

Model Skenario Sistem Dinamis dengan Pendekatan *Triple Bottom Line* guna Tercapainya Ketahanan Pangan Berkelanjutan

Yulia Rahmawati^{1*}, Hery Murnawan²

^{1,2,3}Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ¹yuliarahmawati900@gmail.com, ²herymurnawan@untag-sby.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ¹yuliarahmawati900@gmail.com

Abstrak— Blitar merupakan kabupaten penghasil bahan pangan yang aktif di Provinsi Jawa Timur. Salah satu kecamatan yang turut berkontribusi dalam penghasil bahan pangan ialah Kecamatan Talun, khususnya Desa Bendosewu. Mayoritas petani pada desa ini menanam padi, jagung, dan cabai rawit. Seiring dengan bertambahnya penduduk, kebutuhan akan pangan juga akan meningkat. Hal ini akan menjadi tantangan bagi masa yang akan datang. Ketahanan pangan berkelanjutan dapat menerapkan mendefinisikan melalui pendekatan *Triple Bottom Line* (*People, Planet, Profit*). Penelitian ini bertujuan untuk membuat skenario model sistem dinamis dengan stella. Dengan metode sistem dinamis akan diketahui skenario yang paling optimal dari faktor yang paling berpengaruh yang dapat meningkatkan *profit* petani di Desa Bendosewu. Skenario dapat digunakan sebagai pertimbangan bagi *stakeholder* untuk meningkatkan pendapatan petani dan tercapainya ketahanan pangan yang berkelanjutan. Pada Desa Bendosewu, rata-rata keuntungan awal sebesar Rp.45.074.170.765. Skenario usia petani dengan adaptasi teknologi mampu meningkatkan sebesar 1,437%, penggunaan pupuk sebesar 18,654%, dan penggunaan jenis bibit jagung sebesar 8,916%. Skenario paling optimal adalah skenario gabungan dari keseluruhan faktor dengan persentase sebesar 26,946%.

Kata Kunci: Sistem Dinamis; Ketahanan Pangan; Keberlanjutan; *Triple Bottom Line*; Profit

Abstract— Blitar is an active agricultural-producing regency located in East Java Province. One of the sub-districts contributing to agricultural production is Talun Sub-district, specifically Bendosewu Village. The majority of farmers in this village grow rice, corn, and chili peppers. As the population increases, the demand for food will also rise, which presents a challenge for the future. Sustainable food security can be achieved by applying the Triple Bottom Line theory (*People, Planet, Profit*). This research aims to develop a dynamic system model using Stella software. The dynamic system will simulate the most optimal scenario based on the most influential factors to increase farmers' profit in Bendosewu Village. In Bendosewu, the average initial profit is IDR 45,074,170,765. The scenario involving farmers' age with technological adaptation is expected to increase profits by 1.437%, the use of fertilizers can increase profits by 18.654%, and the selection of corn seed varieties can increase profits by 8.916%. The most optimal scenario is a combination of all these factors, resulting in a profit increase of 26.946%.

Keywords: Dynamic System, Food Security, Sustainability, Triple Bottom Line, Profit

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan menjadi lebih rawan akibat krisis finansial global. Ketahanan pangan menjadi hal yang sangat penting bagi negara terutama negara yang memiliki tingkat penduduk yang tinggi [1]. Kabupaten Blitar merupakan salah satu kabupaten penghasil bahan pangan di provinsi Jawa Timur. Kabupaten ini masuk ke dalam 5 besar dengan angka indeks ketahanan pangan sebesar 86,27 di Provinsi Jawa Timur. Beragam komoditas pangan ditanam oleh para petani dari tahun ke tahun untuk memenuhi ketahanan pangan di daerahnya. Ketahanan pangan dapat dikatakan sebagai pilar utama dalam pembangunan nasional [1]. Salah satu kecamatan yang turut berkontribusi dalam menghasilkan bahan pangan di Kabupaten Blitar adalah Kecamatan Talun. Kecamatan ini termasuk ke 5 Kecamatan dengan luas panen terbesar untuk tanaman pangsannya. Beragam komoditas pangan ditanam oleh para petani dari tahun ke tahun untuk memenuhi ketahanan pangan di daerahnya. Ketahanan pangan dapat dikatakan sebagai pilar utama dalam pembangunan nasional [1]. Komoditas tanam utama meliputi padi, jagung, dan cabai. Komoditas ini dihasilkan oleh para petani desa di Kecamatan Talun (Kabupaten Blitar, 2020-2024). Desa Bendosewu merupakan salah satu desa yang turut aktif dalam menghasilkan bahan pangan dengan indeks ketahanan pangan 73,81 (Badan Pangan Nasional, 2023). Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang terus meningkat, kebutuhan pangan terutama beras juga semakin meningkat. Kebutuhan konsumsi pangan didukung oleh petani pada masing-masing desa. Produksi hasil pertanian pada kedua wilayah menerapkan tiga musim tanam dalam setahun.

Lahan sawah ditanami komoditi dengan persentase yang berbeda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang membuat petani memutuskan jenis komoditi yang akan ditanam. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan harus memperhatikan aspek *sustainability* untuk masa yang akan datang. Pengembangan pertanian yang memperhatikan aspek *sustainability* dapat menggunakan pendekatan *Triple Bottom Line* (TBL). Konsep ini mencakup tiga aspek utama, yaitu *People* (sosial), *Planet* (lingkungan), dan *Profit* (ekonomi) [8]. Aspek aspek *people* yang meliputi usia petani, tingkat pendidikan, tingkat adaptasi dengan teknologi, dan jumlah tenaga kerja. Aspek *planet* (lingkungan) dipengaruhi oleh kebutuhan air, kebutuhan pupuk, luas lahan, jarak tanam, hama, cuaca, serta jenis bibit komoditi. Aspek *profit* meliputi biaya operasional, harga jual, hasil panen, dan kualitas panen. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan berkelanjutan saling terkait satu sama lain. Desa Bendosewu memiliki faktor yang

menonjol pada wilayahnya. Keunggulan ini diantaranya adalah faktor usia petani, jenis pupuk, dan jenis bibit jagung. Faktor-faktor ini berperan penting dalam memodelkan strategi yang paling optimal dalam ketahanan pangan berkelanjutan. Meningkatnya jumlah penduduk, perubahan iklim yang tidak menentu, dan kondisi alam sendiri menjadi tantangan bagi pemenuhan pangan di masa depan [9]. Oleh karena itu, diperlukan strategi model dengan pendekatan sistem dinamis dengan *software stella* yang mampu menangkap sistem secara kompleks. Sistem dinamis dapat menjalankan skenario sistem dengan mengetahui interaksi umpan balik antar variabel dalam jangka panjang. [10]. Sistem dinamis dapat menjadi alat pembuatan untuk model kebijakan dikarenakan sistem dinamis menggunakan pertimbangan yang kompleks dan hubungan sebab akibat antar variabelnya [11]. Diharapkan dengan sistem dinamis dapat membantu meningkatkan *Profit* petani di Desa Bendosewu menuju pertanian berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Causal Loop Diagram

Causal Loop Diagram (CLD) digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat dari suatu fenomena, menunjukkan bagaimana satu variabel memengaruhi variabel lainnya dalam sebuah sistem secara dinamis. Arah hubungan pada *causal loop diagram* dapat dibedakan menjadi 2 yakni positif dan negatif [7].

2.2 Stock and Flow Diagram

Stock & flow diagram (SFD) merupakan proses kuantitatif dengan menformulasikan dan menghubungkan variabel-variabel yang berkaitan setelah pembuatan *CLD*. *SFD* terdiri atas 5 komponen, yakni *stock/ level, cloud/ source & sink, flow, converter, dan connector* (Sarasi et al., 2021). Formulasi model adalah penentuan persamaan untuk setiap variabel dengan memahami dan menguji konsistensi model proses ini untuk model tersebut memastikan bahwa sesuai dengan tujuan dan batasan yang telah ditetapkan. Langkah pertama pembuatan dalam model adalah menentukan untuk setiap variabel persamaan sebagai formulasi model. Pada tahap ini pembuatan model sistem dinamis mulai dilakukan pada *software Stella*. Model diberikan formula matematis untuk bisa menjalankan simulasi. Model disusun menggunakan *software Stella* untuk memvisualisasikan alur sistem yang diteliti. Formula ini berisikan rumusan keterkaitan antara variabel dan satuan variabel dalam sistem. Nilai awal dan parameter lain diinput agar simulasi bisa berjalan. Setelah itu, model dijalankan untuk melihat apakah hasilnya. Indikator capaian yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah disusunnya model sistem dinamis yang optimal untuk memaksimalkan *Profit* dari hasil panen, serta menghasilkan rekomendasi kebijakan untuk meningkatkan produksi dan penjualan hasil pertanian di Desa Bendosewu.

2.3 Formulasi Model

Model yang telah dirancang selanjutnya diverifikasi dan validasi model pada *software Stella* agar akurasi terjamin. Pada tahap ini model dipastikan telah terverifikasi dengan formula yang benar dan bisa disimulasikan. Hasil dari simulasi harus di uji validasi untuk menguji model telah sesuai atau tidak dengan tujuan model yang optimal. Proses ini menggunakan atau perbandingan dari rata-rata (*mean comparison*) dengan E1 5% maupun uji perbandingan variasi amplitudo (% *error variance*) dengan E2 30%. Pembuatan skenario model

- a. Uji Perbandingan Rata-rata (*Mean Comparison*)

$$E1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{S}$ = Nilai rata-rata hasil simulasi

$\bar{A}$ = Nilai rata-rata data

- b. Uji Perbandingan Variasi Amplitudo (% *Error Variance*)

$$E2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \quad (2)$$

Keterangan:

S_s = Standar deviasi model

S_a = Standar deviasi data

Pemodelan akan dilakukan dengan *software Stella* untuk merancang model skenario paling optimal di Desa Bendosewu, Kecamatan Talun, Kabupaten Blitar. Pemodelan pembuatan skenario memperhatikan keberlanjutan yang dapat meningkatkan *Profit* petani. Pembuatan model skenario mengacu pada potensi wilayah tersebut.

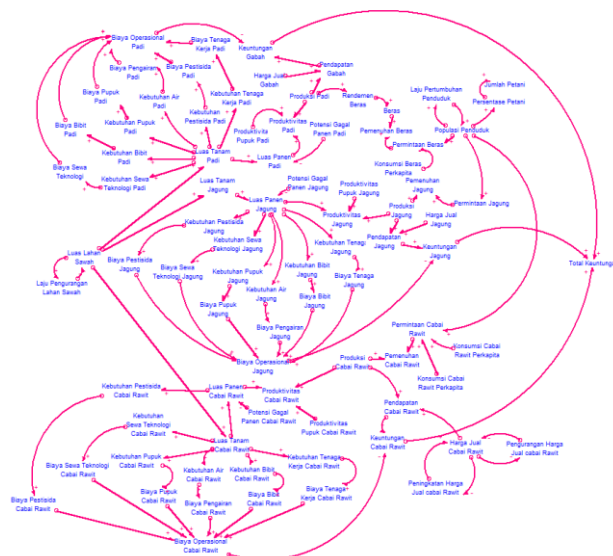
2.4 Pembuatan Model Skenario

Pemodelan akan dilakukan dengan *software Stella* untuk merancang model skenario paling optimal di Desa Bendosewu, Kecamatan Talun, Kabupaten Blitar. Simulasi merupakan proses pembuatan model untuk suatu sistem yang bertujuan

mempelajari perilaku sistem tersebut dan mengevaluasi strategi yang diterapkan dalam organisasi. Fungsi utama simulasi adalah sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan [13]. Pemodelan pembuatan skenario memperhatikan keberlanjutan yang dapat meningkatkan Profit petani. Pembuatan model skenario mengacu pada potensi wilayah yang paling berpengaruh telah di analisis sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Causal Loop Diagram



Gambar 1. Causal Loop Diagram Desa Bendosewu

Gambar 1 menunjukkan kondisi sebab akibat dari satu entitas variabel ke variabel yang lain di Desa Bendosewu. Gambaran awal ini selanjutnya akan dikembangkan menjadi *stock and flow diagram*.

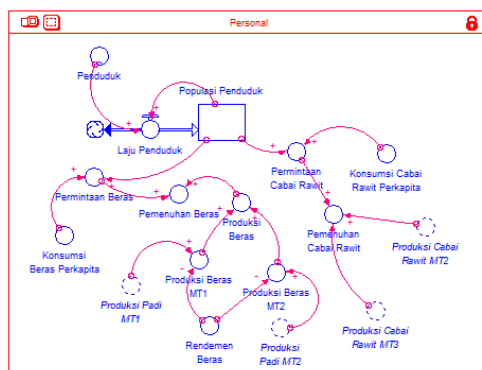
3.2 Stock & Flow Diagram dan Perumusan Formulasi

a. Sub Model People

Tabel 1. Formulasi People

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Penduduk	Converter	GRAPH(TIME) (2019, 0.0376), (2020, 0.00), (2021, 0.00), (2022, 0.0073)	year
2	Laju Penduduk	Flow	Populasi_Penduduk*Penduduk	souls/year
3	Populasi Penduduk	Stock	5406	souls
4	Permintaan Beras	Converter	Populasi_Penduduk*Konsumsi_Beras_Perkapita	ton/year
5	Konsumsi Beras Perkapita	Converter	(217.3/1000000)*365	ton/souls
6	Pemenuhan Beras	Converter	Produksi_Beras-Permintaan_Beras	ton/year
7	Produksi Beras	Converter	Produksi_Beras_MT1+Produksi_Beras_MT2	ton
8	Produksi Beras MT1	Converter	Produksi_Padi_MT1*Randemen_Beras	ton
9	Produksi Padi MT1	Converter	Luas_Panen_Padi_MT1*1.1*7	ton
10	Rendemen Beras	Converter	60/100	ton
11	Produksi Beras MT2	Converter	Produksi_Padi_MT2*Randemen_Beras	ton
12	Produksi Padi MT2	Converter	Luas_Panen_Padi_MT2*1.1*7	ton
13	Permintaan Cabai Rawit	Converter	Konsumsi_Cabai_Rawit_Perkapita*Populasi_Penduduk	ton/year
14	Pemenuhan Cabai rawit	Converter	Produksi_Cabai_Rawit-Permintaan_Cabai_Rawit	ton
15	Produksi Cabai Rawit MT2	Converter	0.9*Luas_Panen_Cabai_Rawit_MT2*7	ton
16	Produksi Cabai Rawit MT3	Converter	1.2*Luas_Panen_Cabai_Rawit_MT3*7	ton
17	Konsumsi Cabai rawit Perkapita	Converter	4.1/1000000*52	ton/souls

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Dari perumusan ini dapat diketahui tingkat pemenuhan untuk beras dan cabai rawit. Berikut merupakan model sistem dinamis untuk aspek *people*.

Gambar 2. Sub Model *People* Desa Bendosewu

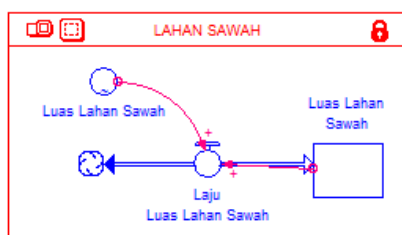
Model *people* terdiri atas populasi penduduk, luas lahan, data permintaan beras, dan permintaan cabai rawit. Permintaan jagung tidak dimasukkan karena petani bekerja sama dengan mitra dan langsung disetorkan kepada mitra.

b. Sub Model *Planet*

Tabel 2 Formulasi Luas Lahan

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	History Luas Lahan Sawah	Converter	History_Luas_Lahan_Sawah = GRAPH(TIME) (2019, 0.00), (2020, 0.00), (2021, -0.088), (2022, -0.004)	year
2	Penambahan Luas Lahan Sawah	Flow	History_Luas_Lahan_Sawah*Luas_Lahan_Sawah	hectares/year
3	Luas Lahan Sawah	Stock	Luas_Lahan_Sawah(t) = Luas_Lahan_Sawah(t - dt) + (Laju_Luas_Lahan_Sawah) * dt INIT Luas_Lahan_Sawah = 299.4	hectares

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model sistem dinamis untuk aspek *planet*.



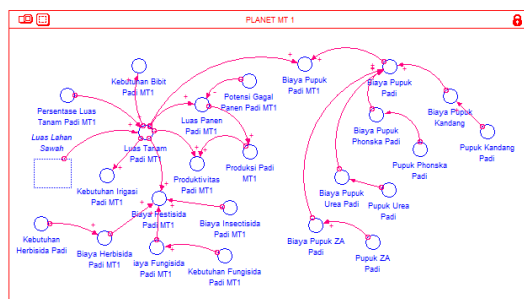
Gambar 3 Model Luas Lahan Sawah Desa Bendosewu

Model *planet* terdiri atas *history* luas lahan sawah, laju luas lahan sawah, dan luas lahan sawah.

Tabel 3 Formulasi *Planet* MT1

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Luas Tanam Padi MT1	Converter	Luas_Lahan_Sawah*Persentase_Luas_Tanam_Padi_MT1	hectares
2	Persentase Luas Tanam Padi MT1	Converter	100/100	hectares
3	Kebutuhan Bibit Padi MT1	Converter	4*7*Luas_Tanam_Padi_MT1	kilograms/hectares
4	Luas Panen Padi MT1	Converter	Luas_Tanam_Padi_MT1-(Potensi_Gagal_Panen_Padi_MT1*Luas_Tanam_Padi_MT1)	hectares
5	Potensi Gagal Panen Padi MT1	Converter	0	hectares
6	Produksi Padi MT1	Converter	Luas_Panen_Padi_MT1*1.1*7	ton
7	Produktivitas Padi MT1	Converter	Produksi_Padi_MT1/Luas_Tanam_Padi_MT1	ton/hectares
8	Biaya Pestisida Padi MT1	Converter	(Biaya_Herbisida_Padi_MT1+Biaya_Fungisida_Padi_MT1+Biaya_Insectisida_Padi_MT1)*7*Luas_Tanam_Padi_MT1	es
9	Biaya Insectisida Padi MT1	Converter	276000	rp
10	Kebutuhan Fungisida Padi MT1	Converter	400	milliliters/hectares
11	Biaya Fungisida Padi MT1	Converter	Kebutuhan_Fungisida_Padi_MT1*208	rp
12	Biaya Herbisida Padi MT1	Converter	Kebutuhan_Herbisida_Padi*250	rp
13	Kebutuhan Herbisida Padi	Converter	400	milliliters/hectares
14	Kebutuhan Irigasi Padi MT1	Converter	0*7*Luas_Tanam_Padi_MT1	time/hectares
15	Luas Lahan Sawah	Stock	Luas_Lahan_Sawah(t) = Luas_Lahan_Sawah(t - dt) + (Laju_Luas_Lahan_Sawah) * dt INIT Luas_Lahan_Sawah = 299.4	hectares
16	Biaya Pupuk Padi MT1	Converter	Biaya_Pupuk_Padi*Luas_Tanam_Padi_MT1	rp
17	Biaya Pupuk Padi	Converter	(Biaya_Pupuk_Phonska_Padi+Biaya_Pupuk_Urea_Padi+Biaya_Pupuk_Kandang+Biaya_Pupuk_ZA_Padi)*7	rp
18	Biaya Pupuk Kandang	Converter	Pupuk_Kandang_Padi*7000	rp
19	Pupuk Kandang Padi	Converter	20	kilograms/hectares
20	Biaya Pupuk Phonska Padi	Converter	Pupuk_Phonska_Padi*2300	rp
21	Pupuk Phonska Padi	Converter	45	kilograms/hectares
22	Biaya Pupuk Urea Padi	Converter	Pupuk_Urea_Padi*2250	rp
23	Pupuk Urea Padi	Converter	60	rp
24	Biaya Pupuk ZA Padi	Converter	Pupuk_ZA_Padi*4000	rp
25	Pupuk ZA Padi	Converter	10	kilograms/hectares

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



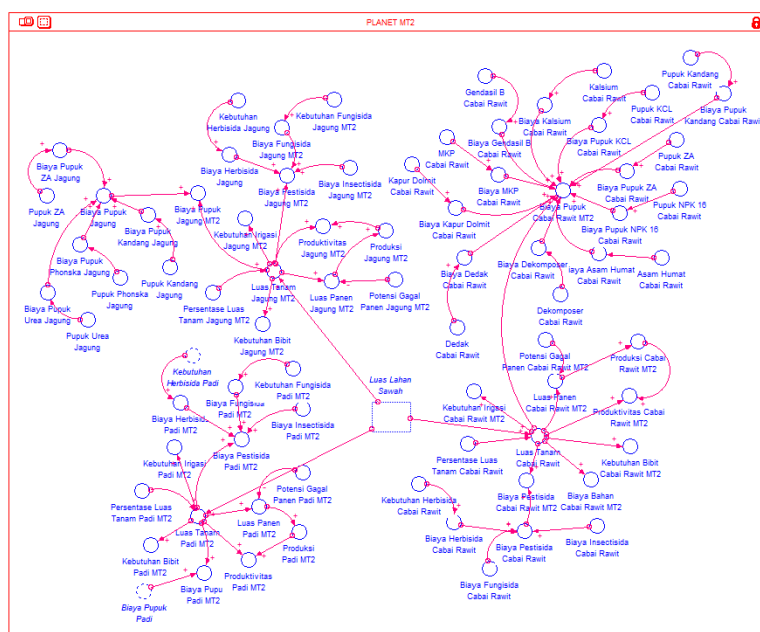
Gambar 4. Model Planet MT1 Desa Bendosewu

Model *planet* MT1 terdiri atas luas lahan sawah, luas tanam padi, luas panen padi, hasil produksi, potensi gagal panen dan kebutuhan irigasi, pupuk dan pestisida.

Tabel 4 Formulasi Planet MT2

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Luas Lahan Sawah	Stock	$\text{Luas_Lahan_Sawah}(t) = \text{Luas_Lahan_Sawah}(t - dt) + (\text{Laju_Luas_Lahan_Sawah}) * dt$ $\text{INIT Luas_Lahan_Sawah} = 299.4$	hectares
2	Luas Tanam Padi MT2	Converter	$\text{Persentase_Luas_Tanam_Padi_MT2} * \text{Luas_Lahan_Sawah}$	hectares
3	Persentase Luas Tanam Padi MT2	Converter	$18/100$	hectares
4	Kebutuhan Bibit Padi MT2	Converter	$(4*7)*\text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	kilograms/hectares
5	Luas Panen Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT2} - (\text{Luas_Tanam_Padi_MT2} * \text{Potensi_Gagal_Panen_Padi_MT2})$	hectares
6	Potensi Gagal Panen Padi MT2	Converter	$10/100$	hectares
7	Produksi Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Panen_Padi_MT2} * 1.1 * 7$	ton
8	Produktivitas Padi MT2	Converter	$(\text{Produksi_Padi_MT2} / \text{Luas_Tanam_Padi_MT2})$	ton/hectares
9	Biaya Pestisida Padi MT2	Converter	$(\text{Biaya_Herbisida_Padi_MT2} + \text{Biaya_Fungisida_Padi_MT2} + \text{Biaya_Insectisida_Padi_MT2}) * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	rp
10	Biaya Insectisida Padi MT2	Converter	276000	rp
11	Kebutuhan Fungisida Padi MT2	Converter	400	milliliters/hectares
12	Biaya Fungisida Padi MT2	Converter	$\text{Kebutuhan_Fungisida_Padi_MT2} * 208$	rp
13	Biaya Herbisida Padi MT2	Converter	$\text{Kebutuhan_Herbisida_Padi_MT2} * 250$	rp
14	Kebutuhan Herbisida Padi	Converter	400	milliliters/hectares
15	Kebutuhan Irigasi Padi MT2	Converter	$12 * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	time/hectares
16	Luas Lahan Sawah	Stock		hectares
17	Biaya Pupuk Padi MT2	Converter	$(\text{Biaya_Pupuk_Phonska_Padi} + \text{Biaya_Pupuk_Urea_Padi} + \text{Biaya_Pupuk_Kandang} + \text{Biaya_Pupuk_ZA_Padi}) * 7$	rp
18	Luas Tanam Jagung MT2	Converter	$\text{Luas_Lahan_Sawah} * \text{Persentase_Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	hectares
19	Persentase Luas Tanam Jagung MT2	Converter	$68/100$	hectares
20	Kebutuhan Bibit Jagung MT2	Converter	$4 * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	kilograms/hectares
21	Luas Panen Jagung MT2	Converter	$(\text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}) - (\text{Potensi_Gagal_Panen_Jagung_MT2} * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2})$	hectares
22	Potensi Gagal Panen Jagung MT2	Converter	$0/100$	hectares
23	Produksi Jagung MT2	Converter	$1.25 * 7 * \text{Luas_Panen_Jagung_MT2}$	ton/year
24	Produktivitas Jagung MT2	Converter	$(\text{Produksi_Jagung_MT2} / \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2})$	ton/hectares
25	Biaya Pestisida Jagung MT2	Converter	$(\text{Biaya_Herbisida_Jagung} + \text{Biaya_Fungisida_Jagung_MT2} + \text{Biaya_Insectisida_Jagung_MT2}) * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	rp

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



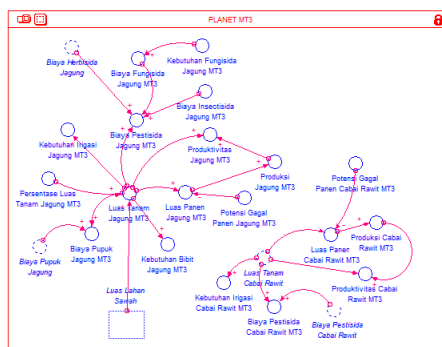
Gambar 5 Model Planet MT3 Desa Bendosewu

Model *planet* MT2 terdiri atas luas lahan sawah, luas tanam, luas panen, hasil produksi, potensi gagal panen dan kebutuhan irigasi, pupuk dan pestisida untuk padi, jagung dan cabai rawit.

Tabel 5 Formulasi Planet MT3

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Luas Lahan Sawah	Stock	$\text{Luas Lahan Sawah}(t) = \text{Luas Lahan Sawah}(t - dt) + (\text{Laju Luas Lahan Sawah}) * dt$ $\text{INIT Luas Lahan Sawah} = 299.4$	hectares
2	Luas Tanam Jagung MT3	Converter	$\text{Luas Lahan Sawah} * \text{Persentase Luas Tanam Jagung MT3}$	hectares
3	Persentase Luas Tanam Jagung MT3	Converter	86/100	hectares
4	Kebutuhan Bibit Jagung MT3	Converter	$4 * 7 * \text{Luas Tanam Jagung MT3}$	kilograms/hectares
5	Luas Panen Jagung MT3	Converter	$\text{Luas Tanam Jagung MT3} - (\text{Luas Tanam Jagung MT3} * \text{Potensi Gagal Panen Jagung MT3})$	hectares
6	Potensi Gagal Panen Jagung MT3	Converter	15/100	hectares
7	Produksi Jagung MT3	Converter	$1.25 * 7 * \text{Luas Panen Jagung MT3}$	ton
8	Produktivitas Jagung MT3	Converter	$\text{Produksi Jagung MT3} / \text{Luas Tanam Jagung MT3}$	ton
9	Biaya Pestisida Jagung MT3	Converter	$(\text{Biaya Herbisida Jagung MT3} + \text{Biaya Fungisida Jagung MT3} + \text{Biaya Insektisida Jagung MT3}) * 7 * \text{Luas Tanam Jagung MT3}$	rp
10	Biaya Insektisida Jagung MT3	Converter	114000	rp
11	Kebutuhan Fungisida Jagung MT3	Converter	300	milliliters/hectares
12	Biaya Fungisida Jagung MT3	Converter	$\text{Kebutuhan Fungisida Jagung MT3} * 208$	rp
13	Kebutuhan Herbisida Jagung	Converter	75000	milliliters/hectares
14	Kebutuhan Irigasi Jagung MT3	Converter	$10 * 7 * \text{Luas Tanam Jagung MT3}$	time/hectares
15	Biaya Pupuk Jagung MT3	Converter	$\text{Biaya Pupuk Phonska Jagung} + \text{Biaya Pupuk Urea Jagung} + \text{Biaya Pupuk Kandang Jagung} + \text{Biaya Pupuk ZA Jagung}$	rp
16	Biaya Pupuk Jagung	Converter	$\text{Biaya Pupuk Jagung} * 7 * \text{Luas Tanam Jagung MT3}$	rp

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari *profit* masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



Gambar 6 Model Planet MT3 Desa Bendosewu

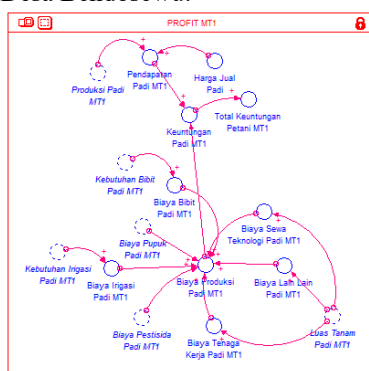
Model *planet* MT3 terdiri atas luas lahan sawah, luas tanam, luas panen, hasil produksi, potensi gagal panen dan kebutuhan irigasi, pupuk dan pestisida untuk 2 komoditi yakni jagung dan cabai rawit.

c. Sub Model *Profit*

Tabel 6 Formulasi *Profit* MT1

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Biaya Produksi Padi MT1	Converter	$\text{Biaya_Pupuk_Padi_MT1} + \text{Biaya_Sewa_Teknologi_Padi_MT1} + \text{Biaya_Irigasi_Padi_MT1} + \text{Biaya_Pestisida_Padi_MT1} + \text{Biaya_Lain_Lain_Padi_MT1} + \text{Biaya_Bibit_Padi_MT1} + \text{Biaya_Tenaga_Kerja_Padi_MT1}$	rp
2	Biaya Pestisida Padi MT1	Converter	$(\text{Biaya_Herbisida_Padi_MT1} + \text{Biaya_Fungisida_Padi_MT1} + \text{Biaya_Insectisida_Padi_MT1}) * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT1}$	rp
3	Biaya Irigasi Padi MT1	Converter	$\text{Kebutuhan_Irigasi_Padi_MT1} * 35000$	rp
4	Kebutuhan Irigasi Padi MT1	Converter	$0 * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT1}$	rp
5	Biaya Pupuk Padi MT1	Converter	$\text{Biaya_Pupuk_Padi_MT1} * \text{Luas_Tanam_Padi_MT1}$	rp
6	Biaya Bibit Padi MT1	Converter	$\text{Kebutuhan_Bibit_Padi_MT1} * 15000$	rp
7	Kebutuhan Bibit Padi MT1	Converter	$4 * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT1}$	kilograms/hectares
8	Biaya Sewa Teknologi Padi MT1	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT1} * 1250000 * 7$	rp
9	Biaya Lain Lain Padi MT1	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT1} * 1000000 * 7$	rp
10	Luas Tanam Padi MT1	Converter	$\text{Luas_Lahan_Sawah} * \text{Persentase_Luas_Tanam_Padi_MT1}$	hectares
11	Biaya Tenaga Kerja Padi MT1	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT1} * 1250000 * 7$	rp
12	Keuntungan Padi MT1	Converter	$\text{Pendapatan_Padi_MT1} - \text{Biaya_Produksi_Padi_MT1}$	rp
13	Total Keuntungan Petani MT1	Converter	$\text{Keuntungan_Padi_MT1}$	rp
14	Pendapatan Padi MT1	Converter	$\text{Harga_Jual_Padi_MT1} * \text{Produksi_Padi_MT1}$	rp
15	Produksi Padi MT1	Converter	$\text{Luas_Panen_Padi_MT1} * 1.1 * 7$	ton
16	Harga Jual Padi	Converter	6500000	rp

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari *profit* masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



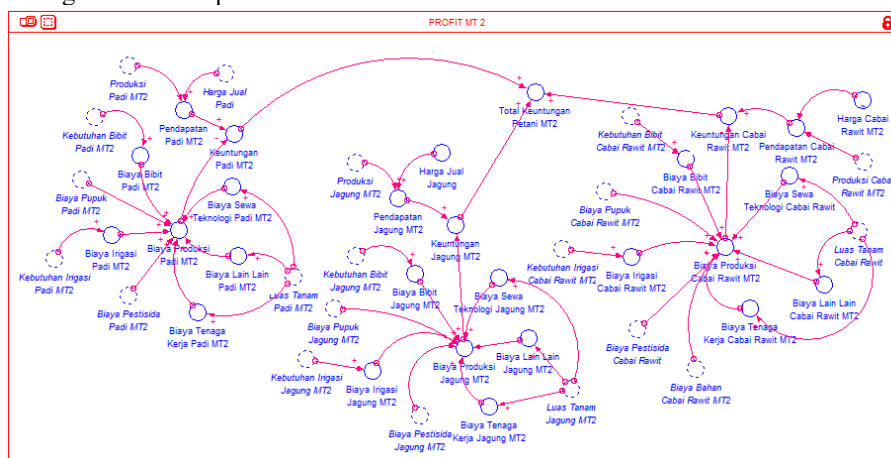
Gambar 7 Model *Profit* MT1 Desa Bendosewu

Model *profit* MT1 terdiri atas biaya produksi, keuntungan, pendapatan, harga jual, dan hasil produksi.

Tabel 7 Formulasi *Profit* MT2

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Biaya Produksi Padi MT2	Converter	$\text{Biaya_Sewa_Teknologi_Padi_MT2} + \text{Biaya_Pupuk_Padi_MT2} + \text{Biaya_Tenaga_Kerja_Padi_MT2} + \text{Biaya_Lain_Lain_Padi_MT2} + \text{Biaya_Irigasi_Padi_MT2} + \text{Biaya_Bibit_Padi_MT2} + \text{Biaya_Pestisida_Padi_MT2}$	rp
2	Biaya Pestisida Padi MT2	Converter	$(\text{Biaya_Herbisida_Padi_MT2} + \text{Biaya_Fungisida_Padi_MT2} + \text{Biaya_Insectisida_Padi_MT2}) * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	rp
3	Biaya Irigasi Padi MT2	Converter	$\text{Kebutuhan_Irigasi_Padi_MT2} * 35000$	rp
4	Kebutuhan Irigasi Padi MT2	Converter	$12 * 7 * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	time/hectares
5	Biaya Pupuk Padi MT2	Converter	$\text{Biaya_Pupuk_Padi_MT2} * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	rp
6	Biaya Bibit Padi MT2	Converter	$\text{Kebutuhan_Bibit_Padi_MT2} * 15000$	rp
7	Kebutuhan Bibit Padi MT2	Converter	$(4 * 7) * \text{Luas_Tanam_Padi_MT2}$	kilograms/hectares
8	Biaya Sewa Teknologi Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT2} * 7 * 250000$	rp
9	Biaya Lain Lain Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT2} * 7 * 1000000$	rp
10	Luas Tanam Padi MT2	Converter	$\text{Persentase_Luas_Tanam_Padi_MT2} * \text{Luas_Lahan_Sawah}$	hectares
11	Biaya Tenaga Kerja Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Padi_MT2} * 7 * 1250000$	rp
12	Keuntungan Padi MT2	Converter	$\text{Pendapatan_Padi_MT2} - \text{Biaya_Produksi_Padi_MT2}$	rp
13	Pendapatan Padi MT2	Converter	$\text{Harga_Jual_Padi_MT2} * \text{Produksi_Padi_MT2}$	rp
14	Produksi Padi MT2	Converter	$\text{Luas_Panen_Padi_MT2} * 1.1 * 7$	ton
15	Harga Jual Padi	Converter	6500000	rp
16	Biaya Produksi Jagung MT2	Converter	$1.25 * 7 * \text{Luas_Panen_Jagung_MT2}$	rp
17	Biaya Pestisida Jagung MT2	Converter	$(\text{Biaya_Herbisida_Jagung_MT2} + \text{Biaya_Fungisida_Jagung_MT2} + \text{Biaya_Insectisida_Jagung_MT2}) * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	rp
18	Biaya Irigasi Jagung MT2	Converter	$10 * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	rp
19	Kebutuhan Irigasi Jagung MT2	Converter	$10 * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	time/hectares
20	Biaya Pupuk Jagung MT2	Converter	$\text{Biaya_Pupuk_Jagung_MT2} * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	rp
21	Biaya Bibit Jagung MT2	Converter	$\text{Kebutuhan_Bibit_Jagung_MT2} * 0$	rp
22	Kebutuhan Bibit Jagung MT2	Converter	$4 * 7 * \text{Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	kilograms/hectares
23	Biaya Sewa Teknologi Jagung MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Jagung_MT2} * 7 * 450000$	rp
24	Biaya Lain Lain Jagung MT2	Converter	$\text{Luas_Tanam_Jagung_MT2} * 7 * 1000000$	rp
25	Luas Tanam Jagung MT2	Converter	$\text{Luas_Lahan_Sawah} * \text{Persentase_Luas_Tanam_Jagung_MT2}$	hectares

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari *profit* masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.

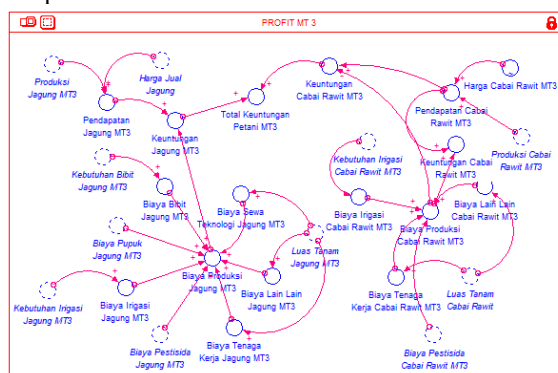


Gambar 8 Model *Profit* MT2 Desa Bendosewu

Tabel 8 *Profit* MT3

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Biaya Produksi Jagung MT3	Converter	Biaya_Tenaga_Kerja_Jagung_MT3+Biaya_Lain_Lain_Jagung_MT3+Biaya_Pestisida_Jagung_MT3+Biaya_Irigasi_Jagung_MT3+Biaya_Pupuk_Jagung_MT3+Biaya_Sewa_Teknologi_Jagung_MT3+Biaya_Bibit_Jagung_MT3	rp
2	Biaya Pestisida Jagung MT3	Converter	(Biaya_Herbisida_Jagung_MT3+Biaya_Fungisida_Jagung_MT3+Biaya_Insectisida_Jagung_MT3)*7*Luas_Tanam_Jagung_MT3	rp
3	Biaya Irigasi Jagung MT3	Converter	Kebutuhan_Irigasi_Jagung_MT3*35000	rp
4	Kebutuhan Irigasi Jagung MT3	Converter	10*7*Luas_Tanam_Jagung_MT3	time/hectares
5	Biaya Pupuk Jagung MT3	Converter	Biaya_Pupuk_Phonska_Jagung+Biaya_Pupuk_Urea_Jagung+Biaya_Pupuk_Kandang_Jagung+Biaya_Pupuk_ZA_Jagung	rp
6	Biaya Bibit Jagung MT3	Converter	4*7*Luas_Tanam_Jagung_MT3	rp
7	Kebutuhan Bibit Jagung MT3	Converter	4*7*Luas_Tanam_Jagung_MT3	kilograms/hectares
8	Biaya Sewa Teknologi Jagung MT3	Converter	Luas_Tanam_Jagung_MT3*450000*7	rp
9	Biaya Lain Lain Jagung MT3	Converter	Luas_Tanam_Jagung_MT3*7*1000000	rp
10	Luas Tanam Jagung MT3	Converter	Luas_Lahan_Sawah*Persentase_Luas_Tanam_Jagung_MT3	hectares
12	Biaya Tenaga Kerja Jagung MT3	Converter	Luas_Tanam_Jagung_MT3*7*825000	rp
13	Keuntungan Jagung MT3	Converter	Pendapatan_Jagung_MT3-Biaya_Produksi_Jagung_MT3	rp
14	Pendapatan Jagung MT3	Converter	Harga_Jual_Jagung*Produksi_Jagung_MT3	rp
15	Produksi Jagung MT3	Converter	1.25*7*Luas_Panen_Jagung_MT3	ton
16	Harga Jual Jagung	Converter	8000000	rp
17	Biaya Produksi Cabai Rawit MT3	Converter	Biaya_Tenaga_Kerja_Cabai_Rawit_MT3+Biaya_Irigasi_Cabai_Rawit_MT3+Biaya_Lain_Lain_Cabai_Rawit_MT3+Biaya_Pestisida_Cabai_Rawit_MT3	rp
18	Biaya Pestisida Cabai Rawit MT3	Converter	Biaya_Pestisida_Cabai_Rawit*Luas_Tanam_Cabai_Rawit	rp
19	Biaya Irigasi Cabai Rawit MT3	Converter	Kebutuhan_Irigasi_Cabai_Rawit_MT3*35000	rp
20	Kebutuhan Irigasi Cabai Rawit MT3	Converter	16*7*Luas_Tanam_Cabai_Rawit	time/hectares
25	Biaya Lain Lain Cabai Rawit MT3	Converter	Luas_Tanam_Cabai_Rawit*7*1000000	rp

Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari *profit* masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



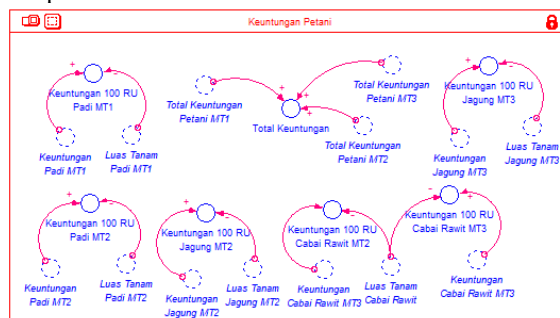
Gambar 9 Model *Profit* MT3 Desa Bendosewu

Model *profit* MT3 terdiri atas biaya produksi, keuntungan, pendapatan, harga jual, dan hasil produksi dari 2 komoditi yakni jagung dan cabai rawit.

Tabel 9 Formulasi Keuntungan Petani

No	Keterangan	Kategori	Rumus	Unit
1	Total Keuntungan Petani MT1	Converter	Keuntungan_Padi_MT1	rp
2	Total Keuntungan	Converter	Total_Keuntungan_Petani_MT1+Total_Keuntungan_Petani_MT2+Total_Keuntungan_Petani_MT3	rp
3	Total Keuntungan Petani MT2	Converter	Keuntungan_Padi_MT2+Keuntungan_Jagung_MT2+Keuntungan_Cabai_Rawit_MT2	rp
4	Total Keuntungan Petani MT3	Converter	Keuntungan_Jagung_MT3+Keuntungan_Cabai_Rawit_MT3	rp

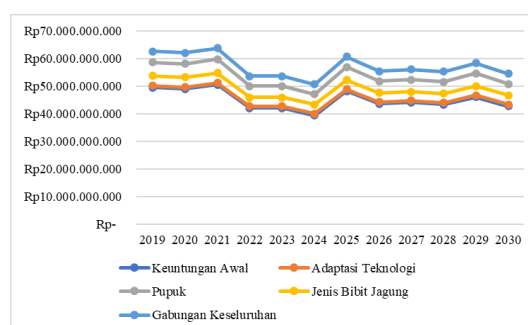
Perumusan dibuat atas matematis data yang ada di Desa Bendosewu. Berikut merupakan model dari *profit* masing-masing masa tanam pada Desa Bendosewu.



Gambar 10 Model Keuntungan Petani Desa Bendosewu

Model keuntungan petani terdiri atas total keuntungan MT1, MT2, dan MT3. Rata-rata keuntungan awal petani di Desa Bendosewu sebesar Rp.45.074.170.765.

3.3 Model Skenario



Gambar 11 Grafik Keuntungan Skenario Desa Bendosewu

Grafik di atas menunjukkan tabulasi dari seluruh skenario. Skenario paling signifikan yakni penggunaan pupuk cair organik dan elisator biosaka. Persentase penambahan sebesar 18,654% dengan peningkatan keuntungan sebesar Rp.8.408.029.474. Skenario paling optimal adalah skenario gabungan dari keseluruhan faktor dengan persentase sebesar 26,946% dan peningkatan keuntungan sebesar Rp.12.145.534.822. Penggunaan pupuk cair organik dan elisator mampu menghemat 50% dari penggunaan pupuk kimia dan meningkatkan 10% dari hasil pertanian [14][15]. Berikut merupakan tabulasi untuk biaya yang diperlukan untuk penggunaan pupuk cair organik dan elisator biosaka. Rincian biaya untuk kebutuhan pupuk cair organik dan elisator biosaka menunjukkan biaya total untuk satuan 100 RU/MT adalah sebesar Rp 32.500, yang mencakup bahan-bahan seperti daun tanaman, air, telur, susu, terasi, dan Miwon Sasa. Total biaya yang dibutuhkan adalah Rp 65.000 untuk pupuk cair organik, sementara penggunaan elisator biosaka menurunkan biaya tersebut menjadi Rp 32.500. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi pupuk cair organik dan elisator biosaka tidak hanya lebih ramah lingkungan, tetapi juga lebih efisien dalam hal pengurangan biaya dan peningkatan hasil pertanian.

4. KESIMPULAN

Ketahanan pangan di Desa Bendosewu dapat tercapai dengan simulasi skenario yang telah dibuat. Model skenario yang paling optimal dari faktor yang paling berpengaruh di wilayah Desa Bendosewu untuk meningkatkan *profit* atau keuntungan petani. Model skenario yang paling optimal di Desa Bendosewu adalah penggunaan pupuk cair yang terbuat dari bahan organik dan elisitor biosaka. Penggunaan pupuk caair ini mampu menghemat sebesar 50% pupuk kimia dan mampu meningkatkan hasil produksi sebesar 10%. Rata-rata keuntungan awal petani sebesar Rp.45.074.170.765. Hasil keuntungan dari skenario usia petani dengan adaptasi teknologi mampu meningkatkan keuntungan sebesar 1,437%, penggunaan pupuk sebesar 18,654%, dan penggunaan jenis bibit jagung sebesar 8,916%.

Skenario paling optimal adalah skenario gabungan dari keseluruhan faktor dengan persentase sebesar 26,946%. Dengan mengimplementasikan faktor yang paling berpengaruh di Desa Bendosewu akan tercapai ketahanan pangan dan mengoptimalkan profit dan hasil produksi dari petani dengan mempertimbangkan kekompleksan yang ada di wilayah tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah turut membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, khususnya kepada anggota gabungan kelompok tani di Desa Bendosewu Kecamatan Talun Kabupaten Blitar. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah memfasilitasi pembelajaran guna menyelesaikan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] D. Y. Heryadi, B. Rofatin, T. Tedjaningsih, and I. Nurcahya, "Implementasi Diversifikasi Konsumsi Pangan Lokal dan Faktor-faktor Yang Mempengaruhinya dalam Menu Keluarga untuk Menunjang Ketahanan Pangan," *Mimbar Agribisnis : Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, vol. 10, no. 1, p. 843, 2024, doi: 10.25157/ma.v10i1.12612.
- [2] B. Kabupaten Blitar, *Kecamatan Talun dalam Angka 2020*. BPS Kabupaten Blitar, 2020.
- [3] B. Kabupaten Blitar, *Kecamatan Talun dalam Angka 2021*. BPS Kabupaten Blitar, 2021.
- [4] B. Kabupaten Blitar, *Kecamatan Talun dalam Angka 2022*. BPS Kabupaten Blitar, 2022.
- [5] B. Kabupaten Blitar, *Kecamatan Talun dalam Angka 2023*. BPS Kabupaten Blitar, 2023.
- [6] B. Kabupaten Blitar, *Kecamatan Talun dalam Angka 2024*. BPS Kabupaten Blitar, 2024.
- [7] Badan Pangan Nasiooanl, *Indeks Ketahanan Pangan Tahun 2023*. 2023.
- [8] L. L. Fuadah, Yuliani, and R. H. Safitri, *Pengungkapan Sustainability Reporting di Indonesia*, 1st ed. Palembang: Citrabooks Indonesia, 2018.
- [9] S. Andaiyani, T. Marwa, and S. Nurhaliza, "Ekonomi Biru dan Ketahanan Pangan: Studi Empiris Provinsi Kepulauan di Indonesia," *Jurnal Ekonomi Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 69–85, 2024.
- [10] H. N. Anggraeni and H. Murnawan, "Pengembangan Model Dinamis dalam Pengaplikasian Pupuk Non-Kimia pada Sektor Pertanian Guna Me-Reduce Cost Production Sebagai Upaya Pengoptimalan Pendapatan Masyarakat Desa Minggirsari," *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, vol. 7, no. 2, pp. 1322–1330, 2024, doi: 10.31004/jutin.v7i2.28708.
- [11] E. S. Sintiya, "Analisis Ketersediaan Beras Menggunakan Sistem Dinamik Sebagai Pendukung Kebijakan Ketahanan Pangan," *Jurnal Tecnoscienza*, vol. 7, no. 2, pp. 268–282, 2023, doi: 10.51158/tecnoscienza.v7i2.852.
- [12] V. Sarasi, dina Yulianti, and J. I. Farras, *Berpikir Sistem dan Dinamika Sistem*, no. August 2021. Yayasan Sahabat Alam Rafflesia (Anggota IKAPI), 2021.
- [13] E. Suryani, R. A. Hendrawan, and U. E. Rahmawati, *Model dan Simulasi Sistem Dinamik*. CV Budi Utama, 2021.
- [14] M. Mandataris *et al.*, "Pembuatan Pupuk PSB dan Eco Enzim dari Telur Ayam dan Limbah Organik," *Madaniya*, vol. 5, no. 1, pp. 27–36, 2024, doi: 10.53696/27214834.581.
- [15] G. O. Wijayanto, B., Kiswanto, & Manurung, *Hama dan penyakit utama tanaman padi*. 2013.