

Pendekatan Sistem Dinamis untuk Pengelolaan Lingkungan Pertanian dalam Meningkatkan Profit dan Ketahanan Pangan Berkelanjutan

Nabila Dwi Isa Melandari¹, Hery Murnawan²

^{1,2}Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ¹nabilabela789@email.com, ²herymurnawan@untag-sby.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ¹nabilabela789@email.com

Abstrak– Desa Pasirharjo dalam penelitian ini dianalisis bertujuan untuk merancang strategi ketahanan pangan berkelanjutan melalui pendekatan sistem dinamis, dengan studi kasus di Desa Pasirharjo, Kecamatan Talun, Kabupaten Blitar. Fokus utama penelitian adalah pengurangan penggunaan pupuk dan pestisida kimia, peningkatan pH tanah, serta optimalisasi hasil pertanian guna meningkatkan profitabilitas petani dan menjaga keberlanjutan sistem pertanian desa. Metode penelitian melibatkan analisis faktor menggunakan SmartPLS untuk mengidentifikasi variabel-variabel kunci, serta pemodelan sistem dinamis dengan bantuan software STELLA untuk mensimulasikan skenario kebijakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di Desa Pasirharjo, pengurangan pupuk kimia sebesar 20–30% dan peralihan ke pupuk organik dapat menurunkan biaya produksi hingga 32%/tahun atau sekitar Rp1,068,635,888/tahun. Penggunaan pestisida nabati juga memberikan dampak positif, meskipun belum seefektif strategi pengelolaan pupuk dan pH tanah. Oleh karena itu, pelatihan, pendampingan, dan penguatan kapasitas petani menjadi hal yang diperlukan. Secara keseluruhan, model sistem dinamis terbukti efektif dalam merancang kebijakan pertanian berkelanjutan yang mampu meningkatkan efisiensi, produksi, dan ketahanan pangan desa.

Kata Kunci: Ketahanan pangan, sistem dinamis, pupuk organik, pestisida nabati, biaya produksi, profitabilitas petani.

Abstract– Pasirharjo Village in this study was analyzed with the aim of designing a sustainable food security strategy using a system dynamics approach, with a case study in Pasirharjo Village, Talun District, Blitar Regency. The main focus of the research is the reduction of chemical fertilizers and pesticides, the improvement of soil pH, and the optimization of agricultural yields to increase farmers' profitability and ensure the sustainability of the village farming system. The research method involved factor analysis using SmartPLS to identify key variables, as well as system dynamics modeling using STELLA software to simulate policy scenarios. The results showed that in Pasirharjo Village, reducing chemical fertilizers by 20–30% and switching to organic fertilizers could reduce production costs by up to 32% per year, or approximately IDR 1,068,635,888 annually. The use of botanical pesticides also had a positive impact, although it was not as effective as fertilizer and soil pH management strategies. Therefore, training, assistance, and capacity building for farmers are essential. Overall, the system dynamics model proved to be effective in designing sustainable agricultural policies that enhance efficiency, production, and local food security.

Keywords: Food security, system dynamics, organic fertilizer, botanical pesticide, production cost, farmer profitability.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan potensi besar di sektor pertanian, khususnya sebagai salah satu produsen beras utama secara global [1]. Selama lebih dari satu dekade, Indonesia mempertahankan posisinya sebagai produsen beras, namun masih menghadapi tantangan kompleks di sektor pertanian [2]. Beras berperan penting dalam sistem pangan global sebagai sumber utama karbohidrat bagi sekitar 2,5 miliar penduduk, terutama di Asia, serta menjadi bagian dari budaya konsumsi masyarakat [3]. Di Indonesia, beras (*Oryza sativa*) adalah makanan pokok utama. Jawa Timur, sebagai salah satu lumbung pangan nasional, memiliki potensi besar karena kondisi agroklimatnya yang mendukung [4]. Namun, peningkatan jumlah penduduk mendorong lonjakan permintaan pangan, sehingga ketahanan pangan menjadi kebijakan strategis untuk menjamin pasokan pangan yang berkelanjutan [5]. Di sisi lain, sektor pertanian Indonesia menghadapi risiko krisis air akibat pengelolaan yang tidak optimal, irigasi yang tidak efisien, serta kelemahan regulasi dan kelembagaan [6].

Agribisnis merupakan suatu sistem yang mencakup seluruh aktivitas yang terkait dengan produksi, pemrosesan, hingga distribusi hasil pertanian. Agribisnis juga menjadi tumpuan dalam pembangunan pertanian berkelanjutan karena secara langsung berdampak pada efisiensi penggunaan sumber daya, peningkatan produktivitas, dan kesejahteraan petani. Dalam konteks ketahanan pangan, agribisnis yang efisien dan berkelanjutan menjadi faktor penentu dalam menciptakan sistem pangan yang tangguh dan mandiri, terutama dalam menghadapi ketidakpastian iklim, krisis global, serta tekanan ekonomi dan geopolitik [7]. Ketahanan pangan nasional bukan hanya merupakan isu strategis di tingkat nasional, melainkan juga memiliki akar yang kuat di tingkat lokal. Desa sebagai unit terkecil dalam sistem administrasi negara memiliki peran penting dalam menjamin ketersediaan dan aksesibilitas pangan. Dalam konteks ini, optimalisasi pertanian desa secara berkelanjutan menjadi sangat penting [8]. Kabupaten Blitar merupakan salah satu wilayah potensial dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2023), Kabupaten Blitar memiliki luas lahan mencapai 158.879 hektare yang terbagi ke dalam 22 kecamatan, di mana sebagian besar digunakan untuk aktivitas pertanian [9]. Kecamatan Talun merupakan satu dari dua puluh dua wilayah kecamatan di Kabupaten Blitar. Forum Koordinasi Pimpinan Daerah (Forkopimda) Blitar Raya mengikuti kegiatan panen raya padi serentak. Pada tahun 2024 Kabupaten Blitar memiliki luas tanah padi sebesar 31.704 hektare, dengan realisasi luasan tanam pada periode Oktober-Maret mencapai 31.257 hektare. Dalam satu

hektare lahan bisa menghasilkan 8 ton gabah kering, dengan hasil tersebut merupakan hasil yang sangat baik. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Blitar, produktivitas padi di wilayah tersebut meningkat dari 51.835 ton menjadi 118.699 ton, yang artinya terjadi lonjakan sekitar 66.864 ton. Angka tersebut sangat menunjukkan bahwa Kabupaten Blitar layak disebut sebagai salah satu lumbung pangan nasional [10]. Salah satu kecamatan dengan peran strategis dalam produksi pangan adalah Kecamatan Talun, khususnya Desa Pasirharjo yang memiliki luas wilayah 286 hektare dan karakteristik tanah yang cukup produktif. Penduduk Desa Pasirharjo sangat bergantung pada ketersediaan beras sebagai sumber pangan utama dalam kehidupan sehari-hari. Beras tidak hanya menjadi makanan pokok yang dikonsumsi setiap hari, tetapi juga merupakan bagian dari budaya konsumsi masyarakat di kedua desa tersebut. Kebutuhan akan beras menjadi faktor penting yang harus dipenuhi secara konsisten untuk menjaga ketahanan pangan rumah tangga. Berdasarkan data konsumsi rata-rata, setiap penduduk di wilayah ini membutuhkan sekitar 217,3 gram beras per hari untuk memenuhi asupan kalori dan gizi dasar [11]. Jumlah ini mencerminkan tingginya ketergantungan masyarakat terhadap komoditas padi, sehingga ketersediaannya harus dijaga melalui sistem pertanian yang produktif, efisien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, setiap kebijakan atau strategi pertanian yang diterapkan di wilayah ini harus mempertimbangkan kebutuhan konsumsi beras tersebut sebagai indikator utama dalam merancang ketahanan pangan yang ideal.

Desa Pasirharjo menunjukkan produktivitas pertanian yang tinggi, terutama pada komoditas padi, jagung, dan hortikultura seperti cabai. Namun demikian, keberlanjutan produktivitas tersebut menghadapi sejumlah tantangan. Penggunaan pupuk kimia secara intensif dalam jangka panjang menimbulkan degradasi kualitas tanah dan ketergantungan yang tinggi terhadap bahan input dari luar. Selain itu, pengendalian hama yang masih mengandalkan pestisida kimia berdampak terhadap kesehatan lingkungan dan keamanan pangan. Di sisi lain, minat generasi muda untuk terlibat dalam sektor pertanian juga semakin menurun, menyebabkan regenerasi petani berjalan lambat. Kondisi ini menuntut adanya strategi baru yang tidak hanya meningkatkan hasil produksi, tetapi juga menekan biaya operasional, menjaga keberlanjutan lingkungan, dan mendorong partisipasi generasi muda dalam pembangunan pertanian desa. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian di tingkat desa. Misalnya, penelitian oleh Nurullaili Mauliddah [5] menitikberatkan pada penggunaan pupuk organik sebagai solusi untuk menurunkan biaya produksi dan meningkatkan pendapatan petani. Namun, penelitian tersebut belum mengintegrasikan variabel lingkungan, sosial, dan ekonomi secara simultan dalam suatu sistem terpadu. Penelitian lain oleh Endah Septa [6] berfokus pada prediksi ketersediaan beras dengan pendekatan sistem dinamis, tetapi hanya terbatas pada satu komoditas dan belum memasukkan faktor intervensi kebijakan seperti penggunaan teknologi pertanian atau pengendalian hama secara alami. Berdasarkan hal tersebut, terdapat beberapa kesenjangan (gap) penelitian yang belum terjawab, yaitu:

1. Belum adanya penelitian yang mengintegrasikan aspek People, Planet, dan Profit secara menyeluruh dalam konteks ketahanan pangan berkelanjutan di desa.
2. Minimnya penggunaan model sistem dinamis berbasis simulasi kebijakan untuk mengevaluasi dampak dari pengurangan pupuk kimia, penggunaan pestisida nabati, serta pemanfaatan teknologi pertanian terhadap efisiensi biaya dan keberlanjutan sistem pertanian.
3. Kurangnya analisis proyeksi jangka panjang yang dapat menjadi dasar bagi perumusan kebijakan berbasis data dalam mendukung ketahanan pangan dan peningkatan pendapatan petani secara simultan.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini hadir untuk memberikan kontribusi baru berupa perancangan model sistem dinamis berbasis pendekatan *triple bottom line* (People, Planet, dan Profit) yang mensimulasikan dampak kebijakan pertanian berkelanjutan terhadap efisiensi biaya, produktivitas, dan kesejahteraan petani di Desa Pasirharjo. Model ini akan dibangun menggunakan perangkat lunak STELLA dan diperkuat dengan analisis faktor menggunakan SmartPLS untuk mengidentifikasi variabel-variabel kunci dalam sistem pertanian. Model ini diharapkan mampu menjawab pertanyaan strategis seperti: sejauh mana pengurangan pupuk dan pestisida kimia mampu menurunkan biaya operasional? Apa pengaruh penggunaan teknologi pertanian terhadap produktivitas dan efisiensi kerja petani? Bagaimana perubahan-perubahan tersebut berdampak pada ketersediaan pangan lokal dan tingkat keuntungan petani? Dan yang tidak kalah penting, bagaimana intervensi kebijakan yang disimulasikan dapat mempengaruhi keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang?

Lebih dari sekadar simulasi teknis, penelitian ini mengedepankan pendekatan holistik dengan mempertimbangkan interaksi antara sistem sosial, lingkungan, dan ekonomi. Hasil akhir dari model ini diharapkan dapat menjadi alat bantu pengambilan keputusan bagi pemangku kepentingan di tingkat desa dan kabupaten dalam merumuskan kebijakan pertanian yang tepat sasaran, adaptif, dan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menutup kesenjangan dari studi-studi sebelumnya, tetapi juga berkontribusi secara praktis dalam upaya pencapaian ketahanan pangan nasional berbasis lokal yang berkelanjutan dan berkeadilan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pendekatan dan Metode Penelitian

Pendekatan kuantitatif diterapkan melalui analisis *Partial Least Square* (PLS) menggunakan perangkat lunak *SmartPLS*, karena metode ini efektif untuk menangani model yang kompleks dengan banyak indikator laten serta

memperhitungkan hubungan kausal [2]. Sementara itu, pendekatan simulatif digunakan untuk memodelkan sistem pertanian dengan metode *System Dynamics* menggunakan perangkat lunak *STELLA*, yang telah banyak digunakan dalam penelitian ketahanan pangan dan simulasi kebijakan pertanian [4], [7]. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi indikator-indikator utama dari aspek *People, Planet, dan Profit* yang relevan dengan sistem pertanian di Desa Pasirharjo dan Desa Bajang. Setelah faktor utama ditentukan, model Sistem Dinamis disusun untuk menggambarkan interaksi antar variabel seperti jumlah penduduk, luas lahan, penggunaan pupuk, tingkat produksi, hingga profit petani, dengan mempertimbangkan mekanisme umpan balik (*feedback loop*) antar variabel [2], [4].

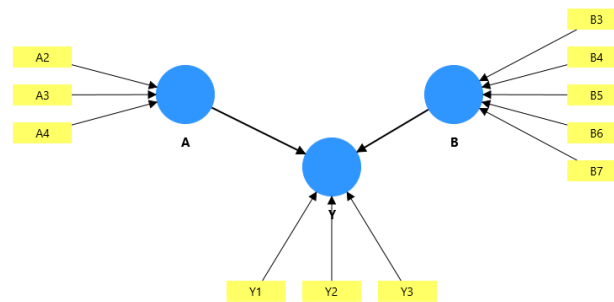
2.2 Teknik dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan studi kasus di dua desa, yaitu Desa Pasirharjo dan Desa Bajang, Kecamatan Talun, Kabupaten Blitar. Teknik pengumpulan data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada petani, wawancara langsung dengan anggota kelompok tani (Gapoktan), dan observasi lapangan. Kuesioner disusun berdasarkan indikator keberlanjutan pertanian dari aspek *People, Planet, dan Profit*. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari laporan Badan Pusat Statistik (BPS), instansi pemerintahan desa, serta dokumentasi hasil panen dan penggunaan lahan selama lima tahun terakhir. Proses penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperdalam pemahaman terkait sistem dinamis, ketahanan pangan, dan praktik pertanian berkelanjutan. Selanjutnya, dilakukan studi lapangan guna mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi petani, seperti tingginya ketergantungan terhadap pupuk kimia dan rendahnya efisiensi biaya produksi.

Data kuesioner yang telah dikumpulkan dianalisis menggunakan metode Partial Least Square (PLS) melalui software SmartPLS untuk mengidentifikasi variabel-variabel kunci yang berpengaruh terhadap keberlanjutan sistem pertanian. Hasil dari analisis ini digunakan sebagai dasar dalam pembangunan model sistem dinamis. Pemodelan sistem dilakukan dengan pendekatan Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock and Flow Diagram (SFD) menggunakan perangkat lunak *STELLA*. Model ini kemudian digunakan untuk mensimulasikan beberapa skenario kebijakan, antara lain pengurangan pupuk kimia, pemanfaatan pupuk organik dan pestisida nabati, serta peningkatan pH tanah menggunakan kapur dolomit dan pupuk kandang. Sebagai bagian dari evaluasi kebijakan, dilakukan juga analisis manajemen risiko untuk mengidentifikasi potensi kendala dalam implementasi strategi yang telah disimulasikan, khususnya terkait ketersediaan bahan baku organik. Output dari seluruh tahapan penelitian ini digunakan untuk merumuskan rekomendasi kebijakan yang mampu meningkatkan profitabilitas petani sekaligus menjaga ketahanan pangan desa secara berkelanjutan. Sub sistem yang berkaitan dengan produksi komoditas padi, jagung, dan cabai. Parameter dalam penelitian ini adalah dapat menekan biaya produksi yang dikeluarkan. Hasil proyeksi yang dilakukan, yaitu untuk mengetahui potensi keuntungan pada tahun 2019 hingga 2030.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Faktor Menggunakan *Smart PLS*



Gambar 1. Model Konstruksi

Berdasarkan hasil analisis faktor yang dilakukan, beberapa indikator yang relevan telah dipilih untuk dimasukkan ke dalam model analisis. Indikator-indikator tersebut di antaranya adalah:

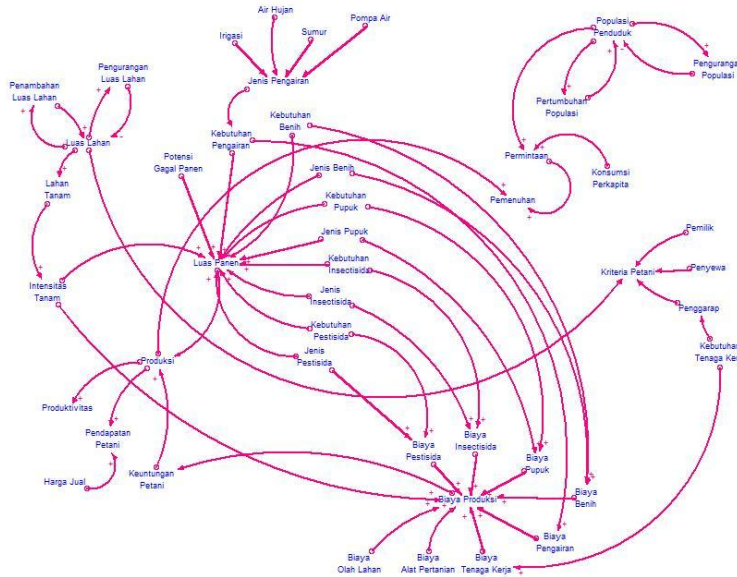
Tabel 1. Hasil Analisis Faktor

Variabel	Keterangan
A2	Pendidikan terakhir
A3	Adaptasi penggunaan teknologi
A4	Jenis alat pertanian yang digunakan
B3	Jenis pupuk yang digunakan
B4	Cuaca di wilayah tersebut teratur/tidak
B5	Tingkat hama
B6	Sumber air mencukupi/tidak
B7	Kondisi pH tanah
Y1	Profit padi MT 1
Y2	Profit jagung MT 2

Y3 Profit cabai keriting MT 3

Indikator-indikator tersebut pada tabel 1. telah terpilih berdasarkan kontribusi signifikan terhadap variabel laten yang diukur dalam penelitian ini. Setiap indikator memiliki peran penting dalam menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja petani, produktivitas pertanian, dan profitabilitas tanaman

3.1.1 Causal Loop Diagram



Gambar 2. Causal Loop Diagram

3.2 Stock and Flow Diagram

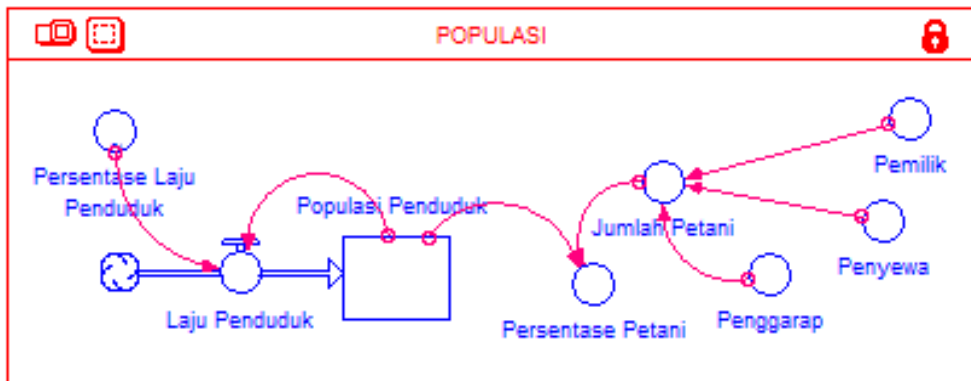
Pada tahap ini, disusun model stock and flow diagram untuk menggambarkan hubungan antar variabel yang berperan dalam sistem yang dianalisis. Model simulasi ini akan diintegrasikan dengan tiga aspek utama yang membentuk keberlanjutan pertanian, yaitu People, Planet, dan Profit.

a) Model Stock and Flow Diagram dan Formulasi Model Pada Populasi

Tabel 2. Formulasi Sub Model Populasi

Entitas-Variabel	Unit	Kategori	Formulasi
Populasi penduduk (t)	Seols	Stock	3731
Laju Penduduk	Seols/yr	Inflow	Populasi_Penduduk * Persentase Laju Penduduk
Persentase Laju Penduduk	/yr	Converter	Graph(TIME): (2019, 0.010), (2020, 0.002), (2021, 0), (2022, 0.025), (2023, 0.001)
Persentase Petani	Seols/yr	Converter	(Jumlah_Petani / Populasi_Penduduk) * 100
Jumlah Petani	Seols	Converter	Pemilik + Penyewa + Penggarap
Pemilik	Seols	Converter	93
Penyewa	Seols	Converter	106
Penggarap	Seols	Converter	1

Tabel 2. merupakan keterangan variabel dalam submodel Populasi.



Gambar 3. Stock and Flow Diagram Sub Model Populasi

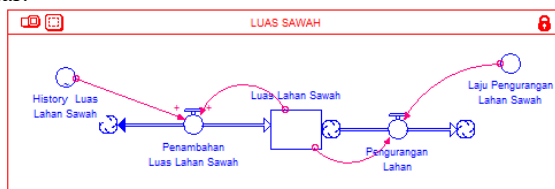
Gambar sub model populasi yang menjelaskan alur pertumbuhan jumlah penduduk yang dipengaruhi oleh persentase laju penduduk pada gambar 3.

b) Model Stock and Flow Diagram dan Formulasi Model Pada Luas Lahan Sawah

Tabel 3. Formulasi Sub Model Luas Lahan Sawah

Entitas-Variabel	Unit	Kategori	Formulasi
Luas Lahan Sawah (t)	Ha	Stock	167
Penambahan Luas Lahan Sawah	Ha/yr	Inflow	History_Luas_Lahan_Sawah * Luas_Lahan_Sawah
History Luas Lahan Sawah	/yr	Converter	Graph(TIME): (2019, 0), (2020, 0), (2021, 0), (2022, 0.096), (2023, -0.007)
Laju Pengurangan Lahan	Ha/yr	Outflow	
Pengurangan Lahan	/yr	Converter	

Tabel 3. menjelaskan variabel dalam submodel Luas Lahan Sawah. Variabel Luas Lahan Sawah merupakan stok dengan nilai awal 168 hektar.



Gambar 4. Stock and Flow Diagram Sub Model Luas Lahan Sawah

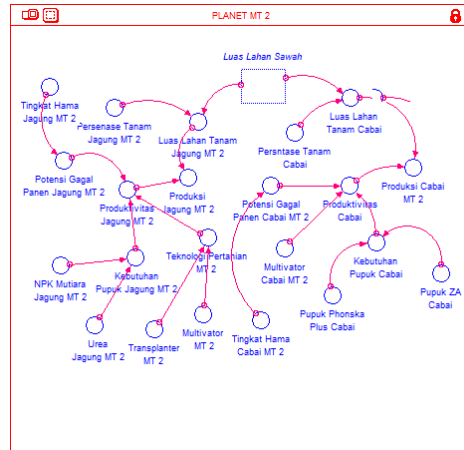
Gambar sub model luas lahan sawah pada gambar 4. menjelaskan dinamika perubahan luas lahan sawah dari waktu ke waktu.

c) Model Stock and Flow Diagram dan Formulasi Model Planet pada Musim Tanam

Tabel 4. Formulasi Sub Model Palnet

Entitas-Variabel	Unit	Kategori	Formulasi
Luas Lahan Tanam Cabai	Ha	Converter	Luas_Lahan_Sawah*Persentase_Tanam_Cabai_MT_2
Persentase Tanam Cabai	/yr	Converter	0.4
Produksi Cabai	Tons/yr	Converter	Luas_Lahan_Tanam_Cabai_MT_2*Produktivitas_Cabai_MT_2
Produktivitas Cabai	Tons/Ha	Converter	(Kebutuhan_Pupuk_Cabai/0.15)*1.3*(1-Potensi_Gagal_Panen_Cabai_MT_2)*Multivator_Cabai_MT_2
Tingkat Hama Cabai	Ha/yr	Converter	1
Potensi Gagal Panen	Ha/yr	Converter	0.08*Tingkat_Hama_Cabai_MT_2
Kebutuhan Pupuk Cabai	Ha	Converter	Pupuk_ZA_Cabai+Pupuk_Phonska_Plus_Cabai
Pupuk Phonska	Tons/Ha	Converter	0.08*7
Pupuk ZA Cabai	Tons/Ha	Converter	0.09 * 7
Multivator MT 2	Ha	Converter	0.5
Teknologi Pertanian	Ha	Converter	Multivator_MT_2
Luas Lahan Tanam Jagung	Ha	Converter	Luas_Lahan_Sawah*Persentase_Tanam_Jagung_MT_2
Persentase Tanam Jagung	/yr	Converter	0.6
Produksi Jagung	Tons/yr	Converter	Luas_Lahan_Tanam_Jagung_MT_2*Produktivitas_Jagung_MT_2
Produktivitas Jagung	Tons/Ha	Converter	((Kebutuhan_Pupuk_Jagung_MT_2/0.15)*1.2*(1-Potensi_Gagal_Panen_Jagung_MT_2)*(Teknologi_Pertanian_MT_2))
Tingkat Hama Jagung	Ha/yr	Converter	1
Potensi Gagal Panen	Ha/yr	Converter	0.08*Tingkat_Hama_Jagung_MT_2
Kebutuhan Pupuk Jagung	Ha	Converter	NPK_Mutiara_Jagung_MT_2+Urea_Jagung_MT_2
Pupuk Urea	Tons/Ha	Converter	0.1*7
NPK Mutiara Jagung MT 2	Tons/Ha	Converter	0.05 * 7
Multivator MT 2	Ha	Converter	0.5
Handtractor MT 2	Ha	Converter	0.5
Teknologi Pertanian	Ha	Converter	Multivator_MT_2+Transplanter_MT_2

Tabel 4. menunjukkan daftar variabel-entitas, satuan, dan rumus formulasi yang digunakan dalam model produksi Jagung dan Cabai.



Gambar 5. Sub Model Planet

Gambar 5. menggambarkan sebuah model sistem yang berfokus pada berbagai faktor yang memengaruhi hasil pertanian, terutama yang berkaitan dengan produksi tanaman seperti jagung dan cabai.

- d) Model Stock and Flow Diagram dan Formulasi Model Profit pada Musim Tanam
- e)

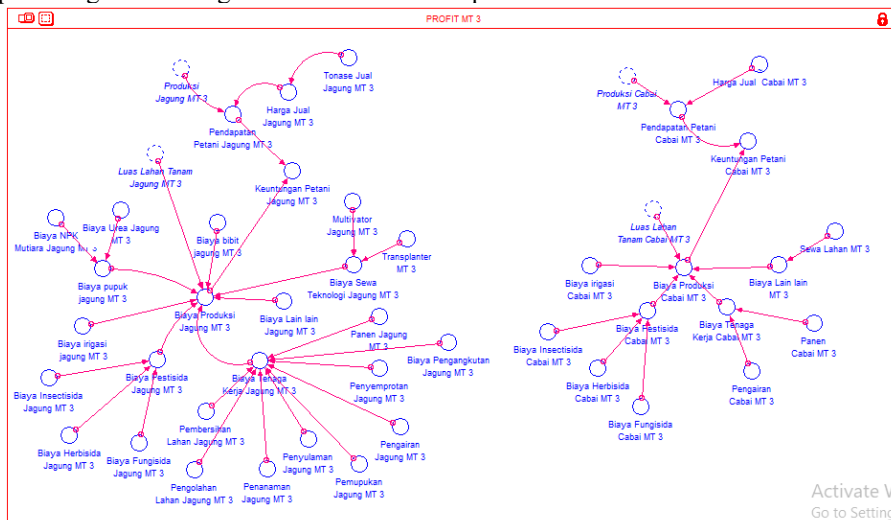
Tabel 5. Sub Model Profit Jagung
JAGUNG

Entitas-Variabel	Unit	Kategori	Formulasi
Pendapatan Petani Jagung	Rp/yr	Converter	Harga_Jual_Jagung * Produksi_Jagung
Harga Jual Jagung	Rp/tons	Converter	Tonase_Tanam_Jagung * 8500
Tonase Jual Jagung	Rp/tons	Converter	1000
Biaya Produksi Jagung	Rp/Ha	Converter	(Biaya_pupuk_Jagung + Biaya_bibit_Jagung + Biaya_Sewa_Teknologi_Jagung + Biaya_Pestisida + Biaya_Lain-lain_Jagung + Biaya_Tenaga_Kerja_Jagung) * Luas_Lahan_Tanam_Jagung
Biaya Bibit Jagung	Rp/Ha	Converter	0
Biaya Sewa Teknologi	Rp/Ha	Converter	Multivator_Jagung_MT2+Transplanter_Jagung_MT_2
Multivator Jagung	Rp/Ha	Converter	250000*7
Transplanter	Rp/Ha	Converter	250000 * 7
Biaya Lain-lain	Rp/Ha	Converter	1000000 * 7
Biaya Tenaga Kerja Jagung	Rp/Ha	Converter	Panen_Jagung_MT_2+Penyemprotan_Jagung+Pemupukan_Jagung_MT_2+Penanaman_Jagung_MT_2+Pengolahan_Lahan_Jagung_MT_2+Penyulaman_Jagung_M T_2+Pengairan_Jagung_MT_2+Pembersihan_Lahan_J agung_MT_2
Panen	Rp/Ha	Converter	400000 * 7
Penyemprotan Jagung	Rp/Ha	Converter	140000 * 7
Pemupukan Jagung	Rp/Ha	Converter	150000 * 7
Penanaman	Rp/Ha	Converter	0
Pengolahan Lahan	Rp/Ha	Converter	0
Penyulaman	Rp/Ha	Converter	60000*7
Pengairan Jagung	Rp/Ha	Converter	60000 * 7
Pembersihan Lahan	Rp/Ha	Converter	60000 * 7
Biaya Pestisida	Rp/Ha	Converter	Insectisida_Jagung_MT_2+Fungisida_Jagung_MT_2+Herbisida_Jagung_MT_2
Biaya Herbisida	Rp/Ha	Converter	100000 * 7
Biaya Fungisida	Rp/Ha	Converter	65000 * 7
Biaya Insektisida	Rp/Ha	Converter	100000 * 7
Biaya Pupuk Jagung	Rp/Ha	Converter	Urea_Jagung + NPK_Mutiara_Jagung
Biaya Pupuk Urea	Rp/Ha	Converter	250000*7
Biaya Pupuk NPK Mutiara	Rp/Ha	Converter	450000*7
Keuntungan Petani Jagung	Rp/yr	Converter	Pendapatan_Petani_Jagung – Biaya_Produksi_Jagung
Biaya Irigasi Jagung MT 2	Rp/Ha	Converter	240000*7

Tabel 6. Sub Model *Profit* Cabai
CABAI

Entitas-Variabel	Unit	Kategori	Formulasi
Pendapatan Petani Padi	Rp/yr	Converter	Harga_Jual_Padi*Produksi_Padi
Harga Jual Padi	Rp/ton s	Converter	Tonase_Tanam_Padi*6500
Tonase Jual Padi	Rp/ton s	Converter	1000
Biaya Produksi Padi	Rp/Ha	Converter	(Biaya_pupuk_Padi+Biaya_bibit_Padi+Biaya_Sewa_Teknologi_Padi+Biaya_Pestisida+Biaya_Lain_lain_Padi+Biaya_Tenaga_Kerja_Padi)*Luas_Lahan_Tanam_Padi1
Biaya Bibit Padi	Rp/Ha	Converter	75000*7
Biaya Sewa Teknologi	Rp/Ha	Converter	Combine+Handtractor_Padi
Handtractor Padi	Rp/Ha	Converter	250000*7
Combine	Rp/Ha	Converter	350000*7
Biaya Lain-lain	Rp/Ha	Converter	1000000*7
Biaya Tenaga Kerja Padi	Rp/Ha	Converter	Penanaman+Pemanenan+Menyemai_padi+Pengolahan_Lahan+Penyemprotan+Menyulam_padi+Pembersihan_Lahan+Pemupukan+Pengangkutan
Pemanenan	Rp/Ha	Converter	0
Penyemprotan	Rp/Ha	Converter	(50000*3)*7
Pemupukan	Rp/Ha	Converter	(20000*2)*7
Penanaman	Rp/Ha	Converter	250000*7
Pengolahan Lahan	Rp/Ha	Converter	0
Menyemai Padi	Rp/Ha	Converter	60000*7
Pengangkutan	Rp/Ha	Converter	100000*7
Menyulam Padi	Rp/Ha	Converter	50000*7
Pembersihan Lahan	Rp/Ha	Converter	60000*7
Biaya Pestisida	Rp/Ha	Converter	Biaya_Insectisida_Emacel+Biaya_Fungisida+Biaya_Herbisida
Biaya Herbisida	Rp/Ha	Converter	100000*7
Biaya Fungisida	Rp/Ha	Converter	88500*7
Biaya Insectisida	Rp/Ha	Converter	100000*7
Biaya Pupuk Padi	Rp/Ha	Converter	Biaya_Pupuk_ZA+Biaya_Phonska+Biaya_Urea
Biaya Pupuk ZA	Rp/Ha	Converter	250000*7
Biaya Pupuk Urea	Rp/Ha	Converter	125000*7
Biaya Pupuk Phonska	Rp/Ha	Converter	115000*7
Keuntungan Petani Padi	Rp	Converter	Pendapatan_Petani_Padi-Biaya_Produksi_Padi

Tabel 5. dan 6. adalah formulasi sub-model *profit* ini menggambarkan bagaimana berbagai faktor mempengaruhi perhitungan keuntungan dalam suatu sistem pertanian.



Gambar 6. Sub Model *Profit*



Gambar 6. ini menunjukkan stock and flow diagram profitabilitas jagung dan cabai, mulai dari komponen biaya produksi (pupuk, pestisida, tenaga kerja, sewa, dan lain-lain), yang mempengaruhi biaya total.

3.3 Pengembangan Skenario

Pengembangan skenario ini ditujukan untuk mewujudkan ketahanan pangan berkelanjutan. Dalam konteks ini, skenario-skenario tersebut dirancang untuk mengatasi tantangan yang dihadapi sektor pertanian. Berikut merupakan scenario yang di akan dikembangkan, yaitu skenario dalam pengurangan pupuk kimia dengan pupuk organik untuk meningkatkan efisiensi biaya produksi. Secara keseluruhan, penerapan pupuk organik pada komoditas pertanian seperti padi, jagung, dan cabai sebesar 20-30%, dapat menurunkan biaya operasional. Berikut merupakan hasil simulasi untuk pengurangan biaya produksi dari masing-masing komoditi setelah menggunakan pupuk organik:

Tabel 7. Hasil Skenario Pengurangan Pupuk Kimia

Tahun	Padi MT 1		Jagung MT 2		Cabai MT 2
	Base	Simulasi	Base	Simulasi	Base
2019	Rp 4,096,596,000	Rp 3,489,780,000	Rp 2,684,808,000	Rp 2,561,328,000	Rp 3,436,272,000
2020	Rp 4,121,093,644	Rp 3,510,369,702	Rp 2,700,863,152	Rp 2,576,644,741	Rp 3,456,820,907
2021	Rp 4,096,573,137	Rp 3,489,658,521	Rp 2,684,793,016	Rp 2,561,313,705	Rp 3,436,252,822
2022	Rp 4,096,573,137	Rp 3,489,658,521	Rp 2,684,793,016	Rp 2,561,313,705	Rp 3,436,252,822
2023	Rp 3,704,121,430	Rp 3,158,140,961	Rp 2,427,589,845	Rp 2,315,939,852	Rp 3,107,059,802
2024	Rp 3,728,568,632	Rp 3,178,984,692	Rp 2,443,611,938	Rp 2,331,225,055	Rp 3,127,566,396
2025	Rp 3,753,177,185	Rp 3,199,965,991	Rp 2,459,739,777	Rp 2,346,611,141	Rp 3,148,208,335
2026	Rp 3,777,948,154	Rp 3,221,085,766	Rp 2,475,974,059	Rp 2,362,098,774	Rp 3,168,986,510
2027	Rp 3,802,882,612	Rp 3,242,344,932	Rp 2,492,315,488	Rp 2,377,688,626	Rp 3,189,901,821
2028	Rp 3,827,981,637	Rp 3,263,744,409	Rp 2,508,764,770	Rp 2,393,381,371	Rp 3,210,955,173
2029	Rp 3,853,246,316	Rp 3,285,285,122	Rp 2,525,322,618	Rp 2,409,177,688	Rp 3,232,147,477
2030	Rp 3,878,677,742	Rp 3,306,968,004	Rp 2,541,989,747	Rp 2,425,078,261	Rp 3,253,479,650
Mean	Rp 3,894,786,636	Rp 3,319,665,552	Rp 2,552,547,119	Rp 2,435,150,077	Rp 3,266,991,976
%	15%		5%		9%

Tabel 8. Hasil Skenario Pengurangan Pupuk Kimia (lanjutan)

Tahun	Cabai MT 2	Jagung MT 3		Cabai MT 3	
	Simulasi	Base	Simulasi	Base	Simulasi
2019	Rp 3,118,281,600	Rp 2,674,224,000	Rp 2,596,608,000	Rp 1,162,828,800	Rp 1,162,828,800
2020	Rp 3,136,928,924	Rp 2,690,215,860	Rp 2,612,135,716	Rp 1,169,782,516	Rp 1,169,782,516
2021	Rp 3,118,264,197	Rp 2,674,209,075	Rp 2,596,593,508	Rp 1,162,822,310	Rp 1,162,822,310
2022	Rp 3,118,264,197	Rp 2,674,209,075	Rp 2,596,593,508	Rp 1,162,822,310	Rp 1,162,822,310
2023	Rp 2,819,534,487	Rp 2,418,019,846	Rp 2,347,839,850	Rp 1,051,423,933	Rp 1,051,423,933
2024	Rp 2,838,143,414	Rp 2,433,978,777	Rp 2,363,335,593	Rp 1,058,363,331	Rp 1,058,363,331
2025	Rp 2,856,875,161	Rp 2,450,043,037	Rp 2,378,933,608	Rp 1,065,348,529	Rp 1,065,348,529
2026	Rp 2,875,730,537	Rp 2,466,213,321	Rp 2,394,634,570	Rp 1,072,379,829	Rp 1,072,379,829
2027	Rp 2,894,710,359	Rp 2,482,490,329	Rp 2,410,439,158	Rp 1,079,457,536	Rp 1,079,457,536
2028	Rp 2,913,815,447	Rp 2,498,874,765	Rp 2,426,348,057	Rp 1,086,581,956	Rp 1,086,581,956
2029	Rp 2,933,046,629	Rp 2,515,367,338	Rp 2,442,361,954	Rp 1,093,753,397	Rp 1,093,753,397
2030	Rp 2,952,404,737	Rp 2,531,968,763	Rp 2,458,481,543	Rp 1,100,972,169	Rp 1,100,972,169
Mean	Rp 2,964,666,641	Rp 2,542,484,515	Rp 2,468,692,089	Rp 1,105,544,718	Rp 1,105,544,718
%	9%	3%		0%	

Tabel 7. dan 8. menyajikan hasil *output* skenario biaya produksi antara penggunaan pupuk kimia (*Base*) dan pupuk organik (Simulasi) selama periode 2019–2030. Biaya operasional yang paling mempengaruhi adalah di Padi, yaitu 15%.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis, hasil yang diperoleh menunjukkan dampak yang signifikan terhadap efisiensi biaya produksi dan keberlanjutan pertanian. Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan para petani di Desa Pasirharjo untuk mendukung ketahanan pangan berkelanjutan meliputi tingkat pendidikan yang mempengaruhi adaptasi teknologi pertanian, jenis alat pertanian yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi produksi, dan jenis pupuk yang mendukung kesuburan tanah. Selain itu, tingkat hama juga menjadi faktor penting yang mempengaruhi hasil panen. Skenario yang paling menguntungkan adalah pengurangan penggunaan pupuk kimia dan dialihkan sekitar 20-30% ke pupuk organik, yang dapat meurunkan biaya produksi sebesar 32% atau sekitar Rp1,068,635,888/tahun. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa pengurangan pupuk kimia dan dialihkan ke penggunaan pupuk organik adalah startegi yang paling efektif dalam meningkatkan profitabilitas.

**REFERENCES**

- [1] I. Umar and D. A. Arif, "Spatial models of rice fields change and sustainable agriculture in Solok District, West Sumatra Province," *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, vol. 11, no. 1, pp. 4875–4885, 2023, doi: 10.15243/jdmlm.2023.111.4875.
- [2] W. Findiastuti, M. Laksono Singgih, and M. Anityasari, "Indonesian sustainable food-availability policy assessment using system dynamics: A solution for complexities," *Cogent Food Agric*, vol. 4, no. 1, 2018, doi: 10.1080/23311932.2018.1455795.
- [3] T. Yang, Y. Sun, and X. Li, "Sustainable Food Supply from the Perspective of Paddy Ecosystem Elasticity: Policies and Implications," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 17, Sep. 2022, doi: 10.3390/su141710917.
- [4] M. R. Aprillya, E. Suryani, and A. Dzulkarnain, "The analysis of quality of paddy harvest yield to support food security: A system thinking approach (case study: East Java)," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2019, pp. 919–926. doi: 10.1016/j.procs.2019.11.200.
- [5] N. Mauliddah and A. Rosmaniar, "Penggunaan Pupuk Organik Cair sebagai Alternatif Pengendalian Biaya Produksi Petani," *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 4, p. 567, Nov. 2021, doi: 10.30651/aks.v5i4.10160.
- [6] J. T. Informasi and P. N. Malang, "Analisis Ketersediaan Beras Menggunakan Sistem Dinamik Sebagai Pendukung Kebijakan Ketahanan Pangan Endah Septa Sintiya."
- [7] M. R. Aprillya and E. Suryani, "Simulation of System Dynamics for Improving the Quality of Paddy Production in Supporting Food Security," *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, vol. 9, no. 1, pp. 38–46, Apr. 2023, doi: 10.20473/jisebi.9.1.38-46.
- [8] R. Tirtalistyani, M. Murtiningrum, and R. S. Kanwar, "Indonesia Rice Irrigation System: Time for Innovation," Oct. 01, 2022, MDPI. doi: 10.3390/su141912477.
- [9] S. P. , M. S. Andri Irawan, "588293-pengantar-agribisnis-ketahanan-pangan-28696437," Dec. 2024.
- [10] S. H. , M. S. Nuryetri Biwilfa, "MEWUJUDKAN-KEMAMPUAN-KETAHANAN-PANGAN-YANG-KUAT-UNTUK-MENDUKUNG-PEREKONOMIAN-NASIONAL," 2025.
- [11] S. E. Harnanik, "XXXXX DALAM ANGKA YYYYYY IN FIGURES," Blitar, 2023.
- [12] Suara Indonesia, "Blitar Sukses Panen Raya, Dukung Swasembada Pangan Nasional Bersama Presiden Prabowo," Kabupaten Blitar, Apr. 2025.
- [13] Badan Pusat Statistik, "rata-rata-konsumsi-per-kapita-seminggu-beberapa-macam-bahan-makanan-penting," 2024.