

Simulasi Model Dinamis Optimalisasi *Profit* Guna Tercapainya Ketahanan Pangan Yang Berkelanjutan Di Desa Kamulan

Sharfina Razana¹, Hery Murnawan²

^{1,2}Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
 Email: ¹sharfinarazana23@gmail.com, ²herymurnawan@untag-sby.co.id
 Email Penulis Korespondensi: ¹sharfinarazana23@gmail.com

Abstrak– Kabupaten Blitar merupakan salah satu wilayah di Provinsi Jawa Timur yang memiliki potensi besar dalam sektor pertanian, dengan nilai Indeks Ketahanan Pangan sebesar 86,43 pada tahun 2024. Tercapainya ketahanan pangan berkelanjutan terdapat tantangan pada tiga pilar utama berkelanjutan: ekologi (*planet*), ekonomi (*profit*), dan sosial (*person*). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamis dengan tiga sub model yang mencerminkan keberlanjutan: *people, planet, profit*. Penggunaan pendekatan model dinamis memungkinkan untuk menganalisis keterkaitan antara variable jenis komoditas, hasil produksi, biaya operasional, serta pendapatan petani dalam sistem pertanian di Desa Kamulan, sehingga memungkinkan menyusun simulasi berbagai skenario. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model skenario adaptasi teknologi modern, penggunaan varietas unggul bibit jagung dan substitusi pupuk cair organik urin kambing untuk mengetahui skenario mana yang dapat menghasilkan keuntungan optimal guna mencapai ketahanan pangan berkelanjutan di Desa Kamulan. Skenario adaptasi penggunaan teknologi modern mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 1.06%, skenario penggunaan varietas unggulan bibit jagung yang mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 2.56% dan skenario substitusi penggunaan pupuk organik cair urin kambing yang mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 1%. Model skenario yang menghasilkan keuntungan optimal terdapat pada skenario penggantian varietas unggul bibit jagung yang dapat meningkatkan keuntungan petani dari Rp. 79.367.510.698 menjadi Rp. 81.450.120.501.

Kata Kunci: Sistem Dinamis, Ketahanan Pangan, Skenario, Keuntungan Petani, Varietas Bibit, Pupuk Organik, Adaptasi Teknologi.

Abstract– Blitar Regency is one of the regions in East Java Province with significant potential in the agricultural sector, indicated by a Food Security Index score of 86.43 in 2024. Achieving sustainable food security faces challenges across the three pillars of sustainability: ecology (*planet*), economy (*profit*), and social (*person*). This study was conducted using a system dynamics approach. The use of a dynamic model approach enables the analysis of interrelationships among variables such as crop types, production yields, operational costs, and farmers' income within the agricultural system in Kamulan Village. This allows for the simulation of various scenarios in farm management to determine the most optimal scenario model to achieve sustainable food security in the region. The adaptation scenario involving the use of modern technology increased overall farmers' *profits* by 1.01%. The scenario of using high-quality hybrid corn seed varieties increased *profits* by 2.43%, while the substitution scenario involving the use of liquid organic fertilizer made from goat urine increased *profits* by 1%. The most optimal scenario in terms of *profit* was the adoption of superior hybrid corn seed varieties, which increased farmers' income from IDR 79,367,510,698 to IDR 81,450,120,501.

Keywords: Dynamic System, Food Security, Skenario, Farmer *Profit*, Seed Variety, Organik Fertilizer, Technology Adaptation.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Blitar merupakan salah satu Kabupaten yang berada di Provinsi Jawa Timur dan memiliki potensi besar di sektor pertanian. Nilai Indeks Ketahanan Pangan Kabupaten Blitar pada tahun 2024 sebesar 86,43 dan menduduki ranking 48 dari 416 Kabupaten. Indeks Ketahanan Pangan Nasional disusun untuk mengevaluasi capaian ketahanan pangan dan gizi anatar kabupaten/kota dan provinsi [1]. Dilihat dari kondisi tersebut menunjukkan bahwasannya Kabupaten Blitar termasuk dalam Kabupaten yang memiliki ketahanan pangan paling baik. Desa Kamulan merupakan desa yang terletak di Kecamatan Talun, bagian utara Kabupaten Blitar dan memiliki potensi dalam mendukung keberagaman komoditas unggulan seperti, padi, jagung dan cabai keriting.

Desa Kamulan memiliki luas wilayah 483 Ha dan luas lahan sawah 266,27 Ha. Luas lahan sawah Desa Kamulan mengalami penurunan sedikit demi sedikit pada tiap tahunnya. Berkurangnya luas lahan sawah dapat terjadi dikarenakan alih fungsi lahan yang menjadi salah satu hambatan dalam produksi komoditas pangan dan dapat menyebabkan penurunan ketersediaan pangan, seiring berkurangnya luas lahan sawah [2]. Lain halnya dengan luas lahan sawah yang setiap tahun mengalami penurunan, jumlah penduduk pada Desa Kendalrejo rata-rata mengalami peningkatan 1.06% tiap tahunnya. Seiring dengan penambahan jumlah penduduk maka kebutuhan pangan masyarakat juga meningkat [3].

Tabel 1. Pemenuhan Kebutuhan Beras Penduduk Kamulan

Tahun	Jumlah Penduduk	Asumsi Kebutuhan Beras/Tahun (Ton)	Produksi Setara Beras (Ton)
2019	3101	245.95	940.279
2020	3330	264.12	940.279
2021	3330	264.12	937.02
2022	3329	264.04	888.132
2023	3336	264.59	867.827

Hasil panen padi pada Desa Kamulan dilihat dari tabel diatas masih mencukupi kebutuhan pangan dan dapat dikatakan surplus. Terwujudnya ketahanan pangan berkelanjutan diperlukan pendekatan berkelanjutan yang terdiri dari 3 pilar yaitu sosial (*person*), ekologi (*planet*) dan ekonomi (*profit*) yang memperhatikan keseimbangan antara produksi pertanian, daya dukung ekosistem dan kesejahteraan petani [4]. Untuk mendukung pencapaian ketahanan pangan yang berkelanjutan dengan kondisi desa yang surplus padi maka diperlukan upaya optimalisasi keuntungan yang didapatkan dari komoditas lain seperti komoditi jagung dan cabai, sehingga memperkuat diverifikasi pendapatan petani.

Terdapat beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan untuk keberlanjutan sistem pertanian sehingga ketahanan pangan berkelanjutan dapat tercapai. Salah satunya adalah aspek lingkungan yang berkaitan dengan produktivitas pertanian mencakup faktor kondisi dan luas lahan, varietas bibit, jenis pupuk yang digunakan, perubahan cuaca, tingkat serangan hama, dan juga pH tanah yang merepresentasikan tingkat kesuburan tanah. Faktor-faktor dalam aspek lingkungan tersebut menjadi tantangan tersendiri dalam menjaga stabilitas hasil produksi dan *profit* yang didapatkan petani.

Salah satu yang mempengaruhi produktivitas adalah kualitas bibit, yang berperan penting dalam menentukan output hasil produksi yang berpengaruh pada pendapatan petani. Pemilihan bibit unggul yang adaptif terhadap kondisi lingkungan dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama, penyakit, serta kondisi cuaca pada musim penghujan maupun kemarau [5]. Pola tanam pada Desa Kamulan terdapat 3 musim tanam dimana pada musim tanam satu 97% petani menanam padi, pada musim tanam dua 53% menanam jagung, 34% cabai dan 3% oadi, pada musim tanam tiga 56% menanam jagung dan 34% cabai. Komoditi jagung menjadi komoditi unggulan di Desa Kamulan karena memiliki presentase penanamannya yang cukup besar, dari kondisi tersebut pemilihan bibit yang tepat untuk mendukung peningkatan produktivitas jagung perlu diupayakan sebagai strategi keberlanjutan *profit* bagi petani.

Selain itu, penggunaan bahan kimia yang berlebihan dapat menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan ekologi alam (*planet*). Kebergantungan pada pupuk kimia dapat menyebabkan degradasi tanah seperti penurunan unsur hara, berkurangnya bahan organik dalam tanah, serta rusaknya struktur tanah, dan pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil panen [6]. Degradasi tanah akibat kebergantungan pemakaian pupuk kimia dapat menyebabkan peningkatan dosis untuk mempertahankan tingkat produktivita yang sama. Kebutuhan pupuk pada komoditi padi 70% dipenuhi dari pupuk subsidi dan sisanya menggunakan pupuk non-subsidi. Sementara itu pada tanaman cabai mayoritas petani sepenuhnya bergantung pada pupuk kimia non-subsidi, dengan kondisi tersebut dapat menyebabkan tingginya biaya operasional.

Selain itu, Permasalahan dalam keberlanjutan eksistensi social manusia (*people*) terlihat dari mayoritas petani yang berusia di atas 40 tahun yang mencerminkan rendahnya keterlibatan generasi muda dalam sektor pertanian. Selain itu, tingkat pendidikan yang masih relatif rendah turut berdampak pada terbatasnya akses dan pemahaman terhadap teknologi dan teknik pertanian. Kondisi ini menunjukkan bahwa regenerasi petani belum berjalan secara optimal, sehingga berpengaruh terhadap rendahnya kualitas sumber daya manusia dalam mendukung keberlanjutan usaha tani. Untuk mencapai keberlanjutan dalam sektor pertanian dan produktivitas pertanian berkelanjutan, perlu dilakukan pengembangan teknologi serta riset inovatif melalui adaptasi teknologi modern, penggunaan varietas unggul dan perbaikan kualitas tanah [7].

Beban biaya yang ditanggung petani juga mencakup biaya sarana produksi, alat pertanian, tenaga kerja serta pengolahan lahan. Tingginya biaya operasional dan juga fluktuasi harga jual komoditi dapat berdampak pada ketidakstabilan keuntungan usaha tani. Kondisi tersebut dapat menjadi tantangan dalam menjaga keberlanjutan ekonomi (*profit*) di sektor pertanian. Fokus terhadap pengelolaan biaya dengan adaptasi teknologi modern dan substitusi penggunaan pupuk cair organik urin kambing serta peningkatan hasil produksi komoditi unggul dapat menjadi upaya, sehingga dapat berdampak pada keberlanjutan usaha tani serta ketahanan pangan desa. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis model skenario adaptasi teknologi modern, penggunaan varietas unggul bibit jagung dan substitusi pupuk cair organik urin kambing untuk mengetahui skenario mana yang dapat menghasilkan keuntungan optimal guna mencapai ketahanan pangan berkelanjutan di Desa Kamulan dengan menggunakan pendekatan model dinamis.

Penggunaan pendekatan model dinamis memungkinkan untuk menganalisis keterkaitan antara variable jenis komoditas, hasil produksi, biaya operasional, serta pendapatan petani dalam sistem pertanian di Desa Kamulan. Pendekatan sistem dinamis mampu memodelkan perilaku yang tidak linear serta menganalisis interaksi dinamis (umpan-balik) antar faktor yang saling mempengaruhi, sehingga berbagai skenario tindakan atau perubahan dalam sistem dapat dievaluasi dengan lebih efektif [8]. Penggunaan software STELLA memungkinkan simulasi berbagai skenario dalam pengelolaan usaha tani untuk menentukan model skenario yang paling optimal antara lain, skenario adaptasi teknologi modern, skenario penggunaan varietas unggul komoditi jagung dan skenario penggunaan pupuk organik cair urin kambing. Model akan dirancang untuk mengefisienkan biaya operasional yang dikeluarkan petani sehingga dapat meningkatkan keuntungan petani.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pendekatan dalam penelitian ini yaitu dengan menerapkan pendekatan sistem dinamis untuk menganalisis perilaku sistem dalam model pertanian di Desa Kamulan. Melalui pendekatan dengan menggunakan sistem dinamis ini,

pengambilan keputusan dalam perumusan kebijakan dapat dilakukan secara lebih terarah dan implementatif [8], khususnya dalam efisiensi biaya operasional yang dikeluarkan petani dan optimalisasi komoditi unggulan, sehingga berdampak pada pendapatan petani secara berkelanjutan. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dalam pembuatan model sistem dinamis, yaitu: pengumpulan data, menentukan batasan model, pembuatan *causal loop diagram*, *stock and flow diagram*, validasi model dan pembuatan skenario model.

2.1. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data digunakan dalam proses penelitian untuk dianalisis sehingga dapat mengembangkan model dan untuk mengidentifikasi variable mana yang signifikan terhadap sistem. Terdapat data primer dan sekunder dalam pengumpulan data. Wawancara serta pengamatan langsung dilapangan dilakukan untuk memperoleh data primer yang akan digunakan meliputi, data musim tanam dan presentase komoditas yang ditanam, data hasil produksi komoditas, data kebutuhan pupuk tiap komoditi, data biaya operasional pertanian (mencakup biaya sarana produksi, alat pertanian, tenaga kerja serta pengolahan lahan), data harga jual tiap komoditi. Selain data primer terdapat juga data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data skunder didapatkan dari BPP Kecamatan Talun Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Talun selama 5 tahun meliputi, data jumlah penduduk Desa Kamulan tahun 2019-2023, data luas wilayah Desa Kamulan tahun 2019-2023, dan data luas lahan sawah Desa Kamulan tahun 2019-2023.

2.2. Causal Loop Digram

Tahap *causal loop diagram* ini membuat diagram sebab akibat dari variable maupun komponen-komponen terkait yang telah didapatkan sebelumnya yang bertujuan membantu dalam memvisualisasikan keterkaitan antara berbagai variable yang terdapat dalam suatu sistem sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Hubungan tiap variabel dalam *causal loop diagram* diilustrasikan melalui panah dengan tanda (+) yang menunjukkan searah atau positif dan tanda (-) yang menunjukkan berlawanan atau negatif [9].

2.3. Stock and flow diagram

Tahapan selanjutnya setelah penyusunan *causal loop diagram* yaitu membangun formulasi model melalui penyusunan *stock and flow diagram* [10]. Pada tahap ini elemen dan variable yang terdapat pada causal loop diubah menjadi persamaan, level, rate, auxiliary, source dan sink. Stock & flow diagram digambarkan secara rinci dengan menunjukkan hubungan antar variable yang telah dinyatakan dalam bentuk simbol-simbol tertentu sehingga dapat dilakukan penyusunan model matematis untuk menentukan nilai parameter dan estimasi dari nilai awal.

2.4. Validasi Model

Pengujian validasi dilakukan untuk memastikan bahwa struktur dan perilaku model yang dibuat telah merepresentasikan kondisi nyata. Tahapan ini penting untuk menilai sejauh man model dapat dipercaya dalam mensimulasikan dinamika kondisi nyata. Pengujian pada validasi sistem dilakukan dengan dua cara yaitu *structural validation* dan *behavioral validity*. *Behaviour test* yang dilakukan dua cara pengujian, yaitu dengan uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dimana model dikatakan valid apabila hasilnya $E1 \leq 5\%$, dan juga dilakukan uji perbandingan variasi amplitud (% *error variance*) apabila hasilnya $E2 \leq 30\%$ maka model dikatakan valid [11].

2.5. Skenario Model

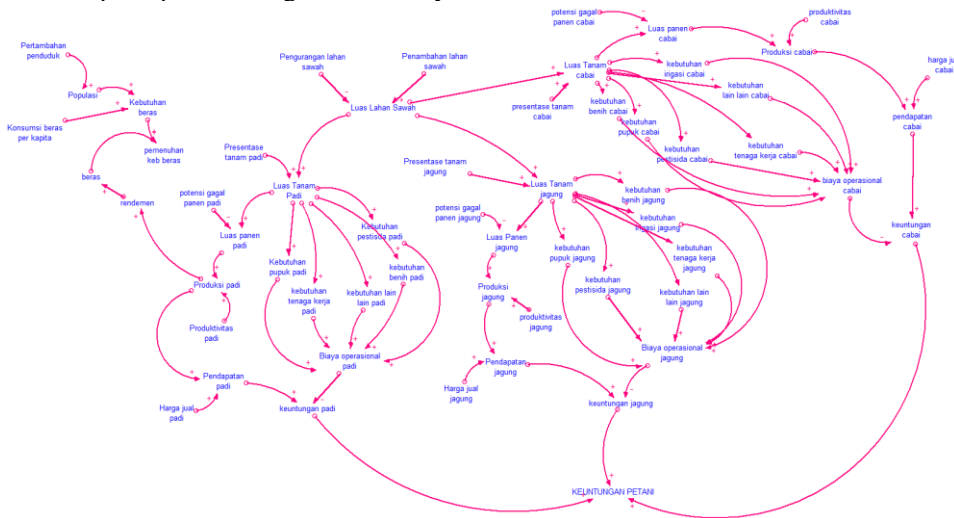
Perancangan skenario dilakukan setelah model telah terverifikasi dan dianggap valid. Perancangan skenario dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem sesuai agar dapat mencapai tujuan yang diinginkan. Tujuan dilakukan simulasi ini untuk membandingkan hasil dari experiment model skenario dengan hasil model yang mempresentasikan sistem nyata sehingga terciptanya hasil tujuan yang optimal [12]. Pengembangan skenario pada penelitian ini dilakukan dengan memperbaiki faktor-faktor yang mendukung terwujudnya ketahanan pangan berkelanjutan. Skenario yang disusun meliputi efisiensi biaya operasional pertanian melalui skenario adaptasi penggunaan teknologi modern dan skenario penggunaan pupuk organik cair urin kambing serta skenario optimalisasi produksi komofitas unggulan melalui penggunaan varietas bibit jagung yang unggul.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil wawancara yang dilakukan dengan petani bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai kondisi pertanian di Desa Kamulan yang nantinya dapat digunakan untuk membangun model. Model dinamis pada penelitian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang nantinya akan membantu dalam pembentukan struktur model. Faktor-faktor tersebut dirumuskan melalui pendekatan berkelanjutan yang mencakup tiga aspek utama, yaitu faktor sosial (*person*), faktor ekologi (*planet*) dan faktor ekonomi (*profit*). Faktor *person* mencakup variabel seperti jumlah penduduk dan tingkat pemenuhan kebutuhan pangan penduduk. Faktor *planet* melibatkan variabel-variabel yang berkaitan dengan lingkungan pertanian, seperti, jenis komoditas pada setiap musim tanam, jenis dan kebutuhan pupuk, luas lahan sawah, serta hasil panen yang diperoleh. Faktor *profit* terdiri dari variabel biaya operasional petani, pendapatan yang diperoleh petani dan keuntungan petani yang dihasilkan. Ketiga aspek tersebut secara terpadu membentuk dasar bagi pengembangan model dinamis yang mempresentasikan kondisi nyata.

3.1 Causal loop diagram

Causal loop diagram (CLD) digunakan untuk memetakan hubungan sebab-akibat berbagai variabel dalam suatu sistem yang kompleks. Melalui diagram ini, interaksi dinamis antar faktor yang mempengaruhi kinerja dan output sistem pertanian dapat dipahami dengan lebih menyeluruh.



Gambar 1. Causal loop diagram

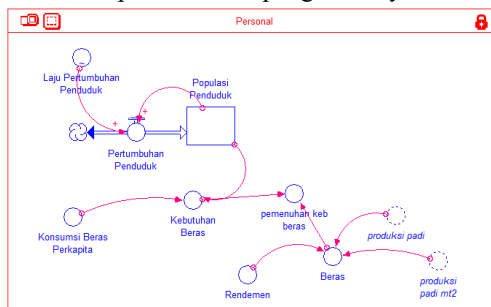
Causal loop diagram (CLD) yang ditunjukkan pada Gambar 1 menggambarkan hubungan sebab-akibat yang kompleks dalam sistem pertanian di Desa Kamulan, dengan fokus pada komoditas utama seperti cabai, jagung, dan padi. Diagram ini menggambarkan bagaimana berbagai variabel saling berinteraksi untuk mempengaruhi produktivitas, pendapatan petani, biaya operasional, dan harga jual komoditas pertanian.

3.2 Stock and Flow Diagram

Stock and flow diagram adalah alat yang digunakan untuk memodelkan dinamika suatu sistem dengan menggambarkan hubungan antara stok (stock) dan aliran (flow) yang ada dalam sistem tersebut. Diagram ini membantu untuk memahami bagaimana perubahan dalam stok suatu variabel dipengaruhi oleh aliran masuk dan keluar dari variabel tersebut. Ini adalah representasi visual yang sangat berguna dalam analisis sistem dinamis, terutama dalam konteks yang melibatkan perubahan jangka panjang dan interaksi antar elemen sistem.

3.2.1. Sub Model Populasi dan Pemenuhan Pangan (Person)

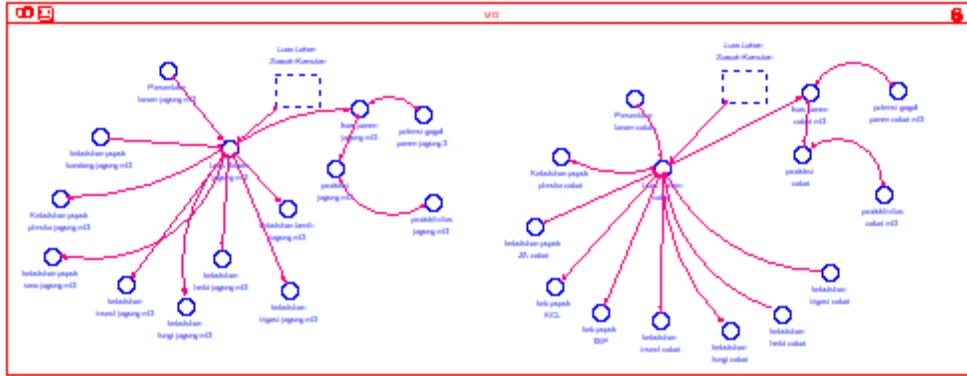
Sub model populasi dan pemenuhan pangan digunakan untuk mengetahui jumlah kebutuhan beras untuk konsumsi pangan penduduk. Jumlah kebutuhan beras untuk penduduk Desa Kamulan dapat dilihat dari populasi penduduk dan dipengaruhi oleh konsumsi beras per kapita. Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, kita dapat memperkirakan kebutuhan beras yang diperlukan untuk mencukupi kebutuhan pangan masyarakat di masa yang akan datang.



Gambar 2. Sub Model Person

Data yang diperlukan untuk dimasukkan ke dalam model yaitu data jumlah penduduk pada tahun 2019-2023, yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan laju pertumbuhan penduduk pada tiap tahunnya dalam bentuk indeks. Jumlah penduduk pada periode 2019 hingga 2023 mengalami peningkatan. Semakin meningkatnya jumlah penduduk maka kebutuhan beras akan mengalami peningkatan mengikuti pertumbuhan populasi penduduknya. Konsumsi beras perkapita adalah 217,3 gram per hari. Pemenuhan kebutuhan beras mengalami penurunan dari tahun ke tahun, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan jumlah penduduk yang terus meningkat pada tiap tahunnya sehingga kebutuhan akan beras dapat meningkat, tetapi hasil produksi mengalami penurunan dikarenakan luas lahan yang berkurang.

3.2.2. Sub Model Planet



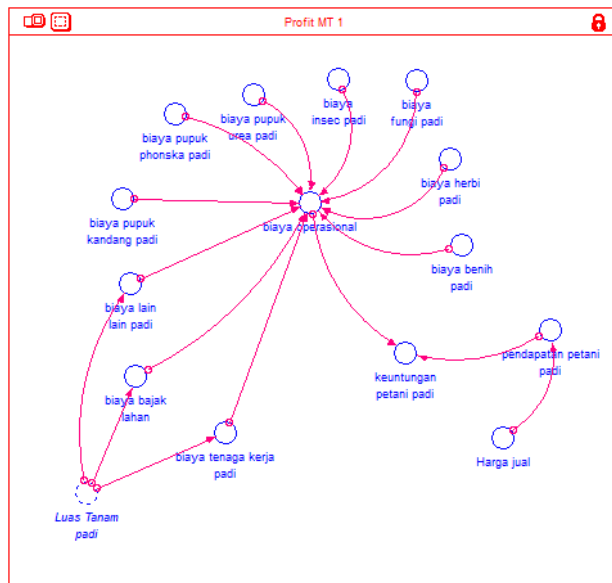
Gambar 5 Sub Model Planet 3

Data yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam sub model masa tanam tiga adalah data luas tanam jagung masa tanam tiga dan luas tanam cabai masa tanam tiga yang didapatkan dari luas lahan sawah dikali dengan presentase tanam jagung dan cabai masa tanam tiga, data produktivitas jagung dan cabai masa tanam tiga dan kebutuhan-kebutuhan dalam menunjang produksi jagung dan cabai pada masa tanam tiga.

3.2.3. Sub Model Profit

Sub model *profit* digunakan untuk menganalisis pengaruh berbagai faktor biaya dan pendapatan terhadap keuntungan yang diperoleh petani. Adapun data yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam sub model *profit* adalah biaya-biaya dari kebutuhan yang diperlukan dalam proses penanaman dari awal proses tanam hingga panen.

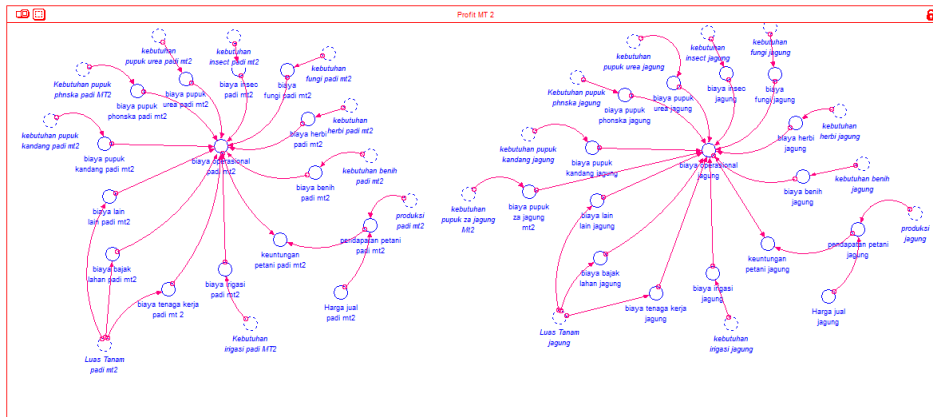
a. Sub Model Profit MT 1



Gambar 6 Sub Model Profit MT 1

Pada sub model *profit* dapat menunjukkan berbagai komponen biaya operasional yang harus dikeluarkan petani serta berkaitan pada keuntungan yang didapatkan dari pendapatan petani yang dipengaruhi oleh produksi komoditi musim tanam satu yang dihasilkan. Keuntungan komoditi padi pada masa tanam satu dapat dilihat bahwasannya keuntungan padi dipengaruhi oleh hasil produksi dikarenakan harga jual komoditi padi sudah ditetapkan menjadi Rp. 6500 per kilonya.

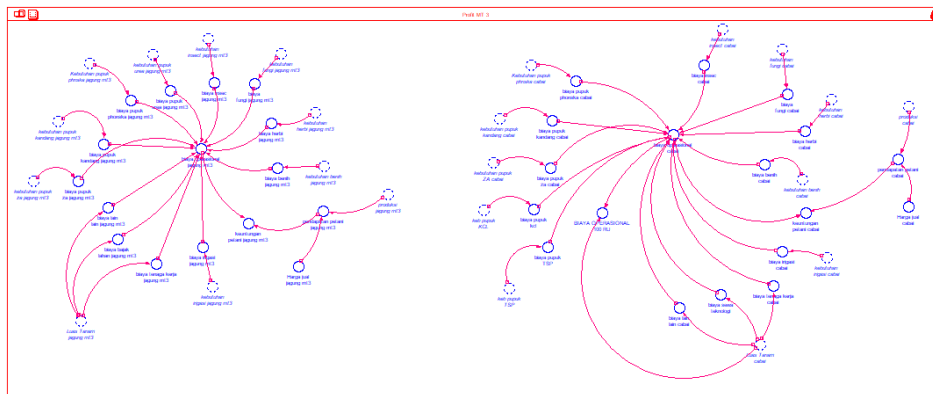
b. Sub Model Profit MT 2



Gambar 7 Sub Model Profit MT 2

Sub model *profit* pada musim tanam dua terdiri dari tiga komoditi, yaitu komoditi padi, jagung dan cabai. Keuntungan komoditi padi dan jagung dipengaruhi oleh hasil produksi apabila hasil produksi menurun maka keuntungan yang didapatkan menurun. Hal tersebut dikarenakan pada komoditi padi dan jagung harga jual telah ditetapkan dari awal, sehingga keuntungan petani tidak dipengaruhi oleh fluktuasi harga. Berbeda dengan komoditi cabai dimana pada komoditi cabai memiliki harga jual yang fluktuatif, hal tersebut dapat mempengaruhi keuntungan petani selain dari sisi produksi.

c. Sub Model Profit MT 3



Gambar 8 Sub Model Profit MT3

Sub model *profit* pada musim tanam tiga terdiri dari dua komoditi, yaitu komoditi jagung dan cabai. Sama halnya dengan *profit* pada mt 2, pada mt 3 juga komoditi jagung sudah memiliki ketetapan harga sehingga yang memengaruhi keuntungan dari komoditi jagung adalah hasil panen yang dihasilkannya, sedangkan komoditi cabai mengalami fluktuatif harga sehingga keuntungan yang didapat petani selain dipengaruhi oleh hasil panen yang didapat, fluktuasi harga jual juga dapat berpengaruh terhadap keuntungan petani.

3.3 Validasi Model

Validasi model digunakan untuk memastikan bahwa model yang dirancang dalam simulasi telah menggambarkan dengan benar struktur dan hubungan antar elemen yang ada dalam sistem nyata. Terdapat dua pengujian dalam validasi model yaitu *structural validation* dan *behavior test* [8]. Verifikasi struktur dilakukan dengan cara mengecek kemungkinan error yang terjadi pada model yang telah dibangun. Untuk memastikan bahwa hubungan antar variabel telah dirumuskan dengan benar dan satuan pada setiap variabel telah sesuai, dilakukan tahapan verifikasi struktur. Model yang telah dibangun dapat dinyatakan lolos verifikasi apabila tidak ditemukan kesalahan dalam formulasi maupun satuan variabel.

Hasil model simulasi Desa Kamulan menunjukkan bahwa struktur dan hubungan antar elemen dalam model tersebut telah terbukti akurat dan mencerminkan kondisi nyata. Model berjalan dengan benar dan pengecekan unit menunjukkan bahwa semua unit variabel terverifikasi konsisten, menunjukkan bahwa model telah memiliki unit yang sesuai. Model yang telah lolos validasi structural memiliki dasar yang kuat untuk digunakan dalam prediksi atau simulasi.

Behavior validity test untuk mengukur tingkat kemiripan antara hasil simulasi dengan data real. Terdapat dua cara dalam behavior validity test ini, yaitu uji perbandingan rata-rata ($E1 \leq 5\%$) dan uji perbandingan variasi amplitud ($E2 \leq 30\%$). Berikut adalah hasil behaviour validity test pada sub model *person*.

Tabel 2. Behavior Test Sub Model Person

Tahun	Jumlah	Model	Kebutuhan	Model
-------	--------	-------	-----------	-------

	Penduduk		Beras	
2023	3336	3317.5	264.59	263.08
2022	3329	3310.87	264.04	262.55
2021	3330	3311.87	264.12	262.63
2020	3330	3311.87	264.12	262.63
2019	3101	3101	245.95	245.91
Mean	3285.2	3270.6	260.6	259.4
stdev	92.13	84.84	7.31	6.73
E1 < 5%		0.44%		0.46%
E2 < 30%		8%		8%

Hasil dari Tabel 2 memperlihatkan bahwasannya nilai hitung pada behaviour validity jumlah penduduk E1 sebesar 0.44% dan E2 sebesar 8%, nilai hitung pada behaviour validity kebutuhan beras E1 sebesar 0.46% dan E2 sebesar 8%. Model dapat dinyatakan valid dikarenakan hasil nilai hitung E1 kurang dari 5% dan E2 kurang dari 30%.

Tabel 3 Behavior Test Sub Model Planet dan Profit

Tahun	Hasil Produksi Padi	Model	Keuntungan Jagung	Model
2023	1807.97	1807.92	Rp 5,912,352,274.50	Rp 5,912,185,897.32
2022	1850.28	1850.29	Rp 6,050,685,375.00	Rp 6,050,748,027.14
2021	1952.13	1952.14	Rp 6,383,750,625.00	Rp 6,383,790,370.79
2020	1958.92	1958.91	Rp 6,405,954,975.00	Rp 6,405,954,975.00
2019	1958.92	1958.91	Rp 6,405,954,975.00	Rp 6,405,954,975.00
Mean	1905.64	1905.63	6231739645	6231726849
stdev	63.94	63.95	209092439.6	209138207
E1 < 5%		0.0003%		0.0002%
E2 < 30%		0.0222%		0.0219%

Hasil dari Tabel 3 memperlihatkan bahwasannya nilai hitung pada behaviour validity hasil produksi padi E1 sebesar 0.0003% dan E2 sebesar 0.0222%, nilai hitung pada behaviour validity keuntungan jagung E1 sebesar 0.0002% dan E2 sebesar 0.0219%. Model dapat dinyatakan valid dikarenakan hasil nilai hitung E1 kurang dari 5% dan E2 kurang dari 30%.

3.4 Skenario Model

Skenario perbaikan dirancang berdasarkan faktor-faktor yang berpengaruh dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan mengatasi faktor-faktor yang mempengaruhi dalam tercapainya ketahanan pangan berkelanjutan dan peningkatan profit. Skenario perbaikan yang diajukan pada aspek *person* difokuskan pada upaya regenerasi petani dengan mendorong keterlibatan generasi muda untuk tertarik pada bidang pertanian. Salah satunya dengan mengoptimalkan keuntungan pertanian melalui pendekatan yang lebih efisien dan ramah lingkungan, sehingga generasi muda lebih tertarik untuk berinvestasi dalam sektor pertanian. Skenario perbaikan yang diajukan pada aspek lingkungan adalah peningkatan produktivitas jagung sebagai komoditi unggulan melalui penggunaan benih jagung hibrida berkualitas yang memiliki produktivitas tinggi dan sesuai dengan kondisi spesifik lokasi yang bertujuan untuk memaksimalkan hasil panen [13] dan meningkatkan keuntungan petani. Penggunaan pupuk organik cair berbahan dasar urin kambing juga menjadi skenario pada aspek lingkungan dengan tujuan meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan unsur hara dalam tanah. Penggunaan pupuk organik cair urin kambing tidak hanya mendukung keberlanjutan aspek ekologi (*planet*), tetapi juga berkontribusi pada efisiensi biaya operasional karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia, sehingga turut memperkuat keberlanjutan aspek ekonomi (*profit*).

3.2.4. Skenario Adaptasi Teknologi Modern

Skenario perbaikan dengan adaptasi teknologi modern dirancang untuk meningkatkan efisiensi waktu, tenaga kerja dan biaya operasional yang nantinya akan berpengaruh pada keuntungan petani. Penggunaan teknologi modern dapat menarik minat generasi muda untuk terlibat dalam sektor pertanian. Penerapan mesin pertanian modern yang efisien seperti mesin panen (*combine*), mesin pengolahan tanah (*multivator*) dan *drone* untuk penyemprotan digunakan sebagai skenario perbaikan guna meningkatkan efisiensi operasional dan mempercepat proses produksi [14].

Tabel 4 Keuntungan Petani Skenario Adaptasi Teknologi Modern

TAHUN	KEUNTUNGAN PETANI	
	BASE MODEL	SKENARIO
2019	Rp 79,034,058,808	Rp 79,938,471,688
2020	Rp 88,989,908,597	Rp 89,894,321,477
2021	Rp 94,836,338,647	Rp 95,737,622,258



2022	Rp 68,868,224,506	Rp 69,722,488,152
2023	Rp 83,718,953,444	Rp 84,553,654,452
KEUNTUNGAN PETANI		
TAHUN	BASE MODEL	SKENARIO
2024	Rp 70,394,395,954	Rp 71,229,104,474
2025	Rp 85,094,079,993	Rp 85,928,796,026
2026	Rp 75,145,301,702	Rp 75,980,025,247
2027	Rp 72,549,966,663	Rp 73,384,697,691
2028	Rp 77,848,003,537	Rp 78,682,742,107
2029	Rp 80,551,243,482	Rp 81,385,989,564
2030	Rp 75,379,653,067	Rp 76,214,406,663
Mean	Rp 79,367,510,698	Rp 80,221,026,650
Berpengaruh		1.06%

Penerapan skenario adaptasi teknologi modern menghasilkan peningkatan keuntungan petani sebesar 1.06%. Penggunaan teknologi modern mampu membantu menekan biaya operasional, seperti tenaga kerja dan penggunaan input, sehingga efisiensi usaha tani meningkat. Adaptasi teknologi modern juga dapat menjadi langkah strategis dalam mendukung keberlanjutan usaha pertanian dan meningkatkan daya saing petani di masa depan.

3.2.5. Skenario Varietas Unggul Bibit Jagung

Sebagian besar petani di Desa Kamulan menjalin kerja sama kemitraan dalam budidaya komoditas jagung. Oleh karena itu, pemilihan varietas unggul bibit jagung dalam penyusunan skenario didasarkan pada hasil wawancara langsung dengan petani setempat. Hasil dari wawancara petani terdapat kemitraan yang memiliki varietas bibit dengan produktivitas dapat mencapai 9.1 ton/ha. Meskipun harga jual dari varietas ini lebih rendah dibandingkan dengan varietas lainnya, volume hasil panen yang tinggi berpotensi menghasilkan keuntungan yang lebih besar, dengan begitu skenario dilakukan menggunakan varietas unggul tersebut.

Table 5 Keuntungan Petani Skenario Varietas Unggul

KEUNTUNGAN PETANI		
TAHUN	BASE MODEL	SKENARIO
2019	Rp 79,034,058,808	Rp 81,240,867,433
2020	Rp 88,989,908,597	Rp 91,196,717,222
2021	Rp 94,836,338,647	Rp 97,035,511,714
2022	Rp 68,868,224,506	Rp 70,952,666,714
2023	Rp 83,718,953,444	Rp 85,755,661,925
2024	Rp 70,394,395,954	Rp 72,431,122,776
2025	Rp 85,094,079,993	Rp 87,130,825,136
2026	Rp 75,145,301,702	Rp 77,182,065,176
2027	Rp 72,549,966,633	Rp 74,586,748,483
2028	Rp 77,848,003,537	Rp 79,884,803,672
2029	Rp 80,551,243,428	Rp 82,558,061,948
2030	Rp 75,379,653,067	Rp 77,416,489,865
Mean	Rp 79,367,510,698	Rp 81,450,128,501
Berpengaruh		2.56%

Penerapan skenario penggunaan varietas unggul bibit jagung menunjukkan adanya peningkatan keuntungan petani meskipun harga jual lebih rendah. Hal tersebut disebabkan oleh peningkatan hasil produksi yang signifikan. Keuntungan petani meningkat sebesar 2.56% pada skenario ini. Dengan demikian, penggunaan varietas unggul pada skenario ini dinilai lebih efektif dalam meningkatkan pendapatan petani dan memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan aspek ekonomi (*profit*) dalam jangka panjang.

3.2.6. Skenario Pupuk Organik Cair Urin Kambing

Skenario penggunaan pupuk organik cair fermentasi urin kambing di Desa Kamulan dirancang sebagai solusi untuk meningkatkan kandungan unsur-unsur penting dalam kesuburan tanah, dikarenakan urin kambing tinggi akan kandungan unsur N yang berperan dalam pertumbuhan tanaman [15], sehingga mendukung keberlanjutan pada aspek lingkungan. Selain itu penggunaan pupuk organik cair urin kambing dapat mengurangi dosis pupuk kimia, sehingga dapat menurunkan biaya operasional dan berpengaruh pada pendapatan petani.

Table 6 Keuntungan Petani Skenario Pupuk Organik Cair

KEUNTUNGAN PETANI		
TAHUN	BASE MODEL	SKENARIO

2019	Rp 79,034,058,808	Rp 79,894,167,897
2020	Rp 88,989,908,597	Rp 89,850,017,686
2021	Rp 94,836,338,647	Rp 95,693,471,759
2022	Rp 68,868,224,506	Rp 69,680,640,983
2023	Rp 83,718,953,444	Rp 84,512,765,584
2024	Rp 70,394,395,954	Rp 71,188,215,238
2025	Rp 85,094,079,993	Rp 85,887,906,422
2026	Rp 75,145,301,702	Rp 75,939,135,275
2027	Rp 72,549,966,633	Rp 73,343,807,351
2028	Rp 77,848,003,537	Rp 78,641,851,399
2029	Rp 80,551,243,482	Rp 81,345,098,488
2030	Rp 75,379,653,067	Rp 76,173,515,219
Mean	Rp 79,367,510,698	Rp 80,179,216,108
Berpengaruh	1.0%	

Penggunaan pupuk organik cair sebagai substitusi pupuk kimia dalam skenario ini mampu menurunkan biaya operasional. Efisiensi biaya operasional berdampak pada peningkatan keuntungan petani yang mengalami kenaikan sebesar 1%. Selain dapat meningkatkan keuntungan, penggunaan pupuk organik juga mendukung kelestarian lingkungan dan menjaga kesuburan tanah dalam jangka Panjang, sehingga turut memperkuat keberlanjutan usaha tani.

4. KESIMPULAN

Model dinamis pertanian pada Desa Kamulan dirancang dari faktor-faktor yang mempengaruhi dalam terwujudnya ketahanan pangan berkelanjutan yang terdiri dari tiga aspek yaitu faktor *person*, faktor *planet* dan faktor *profit*. Sub model *person* mencakup aspek-aspek seperti jumlah penduduk dan pemenuhan kebutuhan pangan. Sub model *planet* melibatkan variabel-variabel yang berkaitan dengan lingkungan pertanian, seperti, jenis komoditas pada setiap musim tanam, jenis dan kebutuhan pupuk, luas lahan sawah, serta hasil panen yang diperoleh. Sub model *profit* terdiri dari variabel biaya operasional petani, pendapatan yang diperoleh petani dan keuntungan petani yang dihasilkan. Sub model yang telah dibangun dinyatakan valid berdasarkan hasil *structural validation* dan *behavior test* yang telah dilakukan telah memenuhi syarat. Pendekatan berkelanjutan dari tiga faktor tersebut dilakukan penyusunan skenario untuk terciptanya ketahanan pangan berkelanjutan, yaitu skenario adaptasi teknologi modern dengan penggunaan mesin combine, mesin multivator dan mesin drone mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 1.06%, skenario penggunaan varietas unggulan bibit jagung yang mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 2.56% dan skenario substitusi penggunaan pupuk organik cair urin kambing yang mampu meningkatkan keuntungan petani keseluruhan sebesar 1%. Model skenario pada yang menghasilkan keuntungan optimal terdapat pada skenario penggantian varietas bibit jagung yang dapat meningkatkan keuntungan petani sebesar 2.56% dari Rp. 79.367.510.698 menjadi Rp. 81.450.120.501. Hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya integrasi pendekatan berkelanjutan dalam pengambilan kebijakan untuk mendukung produktivitas dan kesejahteraan petani secara jangka panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada para Ketua Kelompok Tani serta para petani Desa Kamulan dan instansi terkait yang telah memberikan bantuan, informasi, serta dukungan selama keberlangsungan penelitian ini. Kontribusi dan kerja sama yang diberikan sangat membantu dalam meporelah data lapangan yang relevan dan mendalam, sehingga penelitian berjalan lancar.

REFERENCES

- [1] Badan Pangan Nasional, "Indeks Ketahanan Pangan," *Indeks Ketahanan Pangan*, vol. 58, no. 12, pp. 7250–7257, 2022.
- [2] R. B. J. Wardhana, Komariah, Mujiyo, J. Winarno, Sumani, and N. R. Sutopo, "The impacts of paddy field conversion and climate change on rice production in Tegal Regency, Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 200, no. 1, pp. 0–8, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/200/1/012013.
- [3] R. Khairati and R. Syahni, "Respons Permintaan Pangan Terhadap Pertambahan Penduduk Di Sumatera Barat," *J. Pembang. Nagari*, vol. 1, no. 2, p. 19, 2016, doi: 10.30559/jpn.v1i2.5.
- [4] E. A. Fitria *et al.*, *Pertanian Berkelanjutan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=RMoHEQAAQBAJ>
- [5] A. Dalimunthe and S. Safitri, "Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi produksi usahatani jagung (*Zea mays* L.)," *AGRICOLA*, vol. 13, pp. 86–90, Sep. 2023, doi: 10.35724/ag.v13i2.5512.
- [6] S. Kepolisian and I. Dan, "Copyright: Author Publish by: CAUSA," vol. 5, no. 8, pp. 1–10, 2024, doi: 10.3766/hibrida.v1i2.3753.
- [7] W. Widhianthini, "Implementasi Sistem Dinamik Dalam Bidang Pertanian," *SOCA J. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 12, no. 2, p. 161, 2019, doi: 10.24843/soca.2018.v12.i02.p03.
- [8] M. R. Aprillya and E. Suryani, "Simulation of System Dynamics for Improving the Quality of Paddy Production in



- Supporting Food Security,” *J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–46, 2023, doi: 10.20473/jisebi.9.1.38-46.
- [9] R. T. A. Sholihah, A. B. Putra, and S. F. A. Wati, “Analisis Produksi Padi Jawa Timur menggunakan Sistem Dinamik Mendukung Upaya Ketahanan Pangan,” *Progresif J. Ilm. Komput.*, vol. 20, no. 1, p. 304, 2024, doi: 10.35889/progresif.v20i1.1563.
- [10] R. R. Wajdah, R. Nurmalina, and Yusalina, “Analisis Kebijakan Pertanian Ketersediaan beras menuju kemandirian pangan: pendekatan sistem dinamik,” *Anal. Kebijak. Pertan.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–15, 2024, doi: 10.21082/akp.v22n1.2024.63-80.
- [11] E. Suryani, H. Rafi, and A. Utamima, “Model-based Decision Support System Using a System Dynamics Approach to Increase Corn Productivity,” *J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell.*, vol. 10, no. 1, pp. 139–151, 2024, doi: 10.20473/jisebi.10.1.139-151.
- [12] E. Suryani, R. A. Hendrawan, U. E. Rahmawati, and M. G. S. Wicaksono, *Model Sistem Dinamik Peningkatan Produktivitas Padi Berbasis Internet of Things (Iot)*. Deepublish, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=DeNMEQAAQBAJ>
- [13] E. Suryani, A. Hendrawan, and U. E. Rahmawati, *IMPLEMENTASI MODEL SIMULASI SISTEM DINAMIK DALAM INDUSTRI JAGUNG*. 2021.
- [14] M. Siregar, *PENINGKATAN PRODUKTIVITAS TANAMAN PADI MELALUI PENERAPAN TEKNOLOGI PERTANIAN TERKINI*. 2023. doi: 10.31219/osf.io/g98xr.
- [15] E. Kurniawan, Z. Ginting, and P. Nurjannah, “Pemanfaatan Urine Kambing Pada Pembuatan Pupuk Organik Cair Terhadap Kualitas Unsur Hara Makro (npk),” *J. UMJ*, vol. 1, no. 2, pp. 1-10., 2017, [Online]. Available: jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek