kebutuhan kopi nasional, meramalkan kondisi di masa mendatang, serta menganalisis skenario kebijakan guna mencapai keseimbangan yang berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini berfungsi sebagai alat strategis untuk memahami kompleksitas sistem produksi kopi, sehingga dapat membantu para pembuat kebijakan dalam mengidentifikasi titik-titik strategis (*leverage points*) dalam sistem produksi kopi, memprediksi dampak dari berbagai intervensi, dan merumuskan strategi adaptif untuk menjaga stabilitas pasar.

Studi mengenai produksi dan konsumsi kopi di Indonesia telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Salah satunya adalah penelitian oleh Syifahati, Triska, dan Nahar (2023) yang menganalisis produksi dan konsumsi kopi, termasuk konsumsi domestik dan ekspor kopi Indonesia, dengan menggunakan metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dan *Triple Exponential Smoothing* (TES). Namun, pendekatan tersebut cenderung bersifat parsial dan belum mampu menangkap kompleksitas dinamika serta interaksi umpan balik dalam sistem secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut melalui penerapan pendekatan sistem dinamik, yang memiliki keunggulan dalam memetakan hubungan sebab-akibat, keterlambatan waktu, serta kemampuan untuk mensimulasikan berbagai skenario kebijakan secara komprehensif.

Pendekatan sistem dinamik telah terbukti efektif dalam memodelkan sistem yang kompleks serta meramalkan kebutuhan strategis di Indonesia. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan Sa'adah, Fauzi, dan Juanda (2017) mengenai peramalan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia. Studi tersebut memperlihatkan bahwa pendekatan sistem dinamik mampu mengintegrasikan berbagai variabel, seperti kapasitas produksi dan tingkat konsumsi, untuk memproyeksikan penyediaan dan konsumsi bahan bakar minyak di masa depan serta mengevaluasi berbagai skenario kebijakan. Keberhasilan penerapan pendekatan ini dalam konteks penyediaan energi memberikan dasar yang kuat untuk mengadaptasinya dalam konteks industri kopi. Oleh karena itu, pendekatan sistem dinamik digunakan dalam penelitian ini untuk memahami dinamika produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi di Indonesia. Penelitian ini tidak hanya menghasilkan proyeksi numerik, tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku sistem serta rekomendasi kebijakan yang lebih kuat guna mendukung kemandirian dan keberlanjutan industri kopi nasional.

Tabel 1. Rentang nilai MAPE

Nilai MAPE	Akurasi Prediksi
<10%	Sangat Baik
10-20%	Baik
20-50%	Wajar
>50%	Buruk

Sumber: (Chang, Wang, & Liu, 2007)

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data deret waktu (*time series*) periode tahun 2008-2023. Data tersebut bersumber dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Badan Pusat Statistik, serta berbagai sumber relevan lainnya yang mendukung kelengkapan dan keakuratan analisis dalam penelitian ini.

Model Sistem Dinamik

Pemodelan produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi melalui simulasi dinamik dilakukan untuk mengevaluasi arah kebijakan sektor kopi di masa mendatang serta dampaknya terhadap berbagai aspek. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah pendekatan simulasi dinamik dengan mempertimbangkan berbagai parameter yang memengaruhi produksi dan total kebutuhan kopi. Setelah parameter kunci diidentifikasi, variabel-variabel yang memengaruhi parameter tersebut dapat diketahui (Sitohang, 2022; Widhianthini, 2019). Selanjutnya, dibangun model dalam bentuk *causal loop diagram* (diagram sebab-akibat) yang menggambarkan hubungan antarvariabel dari setiap parameter yang berpengaruh terhadap produksi dan kebutuhan kopi. Variabel utama yang digunakan dalam simulasi dinamik pada penelitian ini antara lain meliputi produksi kopi domestik, ekspor kopi, impor kopi, konsumsi kopi domestik, dan total kebutuhan kopi.

Pengembangan Model

Pengembangan model dilakukan dengan mengikuti tahapan dalam pendekatan sistem dinamik. Permasalahan produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi merupakan permasalahan yang cukup kompleks karena melibatkan berbagai variabel yang saling berkaitan. Oleh karena itu, penentuan tujuan dan pembatasan masalah yang tepat menjadi langkah penting dalam proses pemodelan agar ruang lingkup permasalahan dapat teridentifikasi dengan jelas. Di sisi lain, analisis kebutuhan juga dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai kepentingan dari setiap pelaku dalam sistem. Masing-masing pelaku memiliki kebutuhan yang berbeda, namun tetap saling berinteraksi dan memengaruhi dinamika sistem secara keseluruhan.

Setelah menetapkan tujuan, batasan masalah, analisis kebutuhan, serta mengidentifikasi variabel-variabel yang relevan, langkah selanjutnya adalah menganalisis dan menyusun model awal dalam bentuk CLD. Pada tahap ini, hubungan antarvariabel dalam sistem dapat terlihat secara jelas dan terstruktur. Dalam CLD, hubungan antarvariabel digambarkan dengan panah yang disertai tanda (+) atau (-), tergantung pada jenis hubungan di antara variabel tersebut. Tanda (+) menunjukkan bahwa dua variabel bergerak searah, yaitu ketika satu variabel meningkat, variabel lainnya juga meningkat, atau sebaliknya. Sementara itu, tanda (-) menunjukkan bahwa perubahan pada satu variabel menimbulkan perubahan yang berlawanan arah pada variabel lainnya (Sa'adah et al., 2017).

Setelah model awal terbentuk, langkah selanjutnya adalah merancang dan mengembangkan *stock and flow diagram* (diagram kotak panah) dengan menggunakan perangkat lunak STELLA (*Structural Thinking, Experimental Learning Laboratory with Animation*). Pada tahap ini, dilakukan proses formulasi dan verifikasi model. Formulasi disusun berdasarkan data dan informasi historis agar model dapat merepresentasikan permasalahan secara akurat. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa kesesuaian struktur model melalui persamaan matematis yang diterapkan dan menjalankan simulasi (*running simulation*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa program dan model yang telah dirancang serta dikonseptualisasikan mampu berjalan secara konsisten dan sesuai dengan tujuan pemodelan.

Setelah tahap formulasi dan verifikasi dilakukan, simulasi dapat dimulai sesuai dengan periode yang telah ditentukan, yaitu waktu awal (*start time*) pada tahun 2024 dan waktu akhir (*stop time*) pada tahun 2037. Untuk mengamati perilaku model, beberapa skenario diuji dalam proses simulasi. Skenario-skenario tersebut disusun dengan tujuan untuk mengevaluasi kemampuan produksi kopi dalam memenuhi total kebutuhan kopi nasional.

Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan menggunakan uji Nilai Tengah Persentase Kesalahan Absolut atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Selain itu, dilakukan pula analisis sensitivitas terhadap parameter-parameter kritis sebagai langkah penting untuk mengevaluasi kekokohan (*robustness*) dari hasil model yang dikembangkan. Validasi ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana perilaku model mampu merepresentasikan sistem nyata. Uji MAPE merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk menilai akurasi hasil simulasi (prediksi) dalam metode peramalan. Uji ini digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara data hasil simulasi dan data aktual (Medya & Kamila, 2022). Rumus MAPE sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|X_t - X_d|}{X_t} \quad (1)$$

Dengan X_t adalah data aktual ke- t ; X_d adalah data simulasi ke- t ; dan n adalah banyaknya data/periode.

Nilai MAPE yang dihasilkan menjadi indikator penting untuk menilai sejauh mana model yang dibangun mampu merepresentasikan sistem nyata. Selain itu, MAPE juga digunakan untuk menilai tingkat akurasi prediksi dari simulasi. Semakin kecil nilai MAPE, maka semakin tinggi tingkat akurasi model. Interpretasi rentang nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Pelaku sistem dan kebutuhannya

No.	Pelaku Sistem	Kebutuhan
1.	Petani Kopi	Total kebutuhan kopi terus meningkat
2.	Pemerintah	Total kebutuhan kopi dapat terpenuhi
3.	Produsen Kopi	Jumlah produksi kopi terus meningkat
4.	Eksportir Kopi	Jumlah kopi yang dapat diekspor terus meningkat
5.	Importir Kopi	Jumlah konsumsi kopi meningkat sehingga impor meningkat
6.	Masyarakat	Kebutuhan kopi terpenuhi

HASIL DAN PEMBAHASAN

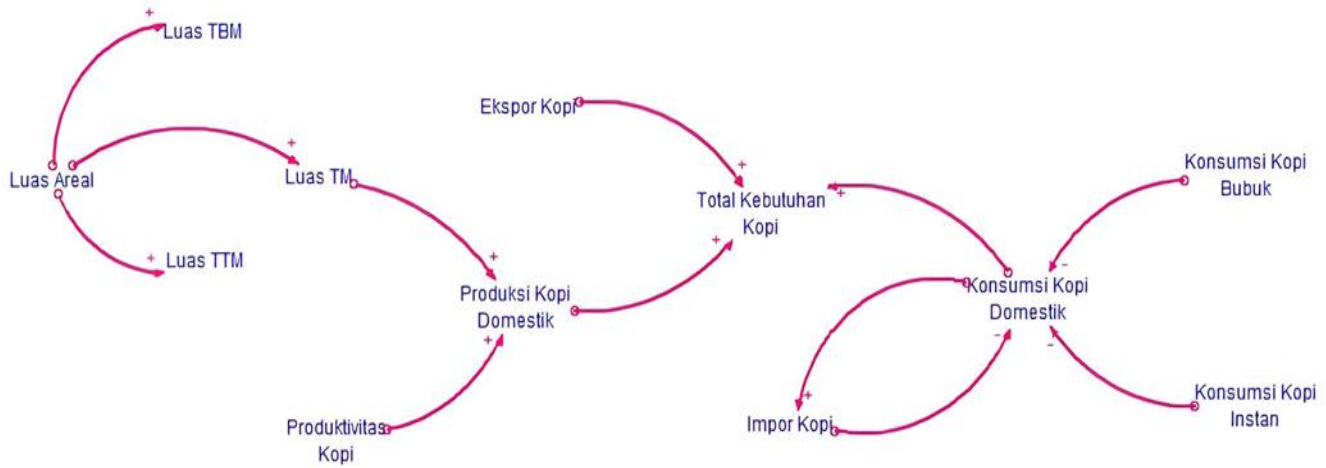
Deskripsi dan Konseptualisasi Sistem

Identifikasi pelaku dalam sistem produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi yang merupakan akumulasi antara ekspor kopi dan konsumsi kopi domestik dilakukan melalui kajian literatur. Masing-masing pelaku memiliki kebutuhan yang berbeda dalam sistem yang disajikan pada Tabel 2.

Permasalahan produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi merupakan isu yang kompleks, karena mengandung dinamika sistem berubah sepanjang waktu dan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat dinamis. Permasalahan ini melibatkan sejumlah variabel yang saling berinteraksi dan terintegrasi dalam satu sistem. Struktur sistem produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi digambarkan dalam CLD, beserta

penjelasan masing-masing variabel yang disajikan pada Gambar 1 dan Tabel 3.

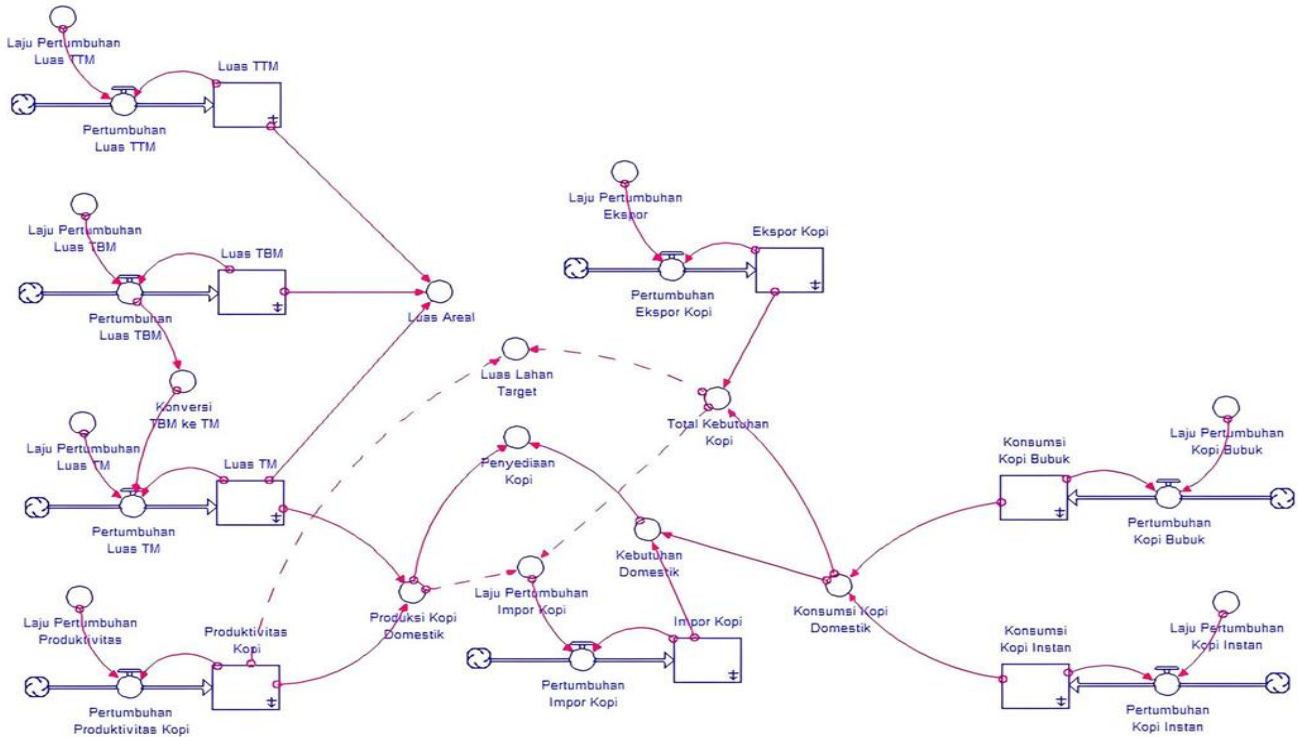
Produksi kopi domestik dipengaruhi secara langsung oleh luas TM dan produktivitas, yang ditunjukkan dengan panah (+) dalam CLD. Artinya, apabila luas TM dan produktivitas meningkat, maka produksi kopi domestik juga akan mengalami peningkatan. Sementara itu, total kebutuhan kopi dipengaruhi oleh ekspor kopi dan konsumsi kopi domestik. Konsumsi kopi domestik sendiri dipengaruhi oleh dua komponen utama, yaitu konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan, yang keduanya juga memiliki hubungan positif (+). Peningkatan konsumsi kopi bubuk dan instan akan mendorong peningkatan konsumsi kopi domestik secara keseluruhan. Selanjutnya, apabila konsumsi kopi domestik dan ekspor meningkat, maka total kebutuhan kopi juga akan mengalami peningkatan.



Gambar 1. Diagram sebab-akibat model dinamik produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi

Tabel 3. Deskripsi variabel *causal loop diagram*

No.	Variabel	Deskripsi
1.	Luas Areal	Total area lahan yang ditanami kopi
2.	Luas Tanaman Belum Menghasilkan (TBM)	Luas lahan yang ditanami kopi namun belum menghasilkan (tanaman muda)
3.	Luas Tanaman Menghasilkan (TM)	Luas lahan yang ditanami kopi dan sudah memasuki fase produktif
4.	Luas Tanaman Tidak Menghasilkan/rusak (TTM)	Luas lahan yang ditanami kopi namun sudah tidak produktif atau tidak dirawat atau tanaman rusak
5.	Produktivitas Kopi	Tingkat hasil kopi per unit luas
6.	Produksi Kopi Domestik	Total jumlah kopi yang dihasilkan dalam negeri
7.	Total Kebutuhan Kopi	Total konsumsi kopi domestik ditambah ekspor kopi
8.	Ekspor Kopi	Jumlah kopi yang dijual ke luar negeri
9.	Impor Kopi	Jumlah kopi yang dibeli dari luar negeri
10.	Konsumsi Kopi Domestik	Total konsumsi kopi di dalam negeri
11.	Konsumsi Kopi Bubuk	Jumlah konsumsi kopi dalam bentuk kopi bubuk
12.	Konsumsi Kopi Instan	Jumlah konsumsi kopi dalam bentuk kopi instan



Gambar 2. Stock and flow diagram model dinamik produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi

Tabel 4. Deskripsi simbol/notasi stock and flow diagram model

Simbol	Nama	Keterangan
	Stock/State/Level	Akumulasi atau kuantitas yang berubah seiring waktu
	Auxiliary	Variabel yang nilainya sebagai bagian dari waktu dapat berdiri sendiri atau bergabung dengan aliran
	Rate/Flow	Aliran masuk atau keluar yang berpengaruh pada stock
	Link (Penghubung)	Penghubung antara satu variabel dengan variabel lain
	Inisialisasi Hubungan	Aliran hubungan yang tidak langsung atau bersifat kondisional

Formulasi Sistem

Formulasi sistem merupakan tahap perumusan permasalahan ke dalam bentuk matematis yang dapat merepresentasikan kondisi sistem nyata. Variabel-variabel yang telah diidentifikasi dalam model dihubungkan satu sama lain melalui hubungan yang logis dan terukur. Beberapa asumsi yang digunakan dalam pemodelan penelitian ini adalah:

1. Konsumsi kopi domestik merupakan penjumlahan dari konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan.
2. Impor kopi Indonesia diasumsikan hanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik.
3. Masa peralihan dari TBM menuju TM berlangsung selama tiga hingga empat tahun.
4. Masa peralihan dari TM menuju TTM tidak diperhitungkan dalam model.
5. Laju pertumbuhan luas TBM, luas TM, dan luas TTM berturut-turut adalah 2,14%, -0,02%, dan -1%.
6. Laju pertumbuhan produktivitas kopi adalah 0,86%.

7. Laju pertumbuhan ekspor dan impor kopi berturut-turut adalah 3% dan 46%.
8. Laju konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan berturut-turut adalah -1% dan 3%.
9. Periode analisis simulasi dibatasi pada tahun 2024 hingga 2037.

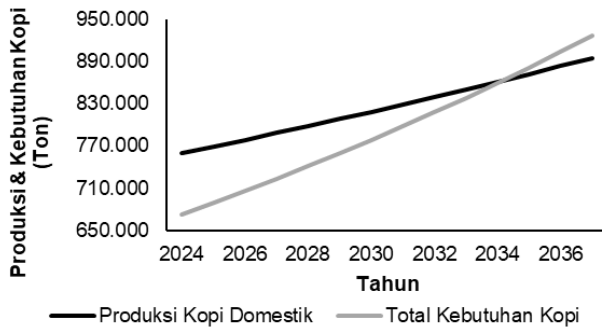
Formulasi dilakukan dalam perangkat lunak STELLA menggunakan SFD. SFD lengkap, deskripsi simbol pada SFD, persamaan matematis serta input nilai yang digunakan dalam model ditampilkan pada Gambar 2, Tabel 4, dan Tabel 5. Adapun persamaan matematis tujuan utama pemodelan ini adalah:

$$\text{Produksi Kopi Domestik} = \text{Luas TM} \times \text{Produktivitas} \quad (2)$$

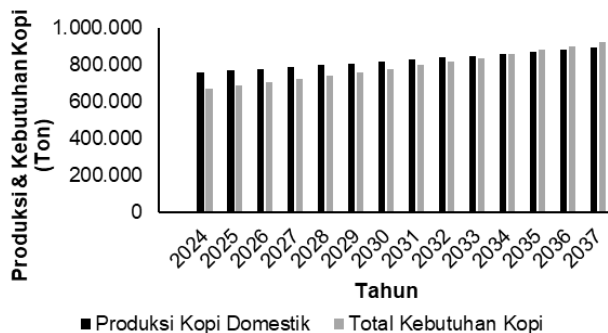
$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan Kopi} &= \text{Ekspor Kopi} \\ &+ \text{Konsumsi Kopi Domestik} \end{aligned} \quad (3)$$

Tabel 5. Persamaan matematis dan input nilai *stock and flow diagram* model

No.	Variabel	Nilai	Satuan
1.	Luas Areal	Luas TTM + Luas TBM + Luas TM	Ha
2.	Luas TTM	145.414 (Uji MAPE); 118.757 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ha
3.	Laju Pertumbuhan Luas TTM	0,004 (Uji MAPE); -0,01 (Skenario 1, 2, dan 3)	%
4.	Pertumbuhan Luas TTM	Luas TTM × Laju Pertumbuhan Luas TTM	Ha
5.	Luas TBM	171.268 (Uji MAPE); 185.878 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ha
6.	Laju Pertumbuhan Luas TBM	0,0286 (Uji MAPE); 0,0214 (Skenario 1 dan 3); 0,0314 (Skenario 2)	%
7.	Pertumbuhan Luas TBM	Luas TBM × Laju Pertumbuhan Luas TBM	Ha
8.	Konversi TBM ke TM	DELAYN(Pertumbuhan Luas TBM, 4, 3)	Tahun
9.	Luas TM	929.975 (Uji MAPE); 962.213 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ha
10.	Laju Pertumbuhan Luas TM	-0,0042 (Uji MAPE); -0,00021 (Skenario 1, 2, dan 3)	%
11.	Pertumbuhan Luas TM	Luas TM × Laju Pertumbuhan Luas TM × Konversi TBM ke TM	Ha
12.	Produktivitas Kopi	0,714 (Uji MAPE); 0,789 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ton/Ha
13.	Laju Pertumbuhan Produktivitas	0,0037 (Uji MAPE); 0,00861 (Skenario 1 dan 2); 0,02 (Skenario 3)	%
14.	Pertumbuhan Produktivitas Kopi	Produktivitas Kopi × Laju Pertumbuhan Produktivitas	Ton/Ha
15.	Produksi Kopi Domestik	Luas TM × Produktivitas Kopi	Ton
16.	Kebutuhan Domestik	Konsumsi Kopi Domestik – Impor Kopi	Ton
17.	Konsumsi Kopi Domestik	Konsumsi Kopi Bubuk + Konsumsi Kopi Instan	Ton/Tahun
18.	Konsumsi Kopi Bubuk	177.426 (Uji MAPE); 188.351 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ton/Tahun
19.	Laju Pertumbuhan Kopi Bubuk	-0,02 (Uji MAPE); -0,01 (Skenario 1); 0,01 (Skenario 2 dan 3)	%
20.	Pertumbuhan Kopi Bubuk	Konsumsi Kopi Bubuk × Laju Pertumbuhan Kopi Bubuk	Ton/Tahun
21.	Konsumsi Kopi Instan	169.317 (Uji MAPE); 204.523 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ton/Tahun
22.	Laju Pertumbuhan Kopi Instan	0,0139 (Uji MAPE); 0,03 (Skenario 1); 0,04 (Skenario 2 dan 3)	%
23.	Pertumbuhan Kopi Instan	Konsumsi Kopi Instan × Laju Pertumbuhan Kopi Instan	Ton/Tahun
24.	Impor Kopi	25.172 (Uji MAPE); 40.899 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ton
25.	Laju Pertumbuhan Impor Kopi	IF(Produksi Kopi Domestik >= Total Kebutuhan Kopi) THEN 0 ELSE (0,307 (Uji MAPE); 0,46 (Skenario 1, 2, dan 3))	%
26.	Pertumbuhan Impor Kopi	Impor Kopi × Laju Pertumbuhan Impor Kopi	Ton
27.	Ekspor Kopi	414.651 (Uji MAPE); 279.937 (Skenario 1, 2, dan 3)	Ton
28.	Laju Pertumbuhan Ekspor	0,00564 (Uji MAPE); 0,03 (Skenario 1, 2, dan 3)	%
29.	Pertumbuhan Ekspor	Ekspor Kopi × Laju Pertumbuhan Ekspor	Ton
30.	Total Kebutuhan Kopi	Ekspor Kopi + Konsumsi Kopi Domestik	Ton



Gambar 3. Produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario pertama



Gambar 4. Hasil simulasi produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario pertama

Skenario dan Hasil Simulasi

Pemodelan produksi kopi berdasarkan pemenuhan total kebutuhan kopi, termasuk perancangan model, proses simulasi, dan analisis, dilakukan dengan mengacu pada tujuan penelitian serta skenario kebijakan yang telah ditetapkan dalam model. Beberapa skenario yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi, beserta hasilnya analisisnya, dijelaskan sebagai berikut:

1. Skenario Tanpa Perubahan Komponen

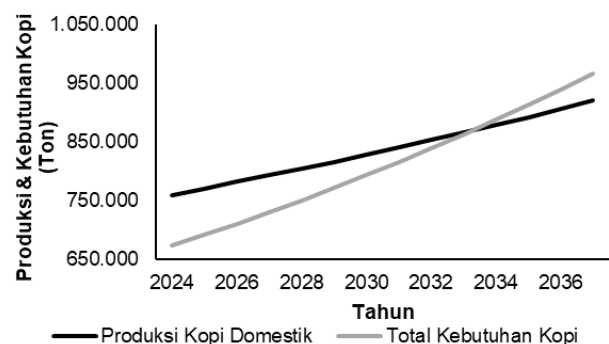
Pada skenario tanpa perubahan komponen, sistem berjalan sesuai dengan formulasi awal yang telah ditetapkan atau menggambarkan kondisi aktual saat ini. Laju pertumbuhan luas TBM, luas TM, dan luas TTM berturut-turut adalah 2,14%, -0,02%, dan -1%. Laju pertumbuhan produktivitas sebesar 0,86%. Sementara itu, laju pertumbuhan ekspor dan impor kopi masing-masing sebesar 3% dan 46%. Adapun laju konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan berturut-turut adalah -1% dan 3%. Pola kecenderungan produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi hasil simulasi untuk skenario ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa selama periode 2024 hingga 2037, produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi mengalami tren peningkatan. Pada tahun 2024 hingga 2034, produksi kopi domestik masih mampu memenuhi total kebutuhan kopi, yang mencakup ekspor dan konsumsi kopi domestik. Misalnya, pada tahun 2026, produksi kopi domestik mencapai 778.376 ton, sementara total kebutuhan kopi sebesar 706.100 ton. Pada tahun 2027, produksi meningkat menjadi 788.133 ton, sedangkan total kebutuhan mencapai 723.440 ton. Dengan demikian, dalam periode

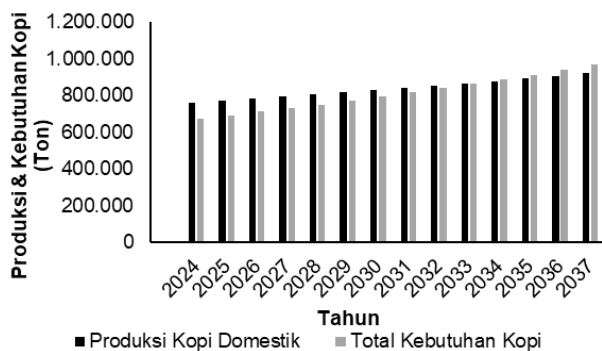
tersebut, produksi kopi domestik tidak hanya mencukupi total kebutuhan, tetapi juga menunjukkan surplus. Namun, pada tahun 2035 hingga 2037, produksi kopi domestik tidak lagi mampu memenuhi total kebutuhan kopi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Kondisi ini mengindikasikan bahwa, tanpa adanya intervensi, Indonesia berpotensi menghadapi defisit pasokan kopi domestik. Oleh karena itu, diperlukan strategi peningkatan produksi, pengendalian ekspor, atau ketergantungan pada impor untuk menjaga keseimbangan pasokan kopi nasional.

Pada skenario pertama, rata-rata pertambahan luas TBM sebesar 4.530 hektar, luas TM sebesar 4.023 hektar, luas TTM sebesar 1.264 hektar, dan peningkatan produktivitas sebesar 0,83 ton/ha setiap tahunnya digunakan untuk mencapai volume produksi kopi domestik yang disimulasikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi kopi domestik mampu memenuhi total kebutuhan kopi pada awal periode (2024–2034), bahkan mengalami surplus. Namun, mulai tahun 2035 hingga 2037, produksi kopi domestik tidak lagi mampu mencukupi total kebutuhan kopi dan terjadi defisit. Fenomena ini mencerminkan ketidakseimbangan sistem yang disebabkan oleh ketidaksesuaian antara laju pertumbuhan konsumsi kopi domestik dan ekspor kopi yang terus meningkat dengan kapasitas produksi kopi domestik yang cenderung stagnan.

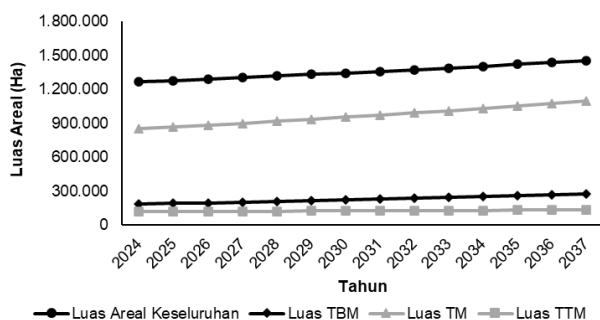
Pada awal periode, sistem produksi kopi masih mendapat dukungan dari tanaman kopi yang berada dalam usia produktif dan belum mengalami penurunan hasil secara signifikan. Namun, seiring berjalannya waktu, berbagai faktor seperti keterbatasan perluasan areal tanam, rendahnya produktivitas (lebih dari 50% perkebunan kopi di wilayah penghasil utama memiliki produktivitas rendah dan efisiensi teknis sedang), serta penuaan tanaman, berpotensi menyebabkan penurunan produksi kopi domestik (Ruslan, 2021; Zen & Budiasih, 2019). Di sisi lain, permintaan dari pasar domestik dan ekspor menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Konsumsi kopi domestik terus meningkat seiring dengan perubahan gaya hidup masyarakat dan berkembangnya industri produk olahan kopi, sementara ekspor tetap menjadi fokus utama dalam menjaga kontribusi terhadap devisa negara. Ketidakseimbangan antara peningkatan permintaan dan keterbatasan pasokan menjadi faktor utama ketidakstabilan sistem. Dengan demikian, skenario pertama ini menegaskan bahwa ketergantungan pada sistem yang berjalan tanpa adanya perubahan komponen atau intervensi kebijakan membawa risiko besar terhadap keberlanjutan pasokan kopi domestik di masa mendatang.



Gambar 5. Produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario kedua



Gambar 6. Hasil simulasi produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario kedua



Gambar 7. Kebutuhan dan peningkatan luas areal produksi kopi skenario kedua

2. Skenario Peningkatan Luas Areal dan Konsumsi Kopi Domestik

Produksi kopi domestik dipengaruhi oleh beberapa variabel, salah satunya adalah luas areal tanam yang terdiri atas luas TBM, luas TM, dan luas TTM. Pada dasarnya, pembukaan lahan baru untuk menunjang produksi kopi domestik diklasifikasikan sebagai penambahan luas TBM, yang seiring waktu akan beralih menjadi TM. Dengan demikian, produksi kopi domestik dipengaruhi oleh laju pertumbuhan luas TBM. Sementara itu, konsumsi kopi domestik merupakan akumulasi dari konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan, sehingga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan keduanya. Pada skenario kedua, laju pertumbuhan luas TBM ditingkatkan dari 2,14% menjadi 3,14%, atau mengalami peningkatan sebesar 1%. Laju pertumbuhan konsumsi kopi bubuk meningkat dari -1% menjadi 1%, sedangkan laju pertumbuhan konsumsi kopi instan meningkat dari 3% menjadi 4%. Peningkatan ini didasari oleh penurunan luas lahan kopi, khususnya kopi robusta, akibat alih fungsi lahan, di tengah meningkatnya permintaan pasar global maupun domestik terhadap kopi.

Pada skenario kedua, pola kecenderungan produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5. Peningkatan laju pertumbuhan konsumsi kopi bubuk dan kopi instan, yang disertai dengan peningkatan laju pertumbuhan luas TBM, menyebabkan tren kenaikan baik pada sisi produksi maupun kebutuhan kopi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa selama periode 2024 hingga 2037, produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2024 hingga 2033, produksi kopi domestik masih mampu memenuhi total kebutuhan kopi, mencakup permintaan ekspor dan konsumsi domestik, bahkan menunjukkan surplus. Namun, pada tahun 2034 hingga 2037, produksi kopi domestik tidak lagi mampu mencukupi total kebutuhan

kopi, sehingga terjadi defisit sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

Kondisi tersebut menuntut intervensi kebijakan dari pemerintah, baik melalui peningkatan produksi, impor kopi, maupun pengendalian volume ekspor. Selain itu, skenario kedua ini menunjukkan perlunya peningkatan luas areal tanam, terutama pada luas TBM dan luas TM, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Rata-rata pertambahan luas TBM sebesar 7.073 hektar per tahun, dan luas TM sebesar 6.185 hektar per tahun, untuk mencapai volume produksi kopi domestik tersebut. Adapun luas TTM dan tingkat produktivitas tetap mengikuti konfigurasi pada skenario pertama, yaitu masing-masing dengan pertambahan rata-rata sebesar 1.264 hektar per tahun dan 0,83 ton/ha per tahun.

Skenario kedua mengasumsikan adanya peningkatan luas areal tanam dan konsumsi kopi domestik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun produksi mampu memenuhi kebutuhan hingga tahun 2033, sistem kembali mengalami defisit mulai tahun 2034. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan luas areal semata tidak cukup untuk mengimbangi pertumbuhan konsumsi dan ekspor kopi dalam jangka panjang. Salah satu penyebab utamanya adalah adanya keterlambatan (*delay*) dalam kontribusi produksi dari lahan baru, karena tanaman kopi membutuhkan waktu sekitar tiga hingga empat tahun untuk memasuki fase produktif (TM) (Rosyady, Wijaya, Wulanjari, & Farisi, 2023). Akibatnya, perluasan lahan tidak serta-merta meningkatkan *output*, melainkan menciptakan kesenjangan pasokan dalam jangka menengah. Di sisi lain, ekspor kopi dan konsumsi domestik mengalami peningkatan yang signifikan, didorong oleh pertumbuhan industri kopi dan perubahan pola konsumsi masyarakat (Amrihani & Ritonga, 2021).

Peningkatan konsumsi domestik yang diasumsikan dalam skenario ini juga mempercepat terjadinya titik defisit. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem tidak mampu mengejar laju pertumbuhan permintaan yang lebih cepat dibandingkan peningkatan kapasitas produksi. Dengan demikian, skenario kedua menegaskan bahwa ekspansi lahan tanpa disertai peningkatan efisiensi dan produktivitas tidak cukup untuk menjamin keberlanjutan sistem produksi kopi dalam jangka panjang.

3. Skenario Peningkatan Produktivitas dan Konsumsi Kopi Domestik

Produktivitas kopi merupakan jumlah kopi yang dihasilkan per hektar dalam satu tahun, sehingga peningkatan produktivitas menjadi faktor krusial yang memengaruhi volume produksi kopi domestik. Pada skenario ketiga, diasumsikan bahwa laju pertumbuhan produktivitas kopi meningkat menjadi 2%, dengan laju pertumbuhan konsumsi kopi bubuk dan kopi instan tetap mengikuti skenario kedua, yaitu masing-masing sebesar 1% dan 4%. Asumsi ini didasarkan pada kenyataan bahwa tingkat produktivitas kopi di Indonesia masih tergolong rendah dibandingkan dengan negara-negara produsen utama lainnya, seperti Brasil dan Vietnam. Indonesia menempati posisi ke-14 dalam hal produktivitas kopi global (Sarvina et al., 2020). Rendahnya produktivitas ini berdampak pada penurunan luas panen atau areal TM, yang pada akhirnya memengaruhi volume produksi kopi domestik dan kapasitas ekspor. Sementara itu, permintaan kopi di pasar global terus meningkat, seiring dengan bertambahnya konsumsi kopi dunia.

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 8, produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi menunjukkan tren peningkatan yang konsisten selama periode 2024 hingga 2037. Dengan adanya peningkatan produktivitas, produksi kopi domestik mampu memenuhi

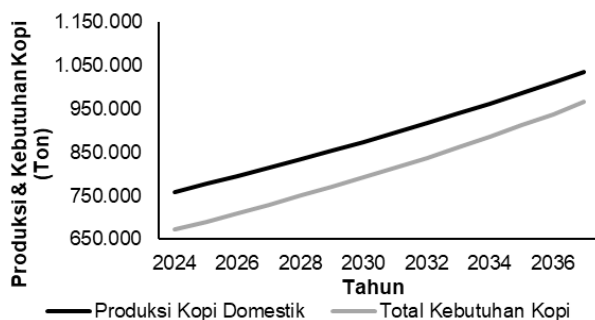
total kebutuhan kopi, baik untuk keperluan ekspor maupun konsumsi domestik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Bahkan, terjadi surplus produksi selama periode tersebut. Skenario ini juga menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas kopi menjadi faktor kunci dalam mendukung peningkatan volume produksi, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 10. Peningkatan produktivitas tahunan tersebut berkontribusi langsung terhadap penurunan impor kopi, sehingga memperkuat kemandirian pasokan dalam negeri.

Skenario ketiga menunjukkan bahwa produktivitas merupakan faktor penentu paling kritis dalam menjaga keseimbangan antara produksi kopi dan total kebutuhan kopi. Peningkatan produktivitas memungkinkan diperolehnya hasil produksi yang lebih besar dari lahan yang tersedia. Secara langsung dan relatif cepat, peningkatan produktivitas kopi meningkatkan produksi per satuan luas TM. Bahkan dengan laju pertumbuhan luas TM yang rendah, peningkatan produktivitas mampu memberikan efek multiplikatif yang signifikan terhadap *output* produksi kopi domestik. Meskipun peningkatan konsumsi kopi domestik menyebabkan total kebutuhan kopi terus bertambah, dampak positif dari peningkatan produktivitas di sisi produksi terbukti lebih dominan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan sisi penawaran yang berfokus pada efisiensi, dalam hal ini produktivitas, dapat secara efektif mendukung pertumbuhan permintaan tanpa menimbulkan defisit pasokan.

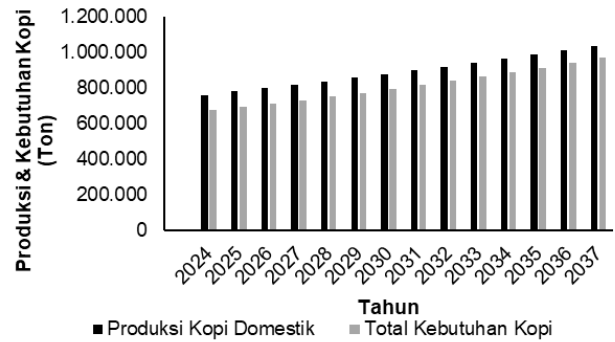
Temuan dalam skenario ketiga juga menegaskan bahwa strategi intensifikasi pertanian lebih efektif dibandingkan dengan strategi ekstensifikasi atau perluasan lahan dalam jangka panjang. Upaya intensifikasi dapat dilakukan melalui peremajaan tanaman, penggunaan varietas unggul, pelatihan petani, serta adopsi teknologi pertanian (Suara, Widia, & Gunadnya, 2018; Sundari et al., 2024). Strategi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memperkuat daya tahan sistem produksi kopi domestik dalam menghadapi dinamika permintaan pasar, baik global maupun domestik.

Validasi Model

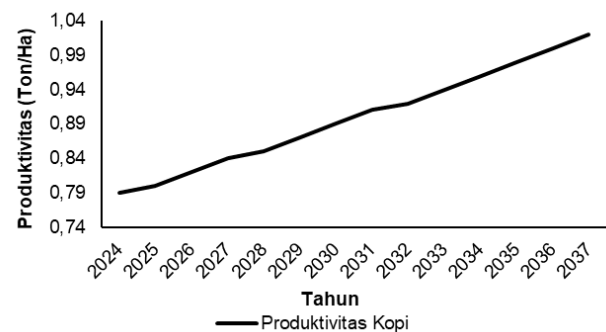
Validasi model dilakukan dengan menggunakan metode uji MAPE, yang membandingkan hasil simulasi dengan data aktual dari sistem nyata. Uji ini diterapkan pada empat variabel, yaitu produksi kopi domestik, total kebutuhan kopi, produktivitas, dan luas areal. Untuk keperluan validasi, periode simulasi disesuaikan menjadi tahun 2017 sebagai waktu awal dan tahun 2021 sebagai waktu akhir, dengan asumsi bahwa formulasi model didasarkan pada data tahun 2016 atau data sebelum periode simulasi uji validasi dilakukan.



Gambar 8. Produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario ketiga



Gambar 9. Hasil simulasi produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi skenario ketiga



Gambar 10. Kebutuhan atau peningkatan produktivitas kopi skenario ketiga

Pada tahap ini, parameter pertumbuhan yang digunakan dalam simulasi validasi mencakup laju pertumbuhan luas TBM sebesar 2,86%, luas TM sebesar -0,42%, luas TTM sebesar 0,4%, dan produktivitas sebesar 0,37%. Sementara itu, laju pertumbuhan ekspor dan impor kopi masing-masing sebesar 0,56% dan 30,7%, sedangkan laju pertumbuhan konsumsi kopi bubuk dan konsumsi kopi instan berturut-turut sebesar -2% dan 1,39%.

Hasil pengujian validasi menunjukkan bahwa nilai MAPE untuk variabel produksi kopi domestik dan produktivitas masing-masing adalah 9,56% dan 1,68%. Nilai tersebut berada di bawah 10%, yang mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Sementara itu, variabel total kebutuhan kopi dan luas areal memiliki nilai MAPE sebesar 11,89% dan 10,56%, yang berada dalam rentang 10-20%. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik. Hasil validasi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa model yang dibangun mampu merepresentasikan dinamika sistem produksi dan kebutuhan kopi domestik dengan baik, serta layak digunakan untuk peramalan dan analisis skenario kebijakan. Meskipun terdapat variasi tingkat akurasi antarvariabel, hal tersebut wajar terjadi akibat variabilitas data historis dan faktor eksternal yang tidak seluruhnya dapat dimodelkan secara eksplisit. Oleh karena itu, model tetap dinilai memadai untuk mendukung pengambilan keputusan strategis di sektor kopi nasional.

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap parameter kunci yang paling memengaruhi proyeksi produksi kopi domestik, menggunakan fitur *running sensitivity* pada perangkat lunak STELLA. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan dua parameter utama, yaitu laju pertumbuhan luas TBM dan laju pertumbuhan produktivitas, masing-masing sebesar $\pm 50\%$

dari nilai dasar (*baseline*) model. Rentang $\pm 50\%$ ini dipilih untuk mengeksplorasi kemungkinan terjadinya skenario ekstrem, baik berupa keberhasilan maupun kegagalan signifikan dalam pelaksanaan program pembangunan atau akibat perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, rentang tersebut digunakan untuk menguji batas ekstrem perilaku model serta mengidentifikasi potensi titik kritis (*tipping points*) atau perubahan fundamental dalam dinamika sistem. Fokus analisis sensitivitas pada dua parameter tersebut dilakukan karena keduanya dianggap paling dominan dalam memengaruhi produksi kopi domestik, sehingga memastikan bahwa hasil proyeksi model bersifat *robust* terhadap ketidakpastian.

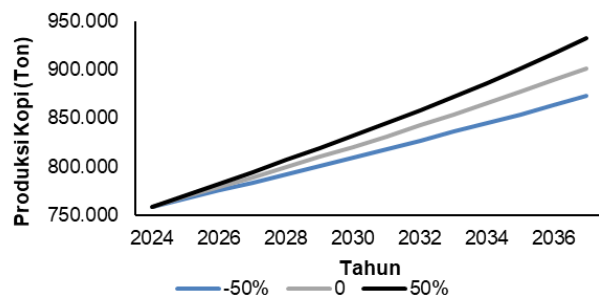
Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi kopi domestik memiliki sensitivitas positif terhadap perubahan laju pertumbuhan luas TBM. Peningkatan laju pertumbuhan TBM secara konsisten menghasilkan volume produksi kopi yang lebih tinggi, dan sebaliknya. Pada akhir periode simulasi, yaitu tahun 2037, produksi kopi domestik pada skenario $+50\%$ luas TBM mencapai 931.911 ton, sedangkan pada skenario -50% menurun menjadi 872.927 ton, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Perbedaan ini menunjukkan adanya rentang produksi sekitar 58.984 ton akibat variasi laju pertumbuhan TBM sebesar 100% (dari -50% hingga $+50\%$). Grafik juga menunjukkan bahwa divergensi antara ketiga skenario semakin melebar seiring berjalannya waktu, mengindikasikan dampak kumulatif jangka panjang dari kebijakan atau tren peningkatan areal. Temuan ini menegaskan bahwa strategi perluasan atau peremajaan areal tanam membutuhkan visi dan investasi jangka panjang untuk menghasilkan dampak yang signifikan terhadap produksi kopi domestik.

Produksi kopi domestik juga menunjukkan sensitivitas positif terhadap laju pertumbuhan produktivitas. Peningkatan laju produktivitas secara langsung meningkatkan *output* per hektar, yang pada akhirnya mendorong kenaikan total produksi. Pada tahun 2037, produksi kopi domestik pada skenario $+50\%$ produktivitas mencapai 945.835 ton, sedangkan pada skenario -50% menurun menjadi 846.486 ton, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12. Perbedaan ini mencerminkan rentang produksi sebesar 99.367 ton akibat variasi laju pertumbuhan produktivitas sebesar 100% . Grafik menunjukkan divergensi yang kuat antarskenario sejak awal simulasi dan terus melebar seiring waktu, yang menggarisbawahi tingginya efektivitas intervensi kebijakan yang berfokus pada peningkatan produktivitas.

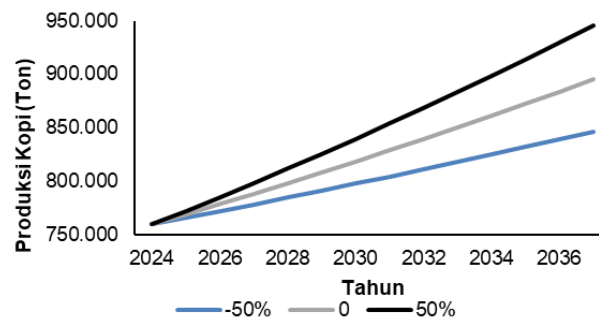
Melalui perbandingan kedua analisis sensitivitas, teridentifikasi bahwa produksi kopi domestik lebih sensitif terhadap perubahan laju pertumbuhan produktivitas dibandingkan terhadap laju pertumbuhan luas TBM. Variasi sebesar 100% pada laju pertumbuhan produktivitas menghasilkan rentang perubahan produksi sekitar 99.367 ton, sedangkan variasi yang sama pada laju pertumbuhan luas TBM menghasilkan rentang sekitar 58.984 ton. Temuan ini mengindikasikan bahwa laju pertumbuhan produktivitas merupakan parameter dengan *leverage point* paling kuat dalam sistem produksi kopi domestik.

Tabel 6. Hasil uji validasi MAPE

Variabel	Nilai MAPE (%)
Produksi Kopi Domestik	9,56
Total Kebutuhan Kopi	11,89
Luas Areal	10,56
Produktivitas	1,68



Gambar 11. Hasil analisis sensitivitas laju pertumbuhan luas tbm terhadap produksi kopi domestik



Gambar 12. Hasil analisis sensitivitas laju pertumbuhan produktivitas terhadap produksi kopi domestik

Secara keseluruhan, hasil model ini menunjukkan tingkat kekokohan (*robustness*) yang baik, karena mampu merespons perubahan parameter kritis secara logis dan konsisten dengan pemahaman terhadap sistem. Produksi selalu meningkat seiring dengan peningkatan nilai parameter dan menurun ketika parameter mengalami penurunan. Tingkat sensitivitas yang teridentifikasi memberikan wawasan penting mengenai area yang memiliki pengaruh terbesar terhadap perilaku sistem, serta menunjukkan di mana ketidakpastian data atau implementasi kebijakan berpotensi menimbulkan konsekuensi yang paling signifikan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model dinamik yang komprehensif untuk memproyeksikan produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi di Indonesia hingga tahun 2037. Model ini mampu mengintegrasikan berbagai variabel kunci, hubungan sebab-akibat, serta dinamika umpan balik yang kompleks dalam sistem pasokan dan permintaan kopi. Hasil validasi model menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai MAPE di bawah 20% , sehingga model dinilai mampu mereplikasi perilaku historis sistem secara konsisten dan dapat diandalkan.

Model menunjukkan bahwa hingga tahun 2034, produksi kopi domestik masih dapat memenuhi total kebutuhan kopi Indonesia, yang terdiri dari konsumsi kopi domestik dan ekspor kopi. Namun, mulai tahun 2035 hingga 2037, terjadi defisit pasokan, di mana produksi kopi domestik tidak lagi mampu memenuhi total kebutuhan kopi. Pada tahun 2037, produksi kopi domestik diperkirakan sebesar 894.831 ton, sedangkan total kebutuhan kopi mencapai 925.806 ton. Proyeksi ini diperoleh dengan rata-rata pertambahan luas TBM sebesar 4.530 hektar, luas TM sebesar 4.023 hektar, luas TTM sebesar 1.264 hektar, dan produktivitas sebesar 0,83 ton/ha setiap tahunnya.

Tiga skenario dianalisis dalam penelitian ini, yaitu: (1) skenario tanpa perubahan komponen; (2) skenario

peningkatan luas areal dan konsumsi kopi domestik; (3) skenario peningkatan produktivitas dan konsumsi kopi domestik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario tiga merupakan skenario paling efektif dalam menjaga keseimbangan antara produksi kopi domestik dan total kebutuhan kopi hingga akhir periode simulasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan produktivitas merupakan titik strategis (*leverage point*) yang paling krusial dalam menjaga ketahanan kopi.

Analisis sensitivitas memperkuat temuan tersebut. Produksi kopi domestik lebih sensitif terhadap perubahan laju pertumbuhan produktivitas dibandingkan terhadap laju pertumbuhan luas TBM. Variasi sebesar $\pm 50\%$ pada laju pertumbuhan produktivitas menghasilkan rentang perubahan produksi sekitar 99.367 ton, sedangkan variasi yang sama pada laju pertumbuhan luas TBM hanya menghasilkan rentang sekitar 58.984 ton. Perbedaan ini secara kuantitatif mendukung bahwa investasi dalam peningkatan produktivitas memberikan dampak yang lebih signifikan dan efisien dibandingkan dengan perluasan areal tanam semata.

Model dinamik ini dapat menjadi alat bantu kebijakan yang strategis dalam mengantisipasi risiko defisit kopi nasional, memahami perilaku sistem dalam jangka panjang, serta merumuskan intervensi yang tepat. Untuk mewujudkan kemandirian kopi dan meningkatkan kesejahteraan petani di Indonesia, kebijakan pembangunan sektor kopi sebaiknya difokuskan pada peningkatan produktivitas yang berkelanjutan, melalui program peremajaan lahan, penerapan teknologi pertanian, dan strategi adaptif terhadap perubahan iklim.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan dalam model ini, terdapat sejumlah hal yang dapat dieksplorasi lebih lanjut dalam penelitian mendatang guna memperkaya pemahaman mengenai dinamika sektor kopi di Indonesia. Model dapat dikembangkan dengan memodelkan secara eksplisit dinamika harga kopi domestik dan global, serta pengaruh fluktuasi harga dan keuntungan terhadap keputusan petani. Selain itu, integrasi variabel perubahan iklim secara lebih rinci ke dalam modul produktivitas dan luas areal juga perlu dilakukan untuk menghasilkan proyeksi yang lebih tangguh terhadap tantangan lingkungan. Perluasan analisis sensitivitas terhadap parameter-parameter kunci lainnya yang berpotensi penting. Selain itu, model juga dapat diuji pada tingkat provinsi atau wilayah penghasil kopi utama untuk memperoleh pemahaman spasial yang lebih rinci mengenai sistem produksi dan kebutuhan kopi. Dengan pengembangan tersebut, model akan memiliki kapasitas yang lebih baik dalam mendukung perumusan kebijakan berbasis bukti untuk keberlanjutan industri kopi nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kolaborasi Penelitian Strategis (KATALIS) Kemdiktisaintek atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwinata, N. N., Sumarwan, U., & Simanjuntak, M. (2021). Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Perilaku Konsumsi Kopi di Era Pandemi Covid-19. *Jurnal Ilmu Keluarga Dan Konsumen*, 14(2), 189–202. <https://doi.org/10.24156/jikk.2021.14.2.189>
- Amrihani, H. A., & Ritonga, R. (2021). Nikmat Kopi dan Budaya Konsumerisme dalam Status Sosial Masyarakat Kota. *Warta ISKI*, 4(2), 89–98. <https://doi.org/10.25008/wartaiski.v4i2.133>
- Ananda, A. N., Azzahra, T. S., Susanti, W., & Wikansari, R. (2023). Analisis Daya Saing Ekspor Kopi Indonesia Pada Pasar Internasional. *AGRO RADIX: Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(1), 128–135. <https://doi.org/10.52166/agroteknologi.v7i1.5281>
- Chang, P.-C., Wang, Y.-W., & Liu, C.-H. (2007). The development of a weighted evolving fuzzy neural network for PCB sales forecasting. *Expert Systems with Applications*, 32(1), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.11.021>
- Jenderal, S., & Pertanian, K. (2023). Buku Outlook Komoditas Perkebunan Kopi.
- Manalu, D. S. T., Harianto, H., Suharno, S., & Hartoyo, S. (2019). Posisi Daya Saing dan Kinerja Ekspor Kopi Indonesia di Pasar Global. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 3(4), 830–839. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2019.003.04.18>
- Medya, N., & Kamila, I. (2022). Metode Double Exponential Smoothing Dalam Peramalan Jumlah Pemohon Paspor. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 2, 23–31.
- Nugroho, D. C., Sari, D., & Kholil, A. Y. (2021). Prospek Peningkatan Produksi Kopi (Coffea Sp) di Indonesia. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3877510>
- Pujianto, W. E., Yulianto, M. R., Pebrianggara, A., & Widayasmara, B. A. (2024). Coffee Shop dan Perubahan Gaya Hidup Mahasiswa Muslim di Sidoarjo. *Journal of Economic and Economic Policy*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.61796/ijecep.v1i1.6>
- Putra, I. B. G. Y. J., & Sudibia, I. K. (2023). Pengaruh Modal, Tenaga Kerja, Teknologi dan Luas Lahan Terhadap Produksi dan Pendapatan Petani Kopi di Kecamatan Kintamani. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi (MEA)*, 7(3), 399–415. <https://doi.org/10.31955/mea.v7i3.3370>
- Rosyady, M. G., Wijaya, K. A., Wulanjari, D., & Farisi, O. A. (2023). Pendampingan Good Agriculture Practices (Gap) Tanaman Kopi Belum Menghasilkan Tahun 2 Dan Menghasilkan Tahun 1 Dalam Optimalisasi Terbentuknya Desa Sentral Kopi. *Literasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Inovasi*, 3(1), 408–413. <https://doi.org/10.58466/literasi.v3i1.863>
- Ruslan, K. (2021). Produktivitas Perkebunan Indonesia: Kopi, Tebu dan Kakao. Jakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.35497/349328>
- Sa'adah, A. F., Fauzi, A., & Juanda, B. (2017). Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 17(2), 118–137. <https://doi.org/10.21002/jepi.v17i2.02>
- Saputera, D. (2022). Analisis Kinerja dan Prospek Komoditas Kopi Indonesia di Pasar Domestik dan Internasional. *Jurnal Bisnis, Ekonomi, Dan Sains*, 1(2), 87–95. <https://doi.org/10.33197/bes.vol1.iss2.2021.826>
- Sarvina, Y., June, T., Surmaini, E., Nurmalina, R., & Hadi, S. S. (2020). Strategi Peningkatan Produktivitas Kopi serta Adaptasi terhadap Variabilitas dan Perubahan Iklim melalui Kalender Budidaya. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 65. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.65-78>
- Sarvina, Y., June, T., Sutjahjo, S. H., Nurmalina, R., & Surmaini, E. (2021). Why Should Climate Smart Agriculture Be Promoted in the Indonesian Coffee Production System? *Journal Of Sustainability Science and Management*, 16(7), 347–363. <https://doi.org/10.46754/jssm.2021.10.024>

- Setiawan, I. (2016). Peran Sektor Pertanian Dalam Penyerapan Tenaga Kerja di Indonesia. *Jurnal Geografi Gea*, 6(1). <https://doi.org/10.17509/gea.v6i1.1733>
- Sitohang, M. (2022). Prospek Swasembada Gula Indonesia Menggunakan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Agriust*, 67–76. <https://doi.org/10.54367/agriust.v2i2.2255>
- Suara, K. A., Widia, I. W., & Gunadnya, I. B. P. (2018). Pemahaman Petani Tentang Budidaya Kopi Arabika dan Pengaruhnya Terhadap Produktivitas Hasil Panen. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 6(2), 64. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2018.v06.i02.p02>
- Sundari, S., Kustiari, T., Agustinus, D., Kusuma, A. A., & Dhamayanthi, W. (2024). Pendampingan Pembuatan Kebun Pembibitan Kopi Bercita Rasa Unggul Pada Kelompok Usaha Bersama Arum Sukmo Jember. *Jurnal Abdimas Sang Buana*, 5(1), 25–34. <https://doi.org/10.32897/abdimasusb.v5i1.3577>
- Syifahati, T., Triska, A., & Nahar, J. (2023). Forecasting the Indonesian Coffee Production and Consumption Using the Modified Golden Section Search to Estimate the Smoothing Parameters. *Jurnal Matematika Integratif*, 19(1), 43. <https://doi.org/10.24198/jmi.v19.n1.44573.41-54>
- USDA. (2023). 2023/2024 Coffee Production. U. S. Department of Agriculture.
- Widhianthini, W. (2019). Implementasi Sistem Dinamik Dalam Bidang Pertanian. *SOCA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 161. <https://doi.org/10.24843/SOCA.2018.v12.i02.p03>
- Zen, F., & Budiasih, B. (2019). Produktivitas dan Efisiensi Teknis Usaha Perkebunan Kopi di Sumatera Selatan dan Lampung. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 72–86. <https://doi.org/10.21002/jepi.v0i0.1061>