



TESIS - KS142501

**PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN PADI DAN
MITIGASI EMISI GAS RUMAH KACA UNTUK
MEWUJUDKAN SMART AGRICULTURE DENGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIK**

TRIGATI WIDYANDARI LESTARI WIBOWO

NRP. 05211650010023

DOSEN PEMBIMBING

Erma Suryani, S.T., M.T. Ph.D

NIP. 197004272005012001

PROGRAM MAGISTER

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



THESIS - KS142501

**INCREASING AGRICULTURAL PRODUCTIVITY OF RICE
AND GREENHOUSE GAS EMISSION MITIGATION TO
ACHIEVE SMART AGRICULTURE USING DYNAMIC
SYSTEMS APPROACH**

**TRIGATI WIDYANDARI LESTARI WIBOWO
NRP. 05211650010023**

SUPERVISOR

**Erma Suryani, S.T., M.T. Ph.D
NIP. 197004272005012001**

POSTGRADUATE PROGRAM

DEPARTEMENT OF INFORMATION SYSTEM

FACULTY OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Trigati Widyandari Lestari Wibowo
NRP. 05211650010023

Tanggal Ujian : 17 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui Oleh :

1. Erma Suryani, S.T., M.T. Ph.D

NIP. 197004272005012001



(Pembimbing)

2. Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom

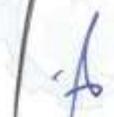
NIP. 197302191998021001



(Penguji 1)

3. Ahmad Mukhlason, S.Kom., M.Sc., Ph.D

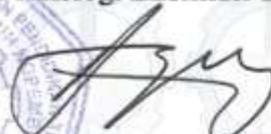
NIK. 198203022009121009



(Penguji 2)

Dekan

Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi



Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom

NIP. 19720809 199512 1 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN PADI DAN MITIGASI
EMISI GAS RUMAH KACA UNTUK MEWUJUDKAN *SMART*
AGRICULTURE DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN SISTEM
DINAMIK**

Nama Mahasiswa : Trigati Widyandari LW
NRP : 05211650010023
Dosen Pembimbing : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Beras merupakan bahan makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia. Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2017 mencapai 262 juta jiwa dengan rata-rata konsumsi beras 114,6 kg/kapita/tahun. Kenaikan jumlah penduduk berdampak pada kebutuhan beras. Selama kurun waktu sepuluh tahun (2000-2009) laju kenaikan produktivitas rata-rata 1,2 persen (BPS, 2009) berada dibawah laju pertumbuhan penduduk rata-rata 1,4 persen per tahun. Jika Indonesia tidak ingin bergantung pada impor beras, maka produksi padi Indonesia harus terus ditingkatkan untuk mengimbangi pertumbuhan penduduk yang ada.

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terhadap sector pertanian karena dapat menyebabkan (a) kegagalan panen, penurunan produktivitas dan produksi; (b) kerusakan sumberdaya lahan pertanian; (c) peningkatan frekuensi, luas, dan bobot/intensitas kekeringan; (d) peningkatan kelembaban; dan (e) peningkatan intensitas gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT). Sektor pertanian tidak hanya rentan terhadap dampak perubahan iklim, namun juga bertanggung jawab langsung terhadap 14% emisi gas rumah kaca global.

Dalam penelitian ini, peningkatan produksi beras dimodelkan dengan menggunakan sistem dinamik untuk menganalisa kondisi saat ini dan mengevaluasi permasalahan yang ada serta memberikan alternatif skenario pemecahan masalah. Hasil simulasi skenario intensifikasi lahan, produksi padi meningkat rata-rata 0.35% per tahun. Rasio pemenuhan beras di Jawa Timur mencapai 2.85 di akhir periode tahun 2030. Hasil skenario peningkatan pendapatan petani dengan

mengimplementasikan SA mencapai Rp. Rp. 6.016.020,-. Dan hasil skenario pengurangan emisi gas rumah kaca, pemberian pupuk N yang tepat serta pupuk organik sesuai kebutuhan unsur hara, dapat menurunkan emisi sebesar 30%.

Kata kunci: smart agriculture, sistem dinamik, simulasi, produktivitas, mitigasi emisi gas rumah kaca.

INCREASING AGRICULTURAL PRODUCTIVITY OF RICE AND GREENHOUSE GAS EMISSION MITIGATION TO ACHIEVE SMART AGRICULTURE USING DYNAMIC SYSTEMS APPROACH

Nama Mahasiswa : Trigati Widyandari LW
NRP : 05211650010023
Dosen Pembimbing : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Rice is a staple food for most of Indonesia's population. The total population of Indonesia in 2017 reached 262 million people with an average consumption of rice 114.6 kg / capita / year. The increase in population affected rice demand. Over a period of ten years (2000-2009) the rate of increase in productivity averaged 1.2 percent (BPS, 2009) was below the rate of population growth averaging 1.4 percent per year. If Indonesia does not want to rely on rice imports, then Indonesia's rice production should continue to be improved to keep pace with the growth of the population.

Climate change is a threat to the agricultural sector because it can cause (a) crop failure, decreased productivity and production; (b) damage to agricultural land resources; (c) increase in frequency, area, and weight / intensity of drought; (d) increased moisture; and (e) increasing the intensity of plant pests disturbance (OPT). The agricultural sector is not only vulnerable to the impacts of climate change, but also directly responsible for 14% of global greenhouse gas emissions.

In this study, the increase in rice production is modeled using a systems dynamic to analyze current conditions and evaluate existing problems and provide alternative problem-solving scenarios. The simulation results of land intensification scenarios, rice production increased by an average of 0.35% per year. The fulfillment ratio of rice in East Java reached 2.85 at the end of the research period in 2030. The results of the scenario of increasing farmers' income by implementing SA reached Rp. Rp. 6.016.020, -. And the results of greenhouse gas emission

reduction scenarios, appropriate N fertilizer and organic fertilizer according to nutrient requirements, can reduce emissions by 30%.

Keywords: smart agriculture, systems dynamic, simulation, productivity, mitigation of greenhouse gas emissions.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan ridho, rahmat, dan hidayah-nya sehingga tesis yang berjudul “Peningkatan Produktivitas Pertanian Padi Dan Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Mewujudkan *Smart Agriculture* Dengan Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik” dapat disusun dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada Program Magister Sistem Informasi, Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam proses penyelesaian tesis ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, baik bantuan moral maupun materiil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Orang tua penulis, Ibnu Wibowo dan Diah Soewarni, yang selalu memberikan doa dan dukungan selama menyelesaikan studi dan tesis ini.
2. Bapak Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing dan Dosen Wali Akademik yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran, serta memberikan ilmu, dukungan, dan kesabaran selama membimbing penulis dari awal hingga tesis ini selesai.
3. Bapak Dr.Eng. Febriliyan Samopa, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Penguji I yang telah bersedia menguji dan memberikan masukan untuk penelitian ini.
4. Bapak Ahmad Mukhlason, S.Kom., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji II yang telah bersedia menguji dan memberikan masukan untuk penelitian ini.
5. Bapak dan Ibu dosen yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama Penulis menempuh pendidikan di Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Segenap staf dan karyawan di Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang membantu Penulis dalam pelaksanaan tesis ini.

7. Alfian Eko Prasetyo yang selalu memberikan doa dan dukungan selama menyelesaikan studi dan tesis ini.
8. Para sahabat dan teman-teman keluarga besar S2 Sistem Informasi ITS yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan kebersamaan selama Penulis menempuh pendidikan magister.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dan terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, Penulis bersedia menerima kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki diri. Penulis berharap tesis ini dapat memberi manfaat bagi kemajuan dunia pendidikan di Indonesia.

Surabaya, Juli 2018

Trigati Widyandari LW

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Kontribusi Penelitian	5
1.4.1 Kontribusi di Bidang Keilmuan	5
1.4.2 Kontribusi Praktis	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Kajian Teori	7
2.1.1. Produksi	7
2.1.2. Produktivitas	9
2.1.3. Ketahanan Pangan	13
2.1.4. Smart Agriculture	14
2.1.5. Ketahanan Pertanian Padi Terhadap Iklim	16
2.1.6. Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca	18
2.1.7. Sistem	20
2.1.8. Simulasi	21
2.1.9. Sistem Dinamik	23
2.2 Penelitian Sebelumnya	27

BAB 3 METODE PENELITIAN	39
BAB 4	47
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Pengumpulan Data	47
4.2 Pemodelan Data.....	47
4.2.1 Sub Model Populasi dan Permintaan Beras.....	47
4.2.2 Sub Model Luas Panen	50
4.2.3 Sub Model Produktivitas Lahan dan Produksi	53
4.2.4 Sub Model Irigasi	55
4.2.4 Sub Model Biaya	58
4.2.5 Sub Model Harga.....	59
4.2.6 Sub Model Rasio Pemenuhan Beras Indonesia	61
4.3.7 Sub Model Ketahanan Pangan.....	63
4.3.8 Sub Model Emisi Gas Rumah Kaca	64
4.3 Validasi.....	65
4.3.1 Validasi Populasi Jawa Timur	65
4.3.2 Validasi Lahan Sawah dan Lahan Panen Jawa Timur.....	66
4.3.3 Validasi Produktivitas Lahan Jawa Timur	68
4.3.4 Validasi Produksi Padi Jawa Timur	69
4.3.5 Validasi Harga Gabah (GKG) Jawa Timur	70
4.4 Evaluasi	71
4.5 Pengembangan Skenario	73
4.6 Model dan Hasil Skenario	74
4.6.1 Skenario Intensifikasi Lahan	74
4.6.2 Skenario Pengimplementasian Smart Agriculture.....	78
4.6.3 Skenario Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca.....	90
4.6.4 Simpulan Skenario.....	94
BAB 5	97
KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
5.1 Kesimpulan.....	97

5.2	Saran.....	98
	DAFTAR PUSTAKA	101
	BIOGRAFI PENULIS	105

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian (Sumber: Balitbangtan 2013).....	17
Gambar 2. 2 Skenario mitigasi untuk mengurangi emisi gas metana dari lahan sawah (Litbang Pertanian 2011)	20
Gambar 2. 3 Sistem Terbuka.....	21
Gambar 2. 4 Sistem Tertutup	21
Gambar 2. 5 Representasi Struktur Stock and Flow (Stermann, 2000).....	25
Gambar 3. 1 Metode Penelitian	39
Gambar 3. 2 Diagram Kausatik Referensi 1	41
Gambar 3. 3 Diagram Kausatik Referensi 2	42
Gambar 3. 4 Diagram Kausatik Penelitian	43
Gambar 4. 1 Flow Diagram Populasi dan Permintaan.....	48
Gambar 4. 2 Grafik Populasi Jawa Timur	49
Gambar 4. 3 Grafik Permintaan Beras	50
Gambar 4. 4 Sub Model Luas Panen Jatim.....	51
Gambar 4. 5 Luas Sawah	52
Gambar 4. 6 Grafik Luas Panen.....	52
Gambar 4. 7 Produktivitas dan Produksi Padi	53
Gambar 4. 8 Grafik Produktivitas lahan	55
Gambar 4. 9 Grafik Produksi Padi Jawa Timur	55
Gambar 4. 10 Sub Model Irigasi.....	56
Gambar 4. 11 Efisiensi Irigasi	57
Gambar 4. 12 Grafik Ketersediaan Air	58
Gambar 4. 13 Model Biaya Produksi.....	59
Gambar 4. 14 Model Harga.....	60
Gambar 4. 15 Grafik Harga Gabah	61
Gambar 4. 16 Rasio Pemenuhan Beras.....	61
Gambar 4. 17 Grafik Rasio Pemenuhan Beras	62
Gambar 4. 18 Model Ketahanan Pangan	63
Gambar 4. 19 Model Emisi Gas Rumah Kaca	64
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Populasi Penduduk.....	66
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Luas Lahan.....	67
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Luas Panen.....	68
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Produktivitas Lahan	69
Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Produksi Padi	70
Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Harga GKG	71
Gambar 4. 26 Perbaikan Irigasi.....	75
Gambar 4. 27 Model Intensifikasi SCN.....	76

Gambar 4. 28 Produktivitas Setelah Skenario Pesimis Cenderung Meningkat	77
Gambar 4. 29 Produksi Padi Setelah Skenario Optimis Cenderung Meningkat...	77
Gambar 4. 30 Fullfillment Ratio Setelah Skenario Masih Diatas 1	78
Gambar 4. 31 Ketersediaan Pangan dari Aspek Ketersediaan.....	78
Gambar 4. 32 Skenario Penerapan SA untuk Peningkatan Pendapatan Petani	79
Gambar 4. 33 Skenario Investasi SA dan Perhitungan PBP	80
Gambar 4. 34 Ketahanan Pangan Aspek Keterjangkauan	84
Gambar 4. 35 Skenario Emisi Gas Rumah Kaca	92
Gambar 4. 36 Skenario GRK	92

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Produksi Padi Nasional Menurut Luas Panen, Jumlah Produksi, dan Produktivitas Tahun 2016	2
Tabel 2. 1 Bibit Unggul	11
Tabel 2. 2 Simbol-simbol pada CLD	24
Tabel 2. 3 Simbol dalam SFD	26
Tabel 4. 1 Populasi Jawa timur	48
Tabel 4. 2 Luas Lahan	50
Tabel 4. 3 Produksi Padi Jawa Timur	54
Tabel 4. 4 Harga GKG Jawa Timur	59
Tabel 4. 5 Validasi Populasi	65
Tabel 4. 6 Validasi Lahan Sawah	66
Tabel 4. 7 Validasi Lahan Panen	67
Tabel 4. 8 Validasi Produktivitas Lahan	68
Tabel 4. 9 Validasi Produksi Padi	69
Tabel 4. 11 Perbandingan Harga	82
Tabel 4. 12 Nilai Investasi	81
Tabel 4. 13 Payback Period Investasi SA	81
Tabel 4. 14 Perkiraan Biaya Produksi Per Ha Per Musim Tanam	82
Tabel 4. 15 Takaran Pupuk	85
Tabel 4. 16 Pengaruh Pupuk	85
Tabel 4. 17 Pengaruh Bibit	86
Tabel 4. 18 Pengaruh Irigasi	87
Tabel 4. 20 Pengaruh Temperatur	88
Tabel 4. 21 Pengaruh Serangan Hama dan Penyakit	88
Tabel 4. 22 Perhitungan Produktivitas 2018	89
Tabel 4. 23 Perbandingan Produktivitas 2018-2030	90

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang dibuatnya tesis ini, tujuan, Batasan serta manfaat dari pengerjaan tesis ini.

1.1. Latar Belakang

Beras merupakan bahan makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia. Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2017 mencapai 262 juta jiwa dengan rata-rata konsumsi beras 114,6 kg/kapita/tahun. Kenaikan jumlah penduduk berdampak pada kebutuhan beras. Selama kurun waktu sepuluh tahun (2000-2009) laju kenaikan produktivitas rata-rata 1,2 persen (BPS, 2009) berada dibawah laju pertumbuhan penduduk rata-rata 1,4 persen per tahun. Jika Indonesia tidak ingin bergantung pada impor beras, maka produksi padi Indonesia harus terus ditingkatkan untuk mengimbangi pertumbuhan penduduk yang ada.

Produksi padi di Indonesia pada tahun 2017 mengalami pertumbuhan sebesar 2,16 persen dari tahun sebelumnya. Empat provinsi yang memproduksi padi terbesar di Indonesia, diantaranya Jawa timur, Jawa Tengah, Jawa Barat dan Sulawesi Selatan. Berdasarkan table 1.1, Jawa Timur merupakan penghasil padi terbesar di Indonesia jika dibandingkan dengan provinsi lainnya, yaitu dengan luas panen sebesar 2.278.460 Hektar, dan hasil produksi padi sebanyak 13.633.701 Ton. Padi merupakan salah satu komoditas terbesar di Jawa Timur, Bersama dengan jagung, tebu, kelapa dan buah-buahan (Nugroho, et al., 2007). Rata-rata keuntungan yang didapat dari usaha pertanian padi di Jawa Timur pada MH 2009/2010 sebesar Rp. 8,9 juta dengan nilai R/C (*return cost ratio*) sebesar 2,88. Hal ini menunjukkan bahwa setiap satu rupiah yang dikeluarkan untuk berusaha tani padi akan mendatangkan penerimaan 2,88 rupiah (Nurasa, et al., 2011), dengan kata lain usaha pertanian padi di Jawa Timur menguntungkan.

Tabel 1. 1 Produksi Padi Nasional Menurut Luas Panen, Jumlah Produksi, dan Produktivitas Tahun 2016

Provinsi	Luas Panen (ha)	Produksi (ton)	Produktivitas (ton/ha)
Jawa Timur	2.278.460	13.633.701	5.98
Jawa Tengah	1.953.593	11.473.161	5.87
Jawa Barat	2.073.203	12.540.550	6.05
Sulawesi Selatan	1.129.122	5.727.081	5.07

Sumber : Kementerian Pertanian RI
(http://www.pertanian.go.id/ap_pages/mod/datatp)

Masalah konsumsi beras dan pemenuhannya akan tetap merupakan agenda penting. Sektor pertanian harus terus dikembangkan agar tetap menjadi andalan menetapkan ketahanan pangan, meningkatkan pendapatan petani dan penduduk pedesaan, mengentaskan kemiskinan, memasok tenaga kerja yang berkualitas bagi sektor non pertanian, memacu pertumbuhan ekonomi dan menyehatkan ekonomi (Simatupang et al., 2002 dalam (Nurasa, et al., 2011)). Padahal banyak tantangan yang akan dihadapi untuk meningkatkan produksi padi, seperti konveksi lahan yang mengalami penurunan tiap tahunnya, tingkat kesuburan tanah yang semakin lama semakin turun, minimnya pengetahuan petani terkait teknologi pertanian, serta masalah irigasi dan pemodal.

Selain itu, perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terhadap sektor pertanian karena dapat menyebabkan (a) kegagalan panen, penurunan produktivitas dan produksi; (b) kerusakan sumberdaya lahan pertanian; (c) peningkatan frekuensi, luas, dan bobot/intensitas kekeringan; (d) peningkatan kelembaban; dan (e) peningkatan intensitas gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT) (Las et al., 2008a dalam (B Penelitian, 2011)).

Pertanian, terutama subsektor tanaman pangan, paling rentan terhadap perubahan curah hujan, karena tanaman pangan pada umumnya merupakan tanaman semusim yang relative sensitive terhadap kelebihan dan kekurangan air. Banjir yang semakin sering terjadi menyebabkan berkurangnya luas areal panen dan turunnya produksi padi secara signifikan. Peningkatan intensitas banjir dapat mempengaruhi produksi karena meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Pergeseran pola hujan mempengaruhi sumberdaya dan infrastruktur pertanian yang menyebabkan bergesernya waktu tanam, musim, dan pola tanam, serta degradasi lahan. Adanya kecenderungan pemendekan musim hujan dan peningkatan curah hujan mengakibatkan perubahan awal dan durasi musim tanam, sehingga mempengaruhi indeks penanaman (IP), luas areal tanam, awal waktu tanam dan pola tanam. (B Penelitian, 2011)

Sektor pertanian tidak hanya rentan terhadap dampak perubahan iklim, namun juga bertanggung jawab langsung terhadap 14% emisi gas rumah kaca global, karena sektor ini merupakan pendorong utama penebangan hutan dan degradasi lahan (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2017).

Dengan mempertimbangkan beberapa persoalan diatas, untuk memenuhi kebutuhan pangan dibutuhkan berbagai upaya dan strategi untuk pengambilan keputusan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan keputusan terbaik adalah dengan pendekatan sistem.

Sistem dinamik memiliki karakteristik dinamika sistem yang kompleks, non-linear, perubahan perilaku sistem terhadap waktu dan adanya umpan balik yang menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem, yang kemudian akan menghasilkan keputusan selanjutnya. Kerangka kerja system dinamik dapat digunakan untuk menganalisis model dan menghasilkan skenario untuk meningkatkan kinerja sistem (Suryani, et al., 2010).

Smart Agriculture mencakup praktik pertanian dengan mengadopsi *internet of thing* (IoT), sensor dan lain-lain, untuk meningkatkan produktivitas pertanian. *Smart Agriculture* juga menangani tantangan keamanan pangan dan perubahan iklim yang saling terkait dan menguntungkan petani kecil dengan meningkatkan efisiensi input seperti tenaga kerja, benih dan pupuk, meningkatkan ketahanan pangan.

Potensi kenaikan keuntungan usahatani dapat berasal dari pengadopsian teknologi baru, perbaikan dan pengembangan sistem irigasi, dan tersedianya pupuk dengan harga terjangkau. Kenaikan produktivitas merupakan kunci utama untuk meningkatkan produksi. Peningkatan efisiensi dengan penggunaan input produksi yang lebih rasional dan penanganan pasca panen yang baik merupakan hal yang sangat penting dilakukan untuk peningkatan produksi dan menekan biaya produksi dan pada akhirnya untuk meningkatkan pendapatan usahatani. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pengembangan model sistem dinamik yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pertanian padi di Indonesia, meningkatkan ketahanan tanaman padi, serta mengurangi emisi gas rumah kaca akibat adanya sektor pertanian, guna mencapai *smart agriculture*.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana meningkatkan produktivitas pertanian padi dan pendapatan petani secara berkelanjutan?
2. Bagaimana membangun ketahanan tanaman padi terhadap perubahan iklim di Indonesia?
3. Bagaimana mengurangi emisi gas rumah kaca, yang dipicu dari adanya sektor pertanian?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian sebelumnya pada rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan skenario yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian padi di Indonesia sehingga kebutuhan beras terpenuhi; meningkatkan pendapatan petani, serta mengurangi emisi gas rumah kaca akibat adanya sector pertanian, guna mencapai *smart agriculture*.

1.4. Kontribusi Penelitian

1.4.1 Kontribusi di Bidang Keilmuan

Kontribusi untuk akademik adalah pengembangan model system dinamik yang mendukung tercapainya *smart agriculture*.

1.4.2 Kontribusi Praktis

1. Kontribusi praktis dari penelitian ini adalah skenario kebijakan untuk meningkatkan produktivitas pertanian padi di Jawa Timur, meningkatkan ketahanan pertanian padi dari pengaruh iklim, serta mengurangi emisi gas rumah kaca akibat aktifitas pertanian.
2. Memberikan manfaat bagi pemerintah berupa usulan scenario kebijakan dalam meningkatkan ketahanan pertanian padi dan ketahanan pangan, serta mengurangi gas rumah kaca guna menekan *global warming* dan mencapai *smart agriculture*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proses *on farm*, yaitu penelitian terkait bagaimana meningkatkan jumlah produksi dan produktivitas padi, serta menurunkan emisi gas rumah kaca akibat aktivitas pertanian padi.
2. Data yang digunakan adalah data produktivitas, produksi beras, luas lahan pertanian, harga beras di Jawa Timur.

3. Emisi gas rumah kaca akibat adanya sector pertanian dilihat dari faktor penggunaan pupuk.
4. Konsep *smart agriculture* digunakan pada manajemen sistem irigasi, yaitu penggunaan sensor untuk irigasi yang otomatis.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah, tujuan dan kontribusi penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan penelitian-penelitian yang sudah ada mengenai *smart agriculture*, produktivitas pertanian beras, ketahanan pertanian padi, mitigasi emisi gas rumah kaca dan serangkaian teori yang digunakan sebagai dasar dalam pemodelan sistem dinamik untuk topik penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mengulas tentang tahapan-tahapan sistematis yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.

BAB IV : PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini mengulas tentang pengembangan model dari base model, validasi data dan model skenario serta hasil dari pengembangan model.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari sistem yang dibuat dan saran untuk proses pengembangan berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisi referensi yang digunakan dalam penelitian ini, baik jurnal, buku, artikel.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai dasar teori yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selain itu akan dibahas mengenai penelitian-penelitian sebelumnya. Teori yang dijelaskan diantaranya meliputi sistem, pemodelan, simulasi, sistem dinamik yang merupakan pendekatan pada penelitian ini, *smart agriculture*, produksi, produktivitas, mitigasi emisi gas rumah kaca.

2.1 Kajian Teori

2.1.1. Produksi

Produksi merupakan perangkat prosedur dan kegiatan yang terjadi dalam penciptaan komoditas berupa kegiatan usaha tani maupun lainnya. Faktor yang mempengaruhi produksi pertanian adalah sebagai berikut :

a. Lahan Pertanian

Lahan pertanian merupakan penentu dari faktor produksi komoditas pertanian. Semakin luas lahan (yang digarap/ditanam), semakin besar jumlah produksi yang dihasilkan oleh lahan tersebut dan ukuran lahan pertanian dapat dinyatakan dengan hektar (Ha).

b. Pupuk

Pupuk merupakan konsumsi vitamin sebagai tambahan makanan tanaman, untuk memperoleh pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimal.

c. Pestisida

Pestisida merupakan racun yang mengandung zat-zat aktif yang digunakan untuk membasmi hama dan penyakit yang menyerang tanaman.

d. Bibit

Bibit menentukan keunggulan dari suatu komoditas. Bibit yang unggul biasanya tahan terhadap penyakit dan menghasilkan hasil yang berkualitas tinggi.

e. Teknologi

Penggunaan teknologi dapat menciptakan rekayasa perlakuan terhadap tanaman dan dapat mencapai tingkat efisiensi yang tinggi.

f. Tenaga Kerja

Yang dimaksud tenaga kerja dalam hal ini adalah petani. Petani merupakan faktor penting dan perlu diperhitungkan dalam proses produksi komoditas pertanian. Tenaga kerja harus mempunyai kualitas berfikir yang maju seperti petani yang mampu mengadopsi inovasi-inovasi baru, terutama dalam menggunakan teknologi untuk mencapai komoditas yang bagus sehingga nilai jual tinggi.

g. Modal

Dalam proses produksi komoditas pertanian, modal dibagi menjadi dua, yaitu modal tetap (fixed cost) dan modal tidak tetap (variable cost). Biaya variable adalah jumlah biaya produksi yang berubah menurut tinggi rendahnya jumlah output yang akan dihasilkan. Biaya variable pada pertanian padi adalah pengadaan bibit, pupuk, obat/pestisida, dan tenaga kerja. Sementara biaya tetap adalah biaya yang timbul akibat penggunaan sumber daya tetap dalam proses produksi. Sifat utama biaya tetap adalah jumlahnya tidak berubah walaupun jumlah produksi mengalami perubahan (naik atau turun). Biaya tetap pada pertanian padi adalah sewa lahan, mesin, dan peralatan pertanian.

h. Indek Pertanaman (IP)

Indek pertanaman adalah cara tanam dan panen padi dalam satu tahun pada satu lahan yang sama. IP 400 berarti tanam dan panen empat kali dalam satu tahun di satu lahan yang sama. Bertujuan untuk stabilitas produksi beras untuk ketahanan pangan nasional dengan efisiensi penggunaan lahan sawah, pelestarian produktivitas lahan sawah,

pemanfaatan tenaga kerja secara optimal (Badan Litbang Pertanian , 2009).

2.1.2. Produktivitas

Produktivitas adalah kemampuan untuk menghasilkan atau tingkat hasil yang diperoleh seseorang. Balai pengembangan dan penelitian departemen pertanian merumuskan produktivitas padi yang didapat dari jumlah produksi padi (Ton) dibagi luas panen (Ha), sehingga produktivitas adalah (Ton/Ha).

Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas padi pada penelitian ini adalah :

a. Hama

Departemen pertanian mengklasifikasikan wabah organisme pengganggu tanaman pangan (OPT) menjadi aman, potensial, sporadic, dan endemic. Iklim, curah hujan, serta luas tanam mempengaruhi adanya hama. Untuk tanaman padi, OPT utama yang dapat menurunkan produktivitas padi atau bahkan menyebabkan gagal panen adalah tikus, penggerek batang, dan wareng batang coklat. Diantara ketiga OPT yang paling sulit dibasmi adalah wareng batang coklat.

b. Pupuk

Untuk meningkatkan produktivitas padi, penggunaan pupuk menjadi salah satu hal yang penting. Dosis dan pemupukan padi yang tepat dapat memberikan hasil maksimal. Terdapat beberapa pendapat mengenai pemberian pupuk (Aji, 2017):

- Penggunaan pupuk urea, SP36 dan KCL (200-250 Kg : 100-150 Kg : 75-100 Kg/Ha)
- Penggunaan pupuk urea dan NPK Ponska (100 Kg : 300 Kg/Ha)
- Penggunaan pupuk urea dan NPK Pelangi (100 Kg : 300 Kg/Ha)

c. Bibit unggul

Untuk meningkatkan suatu produksi tanaman padi, bibit memiliki peranan yang sangat penting. Beberapa jenis padi unggul di Indonesia ditunjukkan pada table 2.1.

d. Adopsi Teknologi

Peran teknologi dibutuhkan dalam meningkatkan produktivitas padi. Adapun teknologi yang digunakan terdiri dari teknologi ketersediaan irigasi, varietas unggul, dan teknologi pasca panen.

Tabel 2. 1 Bibit Unggul

	Inpari 42 Agritan GSR	Inpari 43 Agritan GSR	Inpari 44 Agritan	Inpari 36 Lanrang	Inpari 37 Lanrang	Inpari 38 Tadah Hujan Agritan
Komoditas:	Padi Sawah	Padi Sawah	Padi Sawah	Padi Sawah	Padi Sawah	Padi Sawah
Berat 1000 butir:	±24,41 gram	±23,74 gram	25,65 gram	± 26,0 gram	± 25,0 gram	± 24,85 gram
Ketahanan terhadap hama dan penyakit:	Pada fase generatif agak tahan terhadap hawar daun bakteri patotipe III, rentan strain IV, dan agak rentan Strain VIII, tahan terhadap penyakit blas daun ras 073, agak tahan terhadap ras 033 dan rentan terhadap ras 133 dan 173. Agak tahan terhadap hama wereng batang coklat biotipe 1 dan agak rentan terhadap biotipe 2 dan 3, rentan terhadap virus tungro varian 033 dan 073.	Pada fase generatif tahan terhadap hawar daun bakteri patotipe III, agak tahan terhadap hawar daun bakteri patotipe IV dan VIII, tahan terhadap blas daun ras 073 dan 0133, agak tahan ras 033, dan rentan ras 173, serta agak rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 1, 2, dan 3.	Tahan hawar daun bakteri pada fase generatif untuk strain II, agak rentan terhadap strain IV, dan agak tahan terhadap strain VIII, rentan terhadap penyakit blas ras 033, 133, 073, dan 173, rentan terhadap virus tungro varian 033, dan 073, agak rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 1, 2 dan 3.	Agak rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 3. Agak tahan hawar daur bakteri strain IV, rentan hawar daun bakteri strain III dan VIII. Tahan terhadap tungro varian 073. Tahan penyakit blas ras 033 dan ras 073, agak tahan blas ras 133 dan ras 173	Agak rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 1 dan 2, rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 3. Agak tahan hawar daun bakteri strain III dan IV, agak rentan hawar daun bakteri strain VIII. Tahan terhadap tungro varian 073. Tahan penyakit blas ras 133 dan ras 173, agak tahan blas ras 073 dan ras 033.	Agak rentan terhadap wereng coklat biotipe 1, 2, dan 3. Agak tahan terhadap hawar daun bakteri strain III, rentan terhadap strain IV dan VIII. Tahan terhadap penyakit blas ras 073, agak tahan ras 033 dan ras 133 dan rentan terhadap 173. Rentan terhadap virus tungro. Cekaman abiotic, agak toleran kekeringan.
Potensi Hasil:	10,58 t/ha	9,02 t/ha	9,25 ton/ha	10,0 ton/ha	9,1 ton/ha	8,16 t/ha

Umur Tanaman:	±112 hari	±111 hari	114 hari	± 114 hari setelah sebar	± 114 hari setelah sebar	115 ± 4 hari setelah sebar
--------------------------	-----------	-----------	----------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------

2.1.3. Ketahanan Pangan

Fokus dari ketahanan pangan adalah peningkatan ketersediaan pangan, pemantapan distribusi pangan, percepatan penganekaragaman pangan, dan pengawasan keamanan pangan segar. Di sisi lain, pembangunan ketahanan pangan dilaksanakan sebagai upaya untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan penurunan kemiskinan sebagai perwujudan pembangunan sosial, budaya, dan ekonomi sebagai bagian pembangunan secara keseluruhan.

Dalam rangka mewujudkan ketahanan pangan yang kuat dan berkesinambungan, berdasarkan Undang-Undang Pangan Nomor 18 tahun 2012 tentang pangan, maka implementasi pembangunan ketahanan pangan dilaksanakan dengan memperhatikan 3 (tiga) komponen utama yang harus dipenuhi, yaitu: (1) Ketersediaan pangan yang cukup dan merata; (2) Keterjangkauan pangan yang efektif dan efisien; serta (3) Konsumsi pangan yang beragam dan bergizi seimbang. Ketiga komponen tersebut dapat diwujudkan sampai tingkat rumah tangga, apabila: (1) Memanfaatkan potensi sumberdaya lokal yang beragam untuk peningkatan ketersediaan pangan; (2) Melaksanakan diversifikasi pangan untuk mendorong konsumsi pangan masyarakat yang beragam, bergizi seimbang, dan aman; (3) Menjamin pasokan pangan ke seluruh wilayah dan terjangkau oleh masyarakat; (4) Memanfaatkan pasar pangan internasional secara bijaksana bagi pemenuhan konsumen yang beragam; serta (5) Memberikan jaminan bagi masyarakat miskin di perkotaan dan perdesaan dalam mengakses pangan yang bersifat pokok (Badan Ketahanan Pangan, 2017).

Indeks ketahanan pangan (IKP) disusun dari tiga dimensi yaitu ketersediaan pangan, keterjangkauan/akses pangan, dan pemanfaatan pangan. Dimensi ketersediaan pangan hanya diwakili oleh aspek kecukupan pangan. Dimensi keterjangkauan/akses pangan diwakili aspek keterjangkauan fisik, ekonomi, dan sosial. Sementara untuk dimensi pemanfaatan pangan diwakili oleh dua aspek, yaitu aspek kecukupan asupan serta aspek kualitas air.

2.1.4. Smart Agriculture

Smart Agriculture mencakup praktik pertanian dengan mengadopsi *internet of thing* (IoT), sensor dan lain-lain, untuk meningkatkan produktivitas pertanian. *Smart Agriculture* juga menangani tantangan keamanan pangan dan perubahan iklim yang saling terkait dan menguntungkan petani kecil dengan meningkatkan efisiensi input seperti tenaga kerja, benih dan pupuk, meningkatkan ketahanan pangan. Dengan melindungi ekosistem dan lahan, *Smart Agriculture* membantu melindungi sumber daya alam bagi generasi mendatang.

FAO mendefinisikan *Smart Agriculture* bertujuan untuk mengatasi tantangan ketahanan pangan dan iklim, yang terdiri dari tiga pilar utama yaitu (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2017):

- a. Meningkatkan produktivitas pertanian beras dan pendapatan petani secara berkelanjutan
- b. Membangun ketahanan pangan
- c. Mengurangi emisi gas rumah kaca, yang dipicu dari adanya sektor pertanian

Aplikasi IOT di bidang pertanian meliputi traceability pangan (RFID), pemantauan tanah dan tanaman, pertanian presisi, sistem pemantauan dan pengendalian lingkungan rumah kaca, pemantauan rantai pasokan makanan, pemantauan hewan, dll.

Pertanian Presisi didasarkan pada adanya variabilitas spasial dan temporal dalam produksi tanaman. Variabilitas diperhitungkan dalam manajemen pertanian dengan tujuan meningkatkan produktivitas dan mengurangi risiko lingkungan.

Keuntungan dari pengimplementasian pertanian presisi menurut Segarra (2002) adalah :

- a. Peningkatan hasil secara keseluruhan. Pemilihan varietas yang tepat, penerapan jenis dan dosis pupuk yang tepat, pestisida dan irigasi yang sesuai kebutuhan tanaman, dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman.
- b. Peningkatan efisiensi dengan penggunaan teknologi canggih
- c. Mengurangi biaya produksi. Penerapan kuantitas yang tepat pada waktu yang tepat dapat mengurangi input agrokimia dalam produksi tanaman
- d. Pengambilan keputusan yang lebih baik dalam manajemen pertanian
- e. Mengurangi dampak lingkungan. Tepat waktu dalam penerapan agrokimia pada tingkat yang akurat menghindari residu berlebihan ditanah dan air sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.

Tools yang dibutuhkan dalam pengimplementasian Pertanian Presisi :

- a. GPS (*Global positioning system*): untuk mengidentifikasi lokasi lapangan sehingga input (benih, pupuk, pestisida, herbisida dan air irigasi) dapat diterapkan ke masing-masing bidang, berdasarkan kriteria kinerja dan aplikasi input sebelumnya (Batte dan VanBuren, 1999)
- b. Teknologi sensor: digunakan untuk mengukur kelembaban, vegetasi, suhu, uap, udara dll.
- c. GIS (*Geographic information system*): memberikan informasi tentang topografi jenis tanah, drainase permukaan, drainase bawah permukaan, pengujian tanah, irigasi, tingkat pengaplikasian bahan kimia dan hasil panen.
- d. VRT (*Variable-rate technologies*): mengatur laju pengiriman input pertanian tergantung pada jenis tanah. Informasi yang diekstrapolasi dari GIS dapat mengontrol proses, seperti penyemaian pupuk dan aplikasi pestisida di tempat yang tepat pada waktu yang tepat.
- e. *Yield Monitor* : memberikan data untuk peta hasil yang membantu petani menentukan manajemen input yang baik, seperti pupuk, benih, pestisida, pengolahan tanah dan irigasi

2.1.5. Ketahanan Pertanian Padi Terhadap Iklim

Perubahan iklim merupakan salah satu ancaman terhadap sector pertanian karena dapat menyebabkan (a) kegagalan panen, penurunan produktivitas dan produksi; (b) kerusakan sumberdaya lahan pertanian; (c) peningkatan frekuensi, luas, dan bobot/intensitas kekeringan; (d) peningkatan kelembaban; dan (e) peningkatan intensitas gangguan organisme pengganggu tanaman (OPT) (Las et al., 2008a dalam (B Penelitian, 2011)).

Perubahan iklim mempengaruhi sektor pertanian baik secara langsung maupun tidak langsung diantaranya melalui efeknya terhadap suhu dan perubahan curah hujan dalam biologi dan fisik lingkungan. (Brown dan Rosenberg 1997 dalam (Pramudia, et al., 2013)). Perubahan pola curah hujan dapat menyebabkan fluktuasi ketersediaan air, yang dapat berpengaruh terhadap produksi tanaman, selain juga terhadap peluang peningkatan hama dan penyakit. Ketersediaan air merupakan salah satu konsekuensi paling dramatis perubahan iklim untuk sektor pertanian (Mestre-Sanchís, Feijóo-Bello 2009 dalam (Pramudia, et al., 2013)). Penurunan kelembaban tanah menyiratkan pengurangan yang signifikan pada produktivitas tanaman lahan kering potensial. Di sisi lain, peningkatan hujan lebat berdampak pada erosi dan tanah. Boer et al. (2011) dalam (Pramudia, et al., 2013) menyatakan bahwa dampak perubahan iklim global terhadap sektor pertanian dibedakan menjadi: (1) dampak yang bersifat kontinu, berupa kenaikan suhu udara, perubahan hujan, dan kenaikan salinitas air tanah untuk wilayah pertanian dekat pantai yang akan menurunkan produktivitas tanaman dan perubahan panjang musim yang mengubah pola tanam dan indeks penanaman, (2) dampak yang bersifat diskontinu seperti meningkatnya gagal panen akibat meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem (banjir, kekeringan, dan angin kencang) dan meningkatnya gagal panen akibat munculnya serangan atau ledakan hama penyakit baru tanaman, dan (3) dampak yang bersifat permanen berupa berkurangnya luas kawasan pertanian di kawasan pantai akibat kenaikan muka air laut.



Gambar 2. 1 Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian (Sumber: Balitbangtan 2013)

Beberapa upaya adaptasi perubahan iklim yang sudah dilakukan diantaranya adalah:

1. Kalender tanam terpadu untuk tanaman pangan.
2. Varietas adaptif dan toleran: (a) kekeringan, (b) tahan genangan, (c) genjah, (d) tahan salinitas, dan (e) rendah emisi.
3. Teknologi pengelolaan tanah dan air.
4. Food Smart Village (FSV).
5. Optimasi siklus karbon (zero waste): (a) kompos, (b) pakan ternak, dan (c) biogas.
6. Diversifikasi pangan.

Pemilihan varietas yang cocok sangat menentukan hasil produksi padi. Untuk mengatasi permasalahan kekeringan pada lahan sawah, terdapat varietas padi sawah yang tahan kekeringan seperti varietas Dodokan, Silugonggo, dan Inpari 10 (Litbang Pertanian, 2011).

Serangan hama dan penyakit tanaman berhubungan dengan perubahan suhu, kelembaban, dan curah hujan. Hama utama padi yang sering dijumpai adalah tikus. Saat ini telah dikembangkan teknologi PHTT (Pengendalian Hama Tikus

Terpadu) yang berdasarkan pada pemahaman ekologi tikus, PHTT dilakukan secara dini, intensif, dan berkelanjutan dengan memanfaatkan berbagai teknologi pengendalian yang sesuai dan tepat waktu. Teknologi pengendalian berupa tanam dan panen serempak, sanitasi sawah yang bersih, pengemposan, gropyokan massal, rodentisida, dan Trap Barrier System (TBS) serta Linear Trap Barrier System (LTBS).

Penyakit tanaman padi yang sering dijumpai adalah penyakit blast. Serangan Blast dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan anakan produktif. Blast menyebabkan malai kecil dengan sedikit gabah bahkan dapat menyebabkan seluruh tanaman mati sebelum berbunga. Cara yang paling efektif, murah dan ramah lingkungan dalam pengendalian penyakit Blast adalah penggunaan varietas tahan seperti varietas Limboto, Danau Gaung, Situ Patenggang, dan Batutegi. Usaha lain yang dapat dilakukan untuk pengendalian penyakit Blast antara lain:

- (1) Hindari penggunaan pupuk N di atas dosis anjuran.
- (2) Hindari tanam padi terus-menerus sepanjang tahun dengan varietas yang sama.
- (3) Sanitasi lingkungan harus intensif.
- (4) Hindari tanam padi terlambat dari petani di sekitarnya.
- (5) Pengendalian secara dini dengan perlakuan benih sangat dianjurkan untuk menyelamatkan persemaian sampai umur 40 hari setelah sebar.
- (6) Penyemprotan fungisida sistemik minimum sekali pada awal berbunga untuk mencegah penyakit blast leher.
- (7) Hindari jarak tanam rapat (sebar langsung).
- (8) Pemakaian jerami sebagai kompos.

2.1.6. Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah.

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang sangat rentan terhadap perubahan iklim yang berdampak pada produktivitas pertanian dan pendapatan petani. Di sisi lain aktivitas pertanian juga berdampak pada perubahan iklim akibat pemanasan. Sektor pertanian memberikan sumbangan sekitar 14% dari total emisi gas rumah kaca dunia. Pupuk merupakan sumber emisi terbesar (38%) bagi sektor pertanian. Tanah melepaskan N₂O pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Penggunaan pupuk baik organik maupun anorganik meningkatkan kadar N₂O yang dilepaskan tanah (Subagyono, et al., 2014).

Gas-gas yang diklasifikasikan sebagai gas rumah kaca adalah Karbondioksida (CO₂) Metana (CH₄), Nitrit Oksida (N₂O), Hidrofluorokarbon (HFC), Perfluorokarbon (PFC), dan Sulfat Heksafluorida (SF₆).

Emisi energi sektor pertanian berasal dari berbagai sumber sebagai berikut:

1. Pupuk merupakan sumber emisi terbesar (38%) bagi sektor pertanian. Tanah melepaskan N₂O pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Penggunaan pupuk baik organik maupun anorganik meningkatkan kadar N₂O yang dilepaskan tanah.
2. Budidaya padi sawah melepaskan sekitar 11% emisi. Penggenangan pada sawah menyebabkan bahan organik tidak dapat terdekomposisi dengan adanya oksigen sehingga terjadi dekomposisi secara anorganik yang menghasilkan metana. Besarnya emisi dari budidaya padi sawah tergantung pada pengeloaan air dan jumlah pupuk yang digunakan
3. Penggunaan pupuk kandang, termasuk proses pembuatan dan penyimpanan menyebabkan 7% emisi sektor pertanian. Metana diemisikan pada saat pupuk kandang disimpan pada kondisi oksigen yang cukup yang menyebabkan dekomposisi anorganik, sebaliknya nitrogen pada faeces dan urine ternak memicu terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi yang menghasilkan N₂O.
4. Pembakaran sabana dan sisa pertanian, pembukaan hutan dengan pembakaran menyumbang emisi non CO₂ sebesar 13%.

Untuk menurunkan emisi pada lahan sawah, (Litbang Pertanian, 2011) menyusun enam skenario mitigasi seperti terlihat pada Gambar 2.2., yang diharapkan dapat menurunkan emisi sekitar 30%. Skenario mitigasi yang paling efektif adalah menggunakan varietas rendah emisi.

Skenario	Teknologi mitigasi
S0	Sawah irigasi dengan pupuk organik (berdasarkan Kepmentan)
S1	Irigasi berselang (termasuk SRI, PTT)
S2	Suplemen Pupuk (ZA dan urea briket)
S3	Varietas rendah emisi *
S4	Irigasi berselang + suplemen pupuk (kombinasi S1 and S2)
S5	Irigasi berselang + suplemen pupuk + varietas rendah emisi (kombinasi S1, S2 & S3)
S6	S5 + <i>iron material</i> /silikat

Gambar 2. 2 Skenario mitigasi untuk mengurangi emisi gas metana dari lahan sawah (Litbang Pertanian 2011)

2.1.7. Sistem

Sistem adalah kumpulan obyek yang saling berinteraksi dan bekerjasama untuk mencapai tujuan logis dalam suatu lingkungan yang kompleks. Menurut Ruth & Hannon (1997), sistem terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Sistem Terbuka (open system)
2. Sistem Tertutup (closed system)

Open system yang bercirikan sebuah output sebagai respon dari input di mana output diisolasi dari dan tidak ada pengaruhnya terhadap input. Dalam sistem terbuka ini, aksi sebelumnya (past action) tidak bisa mengontrol aksi yang akan datang (future action). Sementara itu, feedback system merupakan sistem tertutup (closed system), yang dipengaruhi perilaku sebelumnya. Feedback system memiliki struktur closed loop dimana aksi sebelumnya dapat kembali mengontrol aksi yang akan datang. Ada dua kategori feedback system :

a. Negative feedback system

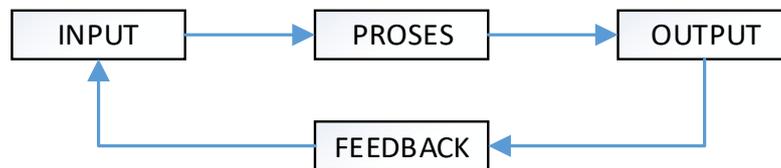
Mencari tujuan dan respon sebagai konsekuensi dari kegagalan mencapai tujuan.

b. Positive feedback system

Meningkatkan proses-proses pertumbuhan di mana aksi yang dihasilkan dapat membangkitkan aksi yang lebih besar. Jadi feedback system dapat mengontrol aksi berdasarkan hasil-hasil dari aksi sebelumnya.



Gambar 2. 3 Sistem Terbuka



Gambar 2. 4 Sistem Tertutup

2.1.8. Simulasi

Beberapa pengertian simulasi menurut para ahli dalam (Suryani 2006 dalam (Muhandhis, et al., 2015)) yaitu:

1. Hoover dan Perry (1990)

Simulasi merupakan proses perancangan model matematis atau logis dari sistem nyata, melakukan eksperimen terhadap model dengan menggunakan computer untuk menggambarkan, menjelaskan dan memprediksi perilaku sistem.

2. Law, Kelton, and Kelton (1991)

Simulasi didefinisikan sebagai sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu.

3. Khoshnevis (1994)

Simulasi merupakan proses aplikasi membangun model dari sistem nyata atau usulan sistem, melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem atau untuk membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan.

Simulasi merupakan tool yang cukup fleksibel untuk memecahkan masalah yang sulit untuk dipecahkan dengan model matematis biasa. Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks untuk pemecahan analitis dari model tersebut. Penggunaan simulasi akan memberikan wawasan yang lebih luas pada pihak manajemen dalam menyelesaikan suatu masalah. Oleh karena itu manfaat yang didapat dengan menggunakan metode simulasi adalah sebagai tool bagi perancang sistem atau pembuat keputusan, dalam hal ini manajer untuk menciptakan sistem dengan kinerja tertentu baik dalam tahap perancangan sistem (untuk sistem yang masih berupa usulan) maupun tahap operasional (untuk sistem yang sudah berjalan).

Berbagai kelebihan yang bisa diperoleh dengan memanfaatkan simulasi, yaitu sebagai berikut :

1. Tidak semua sistem dapat direpresentasikan dalam model matematis, simulasi merupakan alternatif yang tepat.
2. Dapat bereksperimen tanpa adanya resiko pada sistem nyata. Dengan simulasi memungkinkan untuk melakukan percobaan terhadap sistem tanpa harus menanggung risiko terhadap sistem yang berjalan.
3. Simulasi dapat mengestimasi kinerja sistem pada kondisi tertentu dan memberikan alternatif desain terbaik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
4. Simulasi memungkinkan untuk melakukan studi jangka panjang dalam waktu relatif singkat.
5. Dapat menggunakan input data bervariasi.

Selain itu simulasi juga mengalami kekurangan diantaranya sebagai berikut :

1. Kualitas dan analisis model tergantung pada pembuat model. Tidak immune terhadap GIGO (Garbage In, Garbage Out). Yang berarti apabila kita memasukkan data yang salah, maka kita akan mendapatkan output simulasi yang salah juga.
2. Hanya mengestimasi karakteristik sistem berdasarkan masukan tertentu.

2.1.9. Sistem Dinamik

Sistem Dinamik adalah suatu pendekatan dengan bantuan komputer untuk menganalisis kebijakan dan desain. Simulasi sistem dinamik merupakan simulasi kontinyu yang dikembangkan oleh Jay Forrester (MIT) pada tahun 1960-an, berfokus pada struktur dan perilaku sistem yang terdiri dari interaksi antar variabel dan loop feedback. Hubungan dan interaksi antar variabel dinyatakan dalam diagram kausatik. Proses umpan balik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu : (Suryani 2006 dalam (Muhandhis, et al., 2015))

1. Umpan Balik Positif

Jenis umpan balik ini menciptakan proses pertumbuhan, dimana suatu kejadian dapat menimbulkan akibat yang akan memperbesar kejadian berikutnya secara terus menerus. Umpan balik ini dapat menyebabkan ketidakstabilan, ketidakseimbangan, serta pertumbuhan yang kontinyu. Contoh : sistem pertumbuhan penduduk.

2. Umpan balik negatif

Jenis umpan balik ini berusaha menciptakan keseimbangan dengan memberikan koreksi agar tujuan dapat dicapai. Contoh : sistem pengatur suhu ruangan.

Menurut (Sterman, 2000) dalam bukunya, Causal Loop Diagram (CLD) adalah suatu bentuk pemetaan yang menunjukkan hubungan sebab alibat antara variabel dengan panah dari sebab ke akibat. CLD sangat baik untuk :

- a. Menangkap secara cepat sebuah hipotesis tentang penyebab dinamika.
- b. Menimbulkan dan menangkap model secara individu atau kelompok.
- c. Komunikasi umpan balik penting yang dipercaya sebagai tanggung jawab untuk sebuah masalah.

Hubungan sebab akibat dapat merupakan hubungan positif atau Reinforcing dengan simbol + atau R, maupun hubungan negatif atau Balancing dengan simbol - atau B. Simbol-simbol pada CLD dapat dilihat pada tabel 2.2.

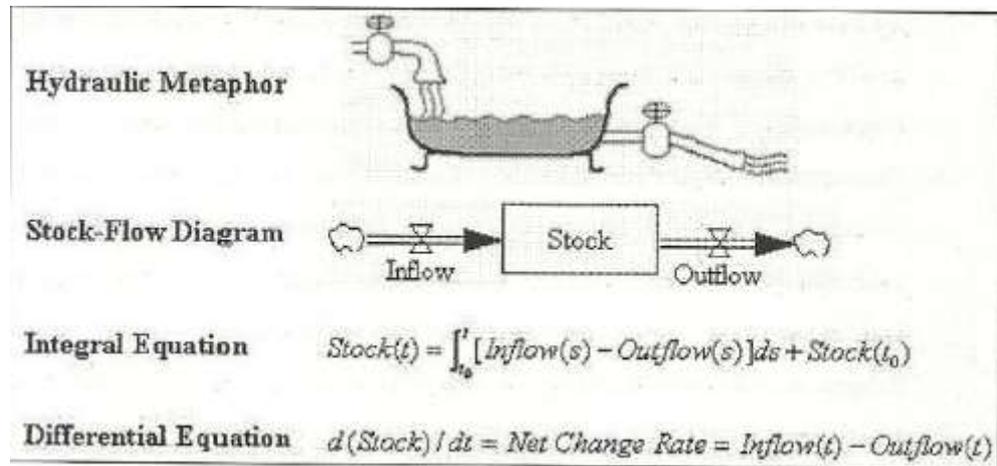
Tabel 2. 2 Simbol-simbol pada CLD

No.	Simbol	Keterangan
1.	+ / - atau S / O	+ / S menunjukkan kesamaan arah antara sebab akibat - / O menunjukkan perbedaan arah antara sebab dan akibat
2.	B (<i>Balancing</i>) R (<i>Reinforcing</i>)	<i>Balancing</i> jika terjadi <i>feedback loop</i> negatif <i>Reinforcing</i> jika terjadi <i>feedback loop</i> positif (Untuk mengetahui B atau R adalah dengan menghitung jumlah - / O. Jika ganjil maka <i>loop</i> tersebut adalah B)

Stock Flow Diagram (SFD) sebagai konsep sentral dalam teori sistem dinamik. Menggambarkan struktur secara fisik, dimana stock merupakan akumulasi yang dapat bertambah dan berkurang, sedangkan flow adalah proses yang menyebabkan stock bertambah atau berkurang. Sterman (2000) menjelaskan empat representasi setara atau ekuivalen dengan struktur stock dan flow : Hydraulic Metaphor, Stock-Flow Diagram, Integral Equation dan Differential Equation (gambar 2.5). Dalam Hydraulic Metaphor stok diwakili melalui air di bak mandi setiap saat. Jumlah air di bak mandi meningkat (air yang mengalir melalui keran) atau menurun (air yang mengalir keluar melalui saluran pembuangan), tidak termasuk factor-faktor luar seperti penguapan. Untuk Stock-Flow Diagram telah memiliki makna matematika tidak ambigu sebagai stock terakumulasi flow-nya.

Stock meningkatkan arus masuk melalui bahan dan penurunan arus keluar melalui materi. Untuk Integral Equation menggambarkan prinsip saham-aliran

yang sama, sebagai Stock baru (t) didefinisikan melalui Stock awal (t₀) ditambah semua Inflow (t) dikurangi dengan Outflow (t).



Gambar 2. 5 Representasi Struktur Stock and Flow (Sterman, 2000)

SFD diterjemahkan lebih luas dengan menggunakan simbol-simbol komputer yang sesuai dengan software yang dipilih, symbol tersebut meliputi simbol yang menggambarkan stock (level), flow(rate), auxiliary, dan constant. Tabel 2.3 memperlihatkan simbol-simbol yang digunakan dalam SFD.

Tabel 2. 3 Simbol dalam SFD

Simbol	Nama	Keterangan
	<i>Stock / State / Level</i>	Akumulasi
	<i>Rate / Flow</i>	Aliran yang terdiri dari unsur awan (asal sumber atau buangan aliran), klep/katup dan saluran aliran.
	<i>Auxilliary</i>	Simbol dari konstanta atau penghubung perhitungan dalam simulasi model.
	<i>Constant</i>	
	<i>Causal Link</i>	Representasi variabel sebagai sebab atau akibat dengan atau tanpa penundaan yang dihubungkan dengan tanda panah.
	<i>Causal Link with Delay</i>	

- a. Level merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda (noun) seperti orang, uang, inventori, dan lain-lain, terhadap waktu. Level dipengaruhi oleh variabel rate dan dinyatakan dengan simbol persegi panjang. Pada bagian bawah simbol variabel level menunjukkan nama variabel.
- b. Rate merupakan suatu aktivitas, pergerakan (movement), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel level. Rate merupakan satu-satunya variabel yang mempengaruhi variabel level. Simbol ini harus terhubung dengan sebuah variabel level.
- c. Auxiliary merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan informasi antara level dan rate. Seperti variabel level, variabel auxiliary juga dapat digunakan untuk menyatakan sejumlah benda (noun).
- d. Konstanta merupakan input bagi persamaan rate baik secara langsung maupun melalui auxiliary. Konstanta menyatakan nilai parameter dari sistem nyata.

2.2 Penelitian Sebelumnya

No	Judul	Tujuan	Hasil
1	Pengembangan Model Sistem Dinamik Pemenuhan Logistik Beras Untuk Menjaga Stabilitas Harga Beras (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur) (Suprianto, et al., 2014).	Mengembangkan model sistem dinamik pemenuhan logistik beras untuk menjaga stabilitas harga beras.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Total produksi padi dapat dipenuhi dengan meningkatkan produktivitas lahan per hektar dengan menerapkan revitalisasi lahan menggunakan pupuk dan insektisida. 2. Pengolahan tanah untuk meningkatkan total produksi dilakukan dengan pembajakan sawah, penyediaan bibit unggul, pengaturan irigasi, pengendalian hama, serta penanganan panen dan pasca panen yang tepat. 3. Jumlah produksi padi juga dipengaruhi oleh luas lahan tanam padi dan luas panen padi yang dapat ditingkatkan dengan cara pembukaan lahan baru maupun alih fungsi lahan. 4. Skenario pemenuhan logistic beras dilakukan dengan cara mengubah nilai parameter yang paling berpengaruh sangat kuat terhadap base model, serta menambah variabel intensifikasi dengan penggunaan bibit unggul dan memperluas areal tanam melalui ekstensifikasi pola tanam.
2	Sistem Dinamik Spasial Untuk Meningkatkan	Mengembangkan model sistem logistik pangan ke	1. Produktivitas lahan padi dipengaruhi oleh curah hujan, penggunaan pupuk, ketersediaan irigasi, penggunaan bibit

	<p>Efektifitas Dan Efisiensi Logistik Pada Rantai Pasok Pangan</p> <p>(Hidayat, et al., 2016)</p>	<p>dalam sistem distribusi pangan skala regional, Mengurangi biaya logistic, Meningkatkan daya saing harga pangan, meningkatkan keberlanjutan logistik pangan</p>	<p>unggul, penanggulangan hama dan penyakit, serta penggunaan system tanam jajar legowo.</p> <p>2. Selain produktivitas lahan, luas panen padi juga menjadi faktor peningkatan produksi padi, yang akan mempengaruhi produksi beras, dan berpengaruh terhadap pemenuhan kebutuhan beras serta harga beras.</p>
3	<p>Pengembangan Model Rantai Pasok Produksi Beras Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Dengan Menggunakan Sistem Dinamik</p> <p>(Muhandhis, et al., 2015)</p>	<p>Mengembangkan model sistem rantai pasok produksi beras di Indonesia, serta mengembangkan scenario yang dapat meningkatkan rasio pemenuhan beras di Indonesia</p>	<p>1. Produksi padi dalam negeri berfluktuasi dan dipengaruhi oleh luas panen dan produktivitas lahan.</p> <p>2. Luas panen dipengaruhi oleh luas lahan sawah yang ada dan intensitas pertanaman.</p> <p>3. Luas lahan sawah dipengaruhi oleh laju pembukaan sawah baru dan laju konversi lahan.</p> <p>4. Konversi lahan ke non pertanian di Jawa diprediksi akan terus berlangsung, sehingga diperlukan upaya pembukaan sawah baru di luar Jawa untuk mengimbangi kebutuhan lahan sawah.</p> <p>5. Intensitas pertanaman dipengaruhi oleh ketersediaan air. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan perawatan</p>

			<p>jaringan irigasi yang baik agar irigasi dapat berfungsi optimal.</p> <p>6. Produktivitas lahan dipengaruhi oleh perbaikan agroinput tanaman mulai dari pemberian pupuk yang seimbang sesuai dengan kebutuhan hara tanah. Selain itu, penerapan teknologi baru seperti sistem tanam jajar legowo dan penggunaan benih unggul berlabel juga perlu ditingkatkan.</p> <p>7. Scenario dilakukan dengan ekstensifikasi lahan dan intensifikasi lahan yang dapat meningkatkan produksi padi</p>
4	Smart Agriculture (Rehman, et al., 2009)	Mendeskripsikan konsep Smart Agriculture serta pengembangan prototype Smart Agriculture untuk control irigasi	<p>Konsep Smart Agriculture adalah pemanfaatan berbagai teknologi maju bersama dengan pengalaman orang-orang serta hasil peristiwa lampau untuk menghasilkan solusi masalah yang lebih baik.</p> <p>Masalah yang berkaitan dengan agriculture :</p> <p>1. Irigasi</p> <p>Merupakan salah satu bidang pertanian yang paling penting. Membantu daerah-daerah dengan curah hujan rendah untuk memenuhi kebutuhan air. Selain itu juga</p>

			<p>meminimalkan pemborosan air. Untuk mengatasi kebutuhan tersebut, banyak metode irigasi yang digunakan seperti irigasi tetes, irigasi sprinkler dll.</p> <p>2. Aplikasi pestisida dan pupuk</p> <p>Penggunaan pupuk dan pestisida pada lokasi dan kuantitas yang tepat meningkatkan produktivitas hasil panen. Penerapan pupuk dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode termasuk broadcast, penempatan dan aplikasi daun. Pemilihan metode aplikasi didasarkan pada hasil panen dan juga metode budidaya. Distribusi jumlah pupuk yang dibutuhkan di tempat yang tepat merupakan tugas yang menantang. Menerapkan jumlah pupuk yang tidak perlu dapat menurunkan kualitas air dan juga dapat mendukung pertumbuhan ganggang.</p> <p>Aplikasi pestisida adalah treatment untuk organisme (misal: tanaman) dari kemungkinan kerusakan oleh tanaman lain, jamur, serangga atau hewan. Waktu, jumlah dan lokasi aplikasi sangat penting dalam kasus penyemprotan pestisida.</p>
--	--	--	---

			<p>3. Pemantauan Tanaman, Tanah dan Iklim</p> <p>Pemantauan merupakan aspek penting dari pertanian. Mengetahui keadaan tanaman, tanah dan iklim sangat penting bagi petani karena keputusan mereka untuk mengairi tanaman, menyemprotkan pestisida, menerapkan pupuk, dan lain-lain didasarkan pada hasil pemantauan. Pemantauan fisik untuk lahan pertanian yang besar tidak menghasilkan hasil yang baik karena hampir tidak mungkin melakukan pemantauan 24 jam dan juga untuk memastikan beberapa varian sekaligus.</p> <p>4. Peternakan Hewan Ternak</p> <p>Peternakan hewan ternak juga berada di bawah wilayah pertanian. Live stock production tidak hanya berkontribusi terhadap produksi daging dan mengolah produk hewani (seperti wol, kulit, susu dll.) Tetapi juga membantu untuk bekerja (seperti mengolah ladang, panen dll). Banyak sumber pakan ternak adalah padang rumput. Mengetahui keadaan padang rumput sangat penting bagi petani. Karena petani harus memutuskan</p>
--	--	--	--

			<p>irigasi padang rumput, aplikasi pupuk atau memindahkan hewan ke padang rumput hijau lainnya.</p>
5	<p>Farmers' Adaptation to Climate Change, Its Determinants and Impacts on Rice Yield in Nepal (Khanal, et al., 2018)</p>	<p>Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pengambilan keputusan petani dalam mengadopsi strategi adaptasi perubahan iklim dan bagaimana adaptasi ini berdampak pada hasil pertanian.</p>	<p>Langkah-langkah kebijakan yang efektif untuk mempromosikan adopsi adaptasi perubahan iklim harus mencakup peningkatan pendidikan petani, akses terhadap fasilitas kredit dan layanan penyuluhan. Selanjutnya, kesadaran petani terhadap isu perubahan iklim, kepercayaan mereka terhadap perubahan iklim dan adaptasi sangat penting dalam menentukan pelaksanaan strategi adaptasi, yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian.</p> <p>Persepsi petani terhadap perubahan iklim, dampaknya terhadap produksi padi dan tindakan adaptasi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parameter iklim : Suhu Bahaya iklim terkait : Meningkatnya suhu Efek yang dirasakan pada produksi padi : Peningkatan evapotranspirasi, sehingga membutuhkan lebih banyak irigasi. Lebih banyak terserang serangga dan penyakit. Pengenalan serangga dan

			<p>penyakit baru. Mengurangi kualitas biji. Pengurangan hasil produksi.</p> <p>Tindakan adaptasi yang dilakukan oleh petani : Menumbuhkan varietas berdurasi pendek. Menanam varietas tahan hama dan serangga. Merubah lokasi tanam varietas. Memperbaiki irigasi. Meningkatkan jumlah penyiangan. menggunakan lebih banyak pestisida</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parameter iklim : Pengendapan <p>Bahaya iklim terkait : Perubahan waktu curah hujan termasuk terlambatnya musim hujan. Berkurangnya ketersediaan air permukaan dan air tanah. Kekeringan yang panjang. Curah hujan yang jarang tapi deras menyebabkan banjir dan tanah longsor.</p> <p>Efek yang dirasakan pada produksi padi : Perkecambahan yang buruk. Keterlambatan dalam transplantasi. Kekurangan air irigasi. Hilangnya panen akibat hujan deras / hujan es. Pemusnahan sumber air dan</p>
--	--	--	---

			<p>saluran irigasi. Longsor. Degradasi kualitas tanah. Berkurangnya hasil panen.</p> <p>Tindakan adaptasi dilakukan oleh petani : Teknik konservasi tanah. Ubah lokasi tanam varietas. Ubah tanggal penaburan bibit / tanam / pemanenan. Budidaya padi sawah langsung. Meningkatkan tingkat bibit. Menanam varietas berdurasi pendek. Menanam varietas toleran kekeringan. Meningkatkan penggunaan pupuk kimia. Meningkatkan penggunaan pupuk kandang. Pembangunan jalan air saat hujan deras. Menanam varietas toleran banjir. Beralih ke tanaman non-padi.</p>
6	Maintaining rice production while mitigating methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in China: Evaluating tradeoffs by using	Mencari scenario pengelolaan air dan pupuk yang tepat, yang dapat menyebabkan pengurangan emisi CH ₄ dan N ₂ O yang signifikan tanpa	- Budidaya padi merupakan salah satu sumber utama emisi antropogenik metana (CH ₄) dan nitrous oxide (N ₂ O). Beras dan gas rumah kaca merupakan produk gabungan dari budidaya sawah dan ada hubungan yang kompleks antara pertumbuhan padi dan emisi gas rumah kaca. Sebagai contoh, produksi CH ₄ dipengaruhi oleh konsentrasi

	<p>coupled agricultural systems models (Tian, et al., 2018)</p>	<p>menyebabkan pengurangan produksi beras.</p>	<p>substrat, yang dipengaruhi oleh aktivitas akar tanaman. Dinamika pertumbuhan tanaman juga mempengaruhi mineral tanah melalui serapan tanaman, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi emisi N₂O.</p> <p>- Scenario yang digunakan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, adalah :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traditional Management (TM) : aplikasi pemupukan kimia dan irigasi berdasarkan praktek yang ada saat ini • Balanced Fertilizer (BF) : menentukan jumlah ambang / jumlah pupuk yang seimbang yang menjamin hasil terbaik yang dapat dicapai dengan jumlah minimum aplikasi pupuk yang diperlukan, yang berarti bahwa jumlah aplikasi yang lebih kecil dari ambang ini akan menghasilkan pengurangan hasil bahkan pada kondisi cuaca dan manajemen air ideal, dan jumlah aplikasi lebih besar dari ambang batas ini tidak akan menghasilkan peningkatan hasil. • Midseason Drainage (MD) : menggunakan metode midseason field drying untuk menggantikan
--	---	--	---

			<p>metode irigasi basin tradisional, yang dapat mengurangi emisi CH₄ secara efektif.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprehensive Management (CM) : penggabungan metode balanced fertilizer application dan midseason field drying irrigation, karena perubahan metode pengelolaan air akan mempengaruhi proses nitrifikasi dan denitrifikasi. <p>- Langkah-langkah mitigasi komprehensif yang menggabungkan midseason drainage dan balanced fertilizer, berdasarkan persyaratan panen dan pengujian tanah, dalam beberapa kasus dapat meningkatkan produksi, sambil menurunkan biaya input pertanian dan mengurangi emisi gas rumah kaca.</p>
7	Evaluation of fertilizer and water management effect on rice performance and greenhouse gas intensity in different seasonal weather of tropical climate	Mengajukan praktik pengelolaan air dan pupuk yang efisien yang memperhitungkan efek musiman untuk mengurangi gas rumah kaca	<ul style="list-style-type: none"> - Kotoran ternak dikombinasikan dengan pupuk urea meningkatkan potensi pemanasan global akibat banjir terus menerus; - Alternatif pembasahan dan pengeringan, efektif dalam mengurangi potensi pemanasan global dalam sistem padi ganda.

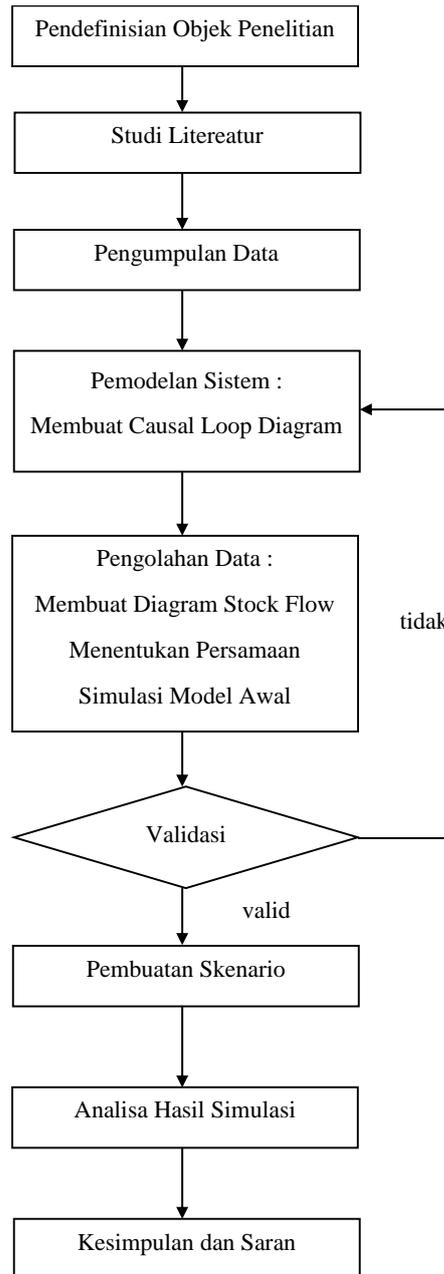
	(Ku, et al., 2017)	tanpa mengurangi hasil dalam sistem padi tanam ganda.	- Pemanfaatan pupuk urea merupakan praktik yang tepat untuk menjaga hasil padi dan meminimalkan potensi pemanasan global di iklim tropis;
--	--------------------	---	---

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Pada Gambar 3.1 menjelaskan tentang metodologi pemecahan masalah pada penelitian ini.



Gambar 3. 1 Metode Penelitian

3.1 Studi Literatur

Tahap pengumpulan literatur diperlukan untuk memperkuat dasar teori guna mendukung pengerjaan dan penelitian tesis. Pencarian dilakukan pada jurnal yang relevan atau penelitian terdahulu, terkait produktivitas padi untuk meningkatkan ketahanan pertanian padi, serta cara mengurangi gas emisi akibat pertanian padi, guna mendukung smart agriculture, khususnya di provinsi Jawa Timur.

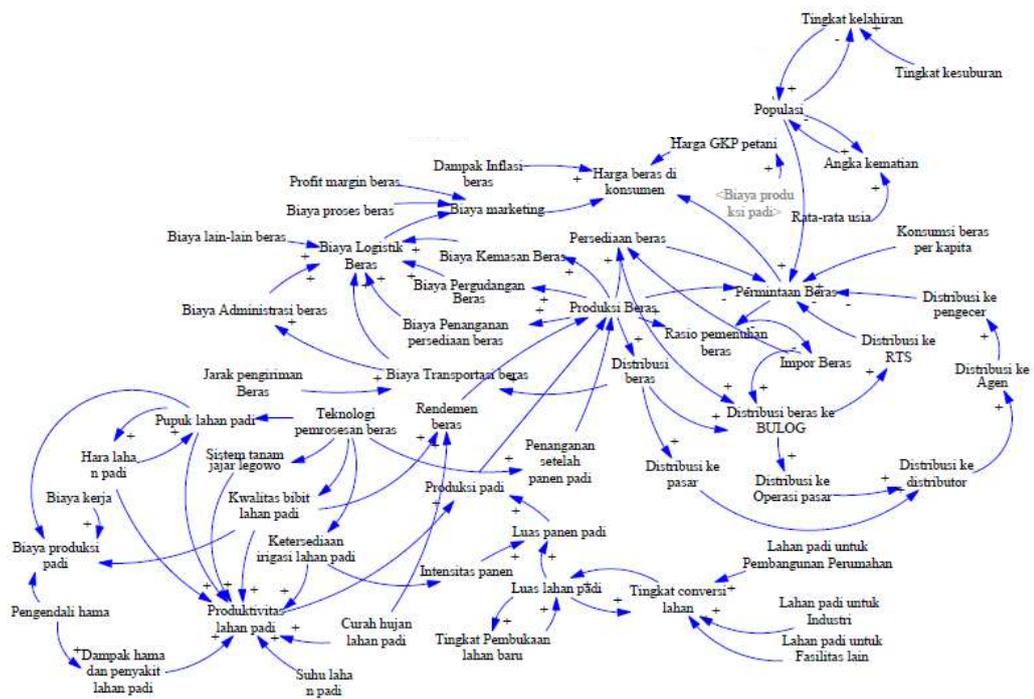
3.2 Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data, yang merupakan lanjutan dari tahapan studi literature. Tahapan ini dilakukan agar memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai kebutuhan pangan (demand beras), produksi beras, harga beras, produktivitas padi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, ketersediaan lahan di Jawa timur untuk pertanian padi, serta faktor-faktor yang menyebabkan meningkatnya emisi gas CO₂ akibat pertanian padi dan cara menanganinya.

3.3 Pemodelan Sistem

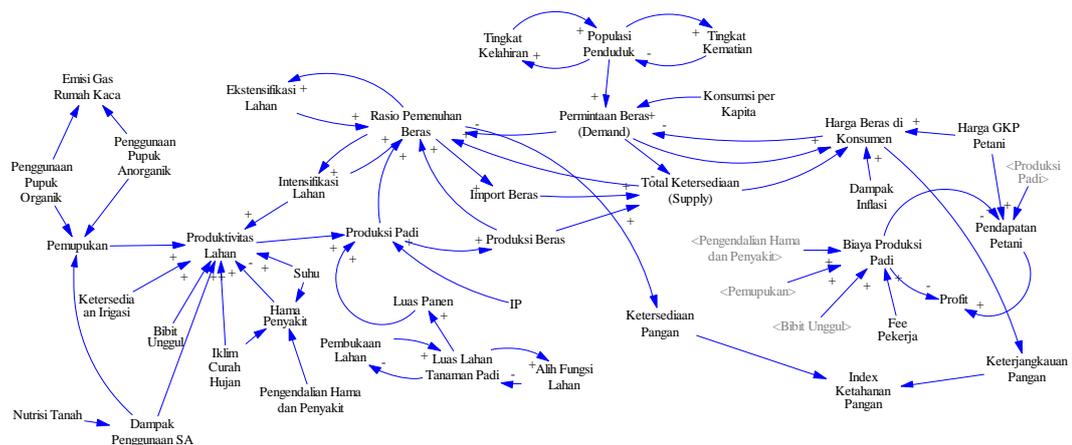
Langkah-langkah dalam pemodelan sistem menurut (Sterman 2000) yaitu: (1) Mengartikulasikan Masalah (*problem articulation*), (2) Merumuskan hipotesis dinamis (*formulation of dynamics hypothesis*), (3) Merumuskan model simulasi (*formulation of a simulation model*), (4) Menguji (*testing*), (5) Merancang dan mengevaluasi kebijakan (*policy design and evaluation*).

Langkah awal pada pemodelan sistem adalah pembuatan model konseptual yang digambarkan melalui diagram kausal. Diagram kausal ini digunakan untuk memvisualisasikan sistem secara umum yang nantinya akan disimulasikan dengan metode sistem dinamik melalui komponen-komponen yang terlihat. Komponen-komponen inilah yang nanti akan menjadi variabel, parameter, dan konstanta yang saling tergantung dan mempengaruhi perilaku sistem. Pembuatan diagram kausal didasarkan pada hasil dari tahapan sebelumnya yaitu tahapan pengumpulan data dan kajian pustaka. Diagram kausal yang akan dibuat menggambarkan tujuan dari penelitian ini, yakni meningkatkan produktivitas dan pendapatan pertanian; membangun ketahanan pertanian padi, serta mengurangi



Gambar 3.3 Diagram Kausatik Referensi 2

Sehingga dari referensi-referensi tersebut, dibuatlah model untuk penelitian ini yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Adapun model diagram kausatik ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. 4 Diagram Kausatik Penelitian

3.4 Pengolahan Data

Pada tahap ini, model konseptual yang dilakukan sebelumnya dengan diagram kausal, akan diterjemahkan menjadi model sistem dinamik yang digambarkan melalui diagram stock dan flow yang terbentuk melalui empat komponen, yaitu sistem, umpan balik, *level* dan *rate*. Kemudian selanjutnya menentukan persamaan dari setiap variabel, sebagai formulasi pada model yang dilakukan dengan cara memahami dan menguji konsistensi model apakah sudah sesuai dengan tujuan dan batasan sistem yang dibuat. Setelah model dibuat selanjutnya dilakukan tahap verifikasi.

3.5 Validasi Model

Validasi dilakukan untuk memastikan model yang telah dibuat sudah dapat menggambarkan kondisi sistem nyata. Validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) atau validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau % error variance (Barlas, 1989)

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

$$E1 = \frac{[\bar{S} - \bar{A}]}{\bar{A}}$$

Dimana :

\bar{S} = nilai rata rata hasil simulasi

\bar{A} = nilai rata rata data

Model dianggap valid jika $E1 \leq 5\%$

b. Uji Perbandingan Variasi Amplitudo (% Error Variance)

$$E2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right|$$

Dimana:

Model dianggap valid jika $E2 \leq 30\%$

S_s = Standar Deviasi Model

S_a = Standar Deviasi Data

c. Skenario Model

Pada tahap ini, model yang telah dibuat diberi beberapa perlakuan model dengan membuat skenario untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pemenuhan kebutuhan beras. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui perilaku yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik.

Terdapat dua jenis skenario yang dapat digunakan dalam sistem dinamik, yaitu (Barlas, 1989) :

i. Skenario Parameter

Skenario ini dilakukan dengan cara mengubah nilai parameter dari model yang sudah dibuat untuk mendapatkan hasil yang paling optimal atau sesuai dengan kebutuhan.

ii. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara mengubah struktur dari model dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama. Skenario ini memerlukan pengetahuan yang cukup mengenai system agar struktur baru yang diusulkan dapat memperbaiki kinerja system.

d. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Data hasil simulasi skenario kemudian akan dilakukan analisis hubungan antar variable, faktor-faktor apa saja yang berpengaruh secara signifikan pada hasil yang diinginkan, dan kecenderungan perilaku yang terjadi dalam model.

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan akan disimpulkan hasil yang diperoleh dan kemudian diberikan saran-saran yang berkaitan dengan penelitian lanjutan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai pengembangan model produktivitas padi di Jawa Timur. Pengembangan model dalam penelitian ini dimulai dengan menganalisa kondisi saat ini dan mengumpulkan data untuk identifikasi variable yang signifikan.

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan wawancara di Dinas Pertanian Jatim, Badan Pusat Statistik. Periode data yang diambil dalam pembangunan model ini adalah tahun 2007 sampai 2017. Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Populasi penduduk Jawa Timur
2. Luas lahan padi
3. Luas panen padi
4. Produktivitas lahan per hektar
5. Produksi padi produksi beras
6. Harga GKG beras

4.2 Pemodelan Data

Setelah didapatkan hubungan antar variable, selanjutnya dilakukan pembuatan flow diagram base model. Pemodelan dilakukan untuk verifikasi dan validasi hubungan antar variabel (formulasi model) untuk kesesuaian model dengan sistem nyatanya.

4.2.1 Sub Model Populasi dan Permintaan Beras

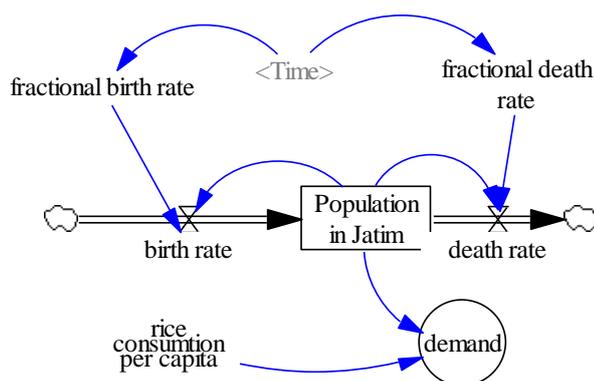
Pada tahun 2017 jumlah penduduk Jawa Timur mencapai 39,29 juta jiwa, dengan angka kelahiran 585 per 1000 orang per tahun dan angka kematian 317.4 per 1000 orang pertahun (Badan Pusat Statistik, 2013). Sebagian besar penduduk Jawa Timur mengkonsumsi beras sebagai makanan pokok. Konsumsi beras masyarakat Jawa Timur tercatat sebesar 88 kg/kapita (Kominfo Jatim, 2016).

Jumlah konsumsi per kapita penduduk Jawa Timur dan jumlah penduduk Jawa Timur berhubungan dengan jumlah permintaan beras yang dibutuhkan untuk konsumsi beras di Jawa Timur. Berikut adalah data populasi di Jawa Timur menurut Badan Pusat Statistik 2007-2017 yang ditunjukkan pada table 4.1

Tabel 4. 1 Populasi Jawa timur

Tahun	Jumlah
2007	36506003
2008	37100570
2009	37310619
2010	37565706
2011	37840657
2012	38106590
2013	38363195
2014	38610202
2015	38847561
2016	39075152
2017	39292972

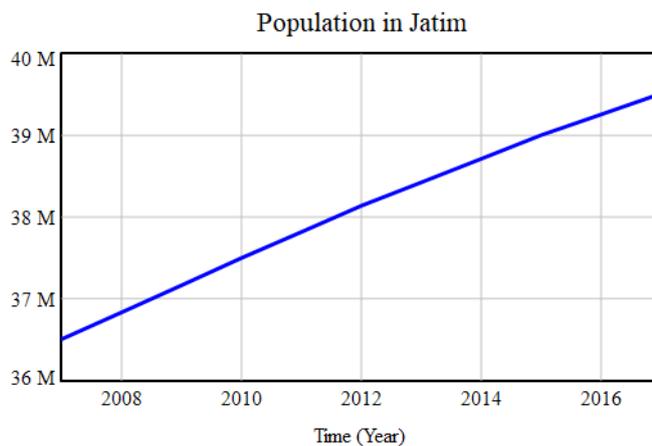
Berikut ini merupakan sub model populasi di Jawa Timur, serta permintaan beras di Jawa Timur yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Flow Diagram Populasi dan Permintaan

Gambar diatas adalah sub model populasi dan permintaan beras di Jawa Timur. Laju pertumbuhan penduduk didapatkan dari laju kelahiran dikurangi laju kematian. Penambahan jumlah penduduk ini mempengaruhi besarnya permintaan

konsumsi beras di Jawa Timur. Hasil grafik sub model populasi di Jawa Timur terlihat pada gambar 4.2.

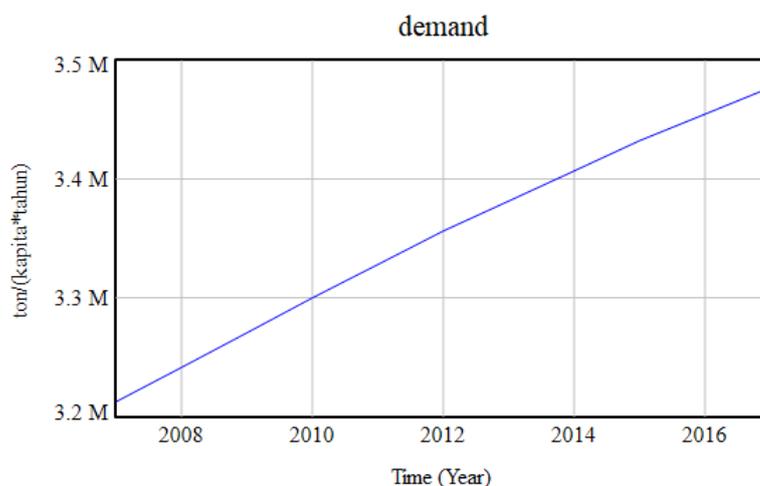


Gambar 4. 2 Grafik Populasi Jawa Timur

Jumlah permintaan beras yang dibutuhkan untuk konsumsi beras di Jawa Timur dipengaruhi oleh konsumsi per kapita dan jumlah penduduk pada tahun tertentu. Permintaan beras Jawa Timur merupakan total populasi di Jawa Timur dikalikan dengan rata-rata konsumsi beras per kapita per tahunnya. Konsumsi beras

per kapita di Jawa Timur pada tahun 2016 mencapai 88 kg/tahun (Kominfo Jatim, 2016).

Berikut adalah hasil grafik sub model permintaan beras di Jawa Timur yang terlihat pada gambar 4.3. Semakin meningkat permintaan beras, maka akan berdampak pada ketersediaan beras di Jawa Timur.



Gambar 4. 3 Grafik Permintaan Beras

4.2.2 Sub Model Luas Panen

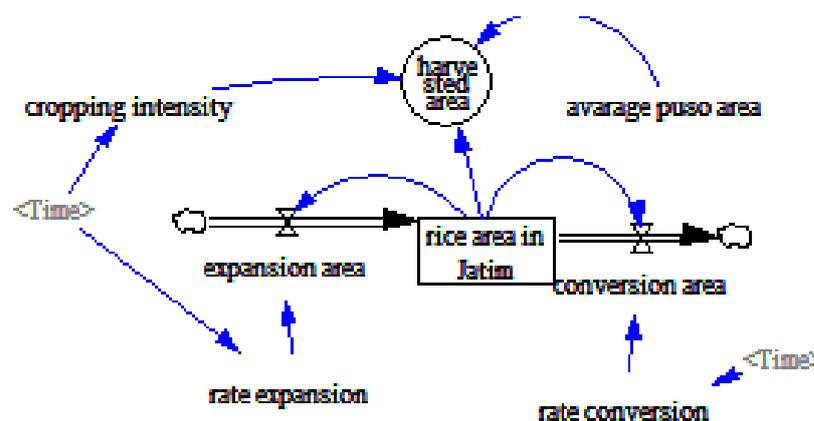
Luas sawah adalah luas lahan sawah yang secara fisik dapat diukur. Sedangkan luas panen adalah luas lahan yang dipanen hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur. Luas panen mempengaruhi produksi padi, apabila luas panen semakin luas maka produksi padi semakin besar, dan sebaliknya. Table 4.2 merupakan data perkembangan luas panen di Jawa Timur menurut Dinas Pertanian 2007-2017.

Tabel 4. 2 Luas Lahan

Tahun	Luas lahan	Luas Panen
2007	1096605	1736048
2008	1108578	1774884
2009	1100517	1904830

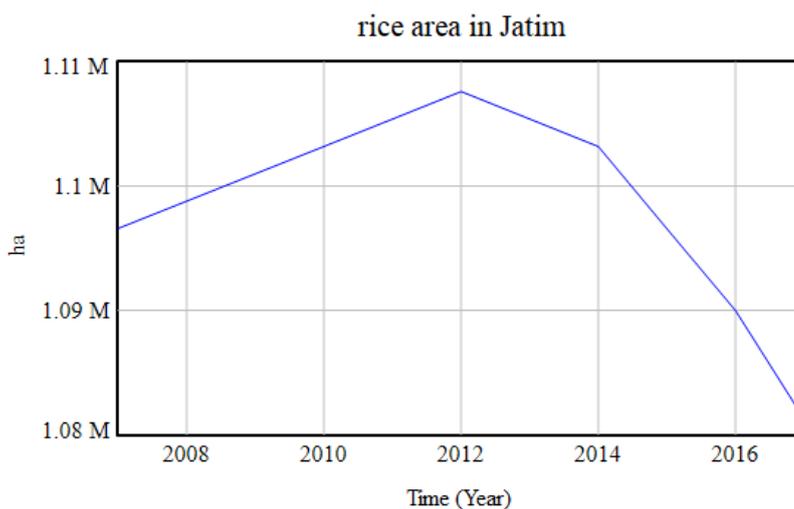
2010	1107276	1963983
2011	1106449	1926796
2012	1105550	1975719
2013	1102921	2037021
2014	1101765	2072630
2015	1091752	2152070
2016	1089834	2278460
2017	1087919	2291982

Luas sawah dipengaruhi oleh besarnya laju pembukaan lahan sawah baru dan laju konversi lahan. Sementara, Luas panen dipengaruhi oleh intensitas pertanaman suatu lahan. Intensitas pertanaman adalah frekuensi tanam pada suatu lahan sawah dalam satu tahun. Penurunan luas panen dipengaruhi oleh luas puso/luas lahan gagal panen. Gagal panen biasanya diakibatkan oleh serangan hama atau penyakit. Serangan hama atau penyakit apabila tidak ditangani dengan baik akan menyebabkan sawah gagal panen. Selain itu perubahan iklim juga dapat mengakibatkan penurunan luas panen. Curah hujan yang tinggi akan menyebabkan banjir yang membuat sawah tergenang dan gagal panen. Berikut ini adalah sub model luas panen di Jawa Timur yang ditunjukkan oleh gambar 4.4.

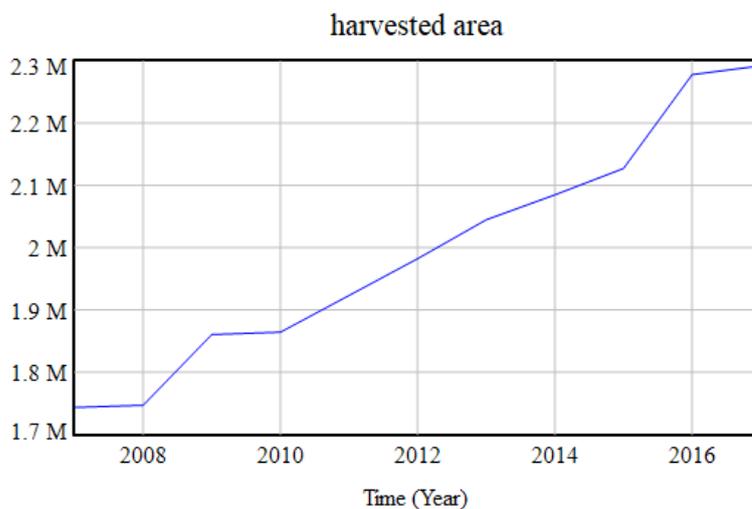


Gambar 4. 4 Sub Model Luas Panen Jatim

Selama periode 2007-2013, luas sawah Jawa Timur memiliki rata-rata laju penambahan lahan sawah sebesar 40 ribu hektare setiap tahunnya, sedangkan laju konversi lahan sawah selama periode tersebut sebesar 100 ribu hektare per tahun (Bappeda Jatim, 2014), dengan rata-rata intensitas pertanaman di Jawa Timur sebesar 1,85. Berikut adalah grafik dari luas sawah dan luas panen di Jawa Timur :



Gambar 4. 5 Luas Sawah



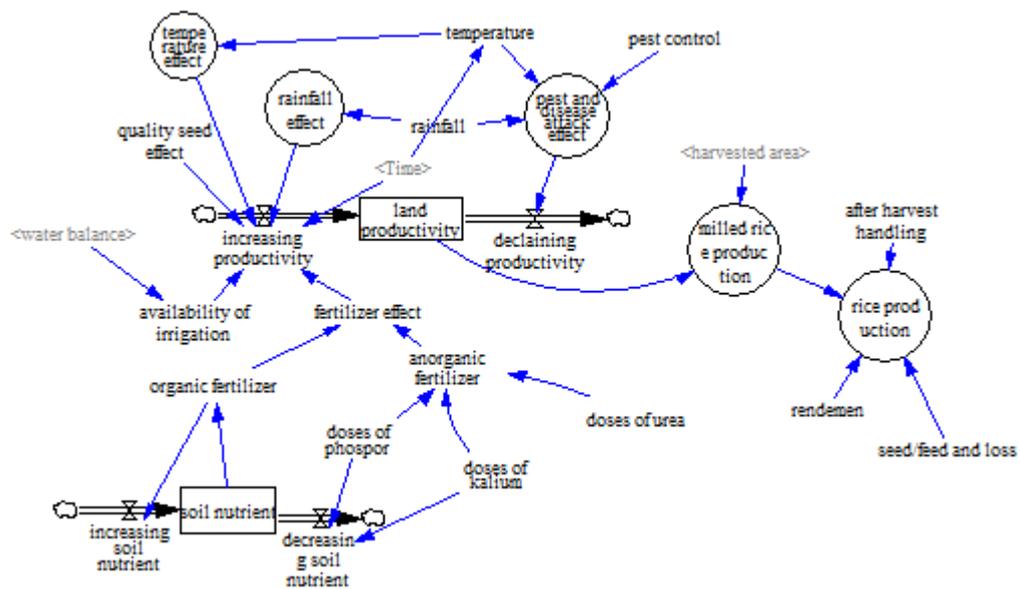
Gambar 4. 6 Grafik Luas Panen

Secara umum grafik luas sawah di Jawa Timur mengalami penurunan. Sementara luas panen di Jawa Timur selalu meningkat, dan rata-rata peningkatan luas panen di Jawa Timur adalah 2.84% per tahun.

4.2.3 Sub Model Produktivitas Lahan dan Produksi

Menurut dinas pertanian Jawa Timur (2018), tingkat produktivitas lahan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, diantaranya penggunaan pupuk 25 persen, ketersediaan air atau irigasi 15 persen, penggunaan bibit unggul sebesar 15 persen, pengendalian hama 11 persen, dan sisanya merupakan keterkaitan faktor-faktor tersebut.

Faktor internal yang berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas antara lain pemberian pupuk yang seimbang, ketersediaan air irigasi, penggunaan bibit unggul. Sedangkan faktor yang mengurangi produktivitas lahan adalah serangan hama dan penyakit. Faktor eksternal yang berpengaruh terhadap produktivitas adalah dampak iklim dan cuaca antara lain faktor suhu dan curah hujan sepanjang tahun. Tingkat produktivitas didapatkan dari laju peningkatan produktivitas dikurangi laju penurunan produktivitas. Berikut ini adalah sub model produktivitas lahan dan produksi padi di Jawa Timur:



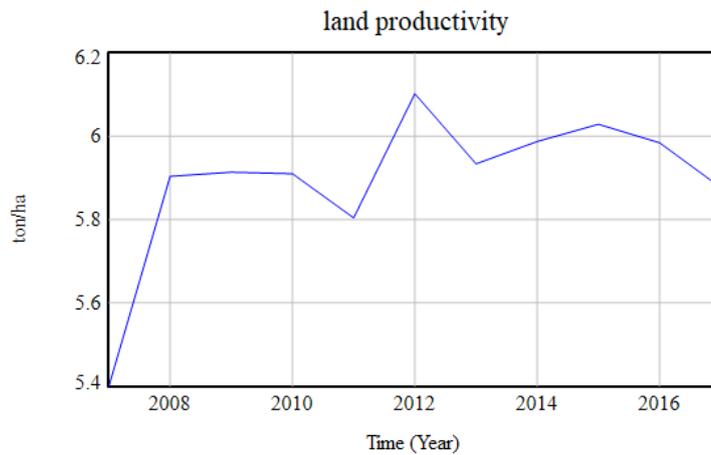
Gambar 4. 7 Produktivitas dan Produksi Padi

Berikut perkembangan produktivitas lahan dan produksi padi di Jawa Timur menurut Dinas Pertanian 2007-2017 yang ditunjukkan pada table 4.3.

Tabel 4. 3 Produksi Padi Jawa Timur

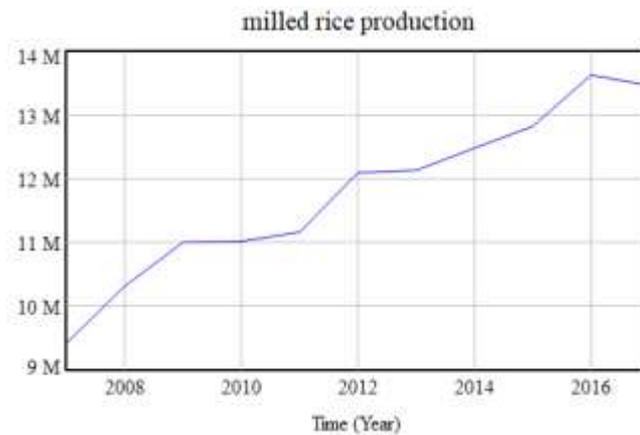
Tahun	Produktivitas	Produksi
2007	5.41	9402029
2008	5.90	10474773
2009	5.91	11259085
2010	5.9	11643773
2011	5.50	10576543
2012	6.17	12198707
2013	5.91	12049342
2014	5.98	12397049
2015	6.11	13154967
2016	5.9	13633701
2017	5.72	13125414

Secara umum produktivitas lahan mengalami peningkatan dari tahun 2007 – 2017. Menurut data, produktivitas lahan di Jawa Timur pada tahun 2012 mencapai 6.17 ton/ha, yang merupakan produktivitas lahan tertinggi selama periode 2007-2017.



Gambar 4. 8 Grafik Produktivitas lahan

Produksi padi dipengaruhi oleh luas panen dan produktivitas lahan. Semakin luas lahan panennya dan semakin tinggi tingkat produktivitasnya maka semakin tinggi tingkat produksi padinya. Berikut adalah grafik perkembangan produksi padi di Jawa Timur.



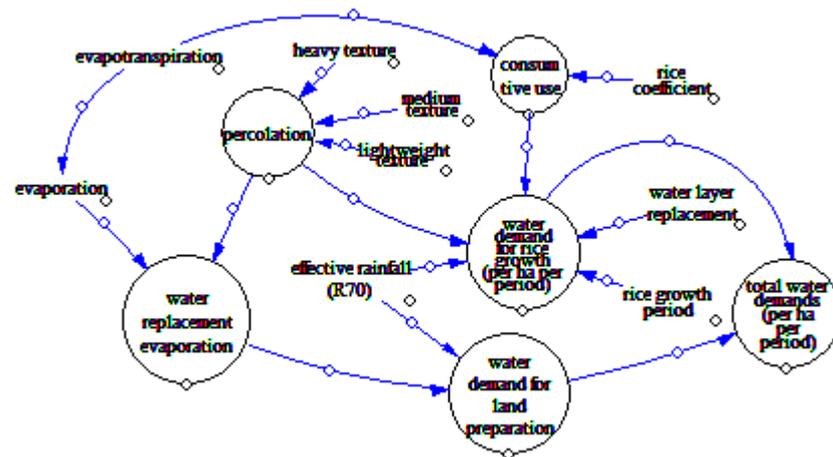
Gambar 4. 9 Grafik Produksi Padi Jawa Timur

Secara umum grafik produksi padi di Jawa Timur selalu meningkat, dan rata-rata peningkatan produksi padi di Jawa Timur adalah 3.4% per tahun.

4.2.4 Sub Model Irigasi

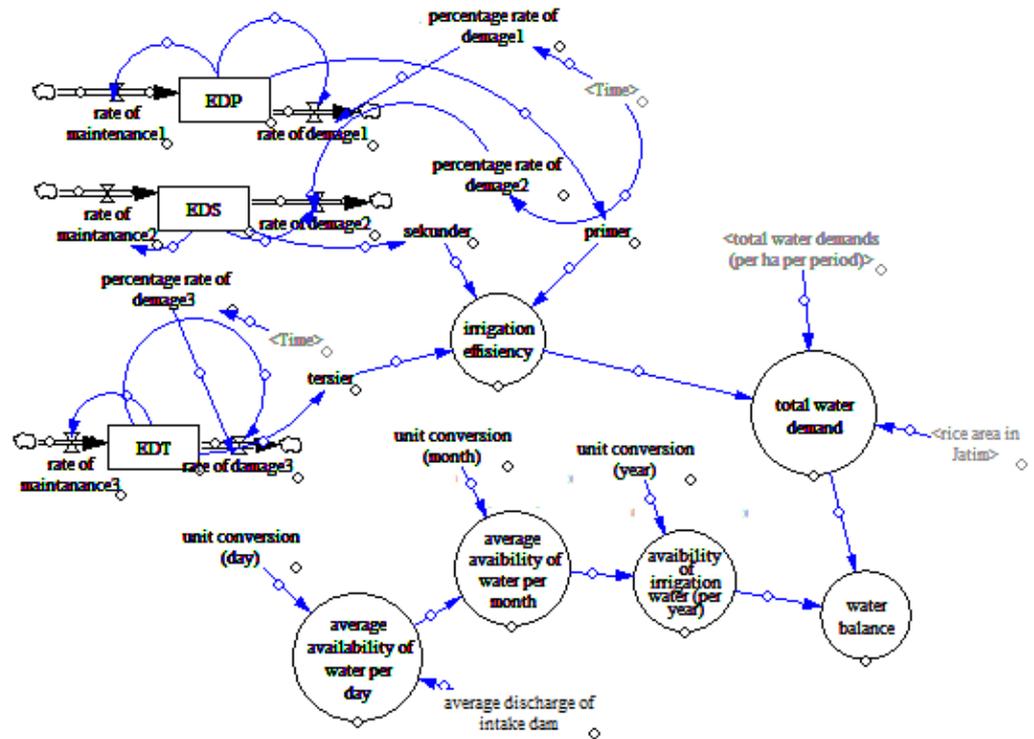
Irigasi memiliki peran dalam mendukung peningkatan produksi padi. Irigasi merupakan usaha untuk menampung, membagi, dan mengalirkan air pada tanah

yang bertujuan untuk mencukupi kebutuhan air pada pertumbuhan tanaman. Irigasi yang bagus akan meningkatkan produksi padi di sawah. Berikut ini adalah sub model kebutuhan air untuk tanaman padi.



Gambar 4. 10 Sub Model Irigasi

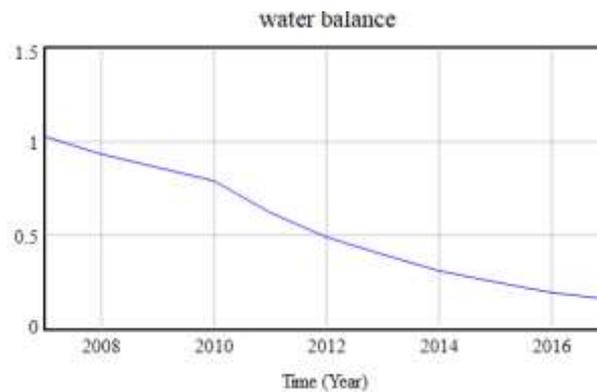
Kinerja jaringan irigasi dipengaruhi oleh efisiensi irigasi. Efisiensi irigasi adalah perbandingan jumlah air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang keluar dari pintu pengambilan (*intake*). Efisiensi irigasi diasumsi bahwa air yang didapatkan dari pintu pengambilan akan hilang disebabkan oleh evaporasi, perkolasi, rembesan dan kebocoran saluran. Berikut adalah gambar mengenai efisiensi jaringan irigasi primer, sekunder, tersier.



Gambar 4. 11 Efisiensi Irigasi

Ketersediaan air irigasi didapatkan dari rata-rata debit air di pintu pengambilan. Sedangkan total kebutuhan air didapatkan dari luas sawah dikalikan dengan jumlah kebutuhan air (per hektar) selama satu tahun.

Keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air didapat dari perbandingan antara ketersediaan air dan kebutuhan air. Bila keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan air ≥ 1 maka tanaman padi dapat tumbuh optimum. Berikut adalah grafik dari ketersediaan irigasi.

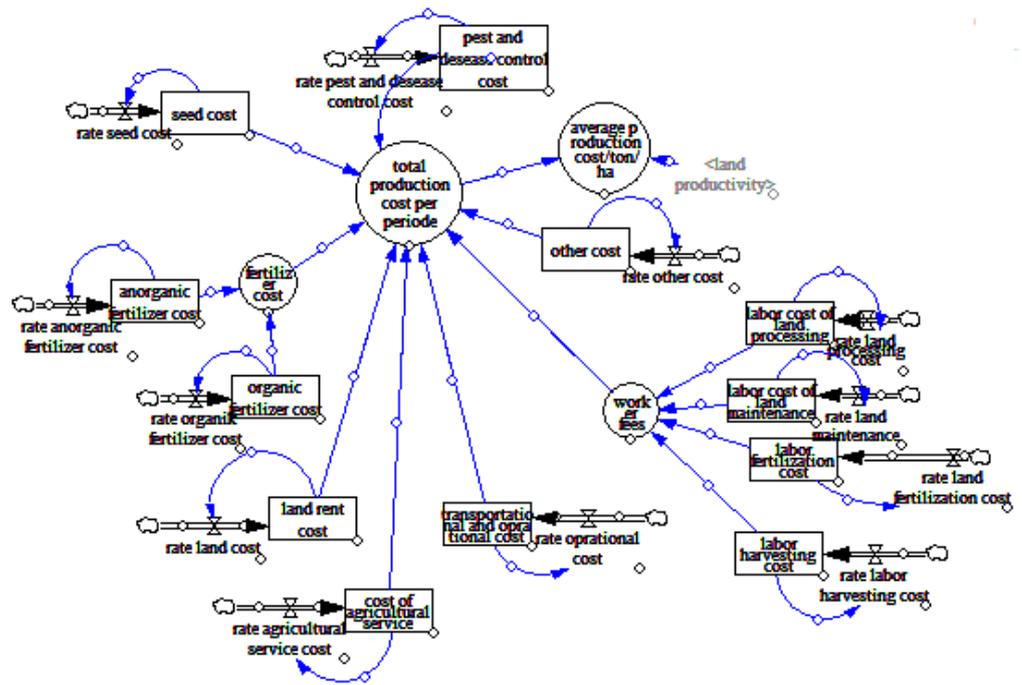


Gambar 4. 12 Grafik Ketersediaan Air

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa grafik ketersediaan air terus menurun dari waktu ke waktu. Hal ini dikarenakan kondisi saluran irigasi yang mulai mengalami kerusakan (kebocoran). Apabila tidak dilakukan perbaikan maka akan mengurangi efisiensi irigasi.

4.2.4 Sub Model Biaya

Sub model biaya mendeskripsikan seluruh biaya tanam dan biaya produksi padi untuk mengetahui rata-rata biaya produksi per kilogram. Dalam model ini meliputi biaya sewa lahan, tenaga kerja, pupuk, benih, dan sebagainya. Berikut adalah model dari biaya produksi.



Gambar 4. 13 Model Biaya Produksi

Menurut BPS (2015), biaya tenaga kerja merupakan biaya paling tinggi dari pembentukan biaya produksi, yaitu sebesar 36.22% dari total seluruh biaya produksi, disusul sewa lahan dan biaya pupuk, masing masing sebesar 29.92% dan 10.24%.

4.2.5 Sub Model Harga

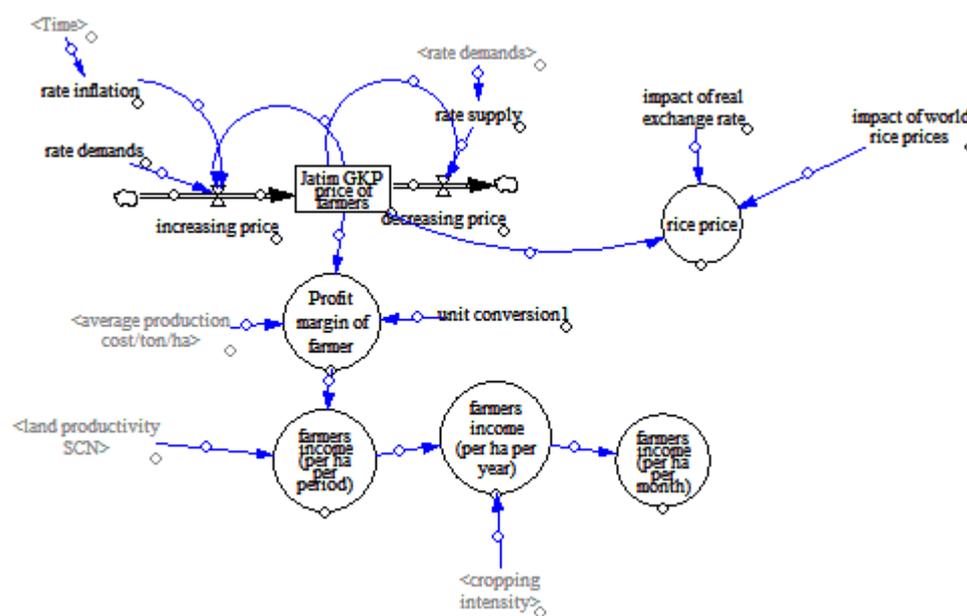
Faktor yang berpengaruh signifikan terhadap harga gabah di tingkat petani adalah laju inflasi dan keseimbangan antara jumlah pasokan dan kebutuhan. Pendapatan petani dipengaruhi oleh harga jual gabah dan biaya produksi. Harga beras di tingkat konsumen terbentuk dari harga dasar gabah. Berikut adalah perkembangan harga gabah tingkat petani di Jawa Timur menurut Dinas Pertanian 2007-2017.

Tabel 4. 4 Harga GKG Jawa Timur

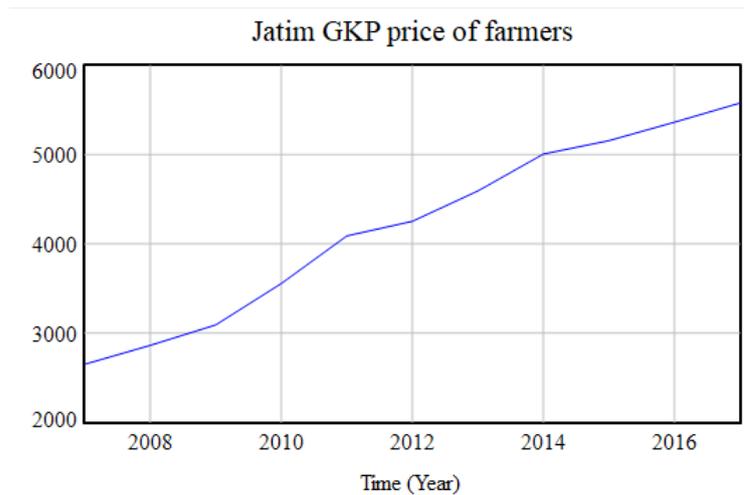
Tahun	GKG
2007	2652

2008	2813
2009	3005
2010	3571
2011	4046
2012	4469
2013	4674
2014	4748
2015	5280
2016	5369
2017	5500

Gambar 4.14 adalah model dari harga gabah dan beras di Jawa Timur.



Gambar 4. 14 Model Harga

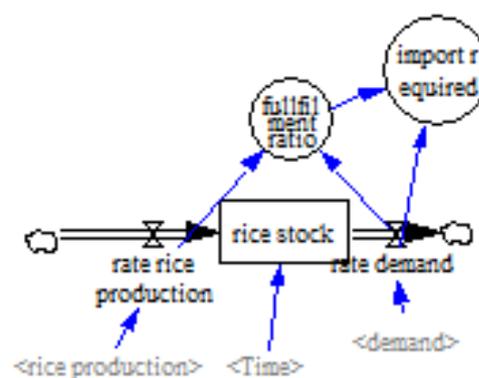


Gambar 4. 15 Grafik Harga Gabah

Secara umum grafik harga gabah di Jawa Timur selalu meningkat, dan rata-rata peningkatan harga gabah di Jawa Timur adalah 7% per tahun.

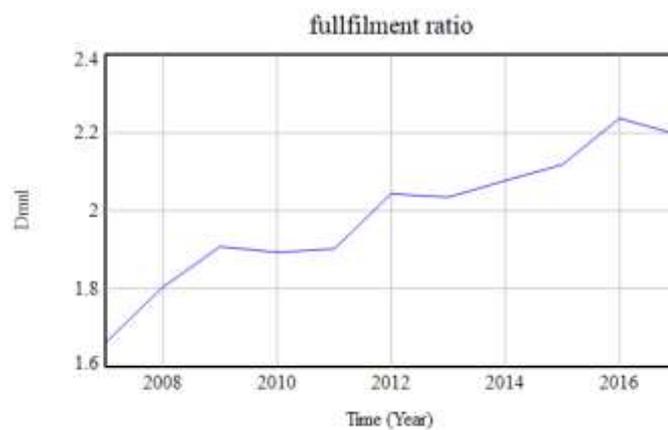
4.2.6 Sub Model Rasio Pemenuhan Beras Indonesia

Kecukupan beras nasional diukur menggunakan persen rasio produksi dan ketersediaan beras dalam negeri dengan kebutuhan beras nasional (Muttaqin, et al., 2009). Ketika produksi tidak mencukupi kebutuhan maka akan dilakukan kebijakan impor beras. Berikut ini adalah model rasio pemenuhan beras di Jawa Timur:

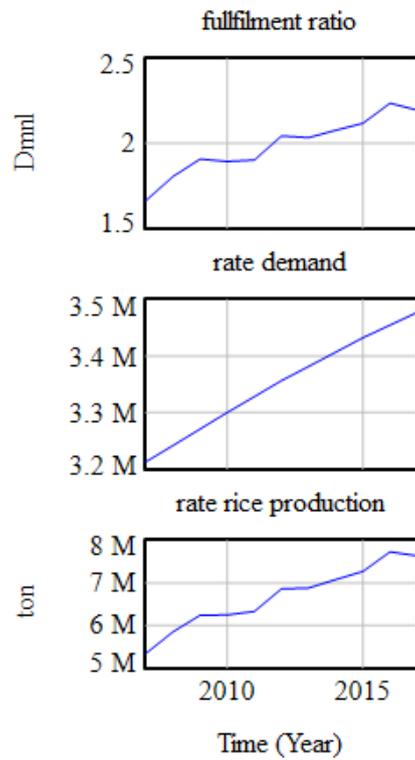


Gambar 4. 16 Rasio Pemenuhan Beras

Gambar 4.17 adalah grafik rasio pemenuhan beras di Jawa Timur. Dari grafik rasio pemenuhan beras Jawa Timur, yang didapat dari perbandingan produksi dan kebutuhan beras di Jawa Timur, rata-rata produksi berada di atas tingkat kebutuhan sehingga rasio pemenuhan lebih dari 1. Hal ini dikarenakan pulau Jawa merupakan penyumbang beras Nasional terbesar dibandingkan pulau-pulau lainnya, yakni sebesar 74.25 persen, dan Jawa Timur merupakan pemasok terbesar di pulau Jawa, yakni sebesar 31.27 persen. Sehingga diperlukan langkah-langkah strategis guna mempertahankan produksi beras di Jawa Timur.

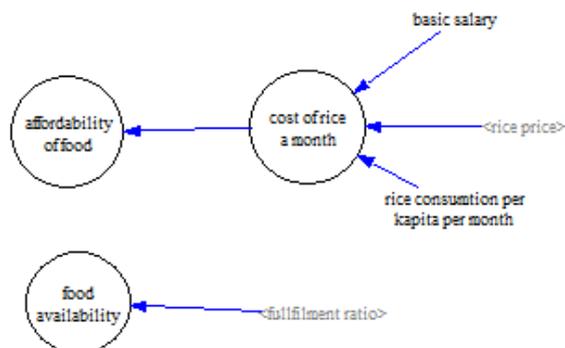


Gambar 4. 17 Grafik Rasio Pemenuhan Beras



4.3.7 Sub Model Ketahanan Pangan

Sub model ketahanan pangan bertujuan untuk melihat apakah Jawa Timur tahan terhadap pangan. Berdasarkan Analisis Sosial Ekonomi Petani di Indonesia (2013), indeks ketahanan pangan rumah tangga terbagi menjadi tiga dimensi, yaitu ketersediaan pangan, keterjangkauan pangan, pemanfaatan pangan.

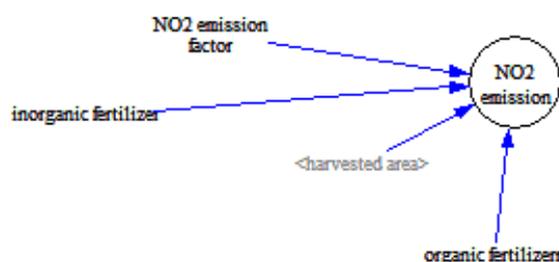


Gambar 4. 18 Model Ketahanan Pangan

Dalam penelitian ini, ketahanan pangan dilihat dari faktor ketersediaan pangan dan keterjangkauan pangan saja. Dimana faktor ketersediaan pangan diukur dari rasio pemenuhan beras di Jawa Timur, sedangkan faktor keterjangkauan pangan dilihat dari harga beras dan UMR di Jawa Timur.

4.3.8 Sub Model Emisi Gas Rumah Kaca

Dalam sub model emisi gas rumah kaca ini, menghitung laju produksi dan emisi metana dari lahan sawah akibat penggunaan pupuk, baik pupuk organik maupun anorganik. Pupuk merupakan sumber emisi terbesar, yakni sebesar 38% bagi sektor pertanian (Subagyo, et al., 2014).



Gambar 4. 19 Model Emisi Gas Rumah Kaca

Berikut adalah cara menghitung emisi N₂O akibat penggunaan pupuk (Ariani, et al., 2006):

$$\text{Emisi N}_2\text{O langsung dari tanah dikelola} = ((F_{\text{SN}} + F_{\text{ON}})_{\text{MS}} \times EF_{1\text{MS}} \times 44/28) + (A \times EF_{\text{N}_2\text{O}})$$

F_{SNMS} = Jumlah pupuk N anorganik yang digunakan pada tanah dikelola (kg N th⁻¹)

F_{ONMS} = Jumlah pupuk organik N yang digunakan pada tanah dikelola (kg N th⁻¹)

A = Luas panen sawah irigasi (ha)

$EF_{\text{N}_2\text{O}}$ = Faktor emisi N₂O dari tanah sawah irigasi (0,0027 kg N₂O ha⁻¹ hari⁻¹ atau sama dengan 0,297 kg N₂O ha⁻¹ musim⁻¹ dengan asumsi rerata umur tanam adalah 110 hari)

4.3 Validasi

Hasil dari simulasi akan divalidasi untuk memastikan bahwa model yang dibuat benar-benar dapat menggambarkan kondisi sistem nyata. Validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian menurut Yaman Barlas yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*, dimana model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$ dan $E2 \leq 30\%$, sesuai dengan penjelasan pada Bab 3 hal 43, Validasi Model (Barlas, 1989). Validasi dilakukan pada setiap tahap pemodelan yang mendukung tujuan dari penelitian ini. Selain itu validasi pada penelitian ini dilakukan karena adanya data, seperti validasi populasi, luas lahan sawan, luas tanam, produktivitas, produksi padi, dan harga gabah (GKG) Jawa Timur. Sementara untuk tahapan lainnya, terutama tahapan pendukung yang menyebabkan tahapan utama meningkat, seperti ketersediaan irigasi untuk peningkatan produktivitas, tidak dilakukan validasi dikarenakan tidak adanya data. Selain itu ada beberapa tahap yang tidak dilakukan validasi karena tidak adanya data, namun terdapat rumus pasti untuk memodelkannya, seperti jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari sektor pertanian.

Setelah dilakukan validasi kemudian dibuatlah beberapa skenario untuk memperbaiki kinerja system sesuai dengan yang diinginkan. Berikut merupakan validitas dari simulasi yang telah dilakukan :

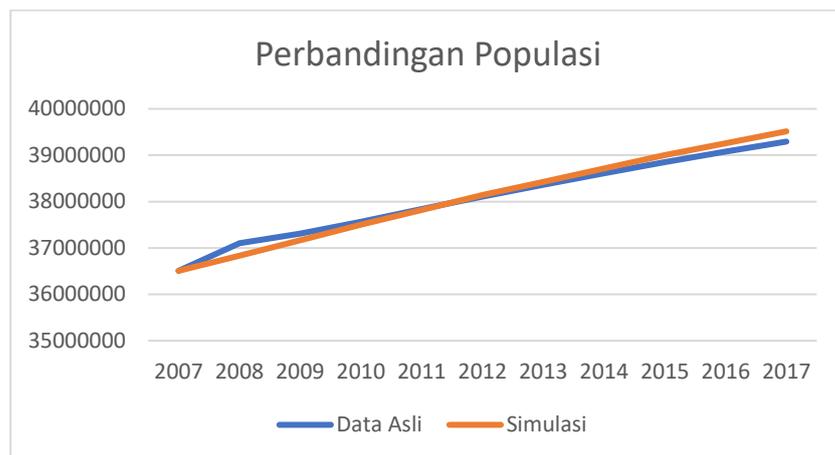
4.3.1 Validasi Populasi Jawa Timur

Tabel 4. 5 Validasi Populasi

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	36506003	36506000
2008	37100570	36834600
2009	37310619	37166100
2010	37565706	37500600
2011	37840657	37819300
2012	38106590	38140800
2013	38363195	38426800

2014	38610202	38715000
2015	38847561	39005400
2016	39075152	39258900
2017	39292972	39514100
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	38056293	38080690.91
Stdev	880743.8	1004857.155
E1		0.064109095
E2		14.09187372

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.06% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 14.09% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari populasi penduduk Jawa Timur.



Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Populasi Penduduk

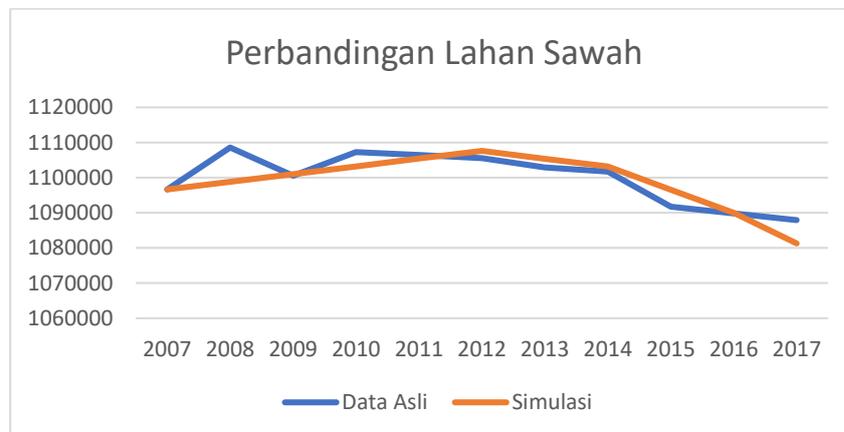
4.3.2 Validasi Lahan Sawah dan Lahan Panen Jawa Timur

Tabel 4. 6 Validasi Lahan Sawah

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	1096605	1096610
2008	1108578	1098800
2009	1100517	1101000
2010	1107276	1103200
2011	1106449	1105410

2012	1105550	1107620
2013	1102921	1105400
2014	1101765	1103190
2015	1091752	1096580
2016	1089834	1090000
2017	1087919	1081280
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	1099924.182	1099008.182
Stdev	7345.879999	7759.863167
E1		0.083278467
E2		5.635583039

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.08% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 5.6% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari luas lahan sawah di Jawa Timur.



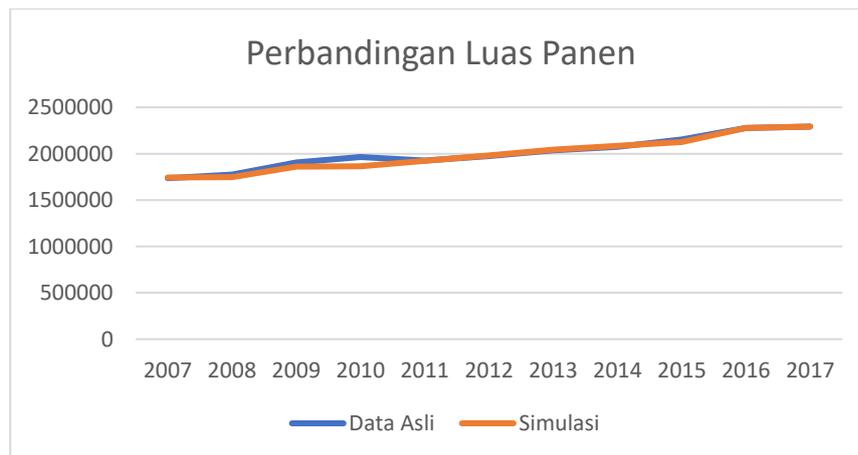
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Luas Lahan

Tabel 4. 7 Validasi Lahan Panen

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	1736048	1743610
2008	1774884	1747100
2009	1904830	1860690
2010	1963983	1864410
2011	1926796	1923410
2012	1975719	1982640

2013	2037021	2045000
2014	2072630	2085040
2015	2152070	2127360
2016	2278460	2278090
2017	2291982	2292300
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	2010402.091	1995422.727
Stdev	181114.6033	190177.2351
E1		0.74509292
E2		5.003810669

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.74% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 5% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari populasi penduduk Jawa Timur.



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Luas Panen

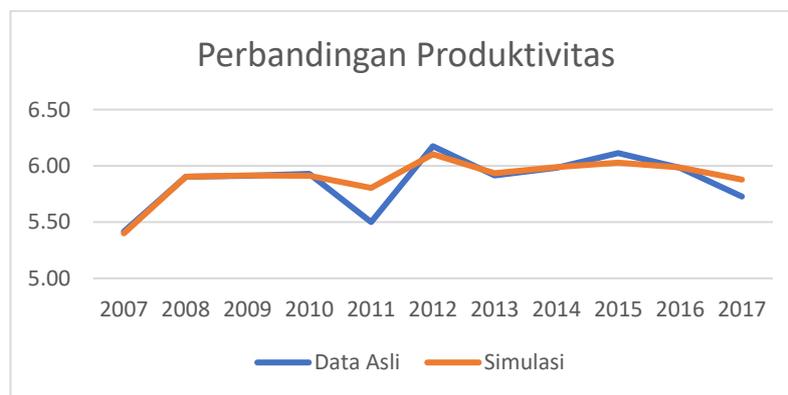
4.3.3 Validasi Produktivitas Lahan Jawa Timur

Tabel 4. 8 Validasi Produktivitas Lahan

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	5.42	5.40
2008	5.90	5.90
2009	5.91	5.91
2010	5.93	5.91

2011	5.50	5.80
2012	6.17	6.10
2013	5.92	5.93
2014	5.98	5.99
2015	6.11	6.03
2016	5.98	5.98
2017	5.73	5.88
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	5.87	5.90
Stdev	0.23	0.18
E1		0.46
E2		22.04

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.46% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 22.04% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari produktivitas lahan padi Jawa Timur.



Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Produktivitas Lahan

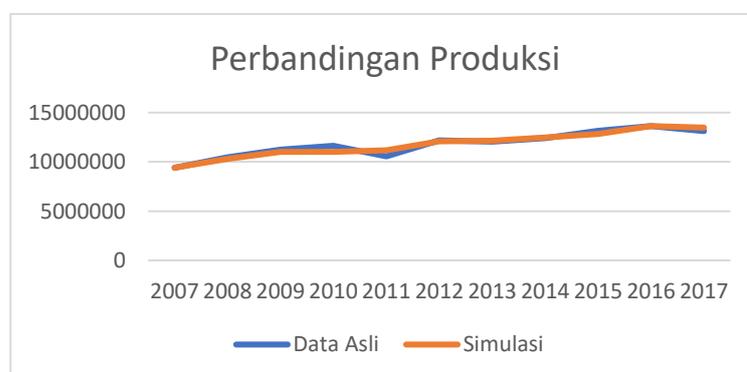
4.3.4 Validasi Produksi Padi Jawa Timur

Tabel 4. 9 Validasi Produksi Padi

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	9402029	9415490
2008	10474773	10314700
2009	11259085	11004300
2010	11643773	11019300

2011	10576543	11163800
2012	12198707	12099100
2013	12049342	12135000
2014	12397049	12484800
2015	13154967	12826300
2016	13633701	13633700
2017	13125414	13471600
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	11810489	11778917.27
Stdev	1298147	1319663.857
E1		0.267322462
E2		1.657531808

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.26% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 1.65% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari produksi padi Jawa Timur.



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Produksi Padi

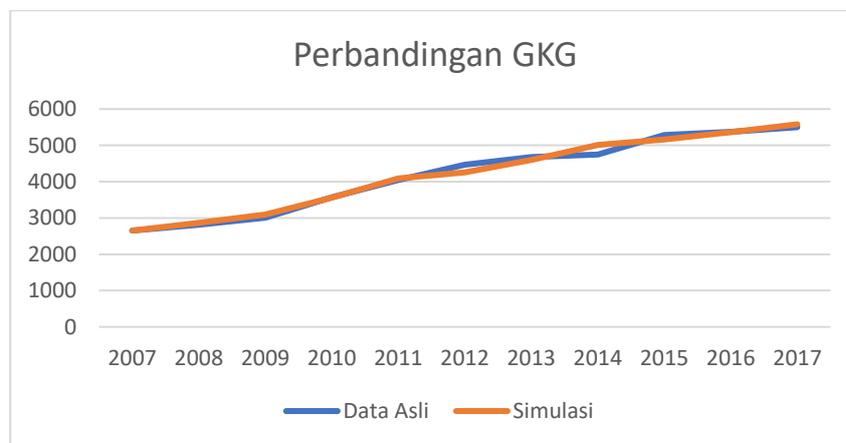
4.3.5 Validasi Harga Gabah (GKG) Jawa Timur

Tabel 4. 10 Validasi Harga GKG

Tahun	Data Asli	Simulasi
2007	2652	2652
2008	2814	2864.16
2009	3005	3093.29

2010	3571	3557.29
2011	4047	4090.88
2012	4469	4254.51
2013	4674	4594.88
2014	4748	5008.42
2015	5280	5158.67
2016	5369	5365.01
2017	5500	5579.61
Validasi	Data Asli	Data Simulasi
Mean	4193.403	4201.702
Stdev	1048.094	1040.317
E1		0.1979
E2		0.741972

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5 % yaitu dengan nilai 0.19% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 0.74% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari harga GKG Jawa Timur.



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Harga GKG

4.4 Evaluasi

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai evaluasi kondisi saat ini. Terdapat beberapa permasalahan dalam pertanian padi di Jawa Timur, diantaranya : (1) Konversi lahan hampir tiap tahun mengalami kenaikan, sehingga menyebabkan pengurangan luas sawah di Jawa Timur. Sehingga dibutuhkan upaya peningkatan

produksi padi tanpa harus memperluas lahan sawah; (2) Tingkat kesuburan yang semakin lama semakin turun, mempengaruhi fluktuasi produktivitas lahan di Jawa Timur. Namun produksi padi di Jawa Timur selalu mengalami peningkatan sejak tahun 2007. Hal ini dikarenakan luas tanam di Jawa Timur selalu meningkat. Luas tanam dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan lahan yang ada serta adanya upaya intensifikasi lahan.

Luas lahan pertanian padi di Jawa Timur terus mengalami penurunan sejak tahun 2011 – 2017. Rata-rata penurunan luas lahan di Jawa Timur 2006-2011 seluas 879,9 hektare (Bappeda, 2012). Hal ini dikarenakan konversi lahan akibat perkembangan industri yang pesat dan jumlah penduduk yang padat. Jawa Timur semakin sulit untuk upaya pembukaan lahan sawah baru. Sehingga agar Jawa Timur tetap dapat memenuhi kebutuhan beras penduduknya dan menjadi pemasok utama beras nasional, dibutuhkan upaya lain, seperti peningkatan indeks penanaman. Menurut Dinas Pertanian Jawa Timur, penentuan intensitas pertanaman sangat bergantung pada ketersediaan air.

Intensitas pertanaman dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, antara lain: (1) optimalisasi lahan, yaitu dengan penerapan teknologi baru, seperti penggunaan varietas bibit berumur pendek, sehingga suatu lahan dapat ditanami 3 atau bahkan 4 kali dalam setahun; (2) perbaikan irigasi. Adanya irigasi yang baik dapat meningkatkan intensitas pertanaman sawah yang biasanya hanya 1 kali tanam bisa menjadi 2 kali tanam dalam setahun, serta dapat menambah luas panen.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap produksi padi adalah produktivitas lahan. Rata-rata produktivitas lahan di Jawa Timur dari tahun 2007 - 2017 sebesar 5.86 ton/ha. Rata-rata produktivitas tersebut masih dibawah produktivitas lahan di Jawa Timur pada tahun 2012 dan 2015 yang mencapai 6.1 ton/ha. Sehingga produktivitas lahan padi di Jawa Timur bisa ditingkatkan lagi. Untuk meningkatkan produktivitas lahan diperlukan perbaikan agroinput tanaman seperti pupuk, benih dan penerapan sistem tanam yang baik.

Pada tahun 2010 lebih dari 50% infrastuktur jaringan irigasi di Indonesia mengalami kerusakan. Kerusakan tersebut dapat berupa kebocoran. Kondisi tersebut menyebabkan kehilangan air meningkat dan mengurangi efisiensi irigasi. Hal ini berpengaruh terhadap produktivitas karena tanaman padi membutuhkan air yang cukup untuk tumbuh optimal. Kerusakan pada saluran irigasi harus diperbaiki untuk mengurangi kehilangan air dan meningkatkan efisiensi penyaluran irigasi.

Sektor pertanian merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca, terutama metana. Luas sawah di Indonesia yang lebih dari 10,9 juta hektar diduga memberi kontribusi sekitar 1% dari total global metana. Jika total metana diduga berbanding lurus dengan total produksi padi maka setiap usaha peningkatan produksi padi harus dibayar dengan kerusakan lingkungan berupa meningkatnya emisi metana (Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2006). Upaya untuk menekan laju peningkatan pemanasan global akibat emisi GRK dari lahan pertanian yakni melalui beberapa teknik budidaya seperti penggunaan varietas, pemupukan, pengaturan air, pengolahan tanah, penggunaan herbisida dan nitrifikasi inhibitor. Beberapa varietas yang telah diteliti menghasilkan emisi GRK yang rendah adalah IR 64, Dodokan, Tukad Balian, Batanghari, Ciherang dan Inpari 1. Penggunaan urea serta menggunakan pupuk anorganik sesuai dengan kebutuhan tanaman, juga berpeluang menekan emisi metan. Namun menurut (Sitanggang, 2014) dari 30 responden yang disurvei 43,33% petani masih memberikan pupuk yang tidak sesuai dengan yang rekomendasi pemerintah. Hal ini dikarenakan petani tidak memiliki cukup modal untuk memberikan pupuk sesuai dosis anjuran, dan kurangnya keahlian petani dalam menakar pupuk.

4.5 Pengembangan Skenario

Pengembangan skenario dilakukan untuk melihat kemungkinan yang terjadi dimasa mendatang. Pengembangan skenario dilakukan dengan melakukan perubahan terhadap struktur dasar maupun dengan perubahan nilai parameter. Terdapat tiga buah skenario yang dikembangkan antara lain :

- a. Skenario intensifikasi lahan: meliputi perbaikan agroinput tanaman yaitu penggunaan benih unggul baru dengan masa tanam pendek, perbaikan irigasi, serta peningkatan indeks penanaman.
- b. Skenario pengimplementasian smart agriculture: skenario ini dilakukan untuk meningkatkan pendapatan petani dengan penerapan smart agriculture. Teknologi IOT pada SA berguna untuk efisiensi pemberian agroinput pada tanaman padi sesuai dengan kebutuhan unsur hara. Dengan adanya skenario ini diharapkan dapat mengurangi biaya pertanian padi sehingga pendapatan petani bisa meningkat.
- c. Skenario pengurangan emisi gas rumah kaca: skenario ini dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh faktor pupuk pada pertanian padi.

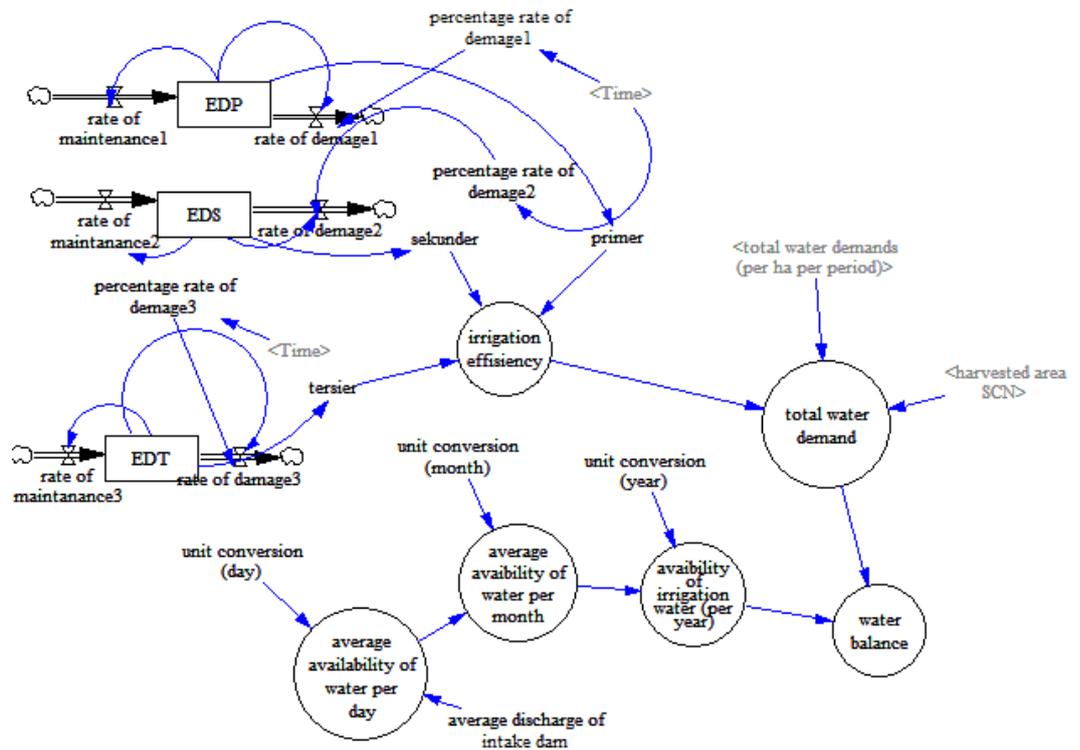
4.6 Model dan Hasil Skenario

Pada bagian ini akan dijabarkan perlakuan masing-masing skenario dan dampaknya terhadap produktivitas lahan, produksi beras, rasio pemenuhan di Jawa Timur, dan pendapatan petani.

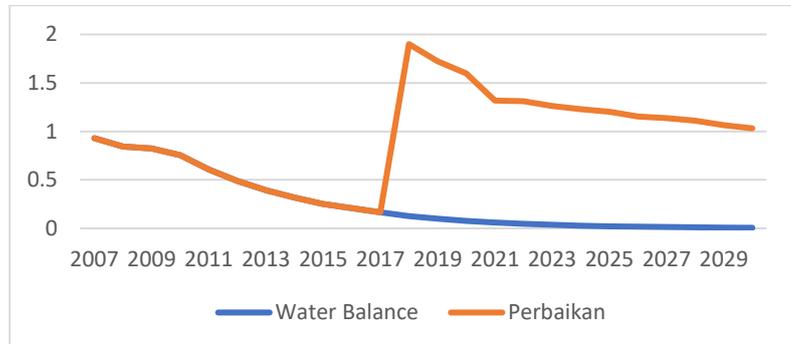
4.6.1 Skenario Intensifikasi Lahan

Skenario intensifikasi merupakan skenario parameter. Parameter yang diubah adalah parameter "*new improved seed*" untuk penggunaan benih unggul baru. Selain itu dilakukan perbaikan saluran irigasi. Dengan menggunakan bibit baru dengan masa tanam pendek dan perbaikan saluran irigasi, maka indeks penanaman akan meningkat dan produktivitas lahan juga akan meningkat.

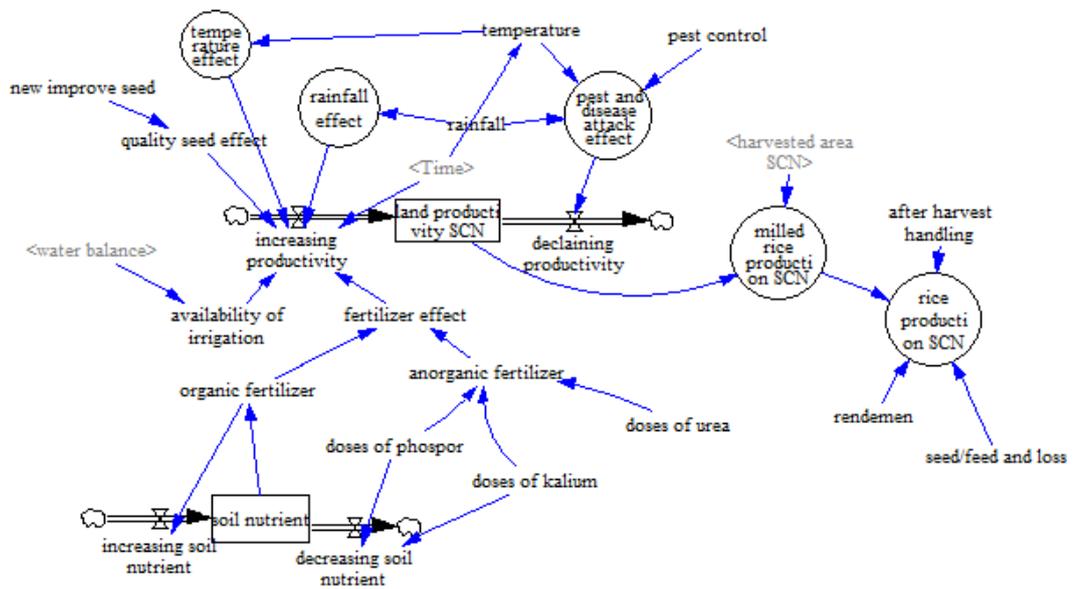
Berikut adalah perbaikan saluran irigasi yang dilakukan :



Gambar 4. 26 Perbaikan Irigasi

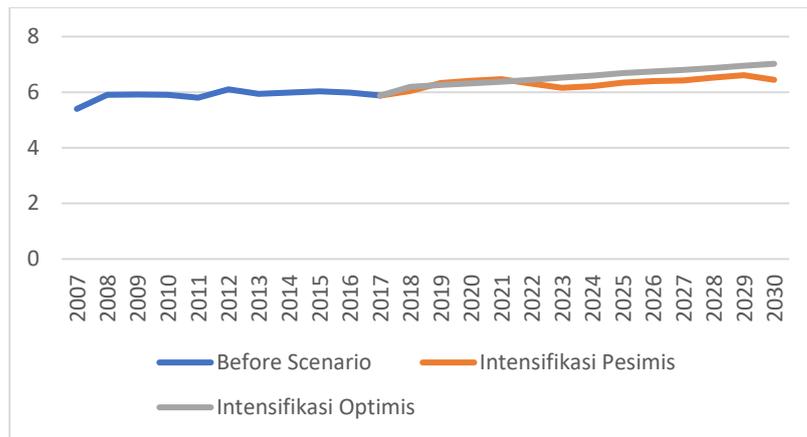


Setelah dilakukan perbaikan saluran irigasi, maka kehilangan air berkurang dan efisiensi irigasi meningkat. Variabel “*water balance*” rata-rata berada di atas 1 yang menandakan kebutuhan air tercukupi. Sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan Jawa Timur. Berikut adalah skenario intensifikasi lahan yang dibuat.

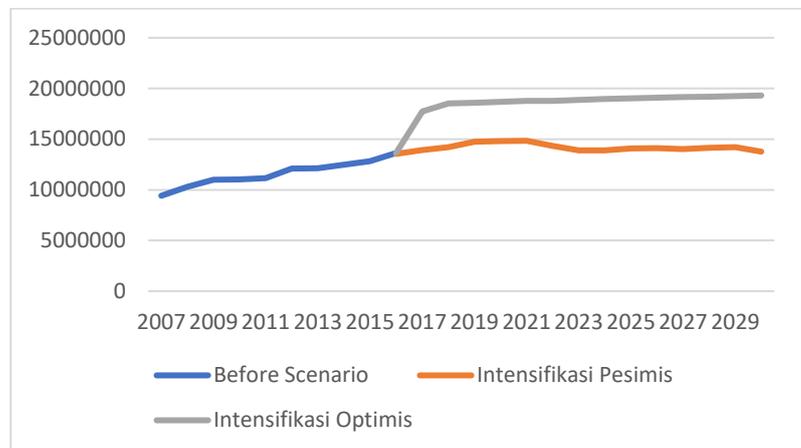


Gambar 4. 27 Model Intensifikasi SCN

Dengan perbaikan saluran irigasi, penggunaan bibit unggul, dan peningkatan intensitas penanaman, dari 2.2 menjadi 2.5. Hasil dari skenario optimis produktivitas lahan meningkat rata-rata 1.4% per tahun, produksi padi meningkat rata-rata 0.35% dan rasio pemenuhan beras mencapai 2.82 di akhir periode tahun 2030. Sementara untuk skenario pesimis, dengan penggunaan nilai parameter bibit unggul berbeda, hasilnya lahan meningkat rata-rata 0.7% per tahun, produksi meningkat rata-rata 0.1% dan rasio pemenuhan beras mencapai 1.86 di akhir periode 2030. Gambar 4. 28 – 4.29 menunjukkan hasil dari skenario intensifikasi pesimis dan optimis.

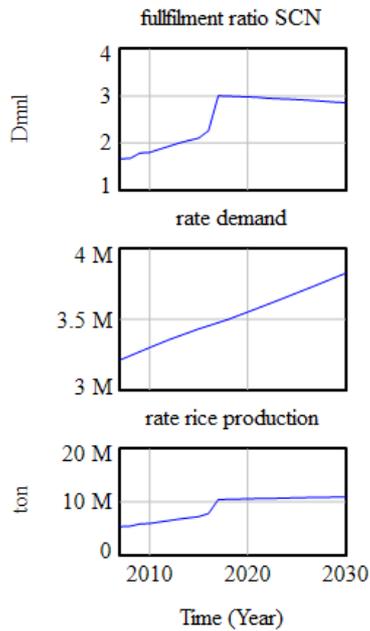


Gambar 4. 28 Produktivitas Setelah Skenario Pesimis Cenderung Meningkat

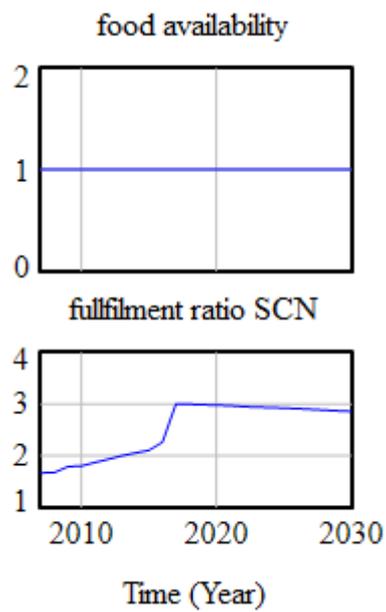


Gambar 4. 29 Produksi Padi Setelah Skenario Optimis Cenderung Meningkat

Rasio ketersediaan beras mempengaruhi ketahanan pangan di Jawa Timur dari faktor ketersediaan. Dapat dilihat pada gambar 4.30, rasio ketersediaan beras cenderung selalu naik dan diatas satu. Sehingga ketahanan pangan dari faktor ketersediaan di Jawa Timur sangat baik hingga tahun 2030, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.31.



Gambar 4. 30 Fullfilment Ratio Setelah Skenario Masih Diatas 1

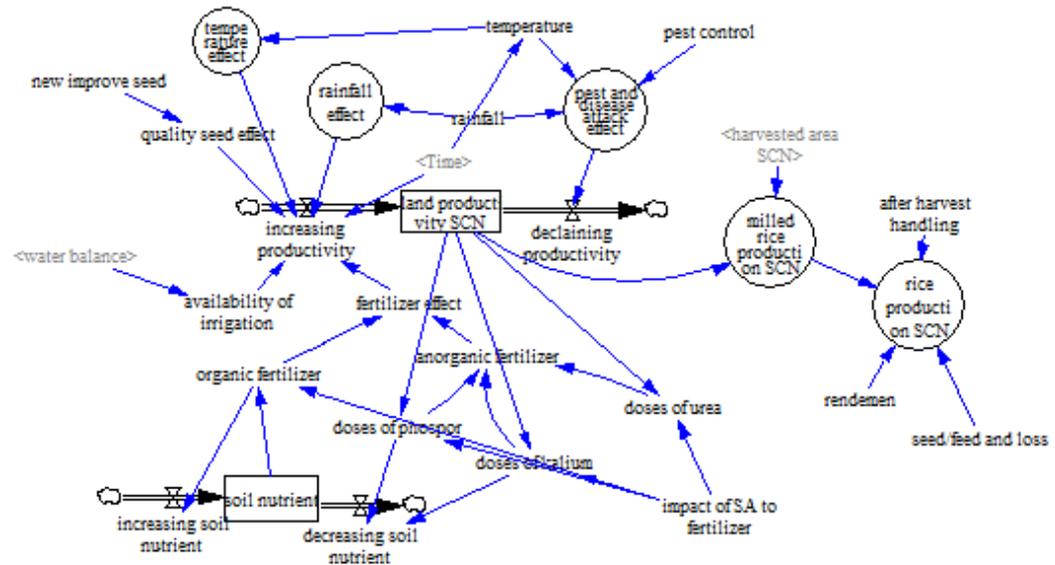


Gambar 4. 31 Ketersediaan Pangan dari Aspek Ketersediaan

4.6.2 Skenario Pengimplementasian Smart Agriculture

Skenario ini bertujuan untuk meningkatkan pendapatan petani dengan cara melakukan efisiensi usaha tani menggunakan teknologi IOT pada smart agriculture.

Penerapan smart agriculture membutuhkan investasi modal yang tinggi, namun dapat meningkatkan hasil dan mengurangi biaya seiring berjalannya waktu.



Gambar 4. 32 Skenario Penerapan SA untuk Peningkatan Pendapatan Petani

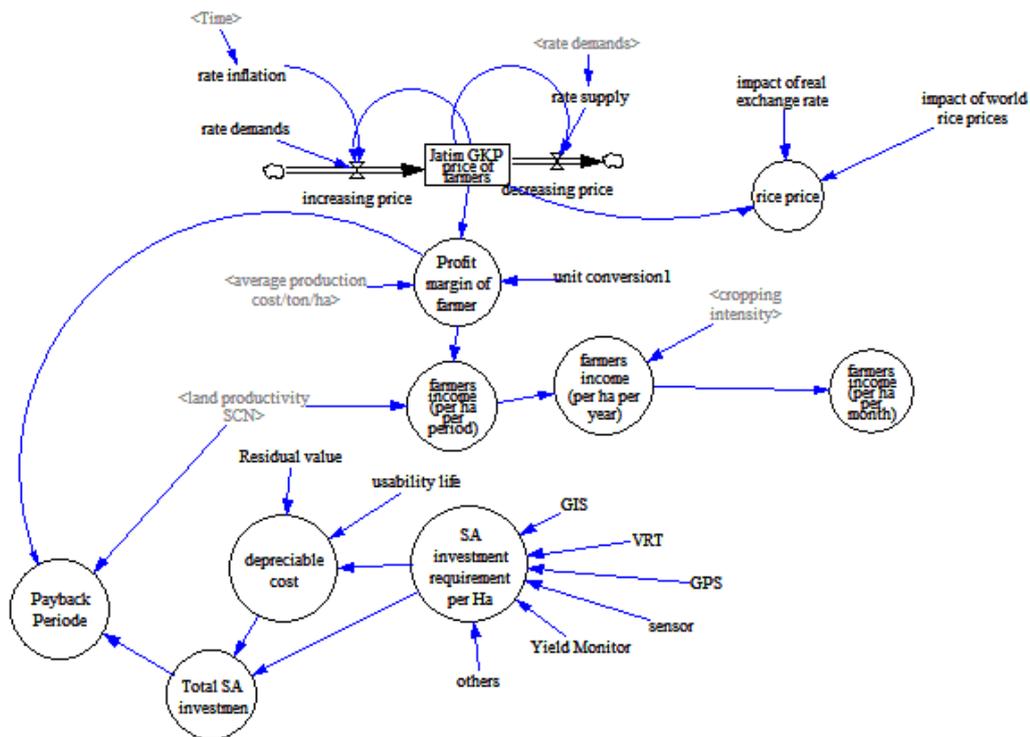
Dari hasil simulasi, pada tahun 2018 harga jual gabah mencapai Rp 5.858,-/kg, biaya produksi mencapai Rp 3.606,-/kg, produktivitas lahan di Jawa pada tahun 2018 rata-rata sebesar 6.02 ton/ha. Berdasarkan hasil simulasi tersebut maka besarnya profit margin yang diterima petani sebesar Rp 2.252,-/kg dengan asumsi kepemilikan lahan 1 ha sawah. Jika petani melakukan penanaman selama 2.2 kali dalam setahun, maka pendapatan petani dalam setahun mencapai Rp. 2.407.180,- per bulan.

Dengan adanya skenario intensifikasi lahan, pada tahun 2018 harga jual gabah mencapai Rp 5.858,-/kg, biaya produksi mencapai Rp 3.510,-/kg, produktivitas lahan di Jawa pada tahun 2018 rata-rata sebesar 6.19 ton/ha. Berdasarkan hasil simulasi tersebut maka besarnya profit margin yang diterima petani sebesar Rp 2.348,-/kg dengan asumsi kepemilikan lahan 1 ha sawah. Jika petani melakukan

penanaman selama 2.5 kali dalam setahun, maka pendapatan petani dalam setahun mencapai Rp. 3.390.080,- per bulan.

Sementara dengan adanya skenario penerapan SA, pada tahun 2018 harga jual gabah mencapai Rp 5.858,-/kg, biaya produksi mencapai Rp 3.856,-/kg, produktivitas lahan di Jawa pada tahun 2018 rata-rata sebesar 6.67 ton/ha. Berdasarkan hasil simulasi tersebut maka besarnya profit margin yang diterima petani sebesar Rp 2.002,-/kg dengan asumsi kepemilikan lahan 1 ha sawah. Jika petani melakukan penanaman selama 2.5 kali dalam setahun, maka pendapatan petani dalam setahun mencapai Rp. 3.041.430,- per bulan.

Berikut adalah skenario investasi teknologi yang dibutuhkan untuk setiap hektar sawah dalam mengimplementasikan *Smart Agriculture*, khususnya penerapan teknologi IOT dalam pertanian presisi, serta perhitungannya (Schimmelpfennig, et al., 2016).



Gambar 4. 33 Skenario Investasi SA dan Perhitungan PBP

Tabel 4. 11 Nilai Investasi

Teknologi	Nilai Investasi per Ha
GPS	9867377
Sensor	1426420
VRT	9867377
Yield Monitor	9476941

Sumber : (Schimmelpfennig, et al., 2016)

Komputer dengan software GIS	20827800
------------------------------	----------

Sumber : (Mooney , et al., 2009)

Lain-lain (pulsar internet)	900000
Biaya Depresiasi	9473183

Sumber perhitungan sendiri

Jumlah Investasi	61839098
-------------------------	-----------------

**Nilai investasi dari sumber selain perhitungan sendiri merupakan US \$ yang di rupiah-kan dengan menggunakan kurs US \$ saat ini, yaitu 1 US\$ = Rp. 14.548,-

Dari perkiraan investasi pengimplementasian smart agriculture atau pertanian presisi tersebut, dapat kita hitung *Payback Period* atau Periode Pengembalian Modal nya. Berikut adalah perhitungan periode pengembalian modal dari investasi SA.

Tabel 4. 12 Payback Period Investasi SA

Investasi per Ha	Rp. 61.839.098
Profit per Ha per Tahun	Rp. 24.735.639
PBP = Modal/Profit	2.5

**profit didapat dari perhitungan jumlah produksi dikurangi biaya produksi padi dan investasi

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa periode pengembalian modal untuk investasi SA adalah 2.5 atau dua tahun enam bulan. Artinya, setelah dua

tahun enam bulan, petani baru akan merasakan peningkatan profit akibat pengimplementasian SA, pertanian presisi tersebut.

Berikut adalah perkiraan biaya produksi per ha per musim tanam dengan mengimplementasikan SA.

Tabel 4. 13 Perkiraan Biaya Produksi Per Ha Per Musim Tanam

Biaya Produksi Per Hektar Sawah per Musim Tanam	
Benih	855170
Pupuk	1116290
Pestisida	342068
Upah Tenaga Kerja	4348120
Biaya Maintenance Teknologi	1100000
Sewa Lahan	6499290
Jasa Pertanian	2736540
Sewa Alat dan Sarana	513102
lain-lain	855170
Total	18365750

Berikut adalah perbandingan biaya, profit, dan pendapatan yang akan didapatkan petani dengan mengimplementasikan SA, pertanian presisi atau tidak.

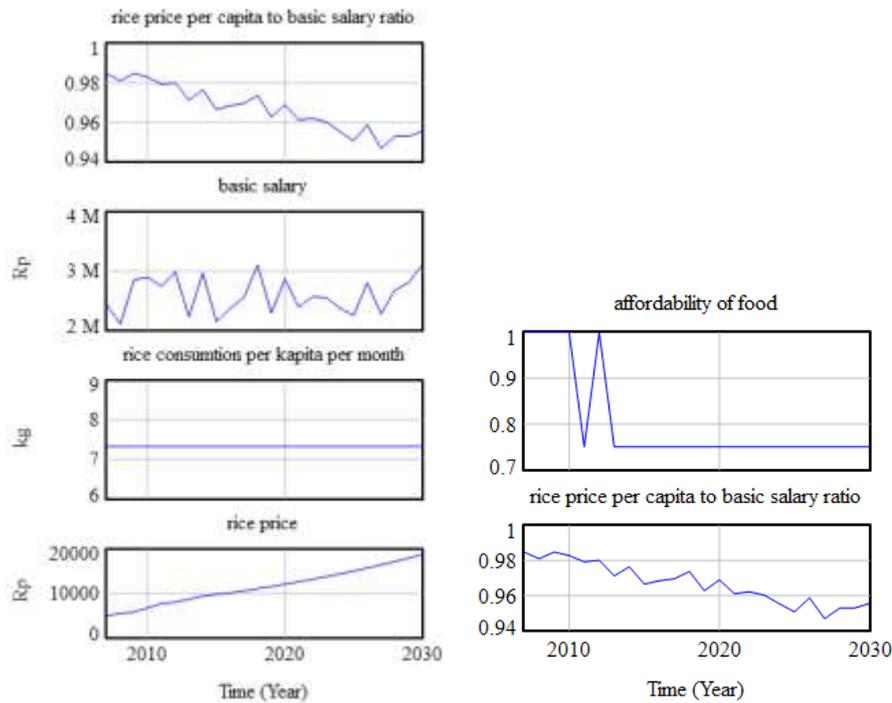
Tabel 4. 14 Perbandingan Harga

Tahun : 2018	Base Model	SCN Intensifikasi	SCN dengan SA
Biaya Produksi Cost/Ha	Rp. 3.606.740,-	Rp. 3.512.110,-	Rp. 4.017.840,-
Profit/Ha	Rp. 2.251.850,-	Rp. 2.346.490,-	Rp. 1.840.760,-
Income per month/Ha	Rp. 2.407.180,-	Rp. 3.386.210,-	Rp. 2.785.170,-
Tahun : 2021	Base Model	SCN Intensifikasi	SCN dengan SA
Biaya Produksi Cost/Ha	Rp. 3.897.160,-	Rp. 3.937.750,-	Rp. 2.875.730,-

Profit/Ha	Rp. 2.788.470,-	Rp. 2.747.880,-	Rp. 3.809.900,-
Income per month/Ha	Rp. 3.193.530,-	Rp. 4.094.310,-	Rp. 6.016.020,-

Dari tabel 4.14 dapat dilihat bahwa profit skenario intensifikasi lebih besar daripada skenario penggunaan *Smart Agriculture* ditahun-tahun pertama penginvestasian teknologi *smart*. Hal ini dikarenakan biaya investasi teknologi *Smart* mahal. Terlebih di Indonesia, Jawa Timur lebih tepatnya, belum pernah mengimplementasikan teknologi pertanian seperti ini. Sehingga mempengaruhi pendapatan yang diperoleh petani untuk awal tahun penanaman modal/investasi. Namun setelah periode pengembalian modal sudah dilalui maka pendapatan petani akan meningkat, karena sudah tidak terbebani biaya investasi, melainkan hanya biaya produksi dan biaya maintenance dari teknologi yang diaplikasikan saja. Peningkatan pendapatan petani akibat pengimplementasian SA dipengaruhi oleh peningkatan produksi dan penurunan biaya produksi. Dimana peningkatan produksi padi dengan mengimplementasikan SA dibanding tidak mengimplementasikan (skenario intensifikasi) yaitu sebesar 5% dari skenario tahun 2018-2030. Sementara untuk penurunan biaya produksi, dapat dilihat dari tabel 4.14, pada tahun 2012 (setelah periode pengembalian modal), biaya produksi tanpa pengimplementasian SA (skenario intensifikasi) sebesar Rp. 3.937.750,- per Ha, sementara biaya produksi dengan pengimplementasian SA sebesar Rp. 2.875.730,-, hal ini menunjukkan penurunan sebesar 27%.

Dari hasil skenario, pada tahun 2018 harga jual gabah mencapai Rp 5.858,-/kg. Harga gabah mempengaruhi harga beras tingkat konsumen. Fluktuasi harga beras mempengaruhi ketahanan pangan di Jawa Timur dari segi keterjangkauan. Dapat dilihat bahwa ketahanan pangan di Jawa Timur dari segi keterjangkauan harga masih cukup terjangkau hingga taun 2030.



Gambar 4. 34 Ketahanan Pangan Aspek Keterjangkauan

4.6.3.1 Analisa Faktor Yang Mempengaruhi Peningkatan Produktivitas Lahan

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, produktivitas merupakan kemampuan untuk menghasilkan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Produktivitas merupakan hasil produksi dibagi dengan luas lahan.

$$\text{Produktivitas Lahan} = \frac{\text{Produksi Padi (Ton)}}{\text{Luas Lahan (Ha)}}$$

Variabel-variabel yang mempengaruhi produktivitas adalah :

a. Increasing Productivity

Increasing Productivity adalah faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas. Adapun faktor-faktor yang meningkatkan produktivitas adalah :

1. Pengaruh Penggunaan Pupuk

Menurut Dinas Pertanian Jawa Timur penggunaan pupuk dapat meningkatkan produktivitas sebesar 25%. Penggunaan pupuk harus sesuai takaran dan kebutuhan unsur hara agar dapat meningkatkan produktivitas. Berikut adalah acuan penggunaan pupuk menurut Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.

Tabel 4. 15 Takaran Pupuk

Bagan Warna Daun (BWD)	Kebutuhan Pupuk N per Ha	
BWD>4	75kg	
BWD=4	100kg	
BWD<4	125kg	
Kelas Status Hara P Tanah	Kadar Hara Terekstrak HCL 25% (mg P2O5/100g)	Dosis Acuan Pemupukan P (kg SP-36/ha)
Rendah	< 20	100kg
Sedang	20 - 40	75kg
Tinggi	> 40	50kg
Kelas Status Hara P Tanah	Kadar Hara Terekstrak HCL 25% (mg k2o/100g)	Dosis Acuan Pemupukan K (kg KCL/ha)
Rendah	< 20	100kg
Sedang	10 - 20a	50kg
Tinggi	> 20	50kg

Berikut adalah tabel peningkat produktivitas dari pengaruh penggunaan pupuk.

Tabel 4. 16 Pengaruh Pupuk

Tahun	Pengaruh Terhadap Produktivitas (BM)	Pengaruh Terhadap Produktivitas (SCN)
2018	1781.59	0.0135303
2019	1734.95	0.0132272
2020	1442.07	0.0117
2021	2187.62	0.0124305
2022	1901.03	0.01365
2023	2370.36	0.0112426
2024	2066.92	0.013215

2025	1695.01	0.0129676
2026	1556.85	0.0120695
2027	1298.05	0.00909683
2028	2093.88	0.0130398
2029	1058.52	0.0087076
2030	1287.71	0.00908003

2. Pengaruh Penggunaan Bibit Unggul

Menurut Dinas Pertanian Jawa Timur penggunaan varietas (jenis bibit) dapat meningkatkan produktivitas sebesar 9% dan menggunakan benih berkualitas dapat meningkatkan produktivitas sebanyak 6%. Berikut adalah tabel peningkata produktivitas dari pengaruh penggunaan bibit.

Tabel 4. 17 Pengaruh Bibit

Tahun	Pengaruh Terhadap Produktivitas (BM)	Pengaruh Terhadap Produktivitas (SCN)
2018	0.070145	0.01262
2019	0.003982	0.014403
2020	0.049706	0.013047
2021	-0.03556	0.01067
2022	-0.08153	0.013035
2023	0.121065	0.01219
2024	0.077791	0.01165
2025	0.024753	0.011058
2026	0.136108	0.013376
2027	0.047817	0.011804
2028	0.12501	0.015317
2029	-0.0421	0.011453
2030	0.072212	0.011944

3. Pengaruh Irigasi

Menurut Dinas Pertanian Jawa Timur ketersediaan irigasi dapat meningkatkan produktivitas sebanyak 15%. Berikut adalah tabel peningkata produktivitas dari pengaruh ketersediaan irigasi.

Tabel 4. 18 Pengaruh Irigasi

Tahun	Pengaruh Terhadap Produktivitas (BM)	Pengaruh Terhadap Produktivitas (SCN)
2018	0.015	0.013312
2019	0.015	0.011735
2020	0.015	0.014893
2021	0.015	0.012649
2022	0.015	0.012206
2023	0.015	0.012031
2024	0.015	0.014114
2025	0.015	0.013355
2026	0.015	0.013119
2027	0.015	0.012994
2028	0.015	0.012991
2029	0.015	0.012431
2030	0.015	0.011509

4. Pengaruh Curah Hujan

Curah hujan efektif untuk penanaman padi adalah 1500-2000 mm per hari. Berikut adalah tabel yang menggambarkan peningkatan produktivitas dari faktor curah hujan.

Tabel 4. 19 Pengaruh Curah Hujan

Tahun	Perkiraan rata-rata Curah Hujan	Pengaruh Terhadap Produktivitas
2018	1781.59	0.01353
2019	1734.95	0.013227
2020	1442.07	0.0117
2021	2187.62	0.012431
2022	1901.03	0.01365
2023	2370.36	0.011243
2024	2066.92	0.013215
2025	1695.01	0.012968
2026	1556.85	0.01207
2027	1298.05	0.009097
2028	2093.88	0.01304
2029	1058.52	0.008708
2030	1287.71	0.00908

5. Pengaruh Temperatur

Temperatur efektif untuk penanaman padi adalah 15-30 derajat celcius. Berikut adalah tabel yang menggambarkan peningkatan produktivitas dari faktor temperatur.

Tabel 4. 20 Pengaruh Temperatur

Tahun	Perkiraan Temperatur	Pengaruh Terhadap Produktivitas
2018	29.7593	0.0108
2019	29.9345	0.0108
2020	25.9944	0.0126
2021	29.6874	0.0108
2022	27.2231	0.0126
2023	28.958	0.010876
2024	30.0937	0.010688
2025	29.7686	0.0108
2026	27.0645	0.0126
2027	28.0799	0.012456
2028	28.1886	0.012261
2029	29.7851	0.0108
2030	28.3555	0.01196

b. Decreasing Productivity

Decreasing Productivity adalah faktor yang berpengaruh terhadap penurunan produktivitas. Adapun faktor yang menurunkan produktivitas adalah serangan hama dan penyakit. Menurut Dinas Pertanian Jawa Timur serangan hama dan penyakit berpengaruh terhadap produktivitas sebanyak 11%. Berikut adalah tabel peningkata produktivitas dari pengaruh ketersediaan irigasi.

Tabel 4. 21 Pengaruh Serangan Hama dan Penyakit

Tahun	Pengaruh Terhadap Produktivitas (BM)	Pengaruh Terhadap Produktivitas (SCN)
2018	0.017139	0.033611
2019	0.082928	0.017321
2020	0.162915	0.035915

2021	0.303619	0.018462
2022	0.154525	0.014589
2023	0.121968	0.01795
2024	0.143177	0.009541
2025	0.142917	0.030555
2026	0.205397	0.03369
2027	0.120942	0.018039
2028	0.225523	0.014065
2029	0.281246	0.011105
2030	0.135275	0.008836

Berikut adalah contoh perhitungan produktivitas lahan :

Produktivitas lahan = initial value + *increasing productivity* – *decreasing productivity*

Increasing productivity = prosentase pengaruh penggunaan pupuk, bibit, irigasi, rata-rata curah hujan, temperatur

Decreasing productivity = prosentase pengaruh serangan hama dan penyakit

Tabel 4. 22 Perhitungan Produktivitas 2018

Perhitungan Produktivitas Padi 2018		
Initial Value	Produktivitas pada tahun 2017	6.13
Increasing	Pengaruh Pupuk	0.045126
	Pengaruh Benih	0.01262
	Pengaruh Irigasi	0.013312
	Pengaruh Curah Hujan	0.01353
	Pengaruh Temperatur	0.0108
		0.095388
Decreasing	Pengaruh Serangan Hama dan Penyakit	0.033611
		6.19

Berikut adalah perbandingan produktivitas lahan setelah skenario dan sebelum skenario :

Tabel 4. 23 Perbandingan Produktivitas 2018-2030

Tahun	Produktivitas (BM)	Produktivitas (SCN)
2018	6.02242	6.19446
2019	6.29814	6.25623
2020	6.40637	6.32405
2021	6.45217	6.37836
2022	6.32943	6.44811
2023	6.25275	6.52556
2024	6.42678	6.59467
2025	6.47227	6.6815
2026	6.55245	6.74039
2027	6.64123	6.79733
2028	6.75419	6.8684
2029	6.87793	6.94724
2030	6.6887	7.0216

4.6.3 Skenario Emisi Gas Rumah Kaca

Emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian diduga dari emisi: (1) metan (CH₄) dari budidaya padi sawah (2) karbon dioksida (CO₂) karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea, (3) dinitrogen oksida (N₂O) dari tanah, termasuk emisi N₂O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan (4) non-CO₂ dari biomas yang dibakar pada aktivitas pertanian. Emisi ini dipengaruhi dari luas tanam, luas panen, jenis tanah, dan dosis pupuk (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012).

Sistem pengelolaan tanaman yang tepat memberi sumbangan yang positif dalam langkah mitigasi gas rumah kaca dari sektor pertanian. Penggunaan varietas padi unggul yang berumur genjah merupakan salah satu cara untuk menekan emisi CH₄ dari lahan sawah; pemupukan sesuai dengan kebutuhan tanaman mengurangi inefisiensi penggunaan pupuk N yang memicu terbentuknya gas N₂O dan yang sangat signifikan adalah penggunaan pengairan berselang, di mana ada pengaturan kondisi tergenang dan kering disesuaikan dengan kebutuhan air selama fase

pertumbuhan tanaman. Berikut ini adalah teknologi mitigasi emisi GRK di lahan sawah (Litbang Pertanian, 2011).

1. Memilih varietas padi yang tepat

Varietas padi mempunyai peran yang sangat penting dalam melepaskan gas CH_4 . Hal ini disebabkan adanya pembuluh aerenkima yang berfungsi sebagai jalur perantara lepasnya gas CH_4 . Melalui aerenkima oksigen dialirkan ke akar dan rhizosfer sedangkan CO_2 , CH_4 dan C_2H_2 dialirkan dari tanah ke batang menuju atmosfer.

2. Bijaksana dalam menggunakan pupuk

Budidaya padi sawah tidak terlepas dari penggunaan pupuk, terutama pupuk N. Pupuk harus digunakan secara bijaksana karena inefisiensi penggunaan pupuk N akan menjadi sumber emisi N_2O .

3. Pengaturan air

Emisi CH_4 akan semakin besar apabila sawah dalam kondisi tergenang. Pada kondisi ini, bakteri pembentuk gas CH_4 (bakteri metanogen) aktif melaksanakan metabolismenya yang selanjutnya membentuk gas CH_4 .

4. Penggunaan Nitrifikasi Inhibitor (NI)

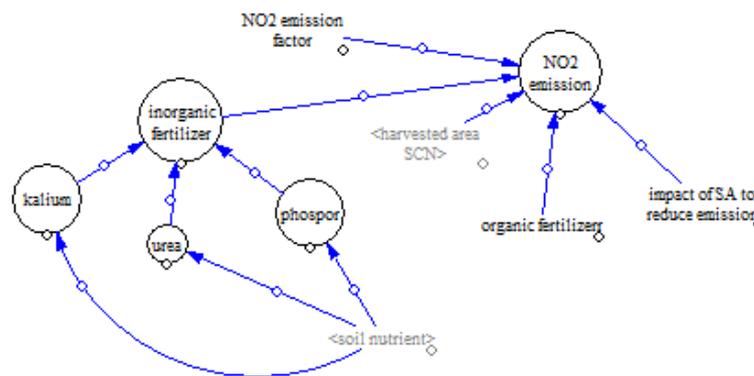
Upaya untuk menekan emisi N_2O selain menggunakan pupuk berdasarkan kebutuhan tanaman, dapat juga menggunakan penghambat nitrifikasi. Proses nitrifikasi merupakan transformasi dari amonia (NH_3) menjadi nitrat (NO_3^-) dan nitrat inilah yang merupakan bentuk tersedia bagi tanaman.

5. Penggunaan pupuk diperkaya Fe

Selain pemilihan varietas, efisien dalam penggunaan pupuk dan pengairan serta penggunaan nitrifikasi inhibitor, pengendalian rasio bahan organik yang mudah teroksidasi dengan Fe yang mudah tereduksi dapat menjadi salah satu upaya menekan emisi CH_4 dari lahan sawah.

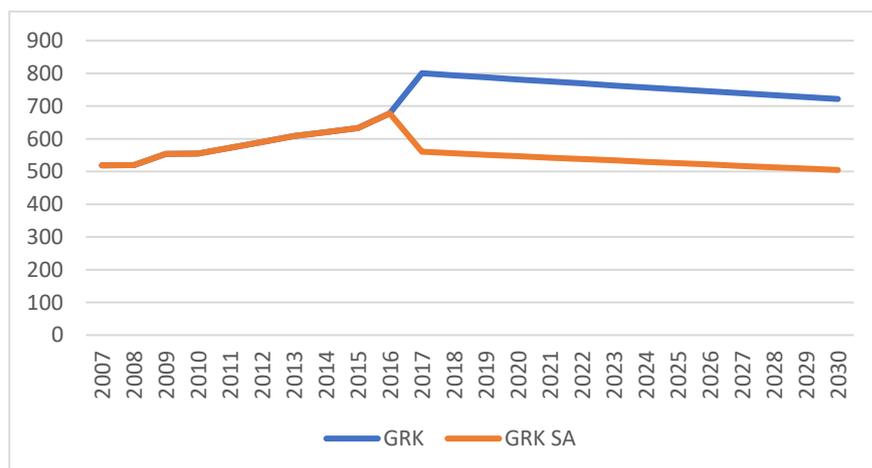
Namun dalam penelitian ini hanya menggunakan varietas berumur ganjah, penggunaan pupuk sesuai kebutuhan hara, efisiensi saluran irigasi untuk melakukan upaya penurunan emisi gas rumah kaca.

Smart agriculture digunakan untuk mengetahui kondisi terkini unsur hara tanah. Ketika tanah membutuhkan input (pupuk), dapat diberikan sesuai kebutuhan tanah, sehingga terjadi efisiensi dan penghematan terhadap pemberian input. Selain itu, penggunaan pupuk organik berperan penting untuk meminimalisir residu nitrat tanah yang dapat membantu menurunkan emisi N_2O .



Gambar 4. 35 Skenario Emisi Gas Rumah Kaca

Berikut adalah perbedaan hasil produksi emisi gas rumah kaca dari faktor pupuk, yang ditunjukkan oleh gambar 4.36.



Gambar 4. 36 Skenario GRK

Jika dilihat dari grafik 4.36, pengurangan emisi gas rumah kaca akibat penggunaan pupuk, berkurang seiring dengan berkurangnya lahan sawah. Hal ini dikarenakan lahan sawah mempunyai peran dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca. Rata-rata penurunan emisi gas rumah kaca akibat penggunaan pupuk pada pertanian padi sebesar 30%.

4.6.4 Simpulan Skenario

Dari beberapa scenario yang telah dibuat, penulis menyimpulkan beberapa scenario tersebut untuk memberikan gambaran lebih jelas, yang ditunjukkan pada tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Tabel Simpulan Hasil Skenario

Simulasi	Sebelum Skenario	Setelah Skenario
Hasil simulasi Produktivitas dengan skenario intensifikasi lahan	Produktivitas lahan pada tahun 2018 sebesar 6.02 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 6.68 ton/ha	Produktivitas lahan pada tahun 2018 sebesar 6.19 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 7.02 ton/ha
Hasil simulasi Produktivitas dengan skenario penggunaan SA	Produktivitas lahan pada tahun 2018 sebesar 6.02 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 6.68 ton/ha	Produktivitas lahan pada tahun 2018 sebesar 7.29 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 8.45 ton/ha
Hasil simulasi Produksi Padi dan Rasio pemenuhan beras dengan skenario intensifikasi lahan	Total produksi padi pada tahun 2018 sebesar 13.694.800 ton dan pada tahun 2030 sebesar 13.812.300 ton Rasio pemenuhan beras pada tahun 2018 mencapai 2.2 dan pada tahun 2030 mencapai 2.04	Total produksi padi pada tahun 2018 sebesar 18.516.900 ton dan pada tahun 2030 sebesar 19.306.200 ton Rasio pemenuhan beras pada tahun 2018 mencapai 3 dan pada tahun 2030 mencapai 2.82
Hasil simulasi Produksi Padi dan Rasio	Total produksi padi pada tahun 2018 sebesar	Total produksi padi pada tahun 2018 sebesar

<p>pemenuhan beras dengan skenario penggunaan SA</p>	<p>13.694.800 ton dan pada tahun 2030 sebesar 13.812.300 ton</p> <p>Rasio pemenuhan beras pada tahun 2018 mencapai 2.2 dan pada tahun 2030 mencapai 2.04</p>	<p>19.473.900 ton dan pada tahun 2030 sebesar 20.513.000 ton</p> <p>Rasio pemenuhan beras pada tahun 2018 mencapai 3.15 dan pada tahun 2030 mencapai 3.03</p>
<p>Hasil simulasi Pendapatan petani dengan skenario intensifikasi lahan</p>	<p>Pendapatan petani (per bulan) pada tahun 2018 sebesar Rp. 2.407.180 tahun 2021 sebesar Rp. 3.897.160,- dan pada tahun 2030 sebesar Rp. 4.871.860</p>	<p>Pendapatan petani (per bulan) pada tahun 2018 sebesar Rp. 3.390.080 tahun 2021 sebesar Rp. 3.937.750 dan pada tahun 2030 sebesar Rp. 7.367.210</p>
<p>Hasil simulasi Pendapatan petani dengan skenario penggunaan SA</p>	<p>Pendapatan petani (per bulan) pada tahun 2018 sebesar Rp. 2.407.180 tahun 2021 sebesar Rp. 3.897.160,- dan pada tahun 2030 sebesar Rp. 4.871.860</p>	<p>Pendapatan petani (per bulan) pada tahun 2018 sebesar Rp. 2.785.170,- dan pada tahun 2021 sebesar Rp. 6.016.020,-</p>
<p>Hasil simulasi Pengurangan emisi gas rumah kaca dengan skenario penggunaan SA</p>	<p>Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan akibat penggunaan pupuk pada tahun 2018 sebanyak 1350.74 Gg CO₂e per tahun dan pada tahun</p>	<p>Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan akibat penggunaan pupuk pada tahun 2018 sebanyak 555.626 Gg CO₂e per tahun dan pada tahun</p>

	2030 sebanyak 1226.62 Gg CO2e per tahun	2030 sebanyak 504.605 Gg CO2e per tahun
--	--	--

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab akan diberikan kesimpulan berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Kemudian dijabarkan pula saran-saran untuk pengembangan penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

1. Membuat model harus memahami sistem yang akan dibuat. Memahami variable-variabel yang berpengaruh signifikan. Sehingga model tersebut dapat merepresentasikan kondisi riil dari suatu sistem.
2. Model yang dibuat mencakup kondisi saat ini, kemudian dilakukan evaluasi untuk mengetahui permasalahan yang ada, dan dibuat skenario sebagai alternatif solusi pemecahan masalah.
3. Dari hasil simulasi, rata-rata produktivitas di Jawa Timur tahun 2018 sebesar 6.02 ton/ha. Luas panen di Jawa Timur tahun 2018 sebesar 2.273.970 ha dan produksi padi mencapai 13.694.800 ton. Rata-rata pendapatan petani di Jawa Timur pada tahun 2018 mencapai Rp. 2.407.180,- per bulan (dengan asumsi kepemilikan lahan sawah 1 ha), sedangkan rata-rata harga GKG sebesar Rp 5.858,-.
4. Pada skenario intensifikasi, hasil dari skenario pesimis produksi padi meningkat rata-rata 0.1% per tahun, rasio pemenuhan beras mencapai 1.86 di akhir periode 2030. Hasil dari skenario optimis produksi padi meningkat rata-rata 0.35% per tahun. Rasio pemenuhan beras mencapai 2.85 di akhir periode tahun 2030. Dan pendapatan petani per bulan mencapai Rp. 3.390.080. atau meningkat 28% dari pendapatan petani sebelum skenario. Dari rasio pemenuhan beras tersebut dapat diketahui kecenderungan ketahanan pangan di Jawa Timur dari faktor ketersediaan yakni menunjukkan ketahanan yang baik hingga tahun 2030.
5. Dari hasil skenario pengimplementasian smart agriculture untuk peningkatan pendapatan petani : Rata-rata pendapatan petani di Jawa Timur pada tahun 2018 mencapai Rp. 2.785.170,- per bulan (dengan asumsi

kepemilikan lahan sawah 1 ha). Pendapatan petani dengan pengimplementasian SA di awal tahun pengimplementasian tidak sebanyak pendapatan petani sebelum pengimplementasian SA, yaitu sebesar Rp. 2.407.180,- per bulan. Hal ini di karenakan besarnya nilai investasi untuk setiap hektar sawah dalam pengimplementasian Smart Agriculture, khususnya penerapan IOT pertanian presisi yaitu sebesar Rp. 61.839.098,-, dengan masa pengembalian modal 2.5 tahun per hektar sawahnya. Namun setelah periode pengembalian modal, yaitu pada tahun 2021, pendapatan petani dengan pengimplementasian SA meningkat daripada skenario tidak mengimplementasikan SA, yaitu sebesar Rp. 6.016.020,- per bulan, atau mengalami peningkatan sebesar 27% dari pendapatan petani sebelum pengimplementasian SA di tahun 2021. Akan tetapi teknologi memiliki masa hidup, rata-rata masa hidup teknologi selama 5-10 tahun. Sehingga perhitungan ini akan berlaku untuk sekali masa teknologi yang akan di aplikasikan pada penelitian ini.

6. Mitigasi yang dapat dilakukan untuk pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor pertanian yaitu dengan penggunaan varietas berumur ganjah, varietas berumur ganjah, penggunaan pupuk sesuai kebutuhan hara, efisiensi saluran irigasi. Dengan upaya yang demikian dan serta pengaplikasian SA pada pertanian, dapat menurunkan emisi sebesar 30%.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan untuk dinas pertanian adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat memasukkan faktor emisi lainnya, tidak hanya dari faktor pupuk. Seperti dampak dari air irigasi. Hal ini juga berkaitan dengan penerapan smart agriculture dalam mengefisienkan irigasi, sehingga selain dapat menghemat air, juga mengurangi emisi gas rumah kaca akibat penggenangan tanaman.

2. Untuk pemerintah, khususnya dinas pertanian, agar dapat menerapkan skenario intensifikasi, dimana produktivitas lahan meningkat dan pendapatan petani bisa meningkat. Serta dapat mempertimbangkan penerapan smart agriculture. Modal yang harus ditanam memang sangat tinggi, namun otomatisasi dan efisiensi yang ditawarkan bisa menjadi nilai plus serta untuk jangka panjangnya dapat meningkatkan produksi beras dan pendapatan petani.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Aji Waryana** Dosis dan Cara Pemupukan Padi Yang Tepat Agar Hasilnya Maksimal [Online]. - 2017. - <https://kabartani.com/dosis-dan-cara-pemupukan-padi-yang-tepat-agar-hasilnya-maksimal.html>.
- Ariani Miranti, Ardiansyah M dan Sety Prihasto** Inventarisasi Emisi GRK Lahan Pertanian di Kabupaten Grobogan dan Tanjung Jabung Timur dengan Menggunakan Metode IPCC 2006 dan Modifikasinya [Jurnal]. - 2006 : [s.n.], Bogor. - 1907-0799.
- Aribawa Ida Bagus** Pengaruh Sistem Tanam Terhadap Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah Dataran Tinggi Beriklim basah [Jurnal] // Seminar Nasional Kedaulatan pangan dan energi. - 2012.
- B Penelitian** Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian [Online]. - 2011. - www.pertanian.go.id/dpi/downlot.php?file=pedum-adaptasi.pdf.
- Badan Ketahanan Pangan** Laporan Tahunan Badan Ketahanan Pangan 2016 [Online] // Badan Ketahanan Pangan. - 2017. - http://bkp.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/LAP_TAHUNAN_BKP_2016.com.pdf.
- Badan Litbang Pertanian** 400 Teknologi Inovatif Badan Litbang Pertanian [Online] // Badan Litbang Pertanian . - 2009. - pustaka.litbang.pertanian.go.id/agritek/diy1002.pdf.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementan** Sistem Tanam Legowo [Buku]. - Sukamandi : Balitbang Kementan, 2013.
- Badan Pusat Statistik** Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035 [Laporan]. - Jakarta : BPS Jakarta Indonesia, 2013.
- Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian** Tinjauan Aspek Kesesuaian Lahan [Artikel] // Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis . - 2012. - hal. 21-32.
- Bappeda Jatim** Mengerem Laju Konversi Lahan Pertanian [Online] // Bappeda Jatim. - 2014. - <http://bappeda.jatimprov.go.id/2014/02/12/mengerem-laju-konversi-lahan-pertanian/>.
- Barlas Yaman** Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models [Jurnal]. - USA : European Journal of Operational Research, 1989. - 1 : Vol. 42.
- Erma Suryani Shuo-Yan Chou, Chih-Hsien Chen** Air passenger demand forecasting and passeer terminal capacity expantion: A system dynamics framework [Jurnal]. - [s.l.] : Expert Systems with Applications, 2010. - 37. - 2324-2339.
- Faisal Bahtiar** Produktivitas Varietas Unggul baru padi di Sulawesi Utara [Jurnal]. - 2011.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO)** climate-smart agriculture [Online] // Food and

- Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). - 2017. - <http://www.fao.org/3/a-an177e.pdf>.
- Hidayat Syaiful, Suryani Erma dan Hendrawan Rully Agus** Sistem Dinamik Spasial Untuk Meningkatkan Efektifitas Dan Efisiensi Logistik Pada Rantai Pasok Pangan [Jurnal]. - Surabaya : Integer Jurnal, 2016.
- Khanal Uttam [et al.]** Farmers' Adaptation to Climate Change, Its Determinants and Impacts on Rice Yield in Nepal [Jurnal]. - Brisbane : Ecological Economics, 2018. - 144.
- Kominfo Jatim** Konsumsi Beras Masyarakat Jatim 88 Kg Per Kapita Per Tahun [Online] // Kominfo Jatim. - 2016. - <http://kominfo.jatimprov.go.id/read/umum/konsumsi-beras-masyarakat-jatim-88-kg-per-kapita-per-tahun>.
- Kominfo Jatim** Konsumsi Beras Masyarakat Jatim 88 Kg Per Kapita Per Tahun [Online] // Kominfo Jatim. - 2016. - <http://kominfo.jatimprov.go.id/read/umum/konsumsi-beras-masyarakat-jatim-88-kg-per-kapita-per-tahun>.
- Ku Hyun-Hwoi [et al.]** Evaluation of fertilizer and water management effect on rice performance and greenhouse gas intensity in different seasonal weather of tropical climate [Jurnal]. - Philippines : Science of the Total Environment, 2017.
- Litbang Pertanian** Strategi Mitigasi dan Adaptasi Pertanian Terhadap Dampak Perubahan Iklim Global [Jurnal]. - 2011.
- Muhandhis Isnaini dan Suryani Erma** Pengembangan Model Rantai Pasok Produksi Beras Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Dengan Menggunakan Sistem Dinamik [Konferensi] // Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIII. - Surabaya : [s.n.], 2015.
- Muttaqin Aris Z dan Martianto Drajat** KONSUMSI, KEBUTUHAN DAN KECUKUPAN BERAS NASIONAL TAHUN 2002-2007 [Jurnal]. - Bogor : Jurnal Gizi dan Pangan, 2009.
- Nugroho Iwan dan Hanani Nuhfil** Investasi Sektor Pertanian di Propinsi Jawa Timur [Jurnal]. - Malang : ResearchGate, 2007.
- Nurasa Tjetjep dan Purwoto Adreng** Analisis Profitabilitas Usaha Tani Padi Pada Agroekosistem Lahan Sawah Irigasi Di Jawa Dan Luar Jawa Pedesaan Patanas [Jurnal]. - [s.l.] : Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, 2011.
- Pramudia Aris [et al.]** Fenomena dan Perubahan Iklim Indonesia serta Pemanfaatan Informasi Iklim untuk Kalender Tanam [Online] // Dinamika Iklim Indonesia. - 2013. - <http://www.litbang.pertanian.go.id/buku/katam/bagian-2.pdf>.
- PSE Litbang** Dinamika Produksi dan harga beras [Artikel] // Harga Anjak 2012 05. - 2012. - hal. 1-12.
- Pusdatin Kementan** Statistik Lahan Pertanian 2008-2012 [Laporan]. - Jakarta : Pusdatin, 2013.
- Rehman Aqeel-ur dan Shaikh Zubair A.** Smart Agriculture [Jurnal]. - Pakistan : Bentham Science Publishers Ltd., 2009.

- Schimmelpfennig David dan Ebel Robert** Sequential Adoption and Cost Savings from Precision Agriculture [Jurnal]. - [s.l.] : Journal of Agricultural and Resource Economics, 2016. - ISSN 1068-5502.
- Sitanggang L. dkk** Tingkat Adopsi Petani terhadap penggunaan pupuk sesuai dosis anjuran pada usaha tani padi sawah [Jurnal]. - 2014. - hal. 1-14.
- Sterman John D** Business Dynamics Systems: Thinking and modeling for a complex world [Buku]. - [s.l.] : McGraw-Hill, 2000.
- Subagyono Kasdi dan Surmaini Elza** Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Air untuk Antisipasi Perubahan Iklim [Jurnal]. - Bogor : ResearchGate, 2014.
- Subagyono Kasdi dan Surmaini Elsa** PENGELOLAAN SUMBERDAYA IKLIM DAN AIR UNTUK ANTISIPASI PERUBAHAN IKLIM [Jurnal]. - Bogor : JURNAL METEOROLOGI DAN GEOFISIKA, 2014.
- Sumadiyono Agus** Analisis Efisiensi Pemberian Air DI Jaringan Irigasi Karau Kabupaten Barito Timur Provinsi Kalimantan Tengah [Jurnal]. - 2011. - hal. 1-22.
- Suprianto Joko dan Suryani Erma** PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK PEMENUHAN LOGISTIK BERAS UNTUK MENJAGA STABILITAS HARGA [Jurnal]. - Surabaya : ResearchGate, 2014. - 1 : Vol. V.
- Suryana Achmad. dkk** Keududukan Padi dalam Perekonomian Indonesia [Jurnal]. - 2009. - hal. 7-31.
- Tian Zhan [et al.]** Maintaining rice production while mitigating methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in China: Evaluating tradeoffs by using coupled agricultural systems models [Jurnal]. - China : Agricultural Systems, 2018.
- Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian** Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian [Online] // Kementerian Pertanian Republik Indonesia. - 2006. - <http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/wr284067.pdf>.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap Trigati Widyandari Lestari Wibowo, lahir di Surabaya, tanggal 20 Juni 1993, anak kedua dari tiga bersaudara pasangan Bapak Ibnu Wibowo dan Ibu Diyah. Penulis adalah warga negara Indonesia dan beragama Islam. Adapun riwayat Pendidikan penulis, yaitu lulusan SDN Keputih 245 Surabaya tahun 2005. Lulusan SMPN 19 Surabaya tahun 2008. Lulusan SMAN 16 Surabaya tahun 2011

Kemudian pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil Program Studi S1 Sistem Informasi, dengan masa tempuh Pendidikan selama 4 tahun kemudian melanjutkan pendidikan ke tingkat yang lebih tinggi yaitu Magister di jurusan Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016. Penulis dapat dihubungi di alamat email trigatiwlw@gmail.com.