



SIMULASI SISTEM DINAMIS MENGENAI PENGGUNAAN PUPUK SEMI ORGANIK UNTUK MENINGKATKAN PROFITABILITAS

Santi Amalia Handayani¹, Hery Murnawan²

1. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya,
2. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur
Email: santiamliaaa@gmail.com

ABSTRACT

Dynamic systems are a modeling approach to understanding the behavior of complex systems that change over time through cause-and-effect relationships between variables. In agricultural practice, fertilization is an important part of crop care, where some of the need for chemical fertilizers is met through government subsidies. However, the remaining needs must be met with high-priced non-subsidized fertilizers, resulting in increased operational costs. This condition also occurs in Gombang Village, one of the villages located in Pakel District, Tulungagung Regency, which faces similar challenges in managing agricultural costs, so the dynamic systems approach is relevant to analyzing the effectiveness of fertilizer use in increasing farmer profitability in the area. This dynamic system is carried out with the help of STELLA software, STELLA is used to design a strategy to increase profitability by compiling two scenarios. The first scenario, the use of superior seeds increases the average profitability by 31,271,686,263. The second scenario, the use of semi-organic fertilizers increases the average profitability by 38,494,816,533.

Keywords: Dynamic System, Gombang Village, Fertilizer Effectiveness

ABSTRAK

Sistem dinamis adalah pendekatan pemodelan untuk memahami perilaku sistem kompleks yang berubah seiring waktu melalui hubungan sebab-akibat antar variabel. Dalam praktik pertanian, pemupukan merupakan bagian penting dari perawatan tanaman, di mana sebagian kebutuhan pupuk kimia dipenuhi melalui subsidi pemerintah. Akan tetapi, sisa kebutuhan tersebut harus dipenuhi dengan pupuk non-subsidi yang berharga tinggi, sehingga berdampak pada meningkatnya biaya operasional. Kondisi ini juga terjadi di Desa Gombang, salah satu desa yang terletak di Kecamatan Pakel, Kabupaten Tulungagung, yang menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan biaya pertanian, sehingga pendekatan sistem dinamis menjadi relevan untuk menganalisis efektivitas penggunaan pupuk dalam meningkatkan profitabilitas petani di wilayah tersebut. Sistem dinamis ini dilakukan dengan bantuan *software* STELLA, STELLA digunakan untuk merancang strategi peningkatan profitabilitas dengan menyusun dua skenario. Skenario pertama penggunaan bibit unggul meningkatkan rata - rata profitabilitas sebesar 31.271.686.263. Skenario kedua penggunaan pupuk semi organik meningkatkan rata-rata profitabilitas 38.494.816.533.

Kata kunci: Sistem Dinamis, Desa Gombang, Efektivitas Pupuk





PENDAHULUAN

Kabupaten Tulungagung merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur yang berperan dalam penyediaan bahan pangan. Wilayah ini mencakup area seluas kurang lebih 105.565 hektar dan terdiri atas 19 kecamatan serta 271 desa atau dusun. Salah satu kecamatannya adalah Kecamatan Pakel. Kecamatan ini memiliki total luas wilayah sekitar 3.610 hektar, terdiri atas 2.191 hektar lahan sawah dan 1.419 hektar lahan non-sawah.

Dalam Kecamatan Pakel terdapat Desa Gombang, Desa Gombang memiliki luas wilayah sebesar 272,18 hektar dengan luas lahan sawah sebesar 191,5 hektar. Padi dan jagung merupakan komoditas pertanian utama di desa ini. Petani di desa ini dihadapkan pada berbagai kendala, seperti tingginya biaya operasional, keterbatasan akses terhadap pupuk bersubsidi, serta ketidakstabilan harga jual hasil panen.

Permasalahan utama yang muncul adalah ketidakseimbangan antara biaya operasional yang tinggi dengan keuntungan yang diperoleh. Sebagian besar petani sangat bergantung pada pupuk kimia, yang tidak hanya mahal tetapi juga sering kali sulit diperoleh. Kondisi ini menyebabkan peningkatan biaya produksi, sementara harga jual padi cenderung berfluktuasi terutama saat masa panen raya. Dalam jangka panjang, ketergantungan terhadap pupuk kimia turut mengurangi kesuburan tanah, sehingga dapat mengancam keberlanjutan produktivitas pertanian.

Di sisi lain, regenerasi petani masih rendah karena sektor pertanian dianggap kurang menguntungkan secara ekonomi. Temuan dari analisis ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan petani terkait penggunaan pupuk alternatif non-kimia. Selain itu, penerapan bibit unggul dan metode tanam yang tepat juga perlu dioptimalkan guna meningkatkan hasil panen dan pendapatan petani, sehingga kesejahteraan mereka dapat lebih terjamin.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem pertanian yang ada di Desa Gombang dengan menggunakan pendekatan sistem dinamis dengan bantuan perangkat lunak STELLA. Pendekatan sistem dinamis dapat digunakan untuk memahami struktur dan perilaku sistem yang kompleks, serta melakukan simulasi kebijakan yang berdampak pada sistem tersebut dalam jangka waktu tertentu (Widodo. Et al. 2016).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamis untuk menganalisis efektivitas penggunaan pupuk dalam meningkatkan profitabilitas pertanian. Sistem dinamis dipilih karena mampu menggambarkan hubungan sebab-akibat antar variabel dalam suatu sistem yang kompleks serta memungkinkan simulasi terhadap perubahan kebijakan atau strategi dalam rentang waktu tertentu. Pendekatan sistem dinamis ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak STELLA. Tahapan dalam pemodelan sistem dinamis di perangkat STELLA sebagai berikut :

1. Membuat *Causal Loop Diagram*

Causal loop diagram adalah alat visual yang berfungsi untuk menggambarkan dan menganalisis keterkaitan sebab-akibat dalam suatu sistem yang kompleks. Diagram ini sering digunakan dalam pendekatan sistem dinamis, termasuk dalam *system thinking* (pemikiran sistem), untuk menunjukkan interaksi antar elemen dalam sistem, baik yang bersifat langsung maupun tidak langsung.

2. Membuat *Stock and Flow Diagram*

Stock and flow diagram merupakan alat yang digunakan dalam pemodelan sistem dinamis untuk merepresentasikan keterkaitan antara variabel stok dan alirannya. Diagram ini

membantu dalam menganalisis perilaku sistem secara menyeluruh, sehingga memudahkan pemodel dalam memahami bagaimana perubahan pada satu bagian sistem dapat memengaruhi bagian lainnya.

3. Melakukan Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi model dalam pemodelan sistem dinamis adalah proses untuk memastikan bahwa struktur model telah dibangun dengan benar dan sesuai dengan logika sistem nyata yang dianalisis. Setelah melakukan verifikasi model dilakukan validasi model untuk memastikan bahwa model tersebut mampu merepresentasikan kondisi sistem nyata secara akurat. Validasi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu perbandingan nilai rata-rata (*Means Comparison*) dan perbandingan variasi amplitudo (*percentage error variance*). Suatu model dapat dikatakan valid pada uji *means comparison* apabila nilai $E1 \leq 5\%$. Sedangkan pada uji *percentage error variance*, model dinyatakan valid jika nilai $E2$ berada di $\leq 30\%$. Cara menghitung uji *means comparison* dan uji *percentage error variance* adalah sebagai berikut :

- Uji Means Comparison

$$E1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

S = Nilai rata-rata hasil simulasi

A = Nilai rata-rata data

- Uji Percentage Error Variance

$$E2 = \left| \frac{Ss - Sa}{Sa} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

Ss = Standar Deviasi Model

Sa = Standar Deviasi Data

4. Membuat Model Skenario

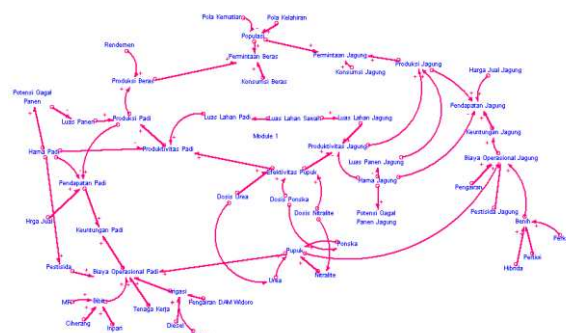
Tahapan ini mencakup proses simulasi model guna mengidentifikasi skenario yang paling optimal. Tujuannya adalah untuk meningkatkan profitabilitas petani dengan mempertimbangkan berbagai kebijakan atau strategi.

HASIL DAN PEMBAHASAN:

Faktor utama yang mempengaruhi pemodelan sistem dinamis ini adalah faktor *personal* atau *people*, faktor *planet*, dan faktor *profit*. Faktor *personal* atau *people* yang didalamnya terdapat indikator yaitu usia, pendidikan, adaptasi teknologi. Faktor *planet* yang didalamnya terdapat indikator yaitu jenis bibit pada tiap masa tanam, jenis pupuk, sumber air. Faktor *profit* yang didalamnya terdapat indikator mengenai pendapatan dan keuntungan petani dalam tiap masa tanam.

1. Causal Loop Diagram

Causal Loop Diagram (CLD) adalah representasi visual yang digunakan dalam sistem dinamis untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat antar variabel dalam suatu sistem. Diagram ini memperlihatkan bagaimana satu variabel mempengaruhi variabel lainnya melalui panah yang menunjukkan arah hubungan, serta simbol positif (+) atau negatif (-) untuk menandai jenis pengaruh tersebut, Bentuk causal loop diagram dapat dilihat pada gambar 3.1.



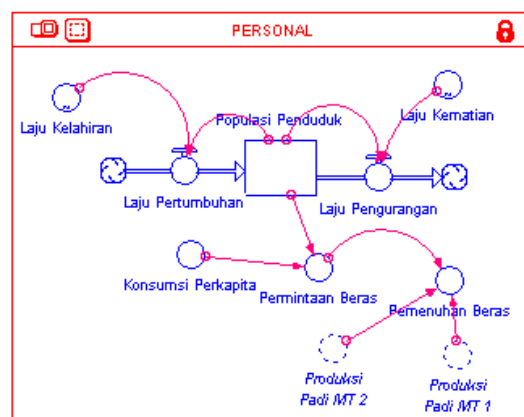
Gambar 3.1 Hubungan Sebab Akibat

Gambar 3.1 mengenai hubungan sebab akibat antar variabel dalam meningkatkan profitabilitas petani di Desa Gombang khususnya komoditas tanaman padi dan jagung Dapat dilihat untuk penduduk sendiri dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan pengurangan penduduk. Populasi ini akan mempengaruhi permintaan beras dimana permintaan beras dipengaruhi oleh hasil panen padi dan kebutuhan beras perkapita setiap orang. Luas lahan tanam yang digunakan dan tingkat potensi gagal panen akan menentukan seberapa besar luas panen dari masing-masing komoditas yang akan berdampak pada hasil panen. Dari Hasil panen dan harga jual gabah akan menghasilkan pendapatan petani yang selanjutnya akan dikurangi oleh biaya operasional petani. Loop-loop ini mencerminkan umpan balik positif dan negatif yang mempengaruhi ketersediaan pangan dan keuntungan petani.

2. Stock and Flow Diagram

2.1 Sub Model *Person (People)*

Sub model person digunakan untuk memperoleh informasi apakah hasil panen padi dari Desa Gombang dapat memenuhi kebutuhan beras penduduknya atau tidak (surplus or deficit). Variabel yang berpengaruh terhadap pemenuhan beras adalah permintaan beras dan produksi padi yang diproses menjadi beras.

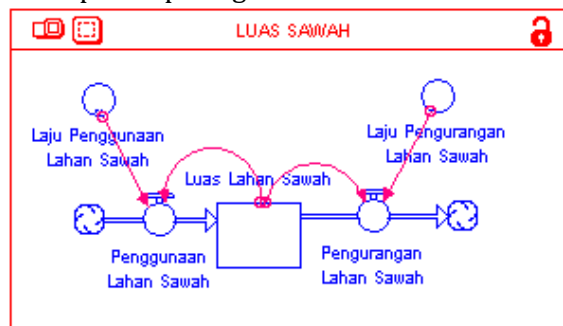


Gambar 3.2 *Stock and Flow Diagram Sub Model Person*

Data yang dibutuhkan untuk sub model person adalah jumlah populasi penduduk Desa Gombang, laju pertumbuhan penduduk, rendemen padi ke beras, dan konsumsi beras perkapita.. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui bagaimana kondisi pemenuhan kebutuhan primer (beras) dari hasil panen padi berdasarkan tingkat demand-nya.

2.2 Sub Model Luas Lahan Sawah

Sub model luas lahan sawah digunakan untuk menggambarkan seberapa besar produktif luas lahan sawah yang cocok untuk ditanami. Pengembangan model ini dirancang agar dapat mencerminkan kondisi nyata lahan sawah di Desa Gombang, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.2.

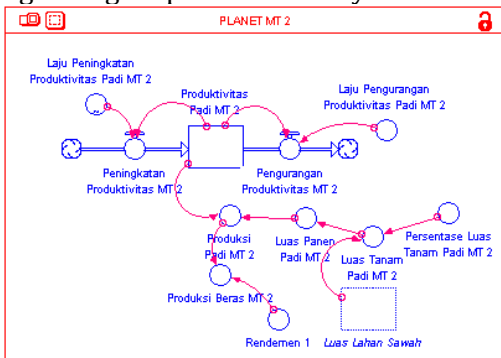


Gambar 2.2 *Stock and Flow Diagram* Sub Model Luas Lahan Sawah

Pada gambar stock and flow diagram luas lahan sawah meliputi penggunaan lahan sawah serta pengurangan lahan sawah. Data yang dibutuhkan meliputi luas lahan sawah, laju penggunaan lahan sawah, dan pengurangan lahan sawah. Simulasi ini digunakan untuk mengetahui kondisi lahan sawah, lahan sawah di Desa Gombang meningkat atau berkurang.

2.3 Sub Model Planet

Submodel planet memiliki peran krusial dalam merepresentasikan faktor-faktor lingkungan yang berdampak pada produktivitas pertanian di Desa Gombang. Pada sub model ini menunjukkan bahwa produksi padi diawali dari ketersediaan lahan sawah yang menentukan seberapa luas area yang dapat ditanami. Luas tanam tersebut kemudian menghasilkan luas panen, meskipun dapat berkurang akibat potensi gagal panen yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Jumlah produksi padi dihitung dengan mengalikan luas panen yang tersedia dengan tingkat produktivitasnya.



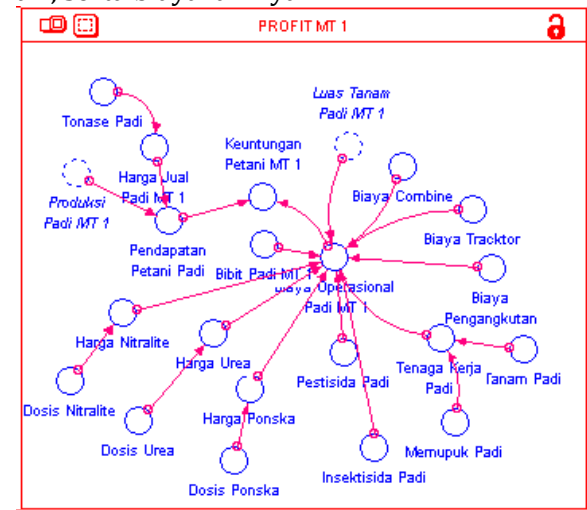
Gambar 3.3 *Stock and Flow Diagram* Sub Model Planet

Data yang digunakan dalam sub model ini memerlukan data yang berkaitan dengan aspek lingkungan, seperti luas lahan sawah,

luas tanam, produksi tanaman, serta informasi yang mempengaruhi tingkat produktivitas.

2.3 Sub Model Profit

Sub model *profit* berfungsi untuk menghitung keuntungan yang diperoleh petani dari hasil produksi. Komponen utama dalam sub model ini meliputi pendapatan yang diperoleh dari penjualan hasil panen tanaman dan biaya operasional yang mencakup penggunaan pupuk, tenaga kerja, air, serta biaya lainnya.



Gambar 3.4 *Stock and Flow Diagram* Sub Model Profit

Data yang digunakan dalam sub model *profit* ini memerlukan data yang berkaitan dengan biaya, seperti biaya operasional, harga jual, keuntungan petani, dan luas tanam.

3. Verifikasi dan Validasi Model

Setelah diagram stock and flow dibentuk, dilakukan verifikasi struktur model untuk memastikan keterkaitan antar variabel telah sesuai dalam menggambarkan proses perolehan keuntungan dari budidaya padi. Setiap submodel terdiri dari komponen stock, flow, dan variabel auxiliary.

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibangun



benar-benar mencerminkan kondisi sistem yang sebenarnya. Proses validasi ini salah satunya menggunakan *behavior validity test*.

3.1 Behavior Validity Test Populasi Penduduk

Tabel 3.1 Behavior Validity Test Populasi Penduduk

TAHUN	DATA REAL	SIMULASI
2019	3959	3.959
2020	3790	3.923
2021	3814	3.923
2022	3815	3.900
2023	3848	4.075
MEAN	3845,2	3.956
STDEV	66,878	62,499
E1	2,89%	
E2	6,55%	

Tabel 3.1 memperlihatkan bahwa nilai hitung E1 sebesar 2,89%, yang mana nilai tersebut $\leq 5\%$. Selanjutnya, nilai hitung E2 untuk populasi penduduk adalah $\leq 30\%$, yaitu sebesar 6,55%. Dengan demikian, model dapat dinyatakan valid.

3.2 Behavior Validity Test Luas Lahan Sawah

Tabel 3.2 Behavior Validity Test Luas Lahan Sawah

TAHUN	DATA REAL	SIMULASI
2019	192,50	192,5
2020	191,50	192,5
2021	191,50	193,46
2022	191,50	193,46
2023	191,5	193,46
MEAN	191,70	193,076
STDEV	0,447	0,526
E1	0,72%	
E2	17,58%	

Tabel 3.2 memperlihatkan bahwa nilai hitung E1 sebesar 0,72%, yang mana nilai tersebut $\leq 5\%$. Selanjutnya, nilai hitung E2 untuk populasi penduduk adalah $\leq 30\%$, yaitu sebesar 17,58%. Dengan demikian, model dapat dinyatakan valid.

3.3 Behavior Validity Test Planet

Tabel 3.3 Behavior Validity Test Planet

TAHUN	DATA REAL	SIMULASI
2019	192,50	192,5
2020	191,50	192,5
2021	191,50	193,46
2022	191,50	193,46
2023	191,5	193,46
MEAN	191,70	193
STDEV	0,447	0,470
E1	0,72%	
E2	5,16%	

Tabel 3.3 memperlihatkan bahwa nilai hitung E1 sebesar 0,72%, yang mana nilai tersebut $\leq 5\%$. Selanjutnya, nilai hitung E2 untuk populasi penduduk adalah $\leq 30\%$, yaitu sebesar 5,16%. Dengan demikian, model dapat dinyatakan valid.

3.4 Behavior Validity Test Profit

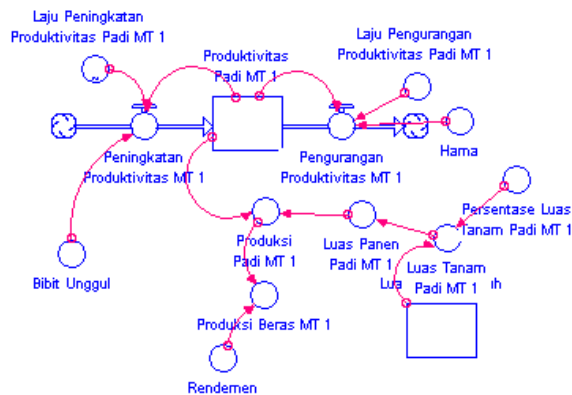
TAHUN	DATA REAL	SIMULASI
2019	10.385.930.000	10.383.450.000
2020	10.393.866.000	10.383.450.000
2021	10.481.906.000	10.591.897.759
2022	10.052.494.000	10.221.181.337
2023	10.093.290.000	10.221.181.337
MEAN	10.281.497.200	10.360.232.087
STDEV	194654218,930	136687489,172
E1	0,77%	
E2	29,78%	

Tabel 3.4 memperlihatkan bahwa nilai hitung E1 sebesar 0,77%, yang mana nilai

tersebut $\leq 5\%$. Selanjutnya, nilai hitung E2 untuk populasi penduduk adalah $\leq 30\%$, yaitu sebesar 29,78%. Dengan demikian, model dapat dinyatakan valid.

4. Hasil Skenario Model

4.1 Skenario Model Penggunaan Bibit Unggul



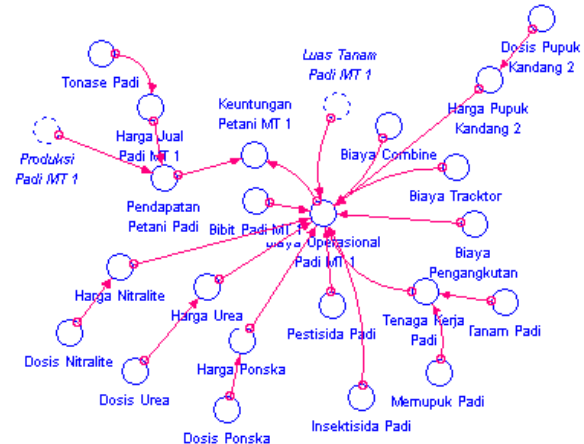
Gambar 3.5 *Stock and Flow Diagram* Skenario Penggunaan Bibit Unggul

Berdasarkan skenario penggunaan bibit unggul didapatkan total profit petani dari tahun 2021 sampai 2030

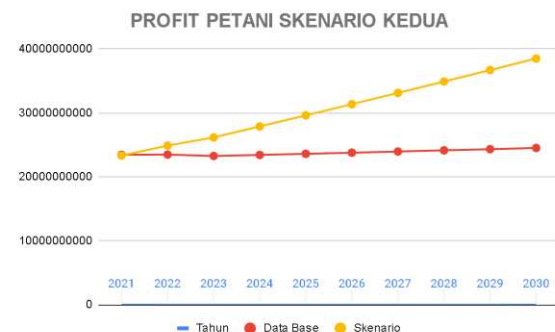


Gambar 3.6 Perbandingan Profit Petani Skenario Penggunaan Bibit Unggul
Berdasarkan hasil skenario pertama profit petani meningkat hingga 31.271.686.263. Hal ini dapat mengoptimalkan keuntungan petani.

4.2 Skenario Model Penggunaan Pupuk Semi Organik



Gambar 3.7 *Stock and Flow Diagram* Skenario Penggunaan Pupuk Semi Organik
Berdasarkan skenario penggunaan pupuk semi organik didapatkan total profit petani dari tahun 2021 sampai 2030



Gambar 3.8 Perbandingan Profit Petani Skenario Penggunaan Pupuk Semi Organik
Berdasarkan hasil skenario kedua profit petani meningkat hingga 38.494.816.533. Hal ini dapat mengoptimalkan keuntungan petani.

KESIMPULAN:

Tingkat keuntungan petani di Desa Gombang dipengaruhi oleh dua kelompok faktor utama, yaitu faktor lingkungan (planet) dan karakteristik petani (personal). Faktor personal mencakup aspek-aspek seperti usia, tingkat pendidikan, dan kemampuan adaptasi



terhadap teknologi, yang berperan dalam pengambilan keputusan dan efisiensi pengelolaan lahan. Sementara itu, faktor planet meliputi jenis bibit yang digunakan pada setiap musim tanam, jenis pupuk yang diaplikasikan, serta ketersediaan sumber air. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, dilakukan penyusunan dua skenario, yaitu skenario penggunaan bibit unggul dan penggunaan pupuk semi organik. Berdasarkan dua skenario, skenario penggunaan pupuk semi organik yang menghasilkan skenario yang meningkat profit petani hingga 38.494.816.533.

UCAPAN TERIMA KASIH:

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Anggota Dinas Pertanian Tulungagung, Badan Penyuluhan Pertanian (BPP) Kecamatan Pakel, anggota GAPOKTAN dan POKTAN Desa Gombang, serta para petani yang telah bersedia meluangkan waktu dan kooperatif pada saat diadakan sesi diskusi dan wawancara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, H. N. dan Murnawan, H. (2024). Pengembangan Model Dinamis dalam Pengaplikasian Pupuk Non-Kimia pada Sektor Pertanian Guna Me-Reduce Cost Production Sebagai Upaya Pengoptimalan Pendapatan Masyarakat Desa Minggirsari. *TIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*. <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jutin/article/view/28708/20944>
- Aprillya, M. R. (2020). Pengembangan Model Simulasi Dan Skenario Sistem Dinamik Untuk Peningkatan Kualitas Hasil Panen Padi Dalam Rangka Mendukung Ketahanan Pangan https://repository.its.ac.id/72957/1/05211750012013-Master_Thesis.pdf
- Donoriyanto, D. S., Nugraha, I., & Ardianti, R. A. (2023). Analisis Ketersediaan Beras Di Surabaya Dengan Pendekatan Sistem Dinamis. *Tekmapro*, 18(2), 23–34. <https://doi.org/10.33005/tekmapro.v18i2.334>
- Hakim, L., Ginting, L. N., & Milla, A. N. (2023). Pemodelan dinamika sistem ketersediaan ubi kayu di kabupaten Aceh Besar. *Agromix*, 14(1), 48-59.
- Iphov Kumala Sriwana, Nofi Erni, & Rusydiana Abdullah. (2020). PERANCANGAN MODEL PERSEDIAAN BAHAN BAKU UBI UNGU PADA PRODUKSI KERIPIK UBI UNGU DENGAN METODE SIMULASI SISTEM DINAMIS. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2). <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.2.167>
- Nurhasanah, N., & Fadlilah A, S. N. (2012). PEMODELAN STRATEGI PEMASARAN PRODUK BARANG JADI TEKSTIL BERDASARKAN PENDEKATAN SIMULASI SISTEM DINAMIK PADA INDUSTRI KECIL MENENGAH DI KOTA BOGOR. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 7(1), 27-36. <https://doi.org/10.12777/jati.7.1.27-36>
- Sintiya, E. S. (2023). Analisis Ketersediaan Beras Menggunakan Sistem Dinamik Sebagai Pendukung Kebijakan Ketahanan Pangan. *Jurnal Tecnoscienza*, 7(2), 268–282. <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v7i2.852>
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Muhandhis, I., & Indraswari, R. (2022). A simulation model to improve the value of rice supply chain (A case study in East Java–Indonesia). *Journal of Simulation*, 16(4), 392–414. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1829118>



- Sugianto, A. M. R., & Murnawan, H. (2025). Pemanfaatan Bibit Unggul dan Pupuk Semi Organik untuk Ketahanan Pangan Berbasis Sistem Dinamis. *JURNAL SURYA TEKNIKA*, 12(1), 392-398.
- Ummah, M. S. (2019). Naskah Buku Model Sistem Dinamis Peningkatan Produktivitas Padi. *Sustainability* (Switzerland), 11(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Wajdah, R. R., Nurmawati, R., & Yusalina. (2024). Ketersediaan beras menuju kemandirian pangan: pendekatan sistem dinamik Rice availability towards food resiliency: a dynamic systems approach. *Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian*, 1, 63–80. <https://doi.org/10.21082/akp.v22n1.2024.63-80>