



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - KS141501**

**PEMBUATAN MODEL CLIMATE-SMART AGRICULTURE  
UNTUK ADAPTASI DAN MEMBANGUN KETAHANAN  
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI  
(STUDI KASUS: JAWA TIMUR).**

***THE DEVELOPMENT OF CLIMATE-SMART  
AGRICULTURE MODEL FOR ADAPTING AND BUILDING  
RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE IN RICE  
PRODUCTION (CASE STUDY: EAST JAVA).***

**AKMAL FAZA  
NRP 5214 100 031**

**Dosen Pembimbing  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**TUGAS AKHIR - KS141501**

**PEMBUATAN MODEL CLIMATE-SMART AGRICULTURE  
UNTUK ADAPTASI DAN MEMBANGUN KETAHANAN  
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI  
(STUDI KASUS: JAWA TIMUR).**

**AKMAL FAZA  
NRP 5214 100 031**

**Dosen Pembimbing  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**FINAL PROJECT - KS141501**

***THE DEVELOPMENT OF CLIMATE-SMART AGRICULTURE  
MODEL FOR ADAPTING AND BUILDING RESILIENCE TO  
CLIMATE CHANGE IN RICE PRODUCTION (CASE STUDY:  
EAST JAVA).***

**AKMAL FAZA  
NRP 5214 100 031**

**Dosen Pembimbing  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph. D**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEMBUATAN MODEL CLIMATE-SMART  
AGRICULTURE UNTUK ADAPTASI DAN  
MEMBANGUN KETAHANAN TERHADAP  
PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI  
(STUDI KASUS: JAWA TIMUR)**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
Pada  
Departemen Sistem Informasi  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AKMAL FAZA**  
NRP. 5214100031

Surabaya, Januari 2018

**Plh Kepala  
DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI**



**Edwin Riksakomara, S.Kom., M.T.**  
**NIP. 196907252003121001**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PEMBUATAN MODEL CLIMATE-SMART AGRICULTURE UNTUK ADAPTASI DAN MEMBANGUN KETAHANAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI (STUDI KASUS: JAWA TIMUR)

#### TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
Pada  
Departemen Sistem Informasi  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AKMAL FAZA**

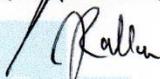
NRP. 0521144000031

Disetujui Tim Penguji: Tanggal Ujian : 10 Januari 2018  
Periode Wisuda : Maret 2018

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

  
(Pembimbing I)

**Rully Agus Hendrawan, S.Kom, M.Eng**

  
(Penguji I)

**Arif Wibisono, S.Kom., M.Sc.**

  
(Penguji II)



**PEMBUATAN MODEL CLIMATE-SMART  
AGRICULTURE UNTUK ADAPTASI DAN  
MEMBANGUN KETAHANAN TERHADAP  
PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI  
(STUDI KASUS: JAWA TIMUR).**

**Nama Mahasiswa** : Akmal Faza  
**NRP** : 5214 100 031  
**Departemen** : Sistem Informasi FTIK - ITS  
**Pembimbing 1** : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph. D

**ABSTRAK**

*Indonesia sebagai negara yang dimana mayoritas penduduknya mengonsumsi nasi sebagai makanan pokok utamanya dan cenderung tunggal untuk beberapa daerah akan sangat bergantung terhadap ketersediaan beras itu sendiri. Ketersediaan beras sendiri bergantung pada produksi padi. Namun seiring perkembangan zaman, banyak faktor yang dapat menghambat produksi padi tersebut. Salah satu faktornya adalah dari sisi iklim atau cuaca, dikarenakan produktivitas pertanian khususnya padi sangat bergantung pada iklim atau cuaca. Salah satu isu terkait iklim adalah diyakini bahwa telah terjadi perubahan iklim (climate change). Salah satu bentuk nyata telah terjadinya perubahan iklim adalah semakin meningkatnya frekuensi terjadinya kejadian iklim ekstrim seperti El Nino dan La Nina dan juga global warming. Sektor pertanian harus dapat beradaptasi terhadap perubahan tersebut apabila menginginkan produktivitas dan produksinya terjaga. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah Climate Smart Agriculture (CSA), pendekatan ini ditujukan untuk mengembangkan terkait teknis, kebijakan dan investasi dalam membangun sektor pertanian yang berkelanjutan untuk mencapai ketahanan pangan dan adaptasi dalam perubahan iklim. Beberapa praktik terkait CSA diantaranya adalah crop management, soil management, dan water management. Salah satu metode yang dapat digunakan*

*untuk merepresentasikan penerapan CSA adalah melalui model sistem dinamik. Dengan menggunakan metode sistem dinamik, dapat membuat sebuah model nyata dari suatu sistem. Analisis dilakukan dengan pengembangan skenario yang coba diterapkan terhadap sistem. Harapannya hasil dari skenario tersebut dapat digunakan untuk perbaikan sistem kedepannya. Skenario terbaik yang dapat meningkatkan dan menjaga produktivitas padi sawah dan juga ladang dalam menghadapi dampak akibat perubahan iklim adalah skenario optimistic dengan penerapan pengelolaan tanaman terpadu (PTT) dengan nilai rata-rata 6 ton/ha dan 5 ton/ha. Kemudian skenario terbaik yang menghasilkan rata-rata produksi padi paling tinggi adalah skenario optimistic dengan penerapan PTT dan peningkatan indeks penanaman sebesar 12.358.261 ton.*

**Kata Kunci: produktivitas, produksi, padi, Climate Smart Agriculture, model, sistem dinamik**

**THE DEVELOPMENT OF CLIMATE-SMART  
AGRICULTURE MODEL FOR ADAPTING AND  
BUILDING RESILIENCE TO CLIMATE CHANGE IN  
RICE PRODUCTION (CASE STUDY: EAST JAVA).**

**Student Name** : Akmal Faza  
**NRP** : 5214 100 031  
**Department** : Sistem Informasi FTIK - ITS  
**Supervisor 1** : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph. D

**ABSTACT**

*Indonesia as a country where most of the population consume rice as its main staple food and tend to be single for some areas will depend on the availability of rice itself. The availability of rice itself depends on the production of rice. But over the times, many factors can hamper the production of the rice. One of the factor is climate or weather, because agricultural productivity, especially rice, depends on climate or weather. One climate-related issue is where it is now believed that climate change has occurred. One obvious form of climate change is the increasing frequency of extreme climatic events such as El Nino and La Nina as well as global warming. The agricultural sector must be able to adapt any such changes if it wants its production maintained. One approach that can be applied is Climate Smart Agriculture (CSA), this approach is aimed at developing related technical, policy and investment in building a sustainable agriculture sector to achieve food security and adaptation in climate change. Some CSA related practices include crop management, soil management, and water management. One method that can be used to represent the application of CSA is through a dynamic system model. By using dynamic system method, can create real model of a system. Analysis is done by developing scenarios that try to be applied into the system. Hopefully the result of such scenarios can be used for future system improvements. The best scenario that can increase and maintain the productivity of rice fields and paddy fields to face*

*the impacts of climate change is optimistic scenario with implementation of pengelolaan tanaman terpadu (PTT) with average number of 6 tons/ha and 5 tons/ha. Then the best scenario that produces the highest average rice production is optimistic scenario with application of PTT as well as the increase of planting index of 12.358.261 tons.*

**Keyword: productivity, production, rice, Climate Smart Agriculture, model, dynamic system**

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PEMBUATAN MODEL CLIMATE SMART AGRICULTURE UNTUK ADAPTASI DAN MEMBANGUN KETAHANAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM DALAM PRODUKSI PADI (STUDI KASUS : JAWA TIMUR)”** sebagai salah satu hal yang menjadi syarat kelulusan dari Program Sarjana Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, bantuan, serta saran dan masukan dan tidak lupa pula dukungan dari banyak pihak. Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada beberapa pihak, diantaranya:

1. Syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT, atas berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan semaksimal mungkin.
2. Salawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Agung Muhammad SAW, yang telah memberikan suri tauladan bagi kita semua.
3. Bapak Ir. R Bagus Adhirasa selaku narasumber dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur yang telah memberikan waktu dan kesempatan untuk berkonsultasi dan berdiskusi terkait pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Ir. Aris Tjahyanto, M. Kom., M. Eng., selaku Ketua Departemen Sistem Informasi
5. Ibu Erma Suryani, S.T, M.T., Ph. D., selaku dosen pembimbing yang telah rela meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, saran, motivasi, dan

ilmu kepada penulis selama proses pengerjaan tugas akhir.

6. Bapak Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Kedua orang tua penulis serta seluruh anggota keluarga yang senantiasa memberikan doa, semangat, serta motivasi selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan Lab Sistem Enterprise (SE), yang selalu berjuang bersama dan saling memberikan semangat selama pengerjaan tugas akhir.
9. Seluruh teman-teman OSIRIS yang tidak dapat penulis saebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir tidak akan pernah sempurna dan pasti memiliki kekurangan baik dalam penulisan maupun hasil akhir. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan perbaikan untuk penelitian kedepannya. Terakhir semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PERSETUJUAN	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK.....	v
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Tabel.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5. Manfaat Tugas Akhir.....	4
1.6. Relevansi Tugas Akhir .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Penelitian Sebelumnya .....	7
2.2. Dasar Teori.....	11
2.2.1 <i>Climate Change</i> .....	11
2.2.2 <i>Climate Smart Agriculture</i> .....	12
2.2.3 Sistem Produksi Padi.....	13
2.2.4 <i>Resilience</i> .....	14
2.2.5 Model Simulasi.....	15
2.2.6 Simulasi .....	15
2.2.7 Sistem Dinamik .....	16
2.2.8 Diagram Kausatik .....	18
2.2.9 Verifikasi dan Validasi .....	19
2.2.10 Skenario.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1. Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir .....	21
3.2. Uraian Metodologi .....	21
3.2.1. Studi Literatur.....	22

3.2.2.	Observasi dan Pengumpulan Data .....	22
3.2.3.	Pendefinisian Sistem.....	22
3.2.4.	Pembuatan Model Kausatik .....	24
3.2.5.	Formulasi .....	24
3.2.6.	Membuat Model dengan Vensim.....	25
3.2.7.	Simulasi .....	25
3.2.8.	Verifikasi dan Validasi .....	25
3.2.9.	Pembuatan Skenario .....	25
3.2.10.	Analisis dan Interpretasi .....	26
3.2.11.	Pembuatan Laporan Tugas Akhir .....	26
3.3.	Rangkuman Metodologi .....	26
<b>BAB IV PERANCANGAN .....</b>		<b>29</b>
4.1.	Kebutuhan Data .....	29
4.1.1.	Data Produktivitas Padi .....	29
4.1.2.	Data Curah Hujan Provinsi Jawa Timur .....	31
4.1.3.	Data Suhu Rata-rata Provinsi Jawa Timur....	32
4.1.4.	Data Kejadian El Nino dan La Nina .....	33
4.1.5.	Data Luas Panen dan Produksi Padi Provinsi Jawa Timur .....	34
4.2.	Pengolahan Data .....	37
4.3.	Pembuatan Model Diagram Kausatik .....	37
4.4.	Pembuatan Model Diagram Arus .....	41
4.4.1.	Sub Model Produktivitas Padi Sawah.....	42
4.4.2.	Sub Model Produktivitas Padi Ladang .....	49
4.4.3.	Sub Model Dampak Iklim Terhadap Produktivitas .....	55
4.4.4.	Sub Model Ketersediaan Irigasi.....	58
4.4.5.	Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah.....	61
4.4.6.	Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang .....	64
4.4.7.	Sub Model Produksi Padi .....	67

4.5. Verifikasi Model .....	70
4.6. Validasi Model .....	70
4.6.1. Validasi Sub Model Produktivitas Padi Sawah .....	70
4.6.2. Validasi Sub-model Produktivitas Padi Ladang .....	72
4.6.3. Validasi Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah.....	75
4.6.4. Validasi Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang .....	78
4.6.5. Validasi Sub Model Produksi Padi .....	82
<b>BAB V PENGEMBANGAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL .....</b>	<b>89</b>
5.1 Pengembangan Skenario .....	89
5.2 Skenario <i>Optimistic</i> .....	91
5.3 Skenario <i>Most-likely</i> .....	101
5.4 Skenario <i>Pesimistic</i> .....	105
5.5 Analisis Hasil Skenario .....	109
5.5.1 Analisis Produksi Padi Sawah .....	109
5.5.2 Analisis Produksi Padi Ladang .....	111
5.5.3 Analisis Total Produksi Padi .....	113
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>115</b>
6.1 Kesimpulan.....	115
6.2 Saran.....	117
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>119</b>
Lampiran.....	123
Lampiran A – Hasil Model Simulasi <i>Basemodel</i> .....	123
Lampiran B - Data Hasil Simulasi Skenario .....	130
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>141</b>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Roadmap Penelitian Laboratorium Sistem Enterprise .....	5
Gambar 2.1 Contoh Diagram Kausatik [21] .....	18
Gambar 2.2 Diagram Verifikasi dan Validasi Model[24] .....	19
Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir[17] .....	21
Gambar 4.1 Model Diagram Kausatik .....	38
Gambar 4.2 Diagram Arus - Sub Model Produktivitas Padi Sawah .....	42
Gambar 4.3 Produktivitas Padi Sawah .....	47
Gambar 4.4 Rate Peningkatan Produktivitas Padi Sawah .....	47
Gambar 4.5 Rate Penurunan Produktivitas Padi Sawah .....	48
Gambar 4.6 Diagram Arus - Sub Model Produktivitas Padi Ladang .....	49
Gambar 4.7 Produktivitas Padi Ladang .....	53
Gambar 4.8 Rate Peningkatan Produktivitas Padi Ladang .....	54
Gambar 4.9 Rate Penurunan Produktivitas Padi Ladang .....	54
Gambar 4.10 Diagram Arus - Sub Model Dampak El Nino La Nina Terhadap Produktivitas .....	55
Gambar 4.11 Nilai Southern Oscillation Index (SOI) .....	57
Gambar 4.12 Dampak El Nino La Nina Terhadap Produktivitas .....	58
Gambar 4.13 Diagram Arus - Sub Model Ketersediaan Irigasi .....	58
Gambar 4.14 Kebutuhan Irigasi Padi Sawah .....	60
Gambar 4.15 Ketersediaan Irigasi .....	60
Gambar 4.16 Diagram Arus - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah .....	61
Gambar 4.17 Luas Lahan Sawah .....	62
Gambar 4.18 Luas Panen Sawah .....	63
Gambar 4.19 Diagram Arus - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang .....	64

Gambar 4.20 Luas Lahan Ladang.....	66
Gambar 4.21 Luas Panen Ladang.....	66
Gambar 4.22 Diagram Arus - Sub Model Produksi Padi .....	67
Gambar 4.23 Produksi Padi Sawah .....	68
Gambar 4.24 Produksi Padi Ladang .....	69
Gambar 4.25 Total Produksi Padi.....	69
Gambar 4.26 Verifikasi Dialog Box.....	70
Gambar 4.27 Grafik Produktivitas Padi Sawah.....	72
Gambar 4.28 Grafik Produktivitas Padi Ladang .....	74
Gambar 4.29 Grafik Luas Lahan Padi Sawah .....	78
Gambar 4.30 Grafik Luas Panen Padi Sawah.....	78
Gambar 4.31 Grafik Luas Lahan Padi Ladang .....	82
Gambar 4.32 Grafik Luas Panen Padi Ladang .....	82
Gambar 4.33 Grafik Produksi Padi Sawah .....	84
Gambar 4.34 Grafik Produksi Padi Ladang.....	86
Gambar 4.35 Grafik Total Produksi Padi .....	88
Gambar 5.1 Pengembangan Skenario.....	89
Gambar 5.2 Skenario <i>optimistic</i> Padi Sawah (1).....	93
Gambar 5.3 Skenario <i>optimistic</i> Padi Sawah (2).....	94
Gambar 5.4 Skenario <i>optimistic</i> Padi Ladang .....	95
Gambar 5.5 Grafik Skenario Optimistic Produktivitas Padi Sawah .....	98
Gambar 5.6 Grafik Kebutuhan Air Irigasi - Optimistic.....	99
Gambar 5.7 Grafik Produksi Padi Sawah Skenario Optimistic .....	99
Gambar 5.8 Grafik Skenario Optimistic Produktivitas Padi Ladang .....	100
Gambar 5.9 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Optimistic .....	100
Gambar 5.10 Grafik Total Produksi Padi Skenario Optimistic .....	101

Gambar 5.11 Grafik Produktivitas Padi Sawah Skenario Most-likely.....	102
Gambar 5.12 Grafik Produktivitas Padi Ladang Skenario Most-likely .....	103
Gambar 5.13 Grafik ProduksiPadi Sawah Skenario Most-likely.....	103
Gambar 5.14 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Most-likely.....	104
Gambar 5.15 Grafik Total Produksi Padi Skenario Most-likely .....	104
Gambar 5.16 Grafik Produktivitas Padi Sawah Skenario Pesiistic .....	106
Gambar 5.17 Grafik Produktivitas Padi Ladang Skenario Pesimistic .....	106
Gambar 5.18 Grafik Produksi Padi Sawah Skenario Pesimistic .....	107
Gambar 5.19 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Pesimistic .....	108
Gambar 5.20 Grafik Total Produksi Padi Skenario Pesimistic .....	108
Gambar 5.21 Analisis Produksi Padi Sawah.....	109
Gambar 5.22 Analisis Produksi Padi Ladang.....	111
Gambar 5.23 Analisis Total Produksi Padi .....	113

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya 1 .....	7
Tabel 2.2 Penelitian Sebelumnya 2 .....	8
Tabel 2.3 Penelitian Sebelumnya 3 .....	9
Tabel 2.4 Kriteria Tumbuh Padi.....	14
Tabel 2.5 Variabel dalam Sistem Dinamik .....	17
Tabel 3.1 Rangkuman Metodologi.....	26
Tabel 4.1 Produktivitas Padi Sawah.....	30
Tabel 4.2 Produktivitas Padi Ladang .....	30
Tabel 4.3 Curah Hujan Tahunan Provinsi Jawa Timur .....	31
Tabel 4.4 Suhu Rata-rata Provinsi Jawa Timur.....	32
Tabel 4.5 Data Kejadian Iklim .....	33
Tabel 4.6 Luas Panen dan Produksi Padi Sawah.....	34
Tabel 4.7 Luas Panen dan Produksi Padi Ladang .....	35
Tabel 4.8 Total Produksi Padi .....	36
Tabel 4.9 Formulasi - Sub Model Produktivitas Padi Sawah.....	43
Tabel 4.10 Formulasi - Sub Model Produktivitas Padi Ladang .....	50
Tabel 4.11 Formulasi - Sub model Dampak Iklim Terhadap Produktivitas .....	56
Tabel 4.12 Formulasi - Sub Model Ketersediaan Irigasi.....	59
Tabel 4.13 Formulasi - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah .....	61
Tabel 4.14 Formulasi - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang .....	64
Tabel 4.15 Formulasi - Sub Model Produksi Padi .....	67
Tabel 4.16 Data Asli dan Data Simulasi Produktivitas Padi Sawah .....	71
Tabel 4.17 Data Asli dan Data Simulasi Produktivitas Padi Ladang.....	73
Tabel 4.18 Data Asli dan Data Simulasi Luas Lahan Padi Sawah .....	75

Tabel 4.19 Data Asli dan Data Simulasi Luas Panen Padi Sawah .....	76
Tabel 4.20 Data Asli dan Data Simulasi Luas Lahan Ladang	79
Tabel 4.21 Data Asli dan Data Simulasi Luas Panen Ladang	80
Tabel 4.22 Data Asli dan Data Simulasi Produksi Padi Sawah .....	83
Tabel 4.23 Data Asli dan Data Simulasi Produksi Padi Ladang .....	85
Tabel 4.24 Data Asli dan Data Simulasi Total Produksi Padi	86
Tabel 5.1 Skenario Kejadian Iklim.....	90
Tabel 5.2 Formulasi Skenario Struktur 1.....	96
Tabel 5.3 Nilai Parameter Skenario Most-likely .....	101
Tabel 5.4 Nilai Parameter Skenario Pesimistic .....	105
Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Skenario Produksi Padi Sawah .....	110
Tabel 5.6 Rata-rata Hasil Skenario Produksi Padi Sawah....	110
Tabel 5.7 Perbandingan Hasil Skenario Produksi Padi Ladang .....	111
Tabel 5.8 Rata-rata Hasil Skenario Produksi Padi Ladang...	112
Tabel 5.9 Perbandingan Hasil Skenario Total Produksi Padi .....	113
Tabel 5.10 Rata-rata Hasil Skenario Total Produksi Padi ....	114
Tabel 8.1 Produktivitas Padi Sawah <i>Basemodel</i> .....	123
Tabel 8.2 Kebutuhan Air Irigasi <i>Basemodel</i> .....	123
Tabel 8.3 Produktivitas Padi Ladang <i>Basemodel</i> .....	124
Tabel 8.4 Luas Lahan Sawah <i>Basemodel</i> .....	125
Tabel 8.5 Luas Lahan Ladang <i>Basemodel</i> .....	125
Tabel 8.6 Luas Panen Sawah <i>Basemodel</i> .....	126
Tabel 8.7 Luas Panen Ladang <i>Basemodel</i> .....	127
Tabel 8.8 Produksi Padi Sawah <i>Basemodel</i> .....	127
Tabel 8.9 Produksi Padi Ladang <i>Basemodel</i> .....	128
Tabel 8.10 Total Produksi Padi <i>Basemodel</i> .....	129

Tabel 8.11 Hasil Skenario Produktivitas Padi Sawah .....	130
Tabel 8.12 Hasil Skenario Kebutuhan Air Irigasi .....	131
Tabel 8.13 Hasil Skenario Produktivitas Padi Ladang.....	132
Tabel 8.14 Hasil Skenario Luas Panen Padi Sawah.....	133
Tabel 8.15 Hasil Skenario Luas Panen Padi Ladang.....	135
Tabel 8.16 Hasil Skenario Produksi Padi Sawah .....	136
Tabel 8.17 Hasil Skenario Produksi Padi Ladang.....	137
Tabel 8.18 Hasil Skenario Total Produksi Padi .....	138

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Dalam bab pendahuluan ini akan menjelaskan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan tugas akhir, dan manfaat dari kegiatan tugas akhir. Berdasarkan uraian pada bab ini diharapkan mampu memberi gambaran umum permasalahan dan pemecahan masalah pada tugas akhir.

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara agraris, dimana sebagian besar penduduk Indonesia berprofesi sebagai petani. Pada sensus pertanian tahun 2013 disebutkan bahwa total penduduk Indonesia yang bekerja pada sektor pertanian mencapai 31 juta orang[1]. Penduduk Indonesia sendiri diproyeksikan mencapai 271 juta jiwa pada tahun 2020 dan 305 juta jiwa pada tahun 2035. Kemudian untuk Provinsi Jawa Timur sendiri, pada tahun 2013 jumlah luas lahan pertanian mencapai 2 juta hektar dan produksi padi pada tahun tersebut mencapai 12 juta ton[2].

Sektor *agriculture* atau pertanian penting untuk mengetahui nilai tersebut mengingat sektor pertanian merupakan salah satu mata pencaharian yang banyak digeluti oleh penduduk Indonesia dan sektor pertanian bertanggung jawab dalam memenuhi kebutuhan pangan penduduk. Salah satu produk pertanian yang cukup penting di Indonesia adalah padi atau beras, mengingat beras adalah bahan makanan pokok utama masyarakat Indonesia dan cenderung tunggal untuk banyak daerah di Indonesia. Produksi beras seharusnya dapat mengimbangi kebutuhan akan beras itu sendiri, atau sering disebut dengan istilah swasembada beras.

Banyak faktor yang dapat menghambat swasembada beras. Salah satu faktor yang belakangan ini sangat banyak dibahas adalah terkait perubahan iklim. Perubahan iklim erat hubungannya dengan perubahan cuaca yang tidak menentu. Perubahan iklim pada umumnya akan berdampak pada degradasi atau penurunan fungsi dari sumber daya pertanian

seperti lahan, air, dan infrastruktur pertanian[3]. Secara garis besar penurunan fungsi sumber daya pertanian tersebut disebabkan 2 faktor utama terkait iklim yaitu banjir dan kekeringan. Kekeringan sering terjadi pada tahun terjadinya El Nino dan banjir sering terjadi pada tahun La Nina. Terutama untuk El Nino dimana tingkat anomalnya yang semakin besar diikuti dengan durasi terjadinya semakin panjang dan siklus antar El Nino yang semakin pendek dapat berpengaruh besar terhadap sektor pertanian[4]. Tidak terlepas juga fenomena La Nina terutama untuk kategori kuat juga sangat berdampak pada produktivitas dan juga produksi pertanian. Seperti contohnya adalah pada tahun 2015 seluas 20.978 hektar lahan pertanian pada Provinsi Jawa Timur terkena kekeringan sehingga akan berdampak pada produktivitas dan produksi, dan juga pemenuhan kebutuhan untuk masyarakat Jawa Timur[5]. Tidak hanya kekeringan yang menjadi momok untuk sektor pertanian, namun juga banjir menjadi permasalahan lainnya, seperti halnya seluas 1.319 hektar lahan sawah di Jawa Timur yang gagal panen diakibatkan terdampak bencana banjir[6].

Dengan adanya fenomena perubahan iklim tersebut dapat setidaknya memengaruhi kualitas hasil pertanian, menurunkan tingkat produktivitas atau bahkan dapat menyebabkan gagal panen[7]. Apabila salah satu atau lebih hal tersebut terjadi, akan berdampak pada ketahanan pangan di Indonesia khususnya dan juga dapat berpengaruh pada sektor lainnya seperti sektor perekonomian. Maka dari itu diperlukan adaptasi dalam sektor pertanian terhadap fenomena perubahan iklim tersebut. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah *Climate Smart Agriculture* (CSA).

*Climate Smart Agriculture* (CSA) adalah pendekatan dalam sektor pertanian untuk mengembangkan terkait teknis, kebijakan dan investasi dalam membangun sektor pertanian yang berkelanjutan untuk mencapai ketahanan pangan dan adaptasi dalam perubahan iklim[8]. Tiga poin utama yang ditawarkan oleh pendekatan berbasis *Climate Smart Agriculture* ini adalah (1) meningkatkan produktivitas dan

pendapatan pertanian secara berkala, (2) adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim, (3) mengurangi emisi gas rumah kaca (*greenhouse gasses*). Dalam pendekatan CSA untuk adaptasi dan membangun ketahanan akan perubahan iklim, beberapa hal yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengaturan *input* (masukan) dalam sistem pertanian seperti bibit, pengairan atau irigasi, pemupukan, dan pengolahan tanah yang termasuk kedalam praktik *crop management*, *soil management*, dan *water management*. Dalam membantu penerapan pendekatan CSA pada sektor pertanian Indonesia di Provinsi Jawa Timur pada khususnya pada tanaman padi, diperlukan model yang dapat merepresentasikan hal tersebut. Model yang dibuat akan dapat menunjukkan hubungan antar variabel didalam sistem itu sendiri.

Pada tugas akhir ini akan dibuat sebuah model yang merepresentasikan pendekatan *Climate Smart Agriculture* (CSA) dalam sektor pertanian Indonesia pada khususnya tanaman padi yang menghasilkan beras sebagai bahan makanan pokok utama masyarakat Indonesia. Model yang akan dibuat akan fokus pada salah satu pilar dari CSA itu sendiri yaitu adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim. Harapannya dengan dilakukan penelitian ini akan menghasilkan sebuah model yang dapat menjadi acuan dalam penerapan pendekatan *Climate Smart Agriculture* (CSA) dalam membantu adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim dalam produksi padi di Indonesia khususnya Provinsi Jawa Timur dan harapan besarnya dapat meningkatkan produktivitas maupun produksi padi.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan diselesaikan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan pendekatan *Climate Smart Agriculture* dalam hal produksi padi pada Provinsi Jawa Timur?
2. Bagaimana cara untuk adaptasi dan membangun ketahanan akan perubahan iklim terhadap produksi padi pada provinsi Jawa Timur?

### **1.3. Batasan Masalah**

Sesuai dengan deskripsi permasalahan yang telah dijelaskan diatas, adapun batasan permasalahan dari penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Tugas akhir ini hanya membahas sebatas pembuatan model *Climate Smart Agriculture* untuk produksi padi pada provinsi Jawa Timur dengan metode sistem dinamik.
- b. Pilar utama dari *Climate Smart Agriculture* yang menjadi fokus pada tugas akhir ini adalah adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim.
- c. *Perubahan* iklim yang akan dibahas pada tugas akhir ini sebatas iklim yang ada di Indonesia yaitu panas (kemarau) dan hujan yang digambarkan melalui fenomena iklim El Nino dan La Nina.

### **1.4. Tujuan Tugas Akhir**

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui cara adaptasi dan membangun ketahanan akan perubahan iklim dalam produksi padi pada sistem pertanian Indonesia khususnya Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan pendekatan *Climate Smart Agriculture*.

### **1.5. Manfaat Tugas Akhir**

Adapun manfaat yang dapat diperoleh yang dibedakan menjadi dua belah sudut pandang sebagai berikut:

1. Bagi masyarakat umum khususnya yang berprofesi pada sektor pertanian, mengetahui cara adaptasi dan membangun ketahanan akan perubahan iklim dalam produktivitas padi

pada Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan pendekatan *Climate Smart Agriculture*.

2. Bagi penulis, mengetahui pendekatan *Climate Smart Agriculture* dan penerapannya pada sektor pertanian khususnya produktivitas padi pada Provinsi Jawa Timur.

### 1.6. Relevansi Tugas Akhir

Laboratorium Sistem Enterprise (SE) Jurusan Sistem Informasi ITS memiliki empat topik utama yaitu *customer relationship management* (CRM), *enterprise resource planning* (ERP), *supply chain management* (SCM) dan *business process management* (BPM) seperti yang terdapat pada Gambar 1. Dalam tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis mengambil *supply chain management* (SCM) sebagai topik utama. Mata kuliah yang berkaitan dengan SCM adalah Manajemen Rantai Pasok dan Hubungan Pelanggan (MRPHP) dan juga Simulasi Sistem (SS).



Gambar 1.1 Roadmap Penelitian Laboratorium Sistem Enterprise

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini akan memberikan penjelasan mengenai penelitian maupun studi literatur sebelumnya yang berkaitan dan dijadikan sebagai acuan selama pengerjaan tugas akhir, serta landasan teori yang berkaitan dengan tugas akhir yang dapat membantu pemahaman selama pengerjaan tugas akhir ini.

#### **2.1. Penelitian Sebelumnya**

Selama pengerjaan tugas akhir ini, terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang dapat dijadikan sebagai bahan kajian maupun referensi untuk studi literatur. Penelitian tersebut dikaji untuk dilihat dari gambaran umum, tujuan hasil, dan keterkaitannya dengan penelitian tugas akhir ini. Hasil dari kajian tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya 1**

Judul Tesis	Pengembangan Model Rantai Pasok Produksi Beras Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Dengan Menggunakan Framework Sistem Dinamik
Penulis	Isnaini Muhandhis
Gambaran umum penelitian	Penelitian ini membuat model sistem dinamik untuk model rantai pasok produksi beras. Didalamnya dibahas mulai dari segi produktivitas sampai dengan produksi dan juga mekanisme rantai pasok beras di Indonesia[9]. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa dampak dari faktor internal maupun eksternal dalam sistem rantai pasok beras. Dalam penelitian ini pula dilakukan skenario kedepan untuk simulasi

	sistem rantai pasok beras untuk masa yang akan datang.
Keterkaitan penelitian	Pada penelitian ini menggunakan metode yang sama dengan tugas akhir ini dan juga didalamnya terdapat referensi untuk model produksi padi.

**Tabel 2.2 Penelitian Sebelumnya 2**

Publikasi	<i>Agricultural System</i> , 2017
Judul Paper	<i>Farmers' prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies</i>
Penulis	Arun Khatri-Chhtri, P.K Aggarwal, P.K. Joshi, S. Vyas
Gambaran umum penelitian	Pada penelitian ini meneliti terkait faktor-faktor yang dapat memengaruhi petani untuk menerapkan teknologi <i>Climate Smart Agriculture</i> (CSA) dalam kegiatan sehari-hari mereka. Objek dan tempat penelitian merupakan petani pada 16 desa di daerah Rajasthan, India yang kemudian dibagi menjadi 4 zona hujan yang beragam mulai dari 200 mm sampai dengan 1000 mm per tahunnya. Pada penelitian ini menggunakan metode preferensi untuk analisa hasil pilihan para petani terkait teknologi CSA pada beberapa zona cerah hujan tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pilihan petani terkait teknologi CSA yang mereka pilih berdasarkan karakteristik sosio-

	<p>ekonomi mereka dan juga terkait zona curah hujan mereka. Beberapa teknologi yang dipilih oleh para petani adalah <i>crop insurance, weather-based crop agro-advisories, rainwater harvesting, site-specific integrated nutrient management, contingent crop planning and laser land levelling</i>. Selain dari keadaan sosio-ekonomi dan zona curah hujan, pilihan petani juga dipengaruhi biaya untuk implementasi teknologi CSA terkait[10].</p>
Keterkaitan penelitian	<p>Pada penelitian ini membahas beberapa teknologi <i>Climate Smart Agriculture (CSA)</i> yang menjadi pilihan petani di India, dimana apabila dilihat dari segi ekonomi dan iklim India dan juga Indonesia pada umumnya tidaklah jauh berbeda. Teknologi-teknologi tersebut dapat menjadi referensi untuk tugas akhir ini.</p>

**Tabel 2.3 Penelitian Sebelumnya 3**

Publikasi	<i>Agricultural System, 2017</i>
Judul Paper	<i>Prioritizing investments for climate-smart agriculture: Lessons learned from Mali</i>
Penulis	N. Andrieu, B. Sogoba, R. Zougmore, F. Howlanda, O. Samake, O. Bonilla-Findji, M. Lizarazo, A. Nowak, C. Dembele, C. Corner-Dolloff

Gambaran umum penelitian	<p>Penelitian ini membahas mengenai produktivitas dan pertumbuhan sektor pertanian di negara Mali. Dimana di negara tersebut cenderung lebih sering dilanda musim panas/kering dikarenakan hujan yang sangat jarang terjadi (anaerob). Penerapan <i>Climate Smart Agriculture</i> (CSA) dilakukan untuk memberikan inovasi untuk dapat meningkatkan produksi, meningkatkan ketahanan, dan juga mengedepankan pertanian dengan emisi yang rendah. Metode yang digunakan pemerintah Mali dalam menerapkan CSA adalah dengan membuat <i>framework</i> untuk prioritas CSA yang disebut dengan <i>Climate Smart Agriculture Prioritization Framework</i> (CSA-PF). Terdapat 4 fase didalam framework itu sendiri yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifikasi daerah dan system pertanian rawan dengan praktik CSA yang relevan</li> <li>2. <i>Workshop</i> 1, identifikasi praktik CSA yang terbaik</li> <li>3. <i>Cost-benefit Analysis</i> (CBA) untuk praktik CSA yang terbaik</li> <li>4. <i>Workshop</i> 2, pengembangan <i>portfolio</i> dan <i>action plan</i> [11]</li> </ol>
Keterkaitan penelitian	<p>Penelitian tersebut menyediakan framework dalam penerapan teknologi <i>Climate Smart</i></p>

	<p><i>Agriculture (CSA)</i> yang bisa saja menjadi <i>framework</i> yang dapat diterapkan juga pada studi kasus ini dan menjadi referensi untuk pembuatan model.</p>
--	--

## 2.2. Dasar Teori

Bagian ini akan membahas teori dan konsep yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini.

### 2.2.1 *Climate Change*

*Climate change* atau perubahan iklim adalah kondisi dimana terjadi perubahan pada cuaca pada suatu daerah ataupun kota, seperti contohnya adalah perubahan tingkat curah hujan dan suhu rata-rata suatu daerah atau kota[12]. Namun pada kenyataannya perubahan iklim tersebut tidak terpaku pada satu daerah atau kota tertentu, melainkan iklim bumi pada umumnya. Menurut NASA, suhu rata-rata bumi telah naik sejumlah 1 derajat Fahrenheit selama rentang 100 tahun kebelakang[12], kejadian ini lebih dikenal dengan istilah *Global Warming*. *Climate change* dan *global warming* sendiri bisa dikatakan dua hal yang berbeda namun saling berkaitan. *Global warming* lebih menunjukkan naiknya suhu rata-rata permukaan bumi selama rentang beberapa waktu. Sementara untuk *climate change* cakupannya lebih luas, dimana juga mencakup pergeseran musim dan juga turunnya suhu rata-rata bumi pada suatu daerah atau kota. Jadi, dapat dikatakan bahwa *global warming* berperan dalam terjadinya *climate change* atau perubahan iklim di bumi. Salah satu peristiwa yang juga terkait dalam perubahan iklim adalah semakin meningkatnya kejadian iklim ekstrim seperti El Nino dan La Nina.

El Nino dapat didefinisikan sebagai peristiwa dimana terjadinya kenaikan suhu permukaan laut pada samudra pasifik. Selain kenaikan suhu permukaan laut, kejadian El Nino juga penurunan curah hujan yang cukup signifikan pada daerah Asia Tenggara dan juga Australia. Sebaliknya, La Nina ditandai

dengan menghangatnya suhu permukaan laut pada daerah barat Samudra pasifik dan mengakibatkan penignkatan curah hujan pada daerah Asia Tenggara dan Australia. Kejadian El Nino dan La Nina juga dapat berpotensi menggeser waktu curah hujan yang ada dan juga perubahan suhu rata-rata. Secara ilmu meteorologis kejadian El Nino dan La Nina dapat ditunjukkan melalui nilai Southern Oscillation Index (SOI).

Dalam kasus sektor pertanian, *perubahan* iklim akan sangat berdampak khususnya kejadian El Nino dan La Nina. Dampak dari kejadian tersebut untuk sektor pertanian sendiri dapat mengakibatkan penurunan nilai produksi yang diakibatkan dari penuruuan luas panen dan juga produktivitas.

### 2.2.2 *Climate Smart Agriculture*

*Climate Smart Agriculture* (CSA) pertama kali diperkenalkan oleh salah satu badan PBB yaitu FAO (*Food and Agriculture Organization*)[8]. Dipresentasikan pada *Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change* pada tahun 2010, yang mengungkapkan bahwa CSA berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan yang berkelanjutan. CSA mengintegrasikan 3 dimensi dalam pengembangan berkelanjutan yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Tujuan dari integrasi tersebut adalah untuk menghadapi tantangan dalam ketahanan pangan dan iklim.

Pendekatan CSA berfokus pada pengembangan dari sisi teknis, kebijakan, dan investasi untuk mencapai pengembangan sektor pertanian yang berkelanjutan dalam tantangan perubahan iklim. Tiga poin atau pilar yang ditawarkan oleh pendekatan CSA adalah

1. Peningkatan produkstivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan.
2. Adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim.
3. Mengurangi emisi rumah kaca (*greenhouse gasses*) dalam produksi pertanian.

Pada akhirnya nilai yang paling diutamakan dalam penerapan CSA ini adalah nilai berkelanjutan (*sustainability*).

Pada penerapannya, beberapa praktik terkait CSA diantaranya adalah dengan *Crop Management*, *Soil Management* dan *Water Management*. Dimana hal tersebut dapat dilakukan dengan pengaturan atau manajemen *input* (masukan) untuk sistem pertanian seperti bibit, pengairan, pemupukan, dan juga pengolahan tanah. Namun pada dasarnya tidak ada patokan yang pasti dalam praktik penerapannya.

### 2.2.3 Sistem Produksi Padi

Salah satu komoditas tanaman pangan yang paling utama di Indonesia adalah padi terlepas dari beberapa komoditas tanaman pangan lainnya. Hal ini dikarenakan padi merupakan penghasil beras yang menjadi bahan pangan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia. Selain itu, padi juga bahan pangan yang mudah untuk diubah menjadi energi dan didalamnya terdapat gizi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tubuh.

Salah satu hal yang mendukung produksi padi adalah produktivitas padi itu sendiri. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia produktivitas diartikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan sesuatu. Produktivitas erat kaitannya dengan proses produksi, dimana produktivitas digunakan untuk menunjukkan atau membandingkan hasil luaran (*output*) dengan masukan (*input*) dalam sebuah proses produksi[13]. Produktivitas merupakan ukuran yang digunakan untuk menunjukkan bagaimana pemanfaatan sumber daya dalam proses produksi yang dilakukan. Variabel yang terkait produktivitas juga sangat beragam. Dalam kasus pertanian sendiri variabel dalam produktivitas diantaranya adalah bibit, pupuk, organisme pengganggu tanaman, banjir, kekeringan, dan dari sisi teknologi yang digunakan.

$$\text{Produksi} = \text{Produktivitas} \times \text{Luas Panen}$$

Dalam produksinya padi juga memiliki kriteria untuk dapat tumbuh dengan baik (Tabel 2.4) pada suatu tempat, beberapa

kriterianya adalah curah hujan, suhu dan tingkat keasaman tanah[14].

**Tabel 2.4 Kriteria Tumbuh Padi**

Variabel	Nilai
Suhu	24°-29°
Curah Hujan (sawah)	1500 – 2000 mm/tahun
Curah Hujan (ladang)	>1600 mm/tahun
Keasaman Tanah	5.5 – 7.5

Kemudian beberapa variabel lain terkait sistem produksi padi adalah luas lahan dan luas panen. Dimana luas lahan merupakan jumlah lahan pertanian padi yang ada dan luas panen merupakan luas lahan yang dipanen pada setiap tahunnya. Luas panen tidak terlepas dari nilai indeks penanaman, dimana nilai luas panen merupakan hasil kali antara indeks penanaman dengan luas lahan. Kemudian untuk menentukan nilai produksi sendiri merupakan hasil perhitungan antara nilai luas panen dengan produktivitas.

$$\text{Luas Panen} = \text{Luas Lahan} \times \text{Indeks Penanaman}$$

#### 2.2.4 Resilience

*Resilience* atau bisa disebut ketahanan dapat diartikan sebagai kemampuan dari sebuah sistem untuk mengantisipasi, menyerap, mengakomodasi, atau pulih dari sebuah insiden yang berbahaya secara tepat waktu dan efisien[15]. Termasuk *didalamnya* juga memastikan adanya kelestarian, restorasi, ataupun peningkatan dari sisi struktur dan fungsional yang mendasar. Ketahanan sangat berhubungan dengan adanya kerentanan dalam sistem. Dalam membangun ketahanan sistem bisa dilakukan dengan mengurangi kerentanan yang ada dalam sistem itu sendiri[16]. Dalam perjalanannya dalam membangun ketahanan dalam sebuah sistem diperlukan juga adanya *adaptive capacity*. *Adaptive capacity* adalah kapasitas yang dimiliki oleh sistem untuk beradaptasi dalam rangka untuk menjadi sistem yang lebih kuat dalam menghadapi kerentanan

secara dinamis. Pada akhirnya tujuan akhir yang ingin dicapai adalah adanya sebuah strategi untuk membangun ketahanan dalam kasus ini adalah membangun ketahanan akan perubahan iklim.

### 2.2.5 Model Simulasi

Model adalah sebuah representasi dari sebuah sistem nyata. Model dapat dikatakan baik apabila model tersebut memiliki variabel dan juga perilaku (*behaviour*) yang sesuai dengan sistem nyata yang direpresentasikannya.

Model dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok. Diantaranya adalah *physical*, *symbolic*, *dynamic*, *static*, *deterministic*, *stochastic* dan lain sebagainya. Terkait dengan proses validasi model sendiri, model harus dibedakan antara model yang *causal-descriptive* (model berdasarkan teori) atau biasa juga disebut *white-box* dan juga *correlational* (model berdasarkan data) atau bisa disebut juga *black-box*.

Sebetulnya hal paling penting dari model agar dapat dikatakan valid adalah nilai *output* (keluaran) dari model sesuai dengan nilai nyata dengan tingkat akurasi tertentu. Tipe validasi seperti ini cocok untuk model yang dibuat untuk kepentingan *forecast* (peramalan) semata, seperti contohnya adalah model *time-series* dan regresi.

### 2.2.6 Simulasi

Simulasi adalah proses dimana model yang telah dibuat ditambahkan dengan model matematika yang mendukung model tersebut. Kemudian dilakukan simulasi model tersebut untuk mengetahui perilaku (*behaviour*) sistem tersebut pada suatu waktu tertentu.

Kelebihan dari simulasi sendiri diantaranya adalah[17]:

1. Merepresentasikan model yang tidak dapat hanya direpresentasikan dengan model matematis semata.
2. Dapat melakukan eksperimen atau percobaan pada model dan tidak berdampak pada sistem sesungguhnya.

### 3. Dapat digunakan untuk menilai kinerja suatu sistem.

Dari kelebihan-kelebihan tersebut, terdapat juga kelemahan yang dimiliki oleh simulasi yaitu kualitas keluaran dari model simulasi tergantung pada pembuat model tersebut. Apabila model direpresentasikan mendekati sistem aslinya maka keluaran akan semakin baik dan sesuai dengan sistem nyata.

#### 2.2.7 Sistem Dinamik

Menurut pengertian *System Dynamic Society*, sistem dinamik adalah sebuah pendekatan untuk menganalisis dan mendesain kebijakan yang dibantu teknologi komputer. Masalah dinamik yang berhubungan dengan sistem dinamik diantaranya adalah sosial, manajerial, ekonomi sampai dengan sistem ekologi. Pendekatan sistem dinamik diawali dengan melakukan pendefinisian masalah melalui metode *mapping* dan juga *modelling*. Hal itu dilakukan untuk menganalisis maupun membuat kebijakan baru yang terbaik.

Dalam sebuah organisasi ataupun perusahaan kegiatan peramalan permintaan, *profit*, dan juga beberapa subjek lainnya sangat diperlukan untuk menjalankan organisasi atau perusahaan untuk kedepannya[18]. Dengan menggunakan metode pendekatan sistem dinamik, kegiatan peramalan tersebut akan lebih baik dan juga lebih informatif daripada hanya melakukan peramalan dengan menggunakan hitungan statistik belaka. Dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik pula dapat melakukan peramalan untuk jangka pendek sampai dengan menengah untuk kedepannya. Dalam penggunaannya juga sistem dinamik menggunakan berbagai macam skenario yang dapat memengaruhi jalannya organisasi ataupun perusahaannya untuk tahun-tahun berikutnya. Dimana hasil dari pengoperasian skenario tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk menetapkan keputusan dan kebijakan organisasi atau perusahaan. Dengan banyaknya kelebihan yang dimiliki oleh pendekatan melalui sistem dinamik ini diharapkan keputusan ataupun kebijakan yang dikeluarkan merupakan yang terbaik.

Terdapat lima langkah dalam pembuatan model sistem dinamik[19], lima langkah tersebut adalah

1. *Problem Articulation*, langkah ini dilakukan pendefinisian masalah yang akan diselesaikan menggunakan model sistem dinamik beserta pendefinisian variabel-variabel yang terkait didalamnya.
2. *Dynamic Hypothesis*, pada langkah ini dibuat diagram kausatik/*Causatic Loop Diagram* yang digunakan untuk menggambarkan gubungan kasualitas antar variabel didalam sistem. Setelah pembuatan diagram kausatik dilanjutkan dengan mengubah diagram tersebut menjadi diagram simulasi atau bisa disebut *Flow Diagram*. Dengan melakukan simulasi akan diambil hipotesa dinamik dengan melihat struktur hubungan antar variabel.
3. *Formulation*, pada tahap ini dilakukan konversi elemen dan variabel didalam sistem menjadi persamaan, *level rate*, dan *auxiliary*. Pada tahap ini pula ditentukan estimasi dari nilai awal dan nilai parameter.
4. *Testing*, langkah ini penting dilakukan untuk melakukan perbandingan antara nilai luaran yang dihasilkan simulasi dari model dibandingkan dengan nilai luaran dari sistem nyata. Sebelum dapat melakukan langkah ini harus dilakukan verifikasi dan validasi terhadap model.
5. *Policy Formulation and Evaluation*, model yang telah dibuat dapat dijadikan acuan untuk membuat ataupun melakukan evaluasi dari kebijakan yang sudah ada terkait system yang dimodelkan.

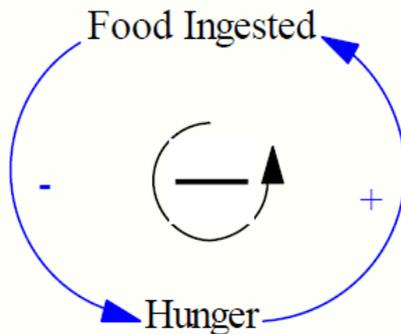
**Tabel 2.5 Variabel dalam Sistem Dinamik**

Variabel	Simbol	Keterangan
Level		representasi untuk total akumulasi kuantitas sepanjang waktu, nilainya berubah seiring dengan perubahan nilai <i>rate</i>

Variabel	Simbol	Keterangan
Rate		nilai yang dapat mengubah nilai <i>level</i>
Auxiliary		variabel bantu yang dapat memengaruhi nilai dari <i>rate</i>

### 2.2.8 Diagram Kausatik

Diagram Kausatik atau bisa disebut dengan *Causatic Loop Diagram* (CLD) atau ada juga yang menyembunya *Casual Loop Diagram* adalah diagram yang digunakan untuk memecahkan masalah melalui pendekatan sistem dinamik yang penuh kompleksitas[20]. Diagram Kausatik menekankan pada hubungan antar variabel dan elemen didalam system yang dimodelkan, hubungan yang dimaksud disini adalah hubungan sebab akibat. Pada Diagram Kausatik, hubungan antar variabel didalam sistem digambarkan dengan tanda panah dengan ujung *plus* (+) atau *minus* (-).



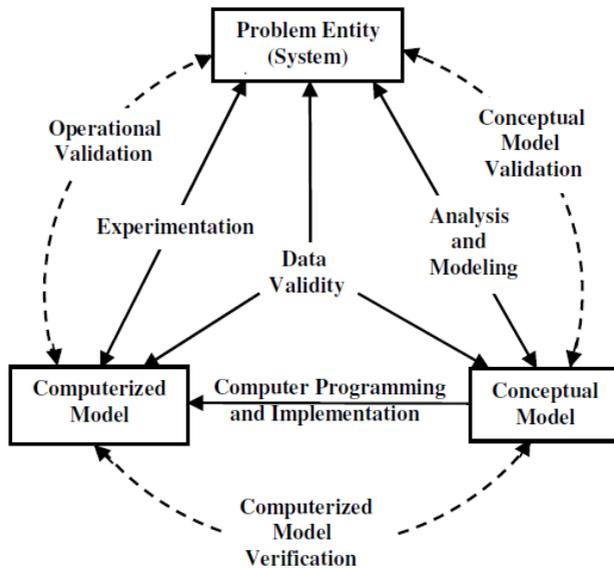
**Gambar 2.1** Contoh Diagram Kausatik [21]

Contoh Diagram Kausatik dapat dilihat pada Gambar 2.1 diatas. Terdapat dua variabel atau elemen, yaitu *Food Ingested* (konsumsi makanan) dan *Hunger* (lapar). Dapat dilihat bahwa

lapar akan meningkatkan konsumsi makanan dan sebaliknya dengan konsumsi makanan akan menurunkan tingkat lapar.

### 2.2.9 Verifikasi dan Validasi

Verifikasi adalah proses untuk memastikan bagaimana cara yang digunakan dalam melakukan ataupun membuat sesuatu dalam kasus ini adalah sebuah model sudah benar. Sementara validasi adalah proses untuk memastikan model yang dibuat sudah sesuai dan benar[22], [23]. Verifikasi dan validasi adalah sebuah proses yang berkelanjutan. Proses verifikasi dan validasi selayaknya harus dilakukan pada setiap tahapan pembuatan model. Untuk mempermudah pemahaman dalam verifikasi dan validasi dapat melihat Gambar 2.2 dibawah.



**Gambar 2.2 Diagram Verifikasi dan Validasi Model[24]**

Untuk penjelasan beberapa poin dari gambar diatas adalah sebagai berikut

- *Conceptual Model Validation*, merupakan validasi untuk menentukan bahwa teori dan asumsi yang dipergunakan

sebagai dasar model adalah benar dan bahwa representasi model dari entitas masalah masih sesuai dengan tujuan pembuatan model.

- *Computerized Model Verification*, merupakan verifikasi untuk mengecek apakah model yang telah dibuat dalam bentuk *computerized* yaitu model telah dibuat dengan bantuan tools pada computer telah benar.
- *Operational Validation*, untuk menentukan bahwa *output* (luaran) yang dihasilkan model memiliki tingkat akurasi yang cukup untuk tujuan pembuatan model.
- *Data Validity*, adalah memastikan bahwa data yang digunakan dalam pembuatan model, evaluasi model, pengujian model, dan melakukan eksperimen pada model telah memadai dan benar.

#### 2.2.10 Skenario

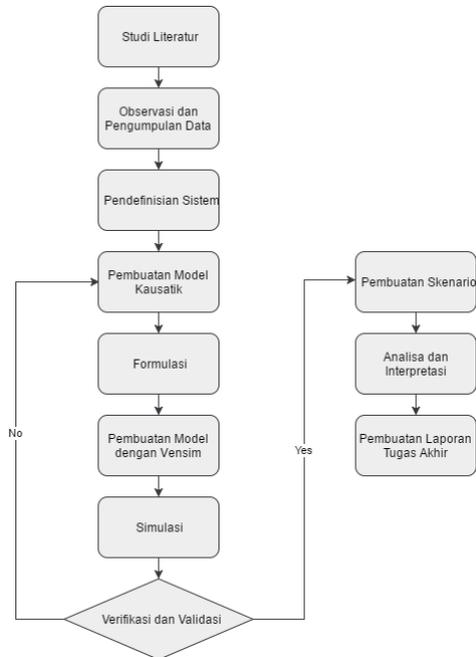
Skenario pada sistem dinamik merupakan langkah dalam membuat sekumpulan cerita tentang masa yang akan datang[25]. Cerita atau skenario yang dibuat disini harus tetap sesuai dengan sistem yang dibuat modelnya dengan menggunakan sistem dinamik. Setiap skenario yang dibuat harusnya berbeda satu dengan yang lainnya, berbeda pula luaran yang dihasilkan dimasa yang akan datang.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Metodologi ini diperlukan sebagai panduan secara sistematis dalam pengerjaan tugas akhir.

### 3.1. Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir

Pada sub bab ini akan menjelaskan mengenai metodologi dalam pengerjaan tugas akhir. Metodologi dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah.



**Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir[17]**

### 3.2. Uraian Metodologi

Berdasarkan metodologi penelitian di atas, penjelasan setiap tahap akan dijelaskan sebagai berikut.

### 3.2.1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur sesuai dengan kasus yang menjadi topik pembahasan pada tugas akhir ini yaitu pembuatan model *climate smart agriculture* untuk adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim dalam produksi padi (studi kasus: Jawa Timur). Studi literatur sendiri berisi penelitian sebelumnya dan juga dasar teori yang terkait dengan topik pembahasan. Literatur yang digunakan pada tugas akhir ini berasal dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, paper, maupun *website*. Literatur yang digunakan sendiri dengan tema seputar sistem dinamik, sistem produksi pertanian dan *climate smart agriculture*.

### 3.2.2. Observasi dan Pengumpulan Data

Tahap ini melakukan observasi dan pengumpulan data terkait studi kasus yaitu pembuatan model *climate smart agriculture* untuk adaptasi dan membangun ketahanan terhadap perubahan iklim dalam produksi padi (studi kasus: Jawa Timur). Beberapa data yang diperlukan diantaranya adalah data produksi, produktivitas padi Provinsi Jawa Timur, data terkait cuaca Provinsi Jawa Timur dan juga data terkait *Climate Smart Agriculture*. Selain dengan menugmpulkan data-data tersebut dilakukan pula observasi untuk mengetahui proses dari produksi padi dan juga faktor-faktor dan variabel yang memengaruhi didalamnya. Observasi dan pengumpulan data dilakukan dengan melakukan diskusi dan konsultasi dengan pihak Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur.

### 3.2.3. Pendefinisian Sistem

Setelah mendapatkan data-data yang cukup dari proses sebelumnya, hal selanjutnya yang dilakukan adalah mendefinisikan sistem yang ada. Sistem didefinisikan berdasarkan hasil observasi dan digabungkan dengan data-data yang telah diperoleh. Sistem yang didefinisikan pada tahap ini adalah kondisi as is (kondisi saat ini) dari sistem. Definisi sitem dapat dibuat berupa *business model* ataupun sejenisnya.

Berdasarkan hasil diskusi dan konsultasi dengan Bapak Ir. R. Bagus Adhirasa dari Bidang Tanaman Pangan Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur, ditentukan beberapa variabel terkait sistem produktivitas dan produksi padi adalah bibit, pupuk, ketersediaan air, organisme pengganggu tanaman (hama dan penyakit), dampak iklim, teknik penanaman, luas lahan, luas panen dan juga produksi itu sendiri. Kemudian untuk keterkaitan produksi dengan iklim adalah dengan adanya fenomena La Nina dan El Nino yang berdampak pada tingkat curah hujan dan juga deviasi nilai produksi.

Kemudian untuk keterkaitan dengan pendekatan Climate Smart Agriculture, beberapa praktik[26] yang digunakan dan justifikasinya menurut pihak Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur adalah sebagai berikut

- *Water Management*  
Pada *water management* dalam prakteknya di lapangan dilakukan dengan pengaturan ketersediaan air dengan irigasi, air tanah, daerah aliran sungai (DAS) dan dari curah hujan yang ada. Water management yang dilakukan akan berpengaruh pada pola tanam selama satu tahun.
- *Soil Management*  
*Soil management* atau manajemen tanah yang dilakukan adalah dengan pengaturan dosis pupuk. Dimana penggunaan disesuaikan dengan keadaan tanah dan kebutuhan tanaman.
- *Crop Management*  
*Crop management* atau manajemen tanamannya sendiri, hal yang dilakukan di lapangan adalah dengan pemilihan dan penggunaan varietas bibit unggul yang sesuai dengan kondisi tanam yang ada.
- *Energy Management*  
Untuk *energy management* sendiri belum ada praktek yang diterapkan dalam sistem produksi padi saat ini.
- *Livestock Management*  
*Livestock management* adalah manajemen terkait ternak, hal ini tidak dilakukan karena tidak berhubungan dengan studi kasus.

- *Forestry and Agroforestry*  
*Forestry* dan *agroforestry* adalah praktek dengan memadukan tanaman semusim, tanaman buah, dan juga ternak. Praktek ini tidak diterapkan dikarenakan fokus pada penelitian ini adalah pada tanaman padi.
- *Fisheries and Aquaculture*  
*Fisheries* dan *aquaculture* adalah terkait dengan perikanan. Praktek ini juga tidak diterapkan karena adanya perbedaan objek dengan penelitian ini.

Namun pada perkembangan kedepannya tidak terlepas kemungkinan adanya perubahan dari segi variabel maupun praktik CSA yang dapat diterapkan.

#### 3.2.4. Pembuatan Model Kausatik

Langkah selanjutnya adalah pembuatan model kausatik (*Causatic Loop Diagram*). *Causatic Loop Diagram* merupakan diagram yang menjelaskan hubungan kasualitas antar variabel di dalam sistem[19]. *Causatic Loop Diagram* sendiri nantinya akan diubah menjadi *Flow Diagram* (diagram arus) untuk melakukan simulasi pada tahap selanjutnya. Pembuatan awal model pada studi kasus ini melihat pada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dalam membuat model terkait pertanian pada produksi padi[27][28][29] dan juga melakukan diskusi dan konsultasi dengan pihak terkait yaitu Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur. Variabel yang diterapkan dalam model kausatik yang akan dibuat didapatkan dari hasil diskusi dan konsultasi dengan pihak Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur. Model dapat dikatakan selesai apabila sudah merepresentasikan tujuan dari penelitian ini yaitu pembuatan model *Climate Smart Agriculture* dalam produksi padi pada Provinsi Jawa Timur.

#### 3.2.5. Formulasi

Untuk dapat dilakukan simulasi, elemen-elemen dari model kausatik perlu dikonversi menjadi persamaan dalam simulasi sistem. Tiga tipe variabel persamaannya adalah *Level*, *Rate*, dan

*Auxiliary. Level* merupakan representasi untuk total akumulasi kuantitas sepanjang waktu, nilainya berubah seiring dengan perubahan nilai *rate*. *Rate* merupakan nilai yang dapat mengubah nilai *level*. Sedangkan *auxiliary* merupakan variabel bantu yang dapat memengaruhi nilai dari *rate*.

### 3.2.6. Membuat Model dengan Vensim

Salah satu tool yang digunakan pada tugas akhir ini adalah vensim. Vensim adalah sebuah *tool* untuk pembuatan model, simulasi, optimasi serta analisis model. Vensim digunakan untuk membantu proses simulasi, namun sebelumnya model kausatik yang telah dibuat formulasinya perlu dibuat modelnya dengan menggunakan vensim.

### 3.2.7. Simulasi

Setelah pembuatan model dengan vensim selesai. Proses selanjutnya yang akan dilakukan adalah melakukan simulasi dari model yang telah dibuat tersebut. Simulasi dilakukan untuk melihat jalannya proses dari model yang ada pada saat ini (kondisi *as is*).

### 3.2.8. Verifikasi dan Validasi

Salah satu tujuan dilakukan simulasi adalah untuk melakukan verifikasi dan validasi dari model yang telah dibuat. Apakah model sudah sesuai dengan kondisi nyata atau belum. Apabila belum maka dilakukan kembali pemodelan pada proses sebelumnya, apabila model dirasa sudah valid maka dapat dilanjutkan menuju proses selanjutnya. Proses validasi dilakukan dengan menghitung *Means Comparison* (E1) dan *Amplitude Variance Comparison* (E2)

### 3.2.9. Pembuatan Skenario

Setelah model dinyatakan valid, maka dapat melakukan proses selanjutnya. Pembuatan skenario merupakan pengembangan dari proses simulasi, dimana dilakukan perubahan nilai pada variabel tertentu untuk mengetahui dampaknya pada nilai *output* simulasi. Selain dengan melakukan perubahan pada nilai

variabel, dilakukan juga dengan mengubah rentang waktu simulasi menjadi beberapa tahun kedepan. Hal ini dilakukan untuk mencari alternatif simulasi yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan.

### 3.2.10. Analisis dan Interpretasi

Hasil dari simulasi skenario yang telah dibuat kemudian dilakukan analisa dan interpretasi. Analisa sendiri dilakukan dengan melihat hasil dari output simulasi. Dilakukan identifikasi variabel yang berpengaruh signifikan terhadap produktivitas dan produksi padi pada provinsi Jawa Timur. Harapannya hasil dari analisa ini akan menjadi bantuan dalam membuat kebijakan baru terkait sistem pertanian yang lebih baik.

### 3.2.11. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Tahap terakhir adalah penyusunan laporan tugas akhir yang menjelaskan pengerjaan semua proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Dimana didalamnya juga terdapat kesimpulan dari penelitian.

## 3.3. Rangkuman Metodologi

Pada rangkuman metodologi ini menjelaskan metodologi yang dilakukan dalam tugas akhir ini, diawali dari rangkaian aktivitas, tujuan, *input*, *output* dan juga metode yang digunakan. (Tabel 3.1)

**Tabel 3.1 Rangkuman Metodologi**

<b>Aktivitas</b>	<b>Tujuan</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Metode</b>
Studi literatur	Mencari dan memahami literatur terkait topik tugas akhir	Literatur terkait topik tugas akhir	Dasar teori terkait tugas akhir	Studi Literatur
Observasi dan Pengumpulan Data	Menggal konsep terkait sistem yang akan dimodelkan	Pertanyaan-pertanyaan seputar sistem yang	Gambaran umum sistem dan data terkait sistem	Observasi, Studi literatur

<b>Aktivitas</b>	<b>Tujuan</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Metode</b>
	dan pengumpulan data terkait	akan dimodelkan		
Pendefinisian Sistem	Definisi secara detail sistem yang akan dimodelkan	Konsep dan gambaran umum sistem	Gambaran detail sistem	Wawancara, Diskusi dan studi literatur
Pembuatan Model Kausatik	Membuat model diagram kausatik sistem	Variabel-variabel terkait didalam sistem	Diagram Kausatik	<i>System Modeling</i>
Formulasi	Penyusunan persamaan yang akan digunakan didalam model yang akan dibuat	Gambaran detail sistem	Persamaan matematis terkait variabel didalam sistem	Wawancara, Diskusi dan studi literatur
Membuat Model dengan Vensim	Membuat model komputer dengan bantuan <i>tool</i> Vensim	Gambaran detail sistem, formulasi variabel	Diagram Arus ( <i>Stock Flow Diagram</i> )	<i>System Modeling</i>
Simulasi	Melakukan simulasi terhadap model komputer yang telah dibuat	Diagram Arus ( <i>Stock Flow Diagram</i> )	Hasil simulasi	Simulasi
Verifikasi dan Validasi	Melakukan verifikasi dan validasi model yang telah dibuat	Hasil simulasi	Hasil Verifikasi dan Validasi (Nilai E1 dan E2)	Verifikasi, <i>Means Comparison, Amplitude Variance Comparison</i>
Pembuatan Skenario	Mendefinisikan skenario yang akan coba	Rancangan skenario	Hasil simulasi skenario	Simulasi

<b>Aktivitas</b>	<b>Tujuan</b>	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Metode</b>
	diterapkan ke dalam sistem			
Analisis dan Interpretasi	Melakukan analisis terhadap hasil skenario yang telah coba dilakukan	Hasil simulasi skenario	Analisa perbandingan hasil skenario	Analisis data
Pembuatan Laporan Tugas Akhir	Membuat buku tugas akhir yang menjelaskan penelitian yang telah dilakukan	Hasil penelitian tugas akhir yang meliputi hasil keseluruhan aktivitas yang telah dilakukan	Laporan tugas akhir	Penulisan ilmiah

## **BAB IV**

### **PERANCANGAN**

Bagian ini menjelaskan mengenai rancangan pengembangan model sistem yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Rancangan ini meliputi kebutuhan data, rancangan gambaran model sistem, serta hasil implementasi.

#### **4.1. Kebutuhan Data**

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan data-data terkait sistem produksi pertanian. Data diperoleh melalui observasi kepada Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur dan juga Badan Pusat Statistik dan juga pengambilan melalui *database online* beberapa instansi terkait. Beberapa data yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Data Produktivitas Padi Jawa Timur
2. Data Curah Hujan Jawa Timur
3. Data Suhu rata-rata Jawa Timur
4. Data kejadian El Nino dan La Nina
5. Data Luas Panen
6. Data Produksi Padi

Beberapa data yang dibutuhkan diatas menggunakan rentang waktu antara tahun 2000 sampai dengan data paling terbaru. Selain akan kebutuhan data, diperlukan juga pemahaman konsep akan sistem produktivitas padi yang ada. Guna memenuhi pemahaman akan konsep dari sistem produksi padi dilakukan diskusi dengan pihak Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Jawa Timur khususnya pada bidang tanaman pangan.

##### **4.1.1. Data Produktivitas Padi**

Untuk mengetahui nilai dari produktivitas padi pada provinsi jawa timur, nilai produktivitas disini terdapat dua jenis data yaitu produktivitas padi sawah dan produktivitas padi ladang. Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 yang menunjukkan angka produktivitas padi Provinsi Jawa Timur. Data tersebut

didapatkan dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Jawa Timur dan juga dari database online Kementerian Pertanian

**Tabel 4.1 Produktivitas Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b>Produktivitas (t/ha)</b>
2000	5.367
2001	5.167
2002	5.320
2003	5.357
2004	5.418
2005	5.430
2006	5.447
2007	5.530
2008	6.005
2009	6.019
2010	6.039
2011	5.549
2012	6.255
2013	6.001
2014	6.093
2015	6.215

**Tabel 4.2 Produktivitas Padi Ladang**

<b>Tahun</b>	<b>Produktivitas (t/ha)</b>
2000	3.199
2001	3.421
2002	3.433
2003	3.580

<b>Tahun</b>	<b>Produktivitas (t/ha)</b>
2004	3.529
2005	3.527
2006	3.522
2007	3.607
2008	4.290
2009	4.262
2010	4.254
2011	4.580
2012	5.093
2013	4.752
2014	4.421
2015	4.521

#### 4.1.2. Data Curah Hujan Provinsi Jawa Timur

Untuk mengetahui nilai dari curah hujan tahunan pada Provinsi Jawa Timur yang akan digunakan sebagai salah satu variabel pada model yang akan dibuat. Dapat dilihat pada Tabel 4.3 merupakan data curah hujan provinsi jawa timur yang didapatkan dari pusat database online BMKG.

**Tabel 4.3 Curah Hujan Tahunan Provinsi Jawa Timur**

<b>Tahun</b>	<b>Curah Hujan (mm)</b>
2000	2176.9
2001	2579.3
2002	1505.25
2003	2212.85
2004	2312.85
2005	2335.15

<b>Tahun</b>	<b>Curah Hujan (mm)</b>
2006	2416
2007	2063.2
2008	1593.05
2009	2018.7
2010	3328.45
2011	2436.3
2012	1340.1
2013	696
2014	2324.05
2015	2102.45
2016	3398.95

#### 4.1.3. Data Suhu Rata-rata Provinsi Jawa Timur

Untuk mengetahui suhu rata-rata tahunan pada Provinsi Jawa Timur yang akan digunakan sebagai salah satu variabel pada model yang akan dibuat. Dapat dilihat pada Tabel 4.4 merupakan data suhu rata-rata provinsi jawa timur yang didapatkan dari pusat database online BMKG.

**Tabel 4.4 Suhu Rata-rata Provinsi Jawa Timur**

<b>Tahun</b>	<b>Suhu Rata-rata (°C)</b>
2000	27.53
2001	27.33
2002	27.56
2003	27.66
2004	27.67
2005	27.8
2006	27.41

<b>Tahun</b>	<b>Suhu Rata-rata (°C)</b>
2007	27.75
2008	27.45
2009	27.88
2010	27.98
2011	27.26
2012	27.74
2013	27.92
2014	28.7
2015	28.01
2016	28.61

#### 4.1.4. Data Kejadian El Nino dan La Nina

Untuk mengetahui kejadian terkait El Nino dan La Nina yang telah terjadi. Kejadian El Nino dan La Nina akan sangat bergantung dengan nilai Southern Oscillation Index (SOI). Dapat dilihat pada Tabel 4.5 merupakan data SOI dan juga kejadian El Nino dan La Nina yang didapatkan dari Australian Government Bureau of Meteorology.

**Tabel 4.5 Data Kejadian Iklim**

<b>Tahun</b>	<b>SOI</b>	<b>Kejadian</b>
2000	7.8	La Nina
2001	0.5	Normal
2002	-6.1	El Nino
2003	-3.1	Normal
2004	-4.8	Normal
2005	-3.6	Normal
2006	-1.9	Normal

Tahun	SOI	Kejadian
2007	1.5	Normal
2008	10.2	La Nina
2009	-0.2	Normal
2010	9.8	La Nina
2011	13.4	La Nina
2012	-0.7	Normal
2013	3.98	Normal
2014	-3.03	Normal
2015	-11.23	El Nino
2016	-3.08	Normal

#### 4.1.5. Data Luas Panen dan Produksi Padi Provinsi Jawa Timur

Digunakan untuk mengetahui nilai dari luas panen dan juga nilai produksi untuk padi sawah dan juga padi ladang pada Provinsi Jawa Timur dan juga total produksi padi. Dapat dilihat pada Tabel 4.6, Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 merupakan data luas panen dan produksi padi yang didapatkan dari database online Kementerian Pertanian.

**Tabel 4.6 Luas Panen dan Produksi Padi Sawah**

Tahun	Luas Panen Padi Sawah (ha)	Produksi Padi Sawah (ton)
2000	1,666,360	8,943,392
2001	1,619,739	8,369,215
2002	1,597,767	8,499,460
2003	1,600,713	8,575,611
2004	1,595,392	8,643,407
2005	1,594,188	8,656,499

<b>Tahun</b>	<b>Luas Panen Padi Sawah (ha)</b>	<b>Produksi Padi Sawah (ton)</b>
2006	1,652,331	8,999,771
2007	1,632,669	9,029,176
2008	1,668,298	10,017,560
2009	1,787,354	10,758,398
2010	1,842,445	11,126,704
2011	1,807,393	10,029,728
2012	1,838,381	11,499,199
2013	1,897,816	11,387,903
2014	1,034,293	11,785,464
2015	2,021,766	12,565,824
2016	2,112,563	12,903,595

**Tabel 4.7 Luas Panen dan Produksi Padi Ladang**

<b>Tahun</b>	<b>Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>	<b>Produksi Padi Ladang (ton)</b>
2000	87,818	280,961
2001	88,739	303,576
2002	88,664	304,418
2003	94,801	339,384
2004	101,632	358,618
2005	99,463	350,766
2006	98,572	347,176
2007	103,379	372,853
2008	106,586	457,213
2009	117,476	500,687
2010	121,538	517,069

<b>Tahun</b>	<b>Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>	<b>Produksi Padi Ladang (ton)</b>
2011	119,403	546,815
2012	137,338	699,508
2013	139,205	661,439
2014	138,337	611,585
2015	130,304	589,143
2016	149,997	730,106

**Tabel 4.8 Total Produksi Padi**

<b>Tahun</b>	<b>Total Produksi Padi (ton)</b>
2000	9,224,353
2001	8,672,791
2002	8,803,878
2003	8,914,995
2004	9,002,025
2005	9,007,265
2006	9,346,947
2007	9,402,029
2008	10,474,773
2009	11,259,085
2010	11,643,773
2011	10,676,543
2012	12,198,707
2013	12,049,342
2014	12,397,040
2015	13,154,967

Tahun	Total Produksi Padi (ton)
2016	13,633,701

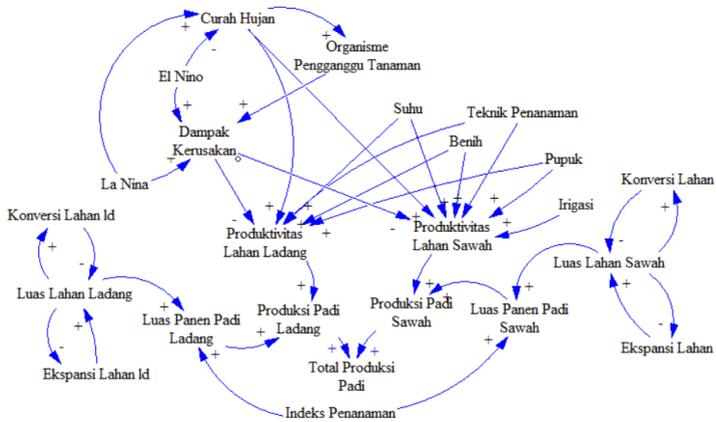
## 4.2. Pengolahan Data

Data yang didapatkan kemudian dilakukan proses pengolahan data. Data diolah dengan tujuan untuk melihat hubungan antara variabel-variabel yang berpengaruh terhadap pengembangan *climate smart agriculture* terkait produksi padi Jawa Timur. Hasil dari pengolahan data ini akan menunjukkan gambaran kondisi saat ini terkait sistem yang ada. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses pengolahan data ini diantaranya adalah

1. Pembuatan Model Diagram Kausatik (*Causal Loop Diagram*)
2. Pembuatan Model Diagram Arus (*Flow Diagram*)
3. Melakukan verifikasi model
4. Melakukan validasi model
5. Membuat rancangan skenario

## 4.3. Pembuatan Model Diagram Kausatik

Langkah pertama yang dilakukan dalam simulasi sistem dinamik adalah dengan membuat model diagram kausatik. Model diagram kausatik digunakan untuk menggambarkan hubungan antar variabel didalam sistem yang akan dimodelkan. Hubungan yang dimaksud disini adalah hubungan sebab akibat antar variabel. Model yang akan dibuat adalah model kondisi saat ini dari sistem (*as is*). Model diagram kausatik yang dibuat akan berfokus untuk menggambarkan hubungan antar variable dalam sistem produksi padi Jawa Timur khususnya padi sawah irigasi dan padi ladang dengan kondisi iklim utamanya curah hujan dan juga El Nino dan La Nina untuk pengembangan *climate smart agriculture*. Gambar 4.1 dibawah merupakan gambar diagram kausatik



**Gambar 4.1 Model Diagram Kausatik**

Berdasarkan hasil survey dan diskusi kepada dinas terkait, beberapa hal yang berpengaruh terhadap produksi padi pada umumnya diantaranya adalah

1. Produktivitas
  - a. Benih
  - b. Pupuk
  - c. Teknologi Penanaman
  - d. Irigasi
  - e. Curah Hujan
  - f. Suhu
  - g. Tingkat Kerusakan
2. Luas Lahan
  - a. Konversi lahan
  - b. Ekspansi lahan
3. Luas Panen
4. Indeks Penanaman
5. Produksi

Dari gambar diatas dapat terlihat hubungan antar variabel serta juga pengaruhnya. Dibawah ini merupakan penjelasan dari diagram kausatik diatas

1. Produktivitas Lahan Sawah

- Merupakan nilai produktivitas dari lahan sawah. Pada umumnya nilai produktivitas sawah diukur dengan satuan kwintal per hektar (ku/ha) ataupun ton per hektar (ton/ha). Faktor produktivitas merupakan salah satu faktor utama yang dapat digunakan untuk perhitungan produksi.
2. Produktivitas Lahan Ladang  
Sama halnya dengan produktivitas padi sawah, yang menjadi pembeda adalah dimana padi ladang tidak memiliki komponen irigasi layakna padi sawah.
  3. Benih  
Merupakan salah satu faktor yang membentuk produktivitas.
  4. Pupuk  
Sama halnya dengan benih, pupuk juga merupakan salah satu faktor pembentuk produktivitas.
  5. Teknik Penanaman  
Salah satu faktor yang juga mempengaruhi produktivitas.
  6. Irigasi  
Salah satu faktor pembentuk produktivitas yang juga menjadi faktor pembeda antara produktivitas padi sawah dan padi ladang.
  7. Curah Hujan  
Merupakan tingkat curah hujan tahunan yang dinyatakan dalam satuan millimeter (mm).
  8. Suhu  
Merupakan nilai suhu rata-rata dalam satu tahun, dinyatakan dalam satuan celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  9. Organisme Pengganggu Tanaman  
Merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan tingkat produktivitas.
  10. Dampak Kerusakan  
Merupakan variable yang menggambarkan dampak kerusakan yang dapat mempengaruhi nilai produktivitas
  11. Southern Oscillation Index  
Merupakan nilai yang digunakan untuk memprediksi kejadian El Nino dan La Nina
  12. El Nino  
Merupakan kejadian anomali iklim El Nino

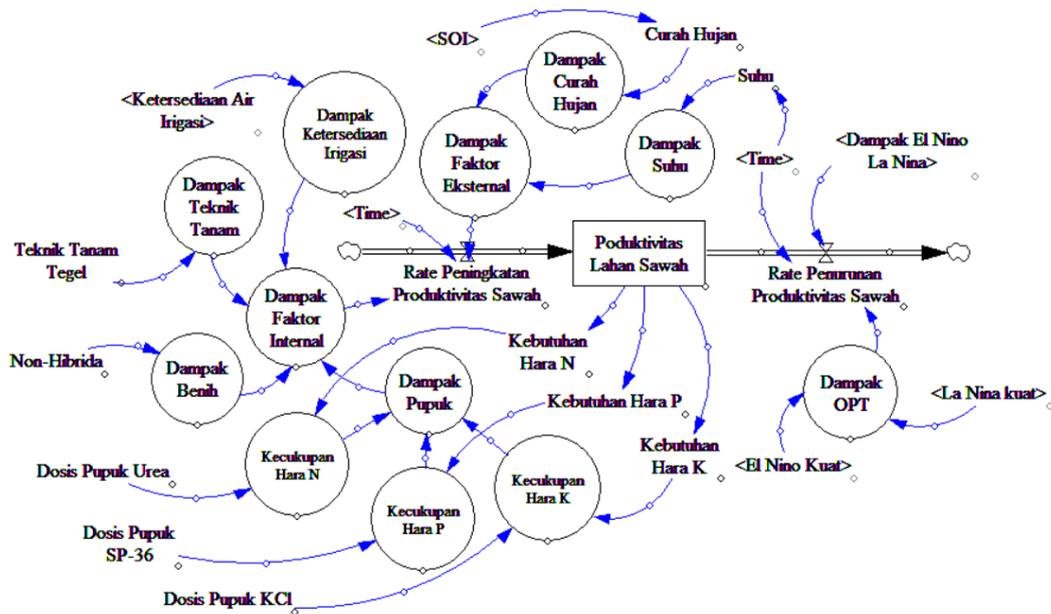
13. La Nina  
Merupakan kejadian anomali iklim La Nina
14. Luas Lahan Sawah  
Merupakan nilai luas lahan untuk sawah irigasi dinyatakan dalam satuan hektar (ha)
15. Konversi Lahan  
Merupakan laju konversi lahan pertanian sawah pada khususnya menjadi peruntukan lainnya.
16. Ekspansi Lahan  
Merupakan laju pencetakan lahan sawah baru.
17. Luas Lahan Ladang  
Merupakan nilai luas lahan untuk sawah ladang dinyatakan dalam satuan hektar
18. Konversi Lahan Id  
Merupakan laju konversi lahan pertanian sawah pada khususnya menjadi peruntukan lainnya
19. Ekspansi Lahan Id  
Merupakan laju pencetakan lahan ladang baru
20. Luas Panen Padi Sawah  
Merupakan luas panen padi sawah, dimana merupakan jumlah total luas lahan yang dilakukan panen pada setiap tahunnya
21. Luas Panen Padi Ladang  
Merupakan luas panen padi ladang, dimana merupakan jumlah total luas lahan yang dilakukan panen pada setiap tahunnya
22. Indeks Penanaman  
Merupakan jumlah dilakukannya penanaman padi pada setiap tahunnya
23. Produksi Padi Sawah  
Merupakan nilai produksi padi sawah yang dihitung dari hasil perkalian nilai produktivitas dengan luas panen
24. Produksi Padi Ladang  
Merupakan nilai produksi padi ladang yang dihitung dari hasil perkalian nilai produktivitas dengan luas panen
25. Total Produksi Padi

Merupakan nilai akumulasi dari produksi padi sawah dan juga padi ladang

#### **4.4. Pembuatan Model Diagram Arus**

Tahap selanjutnya adalah pemodelan data dengan menggunakan pemodelan diagram arus (Flow Diagram). Pemodelan data dilakukan untuk mengetahui pola perilaku antar variabel dengan tujuan untuk melakukan simulasi dan melakukan verifikasi dan validasi kesesuaian model dengan sistem nyata. Setelah diagram kausatik sebelumnya telah dibuat, maka selanjutnya diagram arus (Flow Diagram) yang akan digunakan dalam pemodelan skenario. Berikut merupakan implementasi pembuatan flow diagram:

#### 4.4.1. Sub Model Produktivitas Padi Sawah



Gambar 4.2 Diagram Arus - Sub Model Produktivitas Padi Sawah

Nilai produktivitas pada padi akan dipengaruhi dari nilai peningkatan dan juga nilai penurunan produktivitas tersebut sendiri (Gambar 4.2). Nilai peningkatan produktivitas dan penurunan produktivitas padi dipengaruhi beberapa faktor atau variabel diantaranya adalah jenis benih yang digunakan, teknik tanam yang digunakan, dosis pupuk yang diberikan, dampak dari irigasi beserta teknik irigasinya dan juga dampak curah hujan, suhu, organisme pengganggu tanaman (OPT) dan juga iklim pada umumnya. Untuk nilai produktivitas pada akhirnya merupakan hasil pengurangan dari nilai peningkatan dikurangi dengan nilai penurunan produktivitas.

Nilai peningkatan produktivitas padi dalam penelitian ini ditentukan dari kontribusi peningkatan dari beberapa faktor atau variable yaitu jenis benih, jenis teknik tanam, teknik irigasi, dosis pupuk N, P, dan K yang diberikan, dan juga dampak dari curah hujan dan suhu. Berdasarkan penelitian sebelumnya[9] dan juga hasil survey kepada Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan didapatkan nilai kontribusi untuk setiap variabel diatas diantaranya adalah benih sebesar 15%, teknik tanam 15%, dan pemberian pupuk sebesar 25%, kemudian sisanya merupakan akumulasi dari beberapa faktor lainnya.

Kemudian untuk nilai penurunan produktivitas dalam penelitian ini ditentukan dari nilai dampak organisme pengganggu tanaman (OPT) dan juga dampak iklim yaitu kejadian El Nino dan La Nina.

Pada sub model ini akan dilakukan penilaian terhadap produktivitas lahan sawah Provinsi Jawa Timur pada umumnya berdasarkan nilai peningkatan produktivitas dan juga nilai penurunan produktivitas. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah

**Tabel 4.9 Formulasi - Sub Model Produktivitas Padi Sawah**

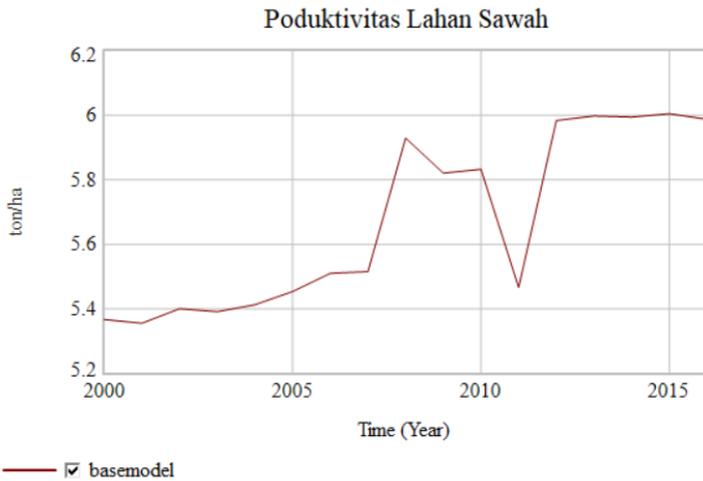
<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
Produktivitas Lahan Sawah	INTEG((Rate Peningkatan Produktivitas Sawah-Rate Penurunan Produktivitas

Variabel	Persamaan
	Sawah)*Produktivitas Lahan Sawah, 5.367)
Rate peningkatan produktivitas sawah	IF THEN ELSE( Time=2007, 0.086, IF THEN ELSE(Time=2011, 0.127, Dampak Faktor Internal + Dampak Faktor Eksternal))
Dampak Faktor Internal	Dampak Benih+Dampak Ketersediaan Irigasi+Dampak Pupuk+Dampak Teknik Tanam
Dampak Faktor Eksternal	Dampak Curah Hujan+Dampak Suhu
Rate penurunan produktivitas sawah	IF THEN ELSE(Time=2010, 0.081, Dampak Iklim+Dampak OPT)
Dampak Benih	IF THEN ELSE("Non-Hibrida "=1, RANDOM NORMAL(0.0003, 0.0045, 0.00165, 0.00135, 0), 0)
Dampak Teknik Tanam	IF THEN ELSE(Teknik Tanam Tegel=1, RANDOM NORMAL(0.00036, 0.0054, 0.00198, 0.00162, 0), 0)
Dampak Ketersediaan Irigasi	IF THEN ELSE(Ketersediaan Air Irigasi>=1, RANDOM NORMAL(0.0003, 0.0045, 0.00165, 0.00135, 0), 0.0003)
Kecukupan Hara N	(Dosis Pupuk Urea*17.5/39)/Kebutuhan Hara N
Kecukupan Hara P	IF THEN ELSE(Kebutuhan Hara P>=1, ("Dosis Pupuk SP-36"*3/9)/Kebutuhan Hara P, 1)
Kecukupan Hara K	(Dosis Pupuk KCl*17/34)/Kebutuhan Hara K
Dampak Pupuk	IF THEN ELSE (Kecukupan Hara N>=1:AND:Kecukupan Hara P>=1:AND:Kecukupan Hara K>=1, RANDOM NORMAL(0.0005,

Variabel	Persamaan
	0.0075, 0.00275, 0.00225, 0), 0.0005)
Dampak Curah Hujan	WITH LOOKUP (Curah Hujan, ((500,-1)-(3500,10)],(500,-0.0109538),(1000,0.00027),(1500,0.001485),(1750,0.00405),(2000,0.00405),(3000,0.001485),(3500,-0.0109538) ))
Curah Hujan	IF THEN ELSE(SOI<-5, (0.803*RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 0)), IF THEN ELSE(SOI>5, (1.104*RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 0)), RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 4)))
Dampak Suhu	WITH LOOKUP (Suhu, ((0,-2)-(32,10)],(22,-0.0109538),(25,0.00027),(26,0.001485),(27,0.00405),(28,0.001485),(29,0.00027),(30,-0.0109538),(31,-0.1),(32,-0.2) ))
Suhu	IF THEN ELSE(Time<=2010, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.649, 0.29, 0), IF THEN ELSE( Time<=2020, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.8, 0.29, 0), IF THEN ELSE( Time<=2030, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.95, 0.29, 0), RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 28.1, 0.29, 0))))
Dampak OPT	IF THEN ELSE(EI Nino Kuat=1, 0.005, IF THEN ELSE(La Nina kuat=1, 0.015, RANDOM

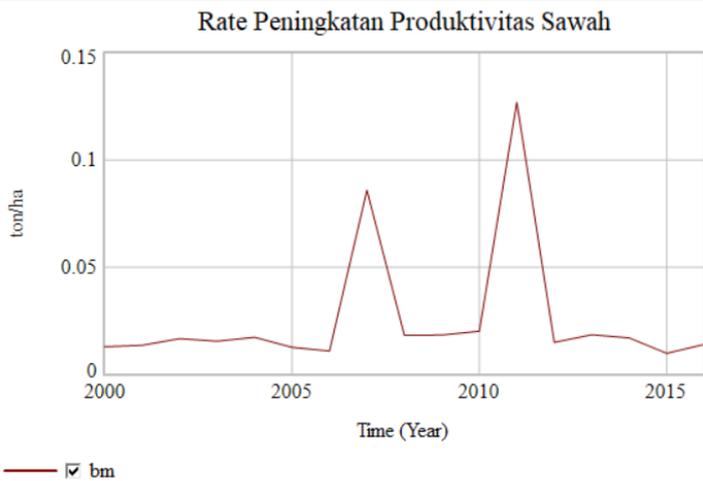
Variabel	Persamaan
	NORMAL(0.005, 0.01, 0.0075, 0.001, 0)))
Dampak El Nino La Nina	IF THEN ELSE(Normal=1, 0.0022, IF THEN ELSE(EI Nino lemah=1, 0.0073, IF THEN ELSE(La Nina lemah=1, 0.0087, IF THEN ELSE(EI Nino Kuat=1, 0.0146, IF THEN ELSE(La Nina kuat=1, 0.0174, 0))))))

Grafik nilai produktivitas padi sawah Provinsi Jawa Timur mulai dari tahun 2000 sampai dengan 2016 cenderung mengalami kenaikan meskipun ada beberapa tahun yang mengalami penurunan, namun trend nilai tetap naik seperti dapat dilihat pada Gambar 4.3. Terlebih peningkatan terjadi pada tahun-tahun terjadinya kejadian iklim seperti El Nino dan La Nina, hal ini menunjukkan bahwa sudah ada upaya mitigasi untuk menghadapi kejadian iklim tersebut. Pada tahun 2000 nilai produktivitas padi sawah berada pada angka 5.3 ton/ha sementara pada tahun 2016 sudah mencapai angka 6 ton/ha lebih.



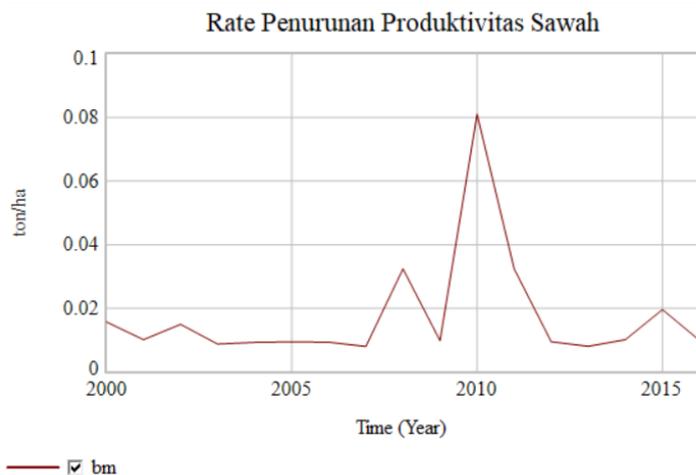
**Gambar 4.3 Produktivitas Padi Sawah**

Walaupun nilai produktivitas cenderung naik, untuk nilai rate peningkatan cenderung rata untuk sebagian besar tahun, namun ada 2 tahun yang memiliki nilai peningkatan yang cukup signifikan (Gambar 4.4).



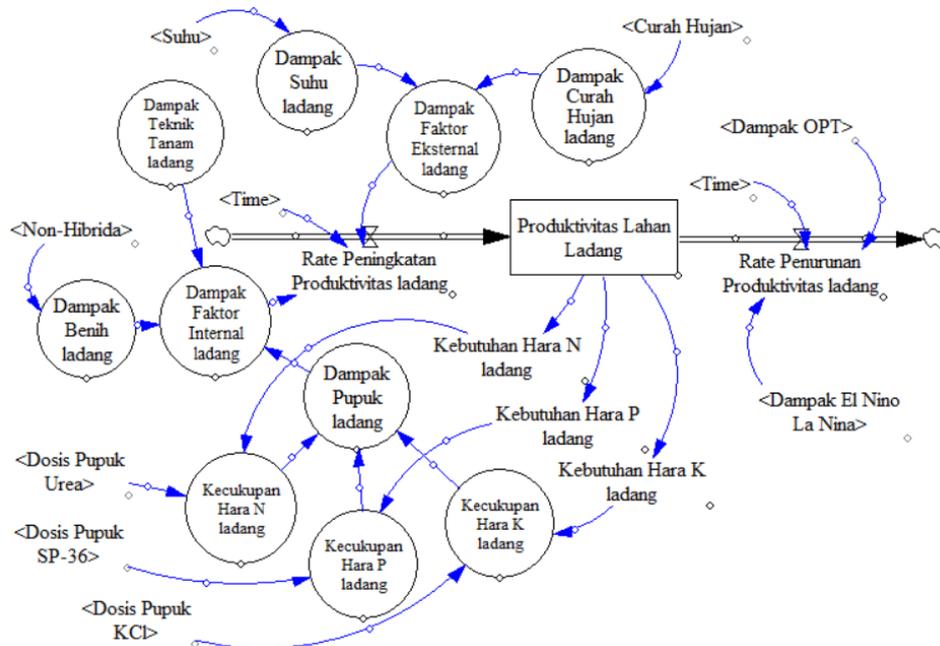
**Gambar 4.4 Rate Peningkatan Produktivitas Padi Sawah**

Sama halnya dengan nilai peningkatan produktivitas, untuk nilai penurunan produktivitas juga cenderung konstan (Gambar 4.5), namun dapat dilihat untuk beberapa tahun cukup tinggi dikarenakan terjadinya kejadian iklim yaitu El Nino dan La Nina.



**Gambar 4.5 Rate Penurunan Produktivitas Padi Sawah**

#### 4.4.2. Sub Model Produktivitas Padi Ladang



Gambar 4.6 Diagram Arus - Sub Model Produktivitas Padi Ladang

Sama halnya dengan nilai produktivitas padi sawah, nilai produktivitas padi ladang ditentukan oleh nilai peningkatan produktivitas dan nilai penurunan produktivitas (Gambar 4.6). Faktor pembeda utama antara padi sawah dengan padi ladang adalah dimana padi ladang tidak memiliki variabel irigasi dikarenakan padi ladang untuk kebutuhan airnya bergantung penuh terhadap curah hujan yang ada. Berdasarkan nilai pada produktivitas padi sawah dan hasil survey kepada Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan didapatkan nilai kontribusi untuk setiap variabel untuk peningkatan produktivitas memiliki nilai kontribusi diantaranya untuk benih sebesar 15%, pemberian pupuk sebesar 25% dan sisanya merupakan akumulasi dari faktor-faktor lainnya.

Pada sub model ini akan dilakukan penilaian terhadap produktivitas lahan ladang Provinsi Jawa Timur pada umumnya berdasarkan nilai peningkatan produktivitas dan juga nilai penurunan produktivitas. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah

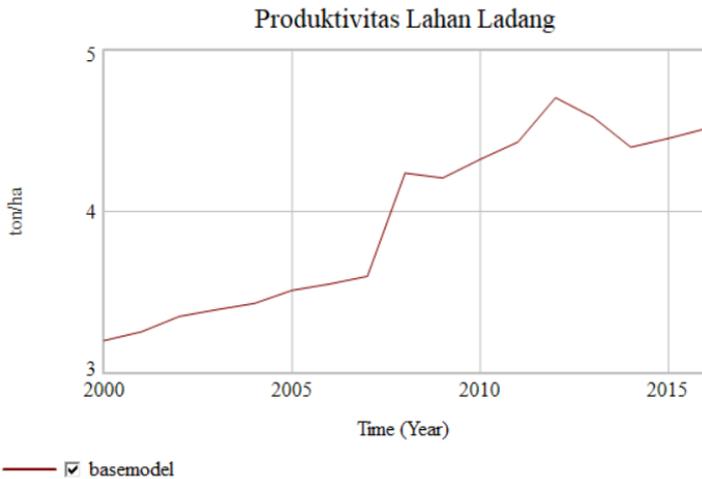
**Tabel 4.10 Formulasi - Sub Model Produktivitas Padi Ladang**

<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
Produktivitas Lahan Ladang	INTEG ((Rate Peningkatan Produktivitas ladang-Rate Penurunan Produktivitas ladang)*Produktivitas Lahan Ladang, 3.199)
Rate peningkatan produktivitas ladang	IF THEN ELSE(Time=2007, 0.189, IF THEN ELSE(Time=2011, 0.0945, Dampak Faktor Eksternal ladang+Dampak Faktor Internal ladang))
Dampak Faktor Internal ladang	Dampak Benih ladang+Dampak Pupuk ladang+Dampak Teknik Tanam ladang
Dampak Faktor Eksternal ladang	Dampak Curah Hujan ladang+Dampak Suhu ladang

<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
Rate penurunan produktivitas ladang	IF THEN ELSE(Time=2012, 0.067, IF THEN ELSE(Time=2013, 0.07, Dampak OPT+Dampak Iklim))
Dampak Benih ladang	IF THEN ELSE("Non-Hibrida"=1, RANDOM NORMAL(0.0006, 0.01155, 0.0006, 0.00435, 0), 0)
Dampak Teknik Tanam ladang	RANDOM NORMAL(0.00072, 0.01386, 0.00072, 0.00522, 0)
Kecukupan Hara N ladang	(Dosis Pupuk Urea*17.5/39)/Kebutuhan Hara N ladang
Kecukupan Hara P ladang	("Dosis Pupuk SP-36"*3/9)/Kebutuhan Hara P ladang
Kecukupan Hara K ladang	IF THEN ELSE(Kebutuhan Hara K ladang>=0, (Dosis Pupuk KCl*17/34)/Kebutuhan Hara K ladang, 1)
Dampak Pupuk ladang	IF THEN ELSE( Kecukupan Hara N ladang>=1:AND:Kecukupan Hara P ladang>=1:AND:Kecukupan Hara K ladang>=1, RANDOM NORMAL(0.001, 0.01925, 0.001, 0.00725, 0), 0.001)
Dampak Curah Hujan ladang	WITH LOOKUP (Curah Hujan, ((500,-1)-(3500,10)],(500,-0.0198516),(1000,0.00114),(1600,0.00114),(2000,0.021945),(3000,0.0114),(3500,0.00114) ))
Curah Hujan	IF THEN ELSE(SOI<-5, (0.803*RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 0)), IF THEN ELSE(SOI>5, (1.104*RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 0)), RANDOM NORMAL( 696, 3398.95, 2167.03, 452.997, 4)))

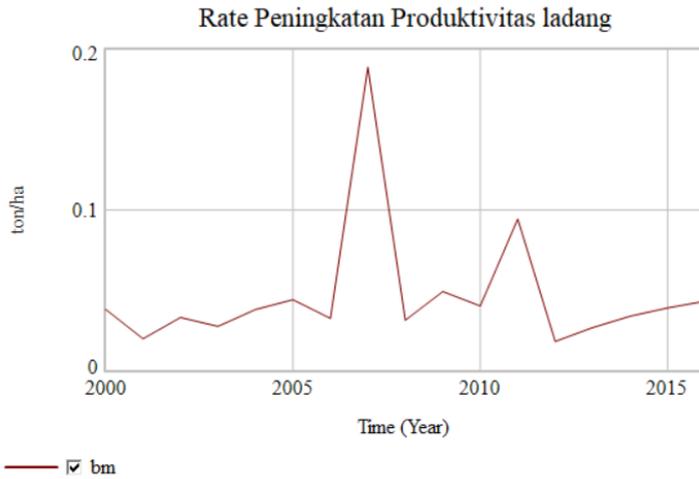
Variabel	Persamaan
Dampak Suhu ladang	WITH LOOKUP (Suhu, ((0,-2)-(32,10)),(22,-0.00940341),(25,0.00054),(26,0.00054),(27,0.010395),(28,0.00054),(29,0.00054),(30,-0.00940341),(31,-0.1),(32,-0.2) )
Suhu	IF THEN ELSE(Time<=2010, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.649, 0.29, 0), IF THEN ELSE(Time<=2020, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.8, 0.29, 0), IF THEN ELSE( Time<=2030, RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 27.95, 0.29, 0), RANDOM NORMAL(16.6, 36.7, 28.1, 0.29, 0))))
Dampak OPT	IF THEN ELSE(EI Nino Kuat=1, 0.005, IF THEN ELSE(La Nina kuat=1, 0.015, RANDOM NORMAL(0.005, 0.01, 0.0075, 0.001, 0)))
Dampak El Nino La Nina	IF THEN ELSE(Normal=1, 0.0022, IF THEN ELSE(EI Nino lemah=1, 0.0073, IF THEN ELSE(La Nina lemah=1, 0.0087, IF THEN ELSE(EI Nino Kuat=1, 0.0146, IF THEN ELSE(La Nina kuat=1, 0.0174, 0))))))

Sesuai dengan nilai produktivitas padi sawah sebelumnya, nilai produktivitas padi ladang juga cenderung naik apabila dilihat mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2016. Dimana pada tahun 2000 nilai produktivitas berada pada angka 3 ton/ha, sementara pada tahun 2016 sudah mencapai sekitar 4 ton/ha seperti dapat dilihat pada Gambar 4.7.

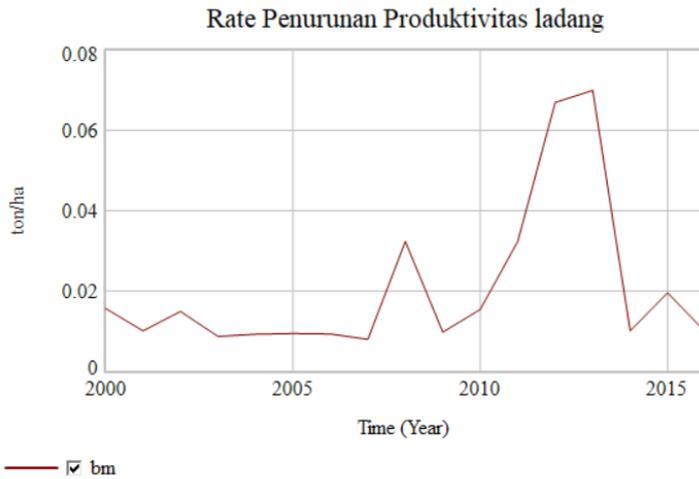


**Gambar 4.7 Produktivitas Padi Ladang**

Sama halnya dengan nilai peningkatan dan penurunan produktivitas padi sawah, nilai peningkatan produktivitas dan juga nilai penurunan produktivitas padi ladang cenderung konstan untuk sebagian besar tahun, namun pada beberapa tahun tertentu mengalami lonjakan yang cukup signifikan (Gambar 4.8 & Gambar 4.9).



**Gambar 4.8 Rate Peningkatan Produktivitas Padi Ladang**



**Gambar 4.9 Rate Penurunan Produktivitas Padi Ladang**



semakin meningkat seiring meningkatnya kekuatan kejadian La Nina.

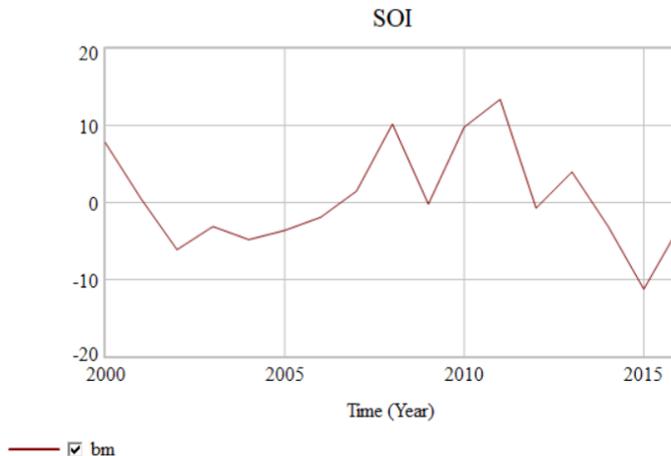
Pada sub model ini akan dilakukan penilaian terhadap kejadian iklim pada setiap tahunnya berdasarkan nilai SOI. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah

**Tabel 4.11 Formulasi - Sub model Dampak Iklim Terhadap Produktivitas**

<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
SOI	IF THEN ELSE(Time=2000, 7.8, IF THEN ELSE(Time=2001, 0.5, IF THEN ELSE(Time=2002, -6.1, IF THEN ELSE(Time=2003, -3.1, IF THEN ELSE(Time=2004, -4.8, IF THEN ELSE( Time=2005, -3.6, IF THEN ELSE(Time=2006, -1.9, IF THEN ELSE(Time=2007, 1.5, IF THEN ELSE (Time=2008, 10.2, IF THEN ELSE(Time=2009, -0.2, IF THEN ELSE(Time=2010, 9.8, IF THEN ELSE(Time=2011, 13.4, IF THEN ELSE(Time=2012, -0.7, IF THEN ELSE( Time=2013, 3.98, IF THEN ELSE(Time=2014, -3.03, IF THEN ELSE(Time=2015, -11.23, IF THEN ELSE(Time=2016, -3.08, RANDOM NORMAL(-13.08, 13.3, -1.14, 5.92, 0))))))))))))))))))
Normal	IF THEN ELSE(SOI>=-5:AND:SOI<=5, 1, 0)
La Nina Kuat	IF THEN ELSE(SOI>10, 1, 0)
La Nina Lemah	IF THEN ELSE(SOI>5:AND:SOI<=10, 1, 0)
El Nino Kuat	IF THEN ELSE( SOI<-10, 1, 0)
El Nino Lemah	IF THEN ELSE( SOI>=-10:AND:SOI<-5, 1, 0)

Variabel	Persamaan
Dampak El Nino La Nina	IF THEN ELSE(Normal=1, Poduktivitas Lahan Sawah*0.0022, IF THEN ELSE(EI Nino lemah=1, Poduktivitas Lahan Sawah*0.0073, IF THEN ELSE(La Nina lemah=1, Poduktivitas Lahan Sawah*0.0087, IF THEN ELSE(EI Nino Kuat=1, Poduktivitas Lahan Sawah*0.0123, IF THEN ELSE(La Nina kuat=1, Poduktivitas Lahan Sawah*0.0152, 0)))

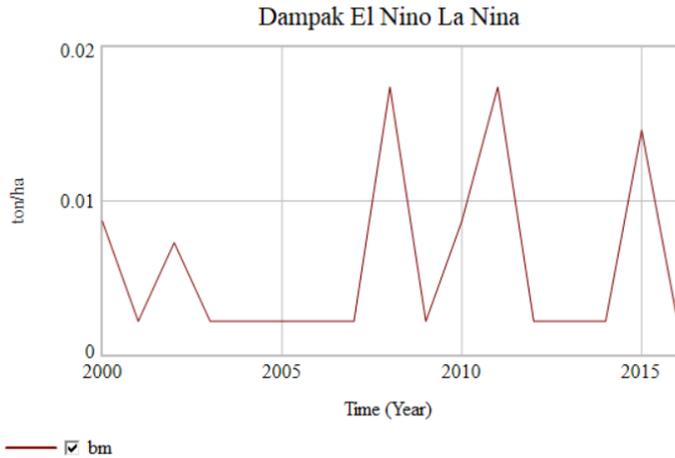
Dampak iklim ditentukan oleh kejadian iklim yaitu normal, El Nino ataupun La Nina, dimana untuk menentukan kejadian iklim tersebut dilihat dari nilai Southern Oscillation Index (SOI). Dapat dilihat bahwa nilai SOI cenderung fluktuatif (Gambar 4.11).



**Gambar 4.11 Nilai Southern Oscillation Index (SOI)**

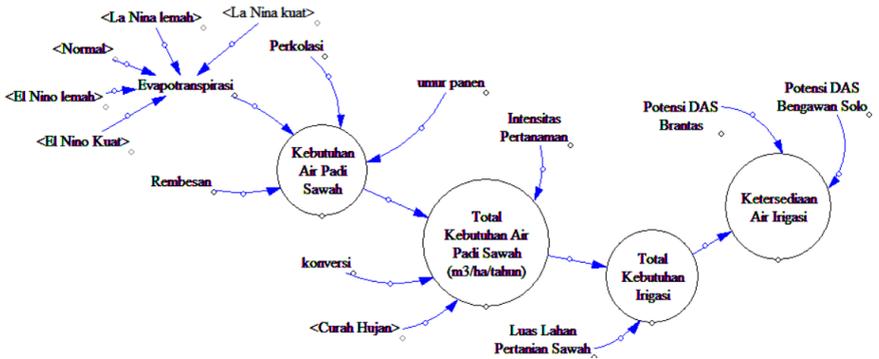
Dengan adanya nilai SOI tersebut dapat digunakan untuk menentukan dampak yang diakibatkan oleh kejadian iklim untuk nilai produktivitas seperti pada Gambar 4.12. dapat dilihat

bahwa untuk tahun-tahun dengan kejadian iklim ekstrim La Nina dan El Nino terjadi peningkatan dampak yang cukup tinggi.



Gambar 4.12 Dampak El Nino La Nina Terhadap Produktivitas

4.4.4. Sub Model Ketersediaan Irigasi



Gambar 4.13 Diagram Arus - Sub Model Ketersediaan Irigasi

Salah satu variabel yang cukup penting dalam produktivitas sawah adalah ketersediaan irigasi. Kebutuhan irigasi tanaman padi dilihat dari beberapa nilai diantaranya adalah evatranspirasi, perkolasi, dan rembesan[30] seperti dapat dilihat

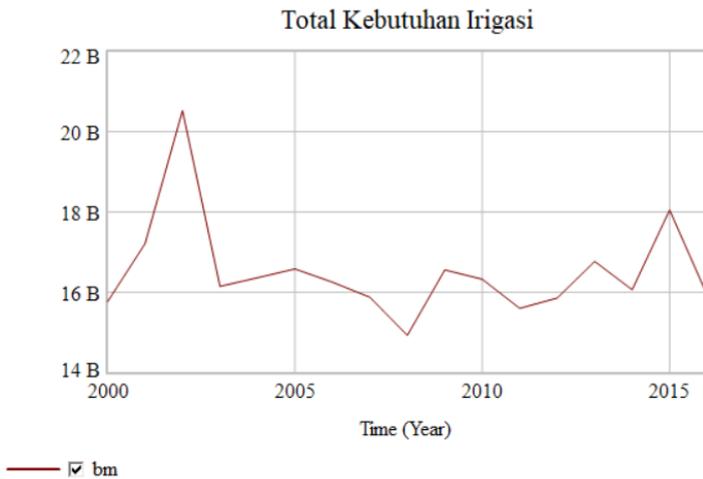
pada Gambar 4.13. Kemudian nilai-nilai tersebut ditingkatkan untuk diketahui kebutuhannya dalam tingkat tahunan. Kemudian dibandingkan dengan sumber air yang ada, pada kasus Jawa Timur terdapat 2 daerah aliran sungai (DAS) utama yang digunakan untuk irigasi yaitu DAS Brantas dan DAS Bengawan Solo.

Pada sub model ini akan dibandingkan apakah nilai ketersediaan air memenuhi kebutuhan irigasi. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah

**Tabel 4.12 Formulasi - Sub Model Ketersediaan Irigasi**

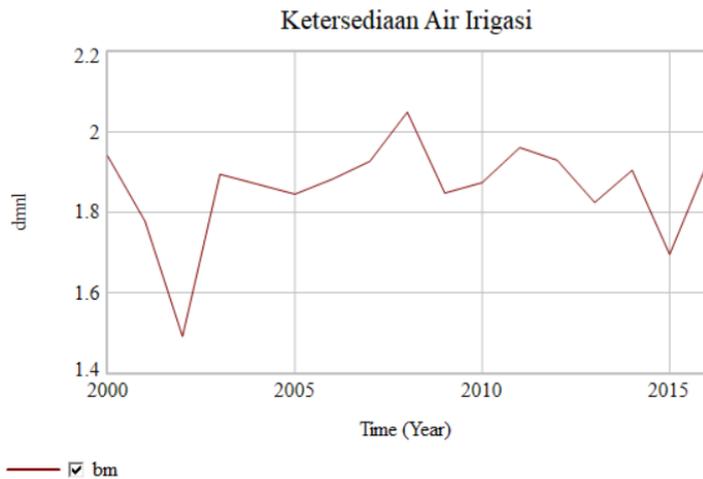
<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
Evapotranspirasi	IF THEN ELSE(Normal=1, 5, IF THEN ELSE(El Nino lemah=1:OR:El Nino Kuat=1, RANDOM NORMAL (5, 7, 6, 1, 0), IF THEN ELSE(La Nina lemah=1:OR:La Nina kuat=1, RANDOM UNIFORM(4, 5, 0), 0)))
Kebutuhan Air Padi	(Evapotranspirasi+Rembesan+Perkolasi)*lama pertumbuhan
Total Kebutuhan Air Padi Sawah (m <sup>3</sup> /ha/tahun)	(Kebutuhan Air Padi Sawah*Intensitas Pertanaman*konversi)-Curah Hujan
Total Kebutuhan Irigasi	Total Kebutuhan Air Padi Sawah (m <sup>3</sup> /ha/tahun)* Luas Lahan Pertanian Sawah
Ketersediaan Air Irigasi	(Potensi DAS Brantas+Potensi DAS Bengawan Solo)/ Total Kebutuhan Irigasi

Sub model irigasi menunjukkan nilai kebutuhan air irigasi yang digunakan pada lahan sawah seperti pada Gambar 4.14



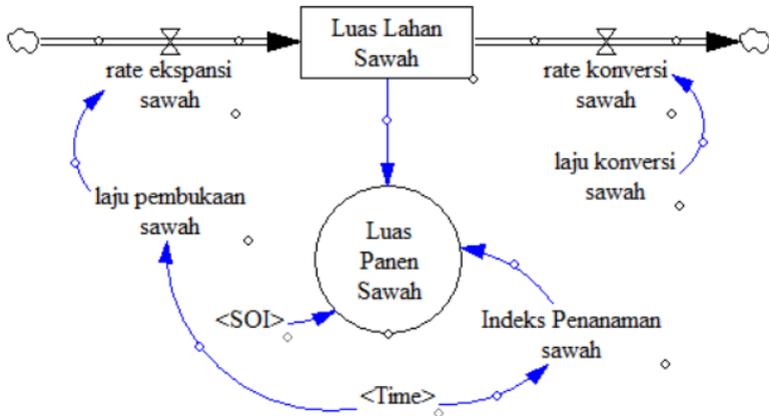
**Gambar 4.14 Kebutuhan Irigasi Padi Sawah**

Dimana juga dilihat perbandingannya dengan nilai sumber air yang ada apakah terpenuhi atau tidak, apabila nilai lebih dari 1 maka kebutuhan air irigasi terpenuhi (Gambar 4.15).



**Gambar 4.15 Ketersediaan Irigasi**

#### 4.4.5. Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah



**Gambar 4.16 Diagram Arus - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah**

Dalam menentukan nilai produksi dari padi salah satu faktornya adalah luas panen. Dimana luas panen merupakan hasil dari perkalian dari intensitas penanaman padi pada setiap tahunnya dikalikan dengan luas lahan yang tersedia (Gambar 4.16). Luas lahan sendiri dipengaruhi oleh faktor ekspansi dan juga konversi lahan. Kemudian untuk luas panen juga akan dipengaruhi oleh kejadian iklim El Nino dan La Nina. Dimana El Nino cenderung dapat menurunkan luas panen sebesar 3.15%, sementara La Nina dapat meningkatkan luas panen sebesar 2.86%.

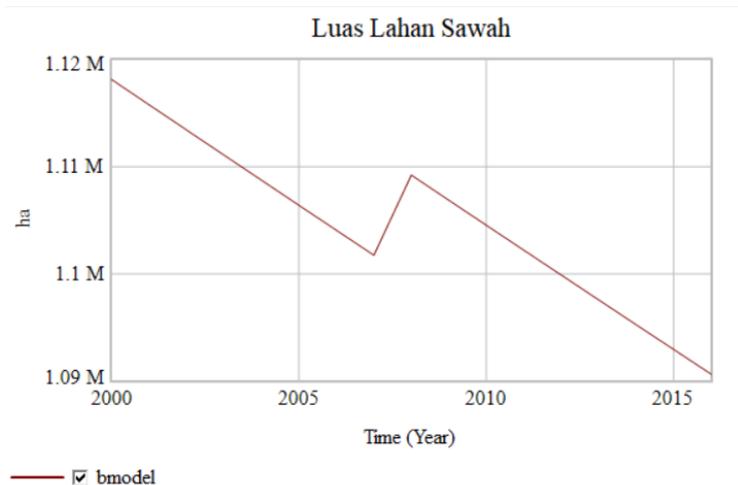
Pada sub model ini akan ditunjukkan nilai baik untuk luas lahan sawah maupun luas panen sawah. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah

**Tabel 4.13 Formulasi - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah**

Variabel	Persamaan
Luas Lahan Sawah	$\text{INTEG} ((\text{rate ekspansi sawah} - \text{rate konversi sawah}) * \text{Luas Lahan Sawah}, 1.11815e+006)$

Variabel	Persamaan
Rate ekspansi sawah	laju pembukaan sawah
Rate konversi sawah	laju konversi sawah
Luas Panen Sawah	IF THEN ELSE(SOI<-5, 0.9685*Luas Lahan Sawah*Indeks Penanaman sawah, IF THEN ELSE(SOI>5, 1.0286*Luas Lahan Sawah*Indeks Penanaman sawah, 1.0043*Luas Lahan Sawah*Indeks Penanaman sawah))
Indeks Penanaman Sawah	IF THEN ELSE(Time<=2008, 1.46, IF THEN ELSE(Time<=2012, 1.64, IF THEN ELSE(Time=2014, 0.9, 1.83)))

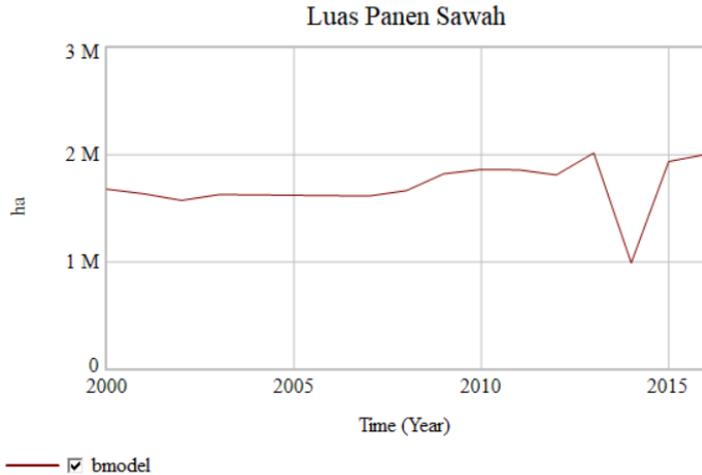
Luas Lahan Sawah Provinsi Jawa Timur cenderung menurun dari waktu ke waktu (Gambar 4.17), hal ini disebabkan nilai pencetakan lahan sawah baru tidak sebesar laju konversi lahan sawah.



**Gambar 4.17 Luas Lahan Sawah**

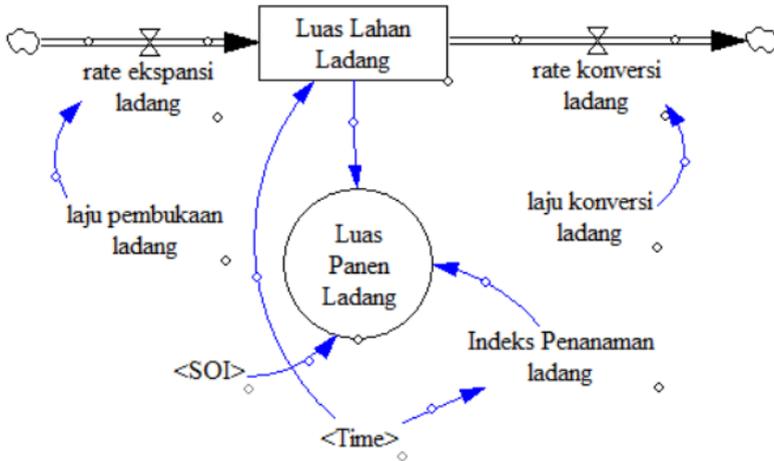
Namun berbeda halnya dengan luas sawah. Luas panen cenderung naik dari tahun ke tahun (Gambar 4.18), namun

memang ada satu tahun tertentu dimana nilai luas panen anjlok dibandingkan tahun sebelumnya, hal ini disebabkan nilai intensitas penanaman padi. Kejadian El Nino dan La Nina juga memegang peran dalam meningkatkan ataupun menurunkan nilai luas panen, dimana El Nino dapat menurunkan nilai luas panen sampai dengan 3.15% dan La Nina cenderung dapat meningkatkan luas panen sampai dengan 2.86%.



**Gambar 4.18 Luas Panen Sawah**

## 4.4.6. Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang



**Gambar 4.19** Diagram Arus - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang

Sama halnya dengan sub model sebelumnya, pada padi ladang salah satu faktor untuk menentukan nilai produksi adalah luas lahan dan luas panen. Dimana luas panen merupakan hasil perkalian antara luas lahan dengan intensitas penanaman. Namun dampak kejadian iklim seperti El Nino dan La Nina juga berperan dalam peningkatan maupun penurunan luas panen (Gambar 4.19).

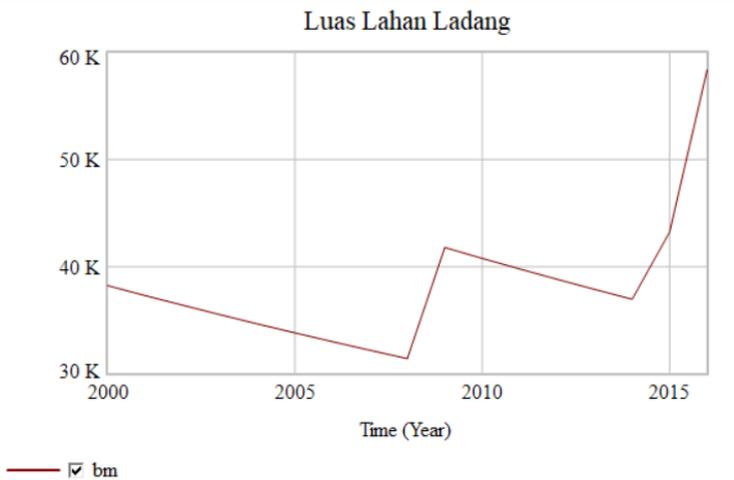
Pada sub model ini akan ditunjukkan nilai baik untuk luas lahan ladang maupun luas panen ladang. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.14 Tabel 4.14 dibawah

**Tabel 4.14** Formulasi - Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang

Variabel	Persamaan
Luas Lahan Ladang	INTEG (IF THEN ELSE(Time=2008, 0.33*Luas Lahan Ladang, IF THEN ELSE(Time=2014, 0.17*Luas

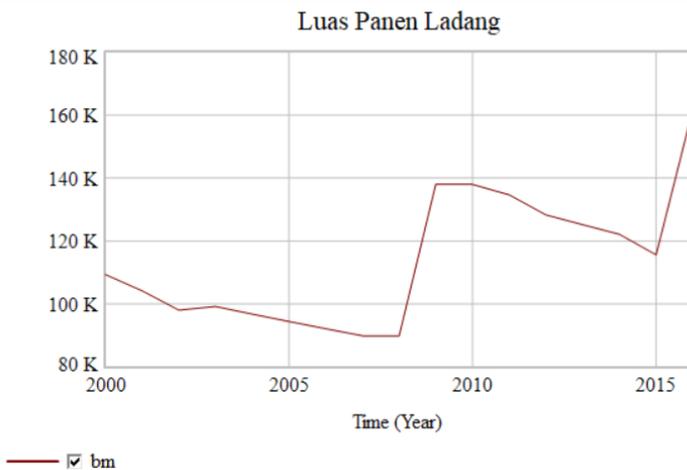
Variabel	Persamaan
	Lahan Ladang, IF THEN ELSE(Time=2015, 0.35*Luas Lahan Ladang, (rate ekspansi ladang-rate konversi ladang)*Luas Lahan Ladang)), 38238)
Rate ekspansi ladang	laju pembukaan ladang
Rate konversi ladang	laju konversi ladang
Luas Panen Ladang	IF THEN ELSE(SOI<-5, 0.9685*Luas Lahan Ladang*Indeks Penanaman ladang, IF THEN ELSE(SOI>5, 1.0286*Luas Lahan Ladang*Indeks Penanaman ladang, 1.0043*Luas Lahan Ladang*Indeks Penanaman ladang))
Indeks Penanaman Ladang	IF THEN ELSE(Time<=2008, 2.78, IF THEN ELSE(Time<=2014, 3.29, 2.76))

Tidak berbeda dengan luas lahan sawah, luas lahan ladang juga cenderung menurun dari tahun ke tahunnya. Namun hal tersebut dapat diantisipasi dengan pembukaan lahan ladang baru pada beberapa tahun tertentu Gambar 4.20.



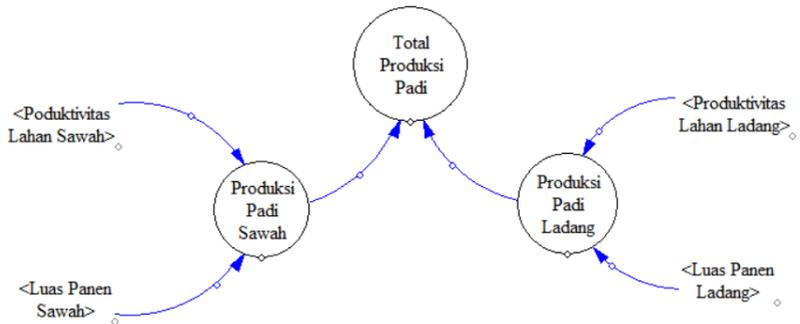
**Gambar 4.20 Luas Lahan Ladang**

Luas panen pada padi ladang juga cenderung mengikuti nilai luas lahannya (Gambar 4.21), hal ini disebabkan nilai intensitas penanaman yang cenderung konstan. Sama halnya dengan luas panen pada padi sawah, El Nino dan La Nina juga berpengaruh pada nilai luas panen.



**Gambar 4.21 Luas Panen Ladang**

#### 4.4.7. Sub Model Produksi Padi



**Gambar 4.22 Diagram Arus - Sub Model Produksi Padi**

Produksi merupakan hasil perhitungan antara nilai luas panen dengan nilai produktivitas (Gambar 4.22). Pada sub model ini nilai produksi merupakan produksi gabah kering panen (GKP), dimana merupakan tahap paling awal sebelum dilakukan perhitungan rendemen, seed loss, dan lain sebagainya.

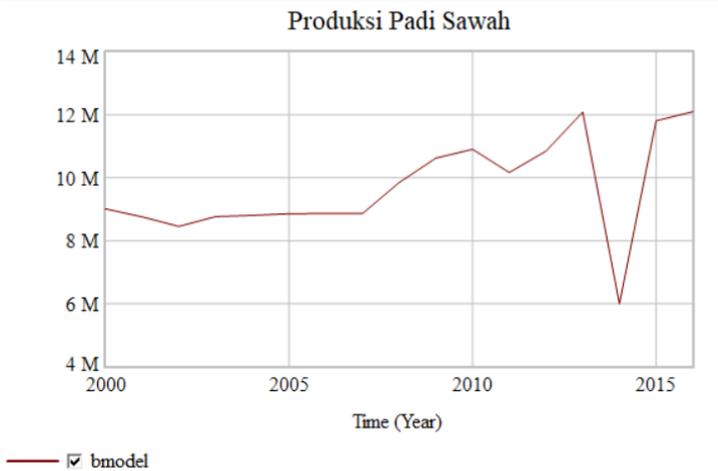
Pada sub model ini akan ditunjukkan nilai produksi untuk padi sawah dan juga padi ladang kemudian diakumulasikan menjadi nilai total produksi padi. Persamaan yang digunakan pada submodel ini dapat dilihat pada Tabel 4.15 dibawah

**Tabel 4.15 Formulasi - Sub Model Produksi Padi**

Variabel	Persamaan
Produksi Padi Sawah	Luas Panen Sawah*Poduktivitas Lahan Sawah
Produksi Padi Ladang	Luas Panen Ladang*Produktivitas Lahan Ladang
Total Produksi Padi	Produksi Padi Sawah + Produksi Padi Ladang

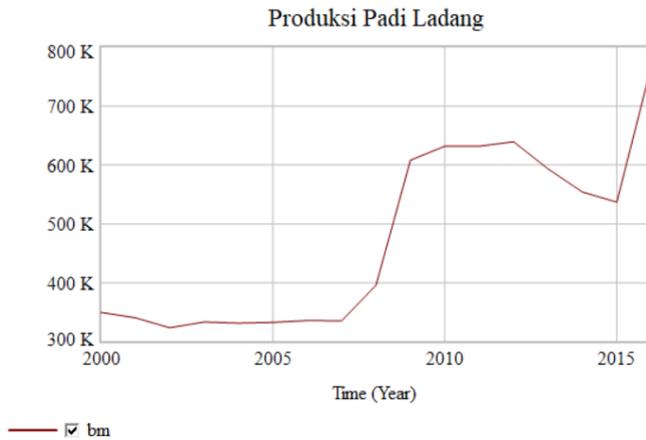
Nilai produksi sawah pada tahun 2000 berkisar di angka 8 juta ton, namun pada tahun 2016 telah meningkat pada angka sekitar 12 juta ton. Hal ini sesuai dengan nilai produktivitas dan luas

panen yang cenderung naik dari tahun ke tahunnya (Gambar 4.23).



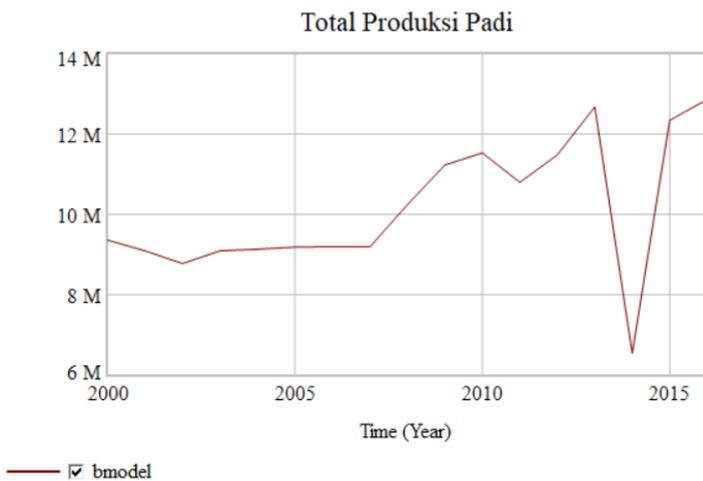
**Gambar 4.23 Produksi Padi Sawah**

Sama halnya dengan nilai produksi padi sawah, nilai produksi pada padi ladang juga naik, dimana pada tahun 2000 berada pada angka sekitar 300 ribu ton sementara pada tahun 2016 sudah mencapai 700 ribu ton, dimana peningkatannya dua kali lipat (Gambar 4.24). hal ini disebabkan karena nilai luas panen yang cukup besar.



**Gambar 4.24 Produksi Padi Ladang**

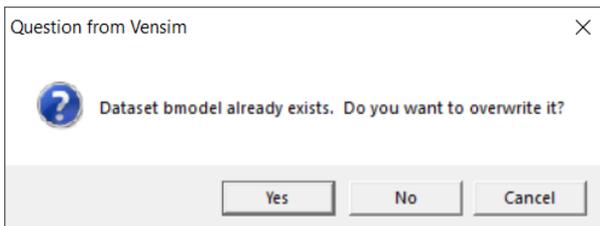
Kemudian untuk nilai total produksi pada tahun 2000 berada di angka 9 juta ton dan meningkat sampai tahun 2016 menjadi sekitar 12 juta ton Gambar 4.25.



**Gambar 4.25 Total Produksi Padi**

## 4.5. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa implementasi model konseptual pada program komputer dalam kasus ini adalah vensim tidak terdapat bug ataupun error. Pada tahap ini dilakukan pengecekan apakah model sudah dapat dijalankan untuk *running* simulasi. Model dinyatakan lolos verifikasi apabila sudah tidak terdapat error saat *running* dan pada saat dilakukan *running* pada vensim dapat menampilkan pesan seperti pada Gambar 4.26 dibawah.



Gambar 4.26 Verifikasi Dialog Box

Kemudian untuk jenis verifikasi lain adalah dengan melakukan pengecekan menampilkan grafik pada tiap variabel. Untuk beberapa hasil grafik untuk beberapa variabel yang ada didalam model dapat dilihat pada sub bab sebelumnya.

## 4.6. Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan tujuan untuk memastikan apakah nilai luaran (output) dari model yang telah dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata dan dapat diterima. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil rata-rata dan juga variansi data. Pada validasi ini yang dilakukan validasi adalah nilai produktivitas untuk sawah dan juga ladang, kemudian luas lahan dan luas panen dan yang terakhir adalah untuk nilai produksi baik untuk sawah dan ladang

### 4.6.1. Validasi Sub Model Produktivitas Padi Sawah

Nilai E1 dari produktivitas lahan sawah sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data

asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.16 dibawah.

**Tabel 4.16 Data Asli dan Data Simulasi Produktivitas Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Produktivitas Padi Sawah (ton/ha)</b>	<b>Data asli Produktivitas Padi Sawah (ton/ha)</b>
2000	5.367	5.367
2001	5.355	5.167
2002	5.400	5.320
2003	5.391	5.357
2004	5.413	5.418
2005	5.454	5.430
2006	5.510	5.447
2007	5.516	5.530
2008	5.929	6.005
2009	5.821	6.019
2010	5.832	6.039
2011	5.466	5.549
2012	5.983	6.255
2013	5.998	6.001
2014	5.994	6.093
2015	6.005	6.215
2016	5.987	6.108
Rata-rata	5.672	5.725
Standar Deviasi	0.272	0.372

$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|5.672 - 5.725|}{5.725} \\
 &= \frac{0.053}{5.725} \\
 &= 0.0092 \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 0.92\%$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$E2 = \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli}$$

$$= \frac{|0.272 - 0.372|}{0.372}$$

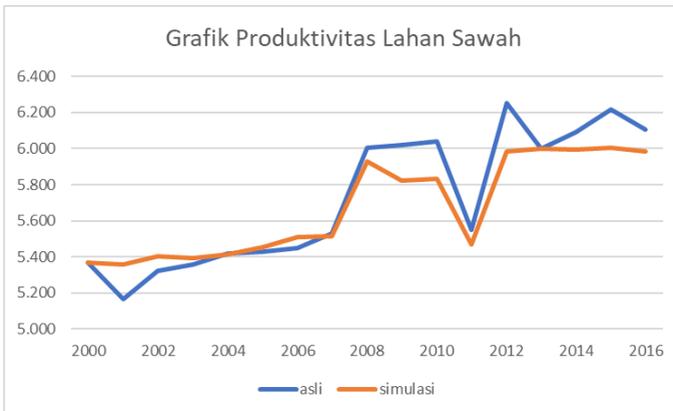
$$= \frac{0.1}{0.372}$$

$$= 0.268 \times 100\%$$

$$= 26.8\%$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.27 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli sub model produktivitas lahan sawah. Pada grafik cenderung menunjukkan nilai yang semakin meningkat dari tahun ke tahunnya.



**Gambar 4.27 Grafik Produktivitas Padi Sawah**

#### 4.6.2. Validasi Sub-model Produktivitas Padi Ladang

Nilai  $E1$  dari produktivitas lahan sawah sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data

asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.17 dibawah.

**Tabel 4.17 Data Asli dan Data Simulasi Produktivitas Padi Ladang**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Produktivitas Padi Ladang (ton/ha)</b>	<b>Data asli Produktivitas Padi Ladang (ton/ha)</b>
2000	3.199	3.199
2001	3.25426	3.421
2002	3.34878	3.433
2003	3.3915	3.580
2004	3.42993	3.529
2005	3.51147	3.527
2006	3.55039	3.522
2007	3.59863	3.607
2008	4.23929	4.290
2009	4.20884	4.262
2010	4.32503	4.254
2011	4.43219	4.580
2012	4.70743	5.093
2013	4.58591	4.752
2014	4.40009	4.421
2015	4.45464	4.521
2016	4.51552	4.401
Rata-rata	3.950	4.023
Standar Deviasi	0.545	0.571

$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|3.950 - 4.023|}{4.023} \\
 &= \frac{0.073}{4.023} \\
 &= 0.0181 \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 1.81\%$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$E2 = \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli}$$

$$= \frac{|0.545 - 0.571|}{0.571}$$

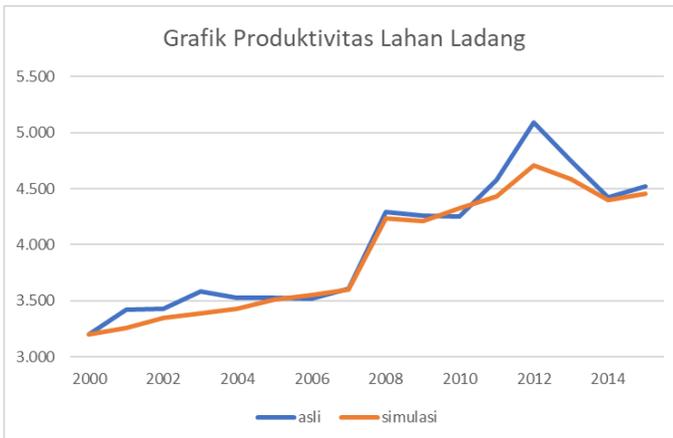
$$= \frac{0.026}{0.571}$$

$$= 0.045 \times 100\%$$

$$= 4.5\%$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.28 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli sub model produktivitas lahan sawah. Pada grafik cenderung menunjukkan nilai yang semakin meningkat dari tahun ke tahunnya.



**Gambar 4.28 Grafik Produktivitas Padi Ladang**

#### 4.6.3. Validasi Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Sawah

Nilai E1 dari luas lahan dan juga luas panen sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19 dibawah

**Tabel 4.18 Data Asli dan Data Simulasi Luas Lahan Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Lahan Padi Sawah (ha)</b>	<b>Data asli Luas Lahan Padi Sawah (ha)</b>
2000	1,118,150	1,118,152
2001	1,115,790	1,117,180
2002	1,113,440	1,116,209
2003	1,111,090	1,115,239
2004	1,108,740	1,108,361
2005	1,106,410	1,100,574
2006	1,104,070	1,096,479
2007	1,101,740	1,096,605
2008	1,109,220	1,108,578
2009	1,106,880	1,100,517
2010	1,104,550	1,107,276
2011	1,102,220	1,106,449
2012	1,099,890	1,105,550
2013	1,097,570	1,102,921
2014	1,095,250	1,101,765
2015	1,092,940	1,091,752
2016	1,090,640	1,090,802
Rata-rata	1,104,623	1,104,965
Standar Deviasi	7,826	8,508

$$E1 = \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{|1,104,623 - 1,104,965|}{1,104,965} \\
 &= \frac{342}{1,104,965} \\
 &= 0.0003 \times 100\% \\
 &= 0.03\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli} \\
 &= \frac{|7,826 - 8,508|}{8,508} \\
 &= \frac{682}{8,508} \\
 &= 0.08 \times 100\% \\
 &= 8\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

**Tabel 4.19 Data Asli dan Data Simulasi Luas Panen Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Panen Padi Sawah (ha)</b>	<b>Data asli Luas Panen Padi Sawah (ha)</b>
2000	1,679,189	1,666,360
2001	1,636,059	1,619,739
2002	1,574,410	1,597,767
2003	1,629,162	1,600,713
2004	1,625,725	1,595,392
2005	1,622,295	1,594,188
2006	1,618,872	1,652,331
2007	1,615,456	1,632,669
2008	1,665,777	1,668,298
2009	1,823,088	1,787,354

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Panen Padi Sawah (ha)</b>	<b>Data asli Luas Panen Padi Sawah (ha)</b>
2010	1,863,259	1,842,445
2011	1,859,328	1,807,393
2012	1,811,572	1,838,381
2013	2,017,184	1,897,816
2014	989,964	1,034,293
2015	1,937,078	2,021,766
2016	2,004,442	2,112,563
Rata-rata	1,704,286	1,704,086
Standar Deviasi	235,152	233,478

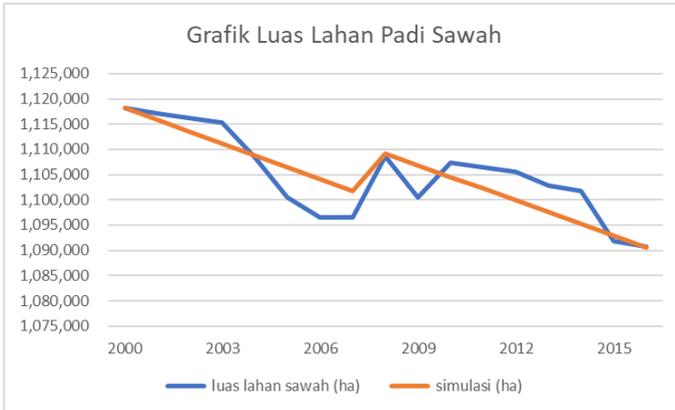
$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|1,704,286 - 1,704,086|}{1704086} \\
 &= \frac{200}{1,704,086} \\
 &= 0.0001 \times 100\% \\
 &= 0.01\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

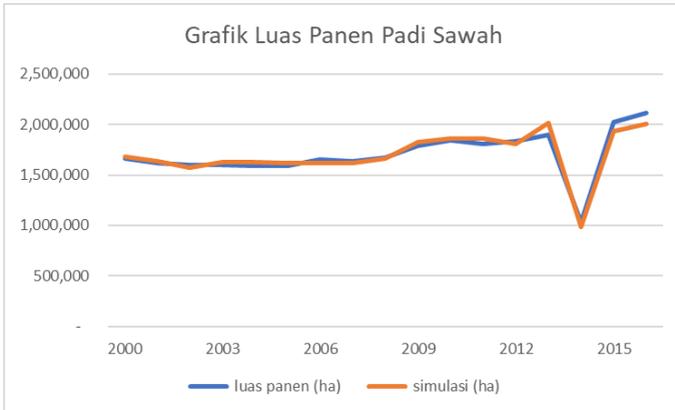
$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar deviasi data simulasi - Standar deviasi data asli|}{Standar deviasi data asli} \\
 &= \frac{|235,152 - 233,478|}{233,478} \\
 &= \frac{1674}{233,478} \\
 &= 0.0072 \times 100\% \\
 &= 0.72\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli sub model luas lahan dan luas panen sawah.



**Gambar 4.29 Grafik Luas Lahan Padi Sawah**



**Gambar 4.30 Grafik Luas Panen Padi Sawah**

#### 4.6.4. Validasi Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen Padi Ladang

Nilai  $E1$  dari luas lahan dan juga luas panen padi ladang sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5%

dari nilai data asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 dibawah

**Tabel 4.20 Data Asli dan Data Simulasi Luas Lahan Ladang**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Lahan Padi Ladang (ha)</b>	<b>Data asli Luas Lahan Padi Ladang (ha)</b>
2000	38238	38238
2001	37310.7	37389
2002	36405.9	36560
2003	35523.1	35748
2004	34661.7	34955
2005	33821.1	34179
2006	33001	33420
2007	32200.7	32678
2008	31419.8	31953
2009	41788.4	42564
2010	40775	44312
2011	39786.2	37331
2012	38821.4	37800
2013	37880	37520
2014	36961.4	37439
2015	43244.8	43785
2016	58380.5	59048
Rata-rata	38248	38525
Standar Deviasi	6167.32	6377.80

$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata \text{ data simulasi} - Rata - rata \text{ data asli}|}{Rata - rata \text{ data asli}} \\
 &= \frac{|38248 - 38525|}{38525} \\
 &= \frac{277}{38525} \\
 &= 0.0072 \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 0.72\%$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli} \\
 &= \frac{|6167.32 - 6377.80|}{6377.80} \\
 &= \frac{210.48}{6377.80} \\
 &= 0.033 \times 100\% \\
 &= 3.3\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

**Tabel 4.21 Data Asli dan Data Simulasi Luas Panen Ladang**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>	<b>Data asli Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>
2000	109342	87,818
2001	104170	88,739
2002	98020.5	88,664
2003	99178.9	94,801
2004	96773.8	101,632
2005	94427	99,463
2006	92137.1	98,572
2007	89902.8	103,379
2008	89845.2	106,586
2009	138075	117,476
2010	137986	121,538
2011	134640	119,403
2012	128272	137,338
2013	125161	139,205
2014	122126	138,337
2015	115596	130,304

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>	<b>Data asli Luas Panen Padi Ladang (ha)</b>
2016	161823	149,997
Rata-rata	113969	113132
Standar Deviasi	21183.87	20191.84

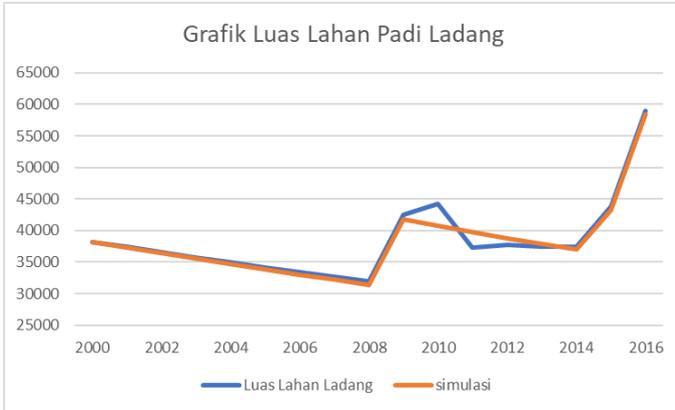
$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|113969 - 113132|}{113132} \\
 &= \frac{837}{113132} \\
 &= 0.0074 \times 100\% \\
 &= 0.74\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

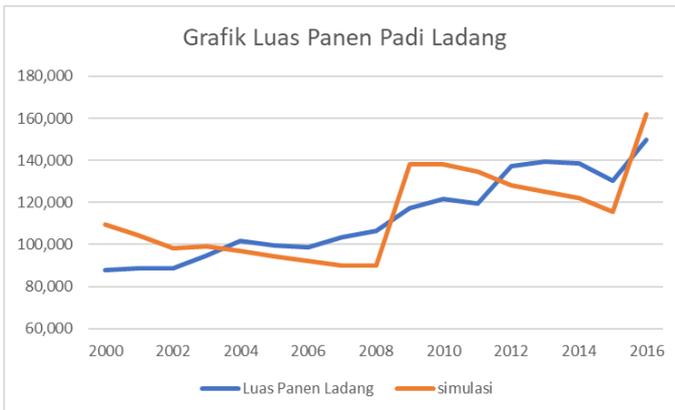
$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar deviasi data simulasi - Standar deviasi data asli|}{Standar deviasi data asli} \\
 &= \frac{|21183.87 - 20191.84|}{20191.84} \\
 &= \frac{992.03}{20191.84} \\
 &= 0.049 \times 100\% \\
 &= 4.9\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli sub model luas lahan dan luas panen sawah.



**Gambar 4.31 Grafik Luas Lahan Padi Ladang**



**Gambar 4.32 Grafik Luas Panen Padi Ladang**

#### 4.6.5. Validasi Sub Model Produksi Padi

Nilai E1 dari produksi sawah sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.22 dibawah

Tabel 4.22 Data Asli dan Data Simulasi Produksi Padi Sawah

Tahun	Model Simulasi Produksi Padi Sawah (ton)	Data asli Produksi Padi Sawah (ton)
2000	9,012,206	8,943,392
2001	8,761,636	8,369,215
2002	8,502,523	8,499,460
2003	8,783,382	8,575,611
2004	8,799,884	8,643,407
2005	8,847,557	8,656,499
2006	8,920,010	8,999,771
2007	8,910,047	9,029,176
2008	9,876,932	10,017,560
2009	10,611,572	10,758,398
2010	10,867,440	11,126,704
2011	10,163,684	10,029,728
2012	10,839,425	11,499,199
2013	12,098,811	11,387,903
2014	5,933,946	11,785,464
2015	11,631,545	12,565,824
2016	12,000,833	12,903,595
Rata-rata	9,680,084	10,105,347
Standar Deviasi	1,563,068	1,534,558

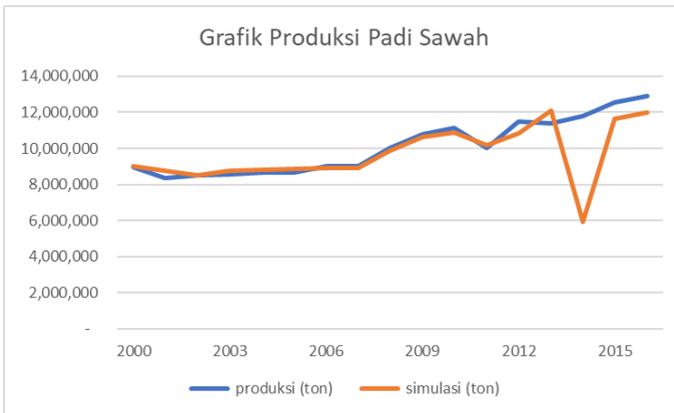
$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata \text{ data simulasi} - Rata - rata \text{ data asli}|}{Rata - rata \text{ data asli}} \\
 &= \frac{|9,680,084 - 10,105,347|}{10,105,347} \\
 &= \frac{425263}{10,105,347} \\
 &= 0.042 \times 100\% \\
 &= 4.2\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli} \\
 &= \frac{|1,563,068 - 1,534,558|}{1,534,558} \\
 &= \frac{28510}{1,534,558} \\
 &= 0.018 \times 100\% \\
 &= 1.8\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.33 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli produksi padi sawah.



**Gambar 4.33 Grafik Produksi Padi Sawah**

Nilai  $E1$  dari produksi ladang sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data asli. Begitu juga untuk nilai  $E2$  juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.23 dibawah

Tabel 4.23 Data Asli dan Data Simulasi Produksi Padi Ladang

Tahun	Model Simulasi Produksi Padi Ladang (ton)	Data asli Produksi Padi Ladang (ton)
2000	349,785	280,961
2001	338,996	303,576
2002	328,249	304,418
2003	336,365	339,384
2004	331,928	358,618
2005	331,577	350,766
2006	327,123	347,176
2007	323,527	372,853
2008	380,880	457,213
2009	581,135	500,687
2010	596,795	517,069
2011	596,751	546,815
2012	603,829	699,508
2013	573,977	661,439
2014	537,364	611,585
2015	514,938	589,143
2016	730,716	730,106
Rata-rata	457,878	468,901
Standar Deviasi	137579.12	149890.92

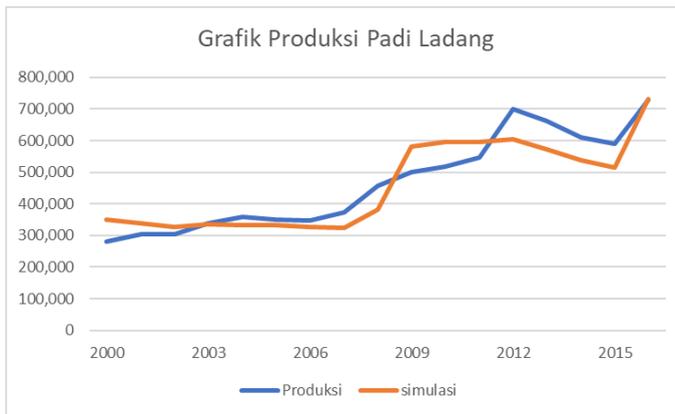
$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|457,878 - 468901|}{468901} \\
 &= \frac{11023}{468901} \\
 &= 0.023 \times 100\% \\
 &= 2.3\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$\begin{aligned}
 E2 &= \frac{|Standar\ deviasi\ data\ simulasi - Standar\ deviasi\ data\ asli|}{Standar\ deviasi\ data\ asli} \\
 &= \frac{|137579.12 - 149890.92|}{149890.92} \\
 &= \frac{12311.8}{149890.92} \\
 &= 0.0821 \times 100\% \\
 &= 8.21\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.34 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli produksi padi ladang.



**Gambar 4.34 Grafik Produksi Padi Ladang**

Nilai E1 dari total produksi sudah sesuai dengan standar, yaitu sama dengan ataupun dibawah 5% dari nilai data asli. Begitu juga untuk nilai E2 juga dibawah nilai 30%. Untuk data lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.24 dibawah

**Tabel 4.24 Data Asli dan Data Simulasi Total Produksi Padi**

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Produksi Padi (ton)</b>	<b>Data asli Produksi Padi (ton)</b>
2000	9361991	9224353

<b>Tahun</b>	<b>Model Simulasi Produksi Padi (ton)</b>	<b>Data asli Produksi Padi (ton)</b>
2001	9100632	8672791
2002	8830772	8803878
2003	9119747	8914995
2004	9131812	9002025
2005	9179134	9007265
2006	9247133	9346947
2007	9233574	9402029
2008	10257812	10474773
2009	11192707	11259085
2010	11464235	11643773
2011	10760435	10676543
2012	11443254	12198707
2013	12672788	12049342
2014	6471310	12397040
2015	12146483	13154967
2016	12731548	13633701
Rata-rata	10137963	10580130
Standar Deviasi	1650274.868	1675618.015

$$\begin{aligned}
 E1 &= \frac{|Rata - rata data simulasi - Rata - rata data asli|}{Rata - rata data asli} \\
 &= \frac{|10137963 - 10580130|}{10580130} \\
 &= \frac{442167}{10580130} \\
 &= 0.041 \times 100\% \\
 &= 4.1\%
 \end{aligned}$$

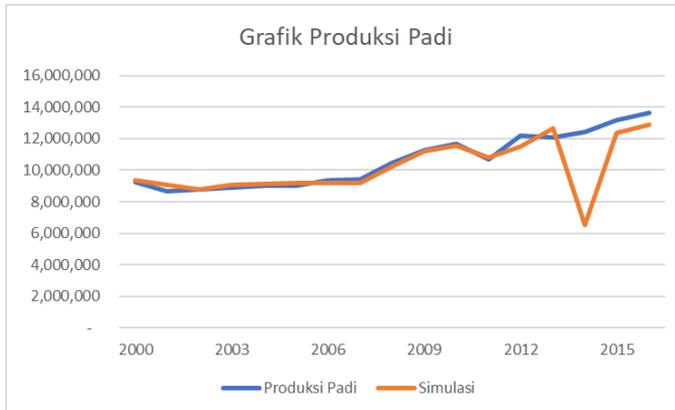
Error rate  $E1 \leq 5\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

$$E2 = \frac{|Standar deviasi data simulasi - Standar deviasi data asli|}{Standar deviasi data asli}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{|1650274.868 - 1675618.015|}{1675618.015} \\
 &= \frac{25343.147}{1675618.015} \\
 &= 0.015 \times 100\% \\
 &= 1.5\%
 \end{aligned}$$

Error rate  $E2 \leq 30\%$ , berarti model simulasi dikatakan valid

Gambar 4.35 menggambarkan perbandingan grafik antara data simulasi dengan data asli sub model produksi padi.



**Gambar 4.35 Grafik Total Produksi Padi**

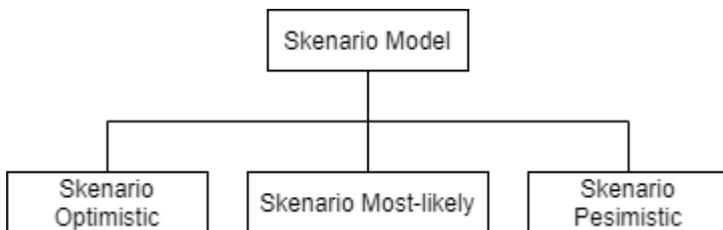
## BAB V

### PENGEMBANGAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL

Bab ini menjelaskan proses pembuatan skenario model yang akan digunakan untuk memperbaiki kondisi sistem agar mencapai tujuan yang diinginkan. Hasil yang didapatkan dari melakukan skenario kemudian akan dianalisis.

#### 5.1 Pengembangan Skenario

Setelah run model dari *basemodel* yang telah dibuat sebelumnya telah dinyatakan valid, langkah selanjutnya adalah melakukan tahap percobaan melalui skenario yang akan diterapkan pada model. Dalam pengembangan skenario waktu diperpanjang sampai dengan tahun 2035 yang mulanya pada *basemodel* hanya sampai tahun 2016. Pada simulasi sistem terdapat 2 jenis skenario yaitu skenario struktur dan skenario parameter. Skenario struktur dilakukan dengan merubah struktur model pada variabel-variabel yang berpengaruh terhadap tujuan simulasi. Kemudian untuk stuktur parameter dilakukan dengan merubah parameter pada variabel yang sudah ada untuk mengetahui kemungkinan dimasa yang akan datang (Gambar 5.1).



**Gambar 5.1 Pengembangan Skenario**

Skenario kedepan akan dilakukan perpanjangan waktu sampai dengan tahun 2035. Mengingat salah satu faktor yang menjadi bahasan dalam tugas akhir ini adalah dampak dari perubahan iklim, maka akan ditentukan dahulu skenario untuk kejadian iklim untuk waktu yang akan datang. Kejadian iklim akan

sangat ditentukan oleh nilai SOI (Southern Oscillation Index), dimana nilai SOI tersebut akan menentukan kejadian iklim yang terjadi pada tahun tertentu. Untuk kejadian iklim normal nilai SOI berada pada rentang -5 sampai dengan +5, kemudian untuk kejadian El Nino Lemah akan berada pada rentang nilai <-5 sampai dengan -10, untuk El Nino Kuat memiliki nilai SOI <-10. Untuk kejadian La Nina lemah akan memiliki nilai SOI yang berada pada rentang >5 sampai dengan 10, dan untuk La Nina kuat memiliki nilai SOI >10. Berikut ini merupakan hasil skenario untuk kejadian iklim yang akan datang (Tabel 5.1)

**Tabel 5.1 Skenario Kejadian Iklim**

<b>Tahun</b>	<b>SOI</b>	<b>Kejadian Iklim</b>
2017	-1.50598	normal
2018	10.0118	La Nina kuat
2019	3.81262	normal
2020	-7.29344	El Nino lemah
2021	4.66255	normal
2022	-5.14672	El Nino lemah
2023	2.75974	normal
2024	-3.76678	normal
2025	8.31419	La Nina lemah
2026	5.5761	La Nina lemah
2027	-7.17732	El Nino lemah
2028	-11.3809	El Nino kuat
2029	-0.15019	normal
2030	-6.8881	El Nino lemah
2031	-0.91986	normal
2032	9.01277	La Nina lemah
2033	-1.80832	normal
2034	8.37017	La Nina lemah
2035	-2.59994	normal

Dapat dilihat pada tabel bahwa sampai dengan perpanjangan waktu sampai dengan tahun 2035 diskenariokan akan terjadi 5

kejadian El Nino dan 5 kejadian La Nina dengan masing-masing 1 kejadian kuat dan siasanya kejadian lemah.

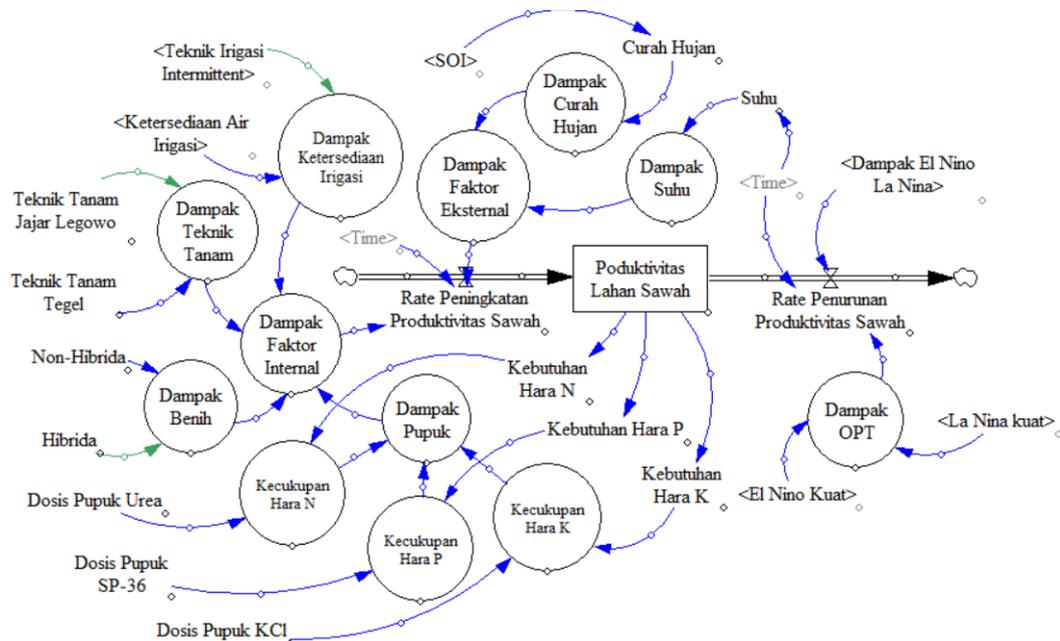
## **5.2 Skenario *Optimistic***

Skenario *optimistic* pada tugas akhir ini, dilakukan dengan melakukan skenario struktur dan juga skenario parameter. Skenario struktur dengan menambahkan beberapa variabel, yaitu terkait penerapan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT). Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) merupakan pendekatan inovatif dengan cara menggabungkan beberapa teknologi pertanian yang saling menunjang untuk meningkatkan produktivitas pertanian dengan tetap memperhatikan penggunaan sumber daya alam secara baik. Beberapa teknologi pertanian yang dapat diterapkan dalam PTT diantaranya adalah penggunaan varietas unggul (hibrida), penerapan teknik tanam jajar legowo, pemberian pupuk sesuai rekomendasi, dan juga irigasi dengan cara berselang (*intermittent*). Hal ini juga sesuai dengan konsep *Crop Management*, *Soil Management*, dan *Water Management* pada pendekatan *Climate Smart Agriculture* yang telah dijelaskan sebelumnya. Kemudian untuk parameter yang akan diubah adalah nilai indeks penanaman, dimana dengan mengubah nilai indeks penanaman menjadi nilai maksimum untuk setiap tahunnya. Nilai indeks penanaman yang digunakan pada skenario ini adalah 2 untuk padi sawah dan 3 untuk padi ladang, penggunaan nilai ini melihat dari history data yang sudah ada dan pertimbangan faktor internal seperti ketersediaan irigasi yang cukup penting untuk dapat mendukung peningkatan indeks penanaman.

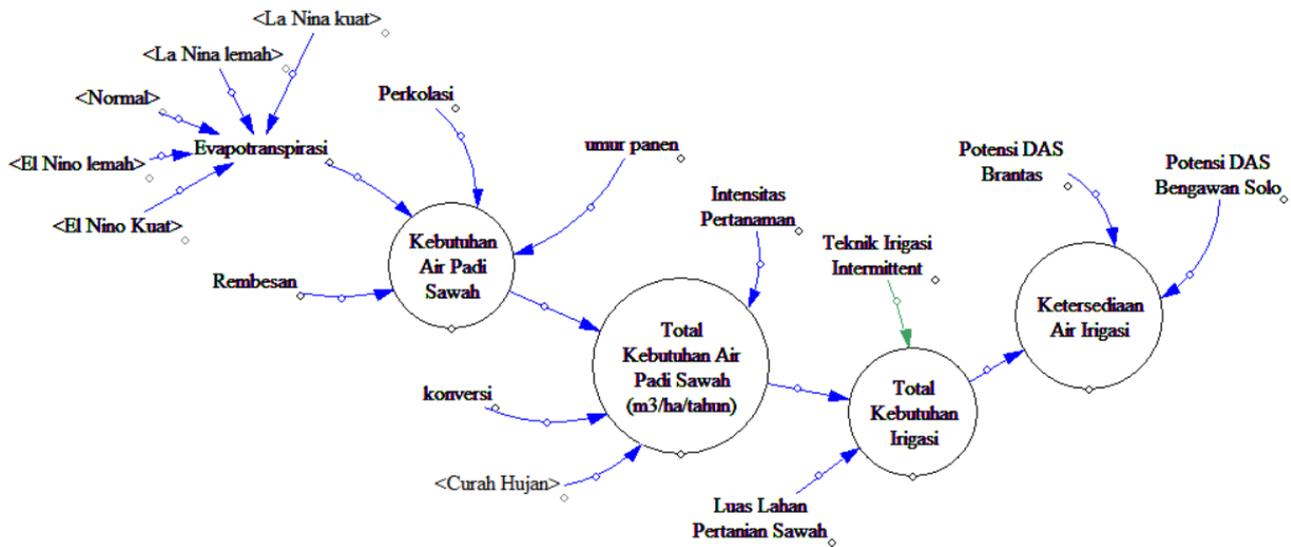
Penerapan skenario ini juga merujuk kepada strategi adaptasi yang telah dikeluarkan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia (BAPPENAS), dimana salah satu strategi adaptasi dalam menghadapi perubahan iklim adalah dengan meningkatkan kapasitas. Dalam bidang pertanian salah satu strategi yang diterapkan adalah dengan meningkatkan produksi tanaman pokok. Salah satu cara dalam meningkatkan produksi tersebut tentunya harus diawali dari peningkatan produktivitas. Harapannya dengan peningkatan tersebut dapat

menutup nilai penurunan yang diakibatkan oleh dampak perubahan iklim pada saat sebelum dilakukannya upaya penerapan PTT. Hal ini juga sesuai dengan panduan umum adaptasi perubahan iklim yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian.

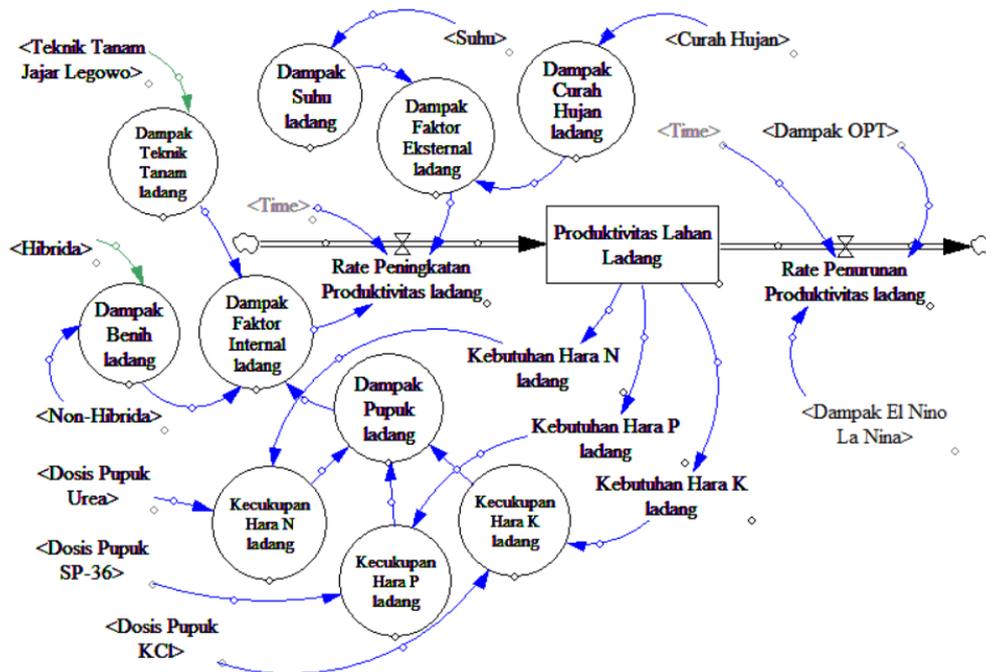
Skenario struktur ini menggunakan asumsi bahwa teknologi PTT yang diterapkan yaitu benih hibrida, teknik tanam jarak legowo, pemberian dosis pupuk sesuai rekomendasi, dan irigasi intermitten digunakan secara menyeluruh pada produksi pertanian Provinsi Jawa Timur untuk menggantikan teknologi tanam yang sekarang ini diterapkan. (Gambar 5.2, Gambar 5.3 & Gambar 5.4)



Gambar 5.2 Skenario *optimistic* Padi Sawah (1)



Gambar 5.3 Skenario *optimistic* Padi Sawah (2)



Gambar 5.4 Skenario *optimistic* Padi Ladang

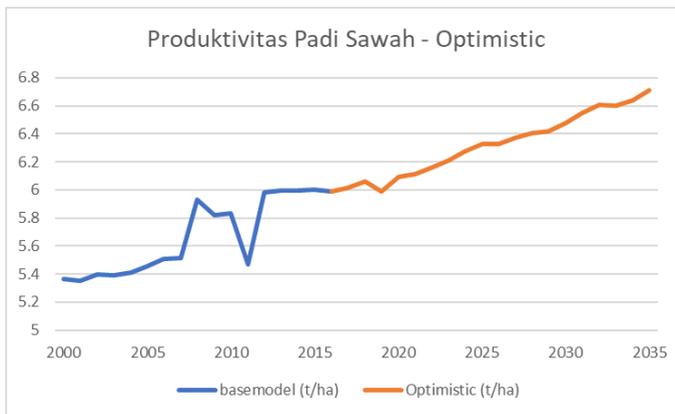
Dengan diubahnya masukan jenis benih, teknik tanam, dosis pupuk dan teknik irigasi, pastinya juga akan berpengaruh pada dampak yang dihasilkan oleh variabel-variabel tersebut dalam rate peningkatan produktivitas. Padi jenis hibrida diyakini dapat meningkatkan produktivitas sampai dengan 35% daripada jenis padi inbrida maupun padi lokal, kemudian teknik tanam jarak legowo diyakini dapat meningkatkan produktivitas sampai dengan 22% untuk padi sawah dan mencapai 35% untuk padi ladang, dan teknik irigasi intermitten dapat menghemat kebutuhan air irigasi sampai dengan 31.88% dan juga diyakini dapat meningkatkan produktivitas padi sawah sampai dengan 22%. Pada Tabel 5.2 dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan dalam skenario struktur penerapan pengelolaan tanaman terpadu:

**Tabel 5.2 Formulasi Skenario Struktur 1**

<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
Dampak Benih	IF THEN ELSE("Non-Hibrida "=1, RANDOM NORMAL(0.0003, 0.0045, 0.00165, 0.00135, 0), IF THEN ELSE(Hibrida=1, RANDOM NORMAL( 0.001, 0.015, 0.0055, 0.0045, 0), 0))
Dampak Teknik Tanam	IF THEN ELSE(Teknik Tanam Tegel=1, RANDOM NORMAL(0.00036, 0.0054, 0.00198, 0.00162, 0), IF THEN ELSE(Teknik Tanam Jajar Legowo=1, RANDOM NORMAL(0.0008, 0.012, 0.0044, 0.0036, 0), 0))
Dosis Pupuk Urea	300
Dosis Pupuk SP36	100
Dosis Pupuk KCl	100
Teknik Irigasi Intermittent	0.68
Total Kebutuhan Irigasi	Luas Lahan Pertanian Sawah*"Total Kebutuhan Air Padi Sawah

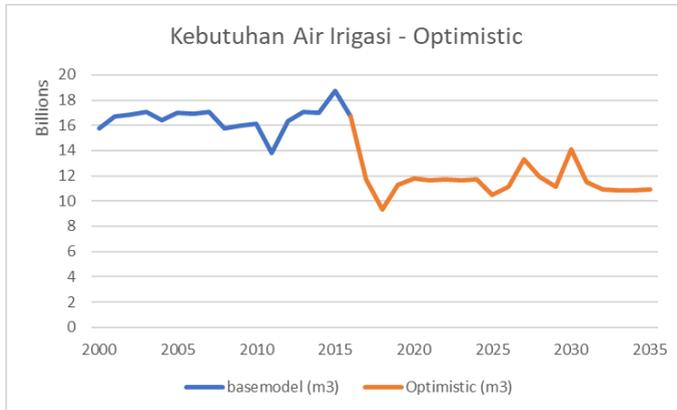
<b>Variabel</b>	<b>Persamaan</b>
	(m <sup>3</sup> /ha/tahun)"*Teknik Irigasi Intermittent
Dampak Ketersediaan Irigasi	IF THEN ELSE(Ketersediaan Air Irigasi>=1, RANDOM NORMAL(0.0003, 0.0045, 0.00165, 0.00135, 0), IF THEN ELSE(Ketersediaan Air Irigasi>=1:AND:Teknik Irigasi Intermittent<1, RANDOM NORMAL(0.00074, 0.0111, 0.00407, 0.00333, 0), 0.0003))
Indeks penanaman sawah	IF THEN ELSE(Time<=2008, 1.47, IF THEN ELSE(Time<=2012, 1.64, IF THEN ELSE(Time=2014, 0.9, IF THEN ELSE(Time>=2017, 2, 1.83))))
Dampak Benih ladang	IF THEN ELSE("Non-Hibrida "=1, RANDOM NORMAL(0.0006, 0.01155, 0.0006, 0.00435, 0), IF THEN ELSE(Hibrida=1, RANDOM NORMAL(0.00081, 0.0155925, 0.00081, 0.0058725, 0), 0))
Dampak Teknik Tanam ladang	IF THEN ELSE(Teknik Tanam Jajar Legowo=1, RANDOM NORMAL(0.000972, 0.018711, 0.000972, 0.007047, 0), RANDOM NORMAL(0.00072, 0.01386, 0.00072, 0.00522, 0))
Dosis Pupuk Urea	300
Dosis Pupuk SP36	100
Dosis Pupuk KCl	100
Indeks penanaman ladang	IF THEN ELSE(Time<=2008, 2.78, IF THEN ELSE(Time<=2014, 3.29, IF THEN ELSE(Time>=2017, 3, 2.76)))

Dengan dilakukannya penerapan pengelolaan tanaman terpadu (PTT), nilai produktivitas sawah cenderung meningkat apabila dibandingkan dengan nilai base model yang cenderung turun dalam menghadapi kejadian-kejadian iklim yang ada seperti dapat dilihat pada Gambar 5.5. Apabila melihat *basemodel* rata-rata produktivitas padi sawah pada tahun 2000-2016 adalah 5.67 ton/ha. Setelah dilakukan skenario PTT dan diperpanjang sampai tahun 2035 nilai rata-rata produktivitas padi sawah naik menjadi 6.08 ton/ha dan mencapai nilai produktivitas 6.7 ton/ha pada tahun 2035.



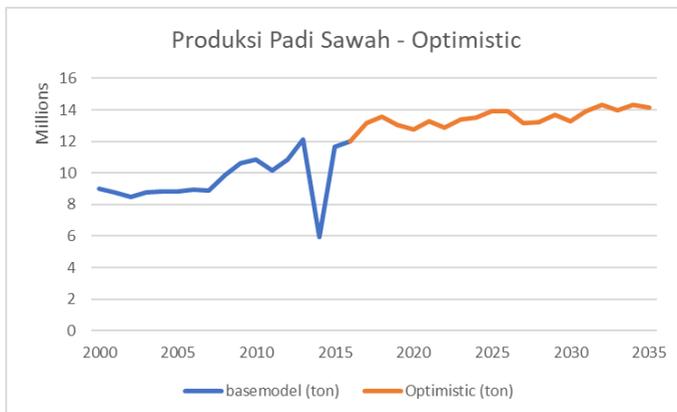
**Gambar 5.5 Grafik Skenario Optimistic Produktivitas Padi Sawah**

Kemudian salah satu faktor yang cukup berpengaruh pada produktivitas padi sawah adalah ketersediaan irigasi. Dimana setelah diterapkan skenario *optimistic* khususnya teknik irigasi intermitten, kebutuhan air irigasi cukup banyak berkurang, hal ini akan berpengaruh apabila terjadi El Nino dimana pasokan air yang cenderung berkurang untuk irigasi (Gambar 5.6) dan hal ini juga dapat mendukung untuk peningkatan indeks penanaman dimana semakin tinggi indeks penanaman semakin tinggi pula kebutuhan air irigasi yang diperlukan.



**Gambar 5.6 Grafik Kebutuhan Air Irigasi - Optimistic**

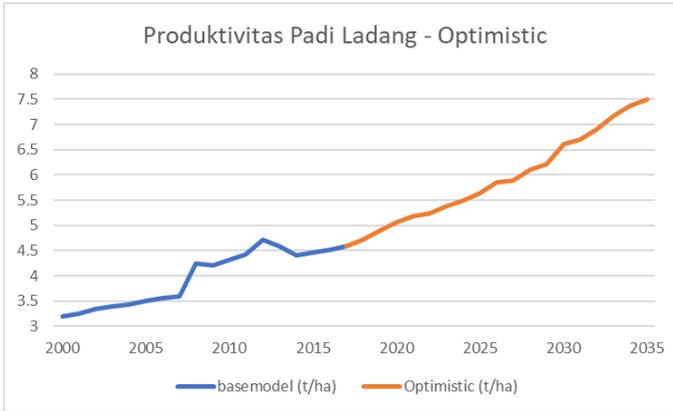
Apabila dilihat pada nilai produksi dari padi sawah setelah diterapkan skenario *optimistic*, nilai produksi cenderung fluktuatif dengan trend yang meningkat (Gambar 5.7).



**Gambar 5.7 Grafik Produksi Padi Sawah Skenario Optimistic**

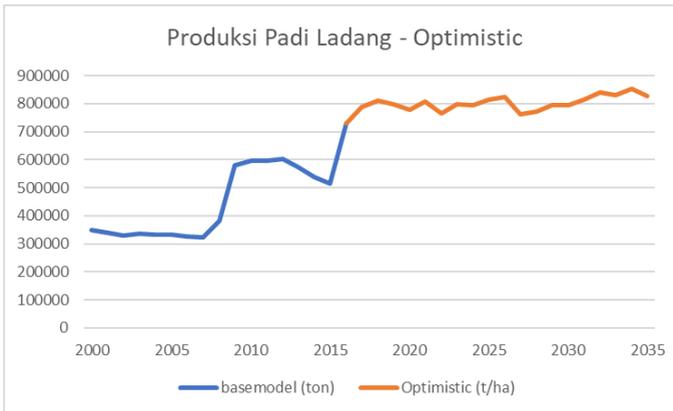
Pada padi ladang setelah diterapkan skenario *optimistic*, nilai produktivitas pun semakin meningkat. Apabila melihat *basemodel* rata-rata produktivitas padi ladang pada tahun 2000-2016 adalah 3.95 ton/ha. Setelah dilakukan skenario *optimistic* dan diperpanjang sampai tahun 2035 nilai rata-rata

produktivitas padi ladang naik menjadi 5 ton/ha dan mencapai angka 7.4 ton/ha pada tahun 2035 (Gambar 5.8).



**Gambar 5.8 Grafik Skenario Optimistic Produktivitas Padi Ladang**

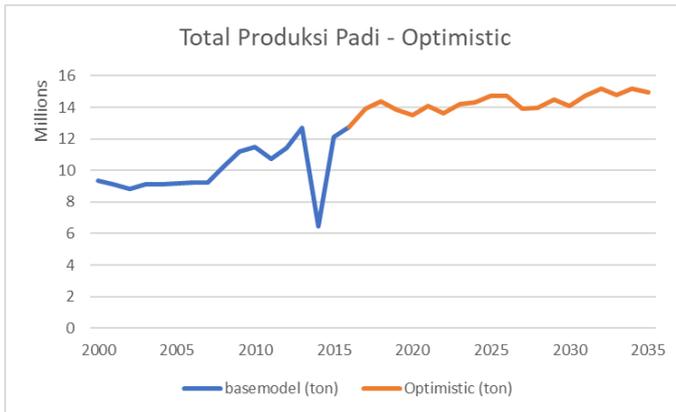
Kemudian untuk nilai produksi padi ladang sendiri sama halnya dengan produksi padi sawah, cenderung fluktuatif dan terlihat memiliki trend yang cenderung konstan dan sedikit naik (Gambar 5.9).



**Gambar 5.9 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Optimistic**

Untuk nilai total produksi padi setelah dilakukan skenario *optimistic* untuk padi sawah dan ladang, *trend* nilai produksi

terlihat cenderung meningkat sedikit demi sedikit walaupun terjadi fluktuasi. (Gambar 5.10).



**Gambar 5.10** Grafik Total Produksi Padi Skenario Optimistic

### 5.3 Skenario *Most-likely*

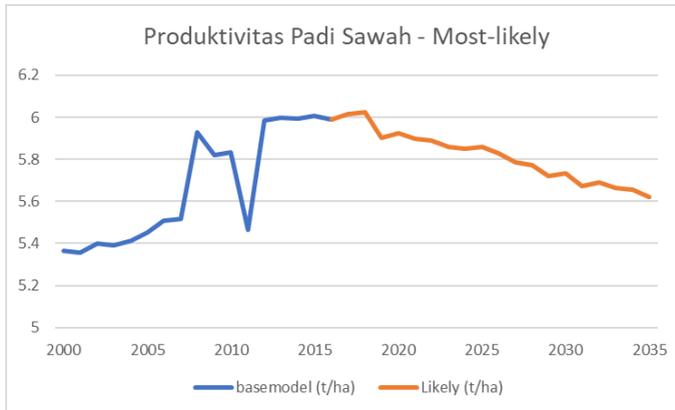
Pada skenario *most-likely* ini dilakukan dengan mengubah nilai parameter terkait dampak faktor internal terhadap produktivitas padi menjadi nilai rata-rata pada setiap tahunnya. Tidak hanya pada variabel terkait dampak faktor internal, melainkan juga pada variabel indeks penanaman juga diubah dengan nilai rata-rata berdasarkan data yang ada. Tabel 5.3 menunjukkan nilai parameter rata-rata untuk setiap variabel.

**Tabel 5.3** Nilai Parameter Skenario *Most-likely*

Variabel	Nilai Variabel Rata-rata
Dampak Benih	0.00165
Dampak Teknik Tanam	0.00198
Dampak Ketersediaan Irigasi	0.00165
Dampak Pupuk	0.00275
Indeks penanaman sawah	1.83
Dampak Benih Ladang	0.0006

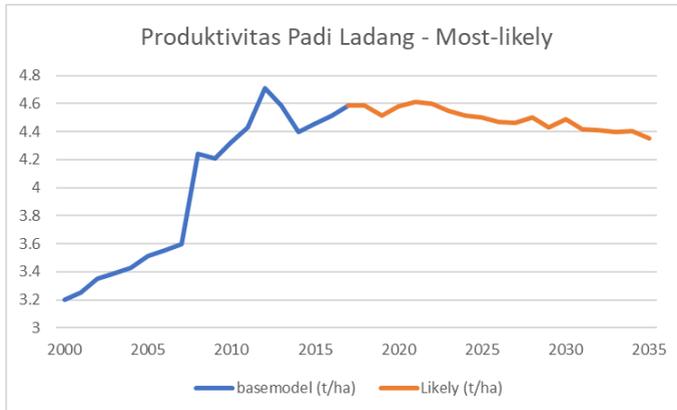
Variabel	Nilai Variabel Rata-rata
Dampak Teknik Tanam Ladang	0.00072
Dampak Pupuk Ladang	0.001
Indeks penanaman ladang	2.76

Gambar 5.11 menunjukkan dengan mengubah nilai parameter akan berpengaruh secara langsung pada nilai produktivitas padi baik sawah maupun ladang. Pada skenario *most-likely* nilai produktivitas tiap tahunnya cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena nilai penurunan produktivitas yang cenderung lebih besar daripada nilai peningkatan produktivitas.



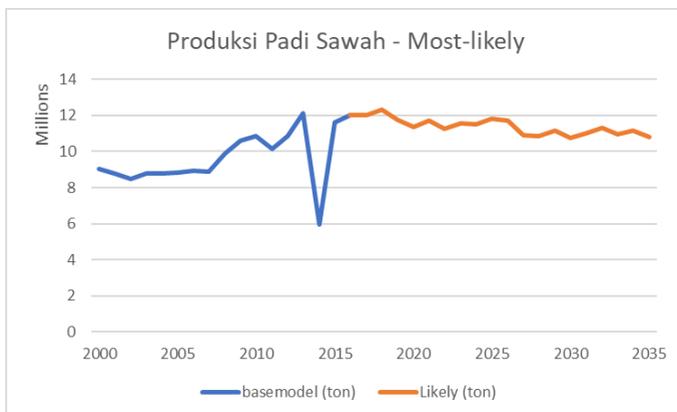
**Gambar 5.11 Grafik Produktivitas Padi Sawah Skenario Most-likely**

Tidak hanya pada produktivitas padi sawah, pada nilai produktivitas padi ladang juga cenderung menurun untuk skenario *most-likely* meskipun tidak sebesar pada padi sawah (Gambar 5.12). Rata-rata nilai produktivitas padi sawah dan padi ladang setelah diterapkan skenario *most likely* adalah 5.7 t/ha dan 4.2 t/ha. Naik sedikit apabila dibandingkan nilai rata-rata *basemodel* pada tahun 2000 – 2016 yang hanya 5.67 t/ha untuk padi sawah dan 3.95 t/ha untuk padi ladang.



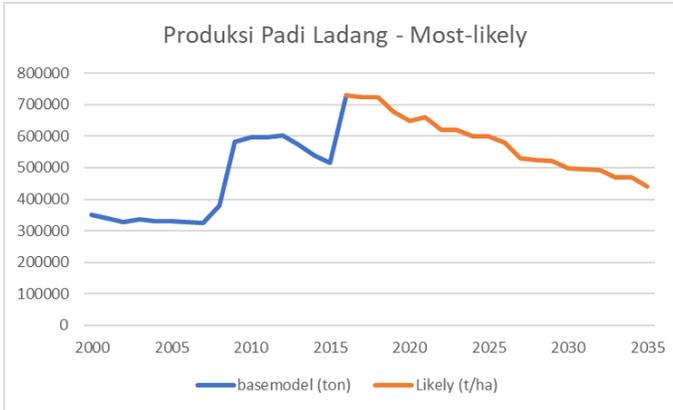
**Gambar 5.12 Grafik Produktivitas Padi Ladang Skenario Most-likely**

Kemudian untuk nilai produksi pada padi sawah mengalami penurunan sedikit demi sedikit dari tahun ke tahunnya. Hal ini dapat diakibatkan dari penurunan nilai luas lahan yang juga terjadi dari tahun ke tahunnya. (Gambar 5.13)



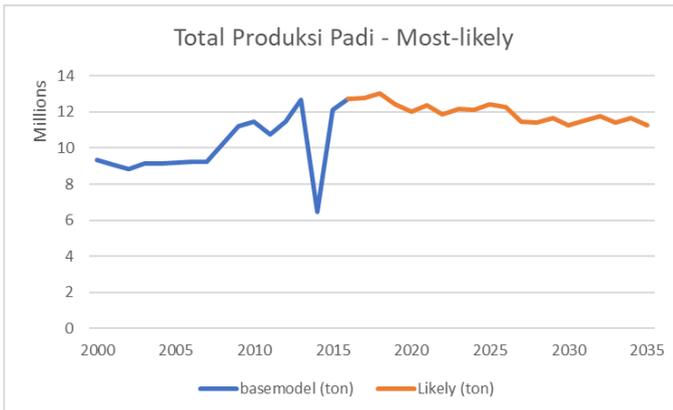
**Gambar 5.13 Grafik ProduksiPadi Sawah Skenario Most-likely**

Kemudian untuk nilai produksi padi ladang juga cenderung menurun pada setiap tahunnya, sama seperti padi sawah hal ini diakibatkan dari penurunan nilai luas lahan yang akan berdampak pada nilai luas panen yang ada. (Gambar 5.14)



**Gambar 5.14 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Most-likely**

Setelah nilai produksi padi diakumulasikan menjadi nilai total produksi padi, nilai total produksi padi juga mengikuti trend yang cenderung menurun pada setiap tahunnya meskipun tidak signifikan seperti dapat dilihat pada Gambar 5.15. Dimana nilai rata-rata total produksi naik sedikit apabila dibandingkan dengan nilai pada *basemodel* tahun 2000 – 2016, yaitu dari 10.137.963 ton menjadi 10.274.762 ton.



**Gambar 5.15 Grafik Total Produksi Padi Skenario Most-likely**

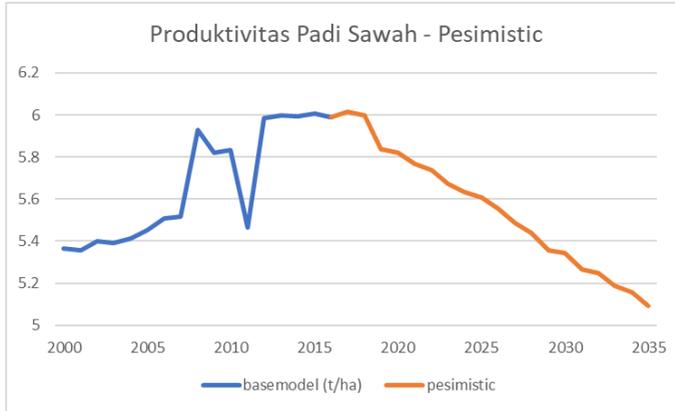
#### 5.4 Skenario *Pesimistic*

Pada skenario *pesimistic* ini dilakukan perubahan nilai parameter terkait dampak faktor internal terhadap produktivitas padi menjadi nilai paling minimum pada setiap tahunnya. Tidak hanya pada variabel terkait dampak faktor internal, melainkan juga pada variabel indeks penanaman juga diubah dengan nilai rata-rata sampai dengan nilai minimum untuk setiap tahunnya berdasarkan data yang ada. Tabel 5.4 menunjukkan nilai parameter untuk setiap variabel yang diubah.

**Tabel 5.4 Nilai Parameter Skenario *Pesimistic***

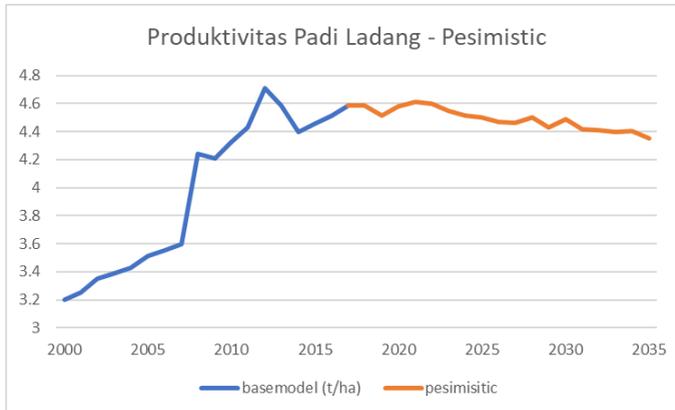
<b>Variabel</b>	<b>Nilai Variabel Rata-rata</b>
Dampak Benih	0.0003
Dampak Teknik Tanam	0.00036
Dampak Ketersediaan Irigasi	0.0003
Dampak Pupuk	0.0005
Indeks penanaman sawah	IF THEN ELSE(Time>=2026, 1.43, IF THEN ELSE(Time>=2017, 1.58, 1.83))
Dampak Benih Ladang	0.0006
Dampak Teknik Tanam Ladang	0.00072
Dampak Pupuk Ladang	0.001
Indeks penanaman ladang	IF THEN ELSE(Time>=2026, 2.3, IF THEN ELSE(Time>=2017, 2.8, 2.76))

Gambar 5.16 menunjukkan dengan mengubah nilai parameter akan berpengaruh secara langsung pada nilai produktivitas padi baik sawah maupun ladang. Pada skenario *pesimistic* nilai produktivitas tiap tahunnya cenderung menurun cukup signifikan. Hal ini terjadi dikarenakan nilai peningkatan produktivitas pada setiap tahunnya yang cenderung kecil dan tidak dapat mengimbangi nilai penurunan produktivitas.



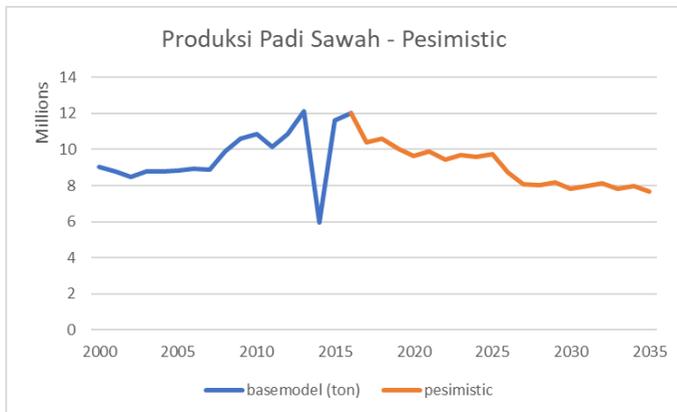
**Gambar 5.16 Grafik Produktivitas Padi Sawah Skenario Pesiistic**

Tidak hanya pada produktivitas padi sawah, pada nilai produktivitas padi ladang juga cenderung menurun untuk skenario *pesimistic* meskipun tidak signifikan pada padi sawah (Gambar 5.17). Rata-rata nilai produktivitas padi sawah dan padi ladang setelah diterapkan skenario *pesimistic* adalah 5.6 t/ha dan 4.2 t/ha. Nilainya sama apabila dibandingkan nilai rata-rata *basemodel* pada tahun 2000 – 2016 yang hanya 5.67 t/ha untuk padi sawah dan untuk padi ladang naik dari nilai 3.95 t/ha.



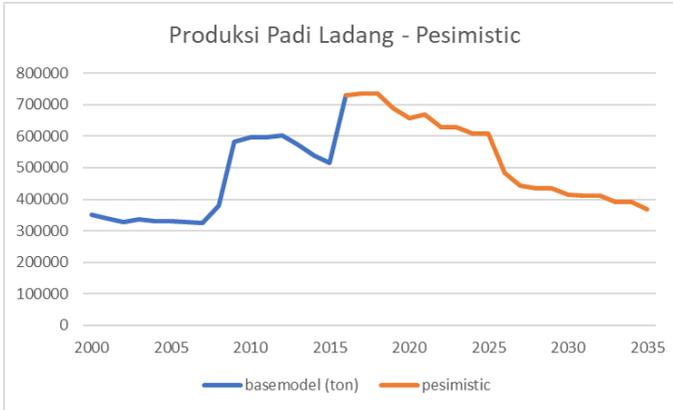
**Gambar 5.17 Grafik Produktivitas Padi Ladang Skenario Pesimistic**

Untuk nilai produksi padi sawah dan juga ladang hampir dapat dipastikan terjadi penurunan melihat nilai produktivitas padi sawah dan juga ladang yang cenderung turun, mengingat pula nilai parameter luas panen juga diubah menjadi nilai rata-rata sampai dengan nilai minimum yang ada (Gambar 5.18 & Gambar 5.19).



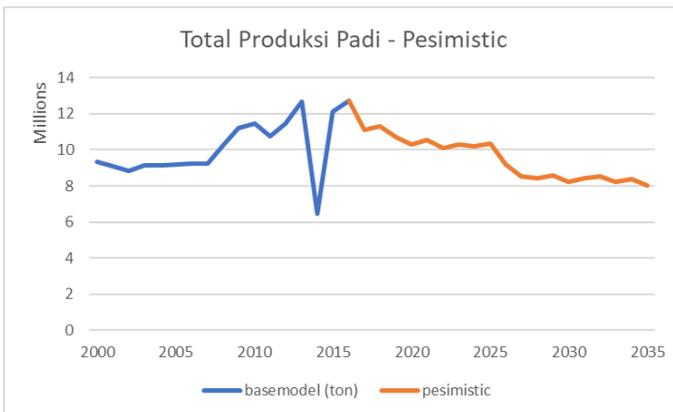
**Gambar 5.18 Grafik Produksi Padi Sawah Skenario Pesimistic**

Dapat dilihat bahwa nilai produksi padi sawah mengalami penurunan yang cukup signifikan dari tahun ke tahunnya. Rata-rata nilai produksi padi sawah dan padi ladang setelah diterapkan skenario pesimistic adalah 9.2 juta ton dan 497.935 ton. Apabila dibandingkan dengan nilai rata-rata *basemodel* pada tahun 2000 – 2016 yang sebesar 9.6 juta ton untuk padi sawah dan 457.878 untuk padi ladang, nilai produksi padi sawah turun dan nilai rata-rata produksi padi ladang sedikit meningkat.



**Gambar 5.19 Grafik Produksi Padi Ladang Skenario Pesimistic**

Kemudian untuk nilai total produksi padi dapat dipastikan menurun apabila melihat nilai produksi padi sawah dan ladang yang juga menurun. Nilai rata-rata total produksi padi sawah pada *basemodel* sebesar 10.1 juta ton, setelah diterapkan skenario pessimistic nilainya turun menjadi 9.7 juta ton. (Gambar 5.20)

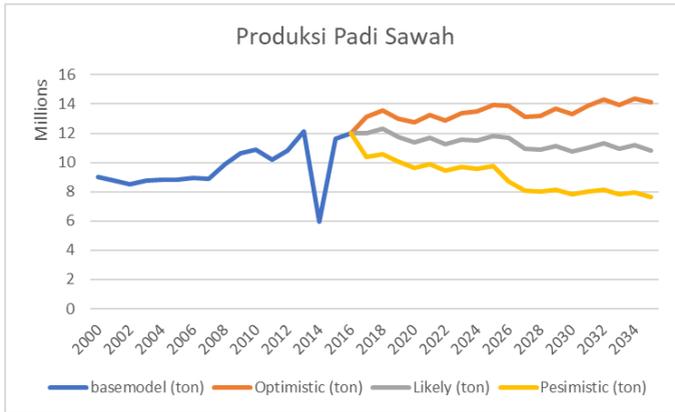


**Gambar 5.20 Grafik Total Produksi Padi Skenario Pesimistic**

## 5.5 Analisis Hasil Skenario

Pada sub bagian ini akan dijelaskan terkait perbandingan hasil dari beberapa model skenario yang telah dibuat sebelumnya. Tujuan dilakukannya analisis ini adalah untuk mendapatkan hasil yang paling optimal dari beberapa skenario yang telah coba diterapkan.

### 5.5.1 Analisis Produksi Padi Sawah



**Gambar 5.21 Analisis Produksi Padi Sawah**

Nilai produksi padi sawah ditentukan oleh nilai produktivitas dan juga luas panen. Dapat dilihat bahwa skenario yang menghasilkan nilai produksi paling optimal adalah skenario *optimistic* yaitu skenario pengelolaan tanaman terpadu dan peningkatan indeks penanaman (Gambar 5.21). Dimana dengan skenario tersebut dapat memaksimalkan nilai produktivitas dan luas panen itu sendiri, sehingga produksi tetap terjaga dalam menghadapi kejadian-kejadian iklim yang ada. Rata-rata produksi sawah yang dihasilkan oleh skenario *optimistic* adalah 11.7 juta ton sampai dengan tahun 2035. Lebih tinggi 21% apabila dibandingkan dengan *basemodel* yang memiliki nilai 9.6 juta ton, dan lebih tinggi 11% dari skenario *most-likely* dan 26% dari skenario *pesimistic* (Tabel 5.5 & Tabel 5.6).

**Tabel 5.5 Perbandingan Hasil Skenario Produksi Padi Sawah**

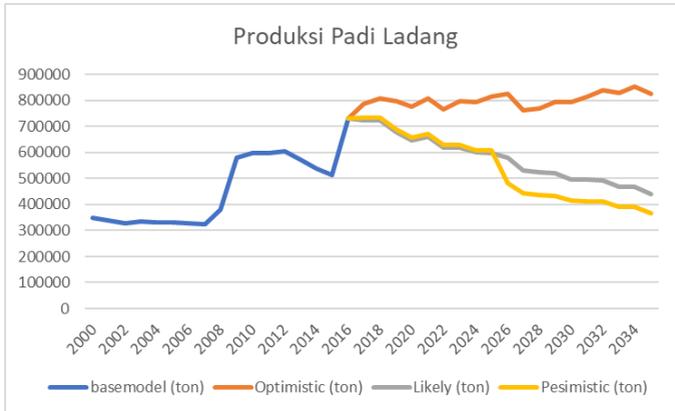
<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2001-2016			
2017	12000833	12000833	12000833
2018	13148701	12031062	10387474
2019	13537643	12313583	10585537
2020	13031280	11755953	10038402
2021	12758613	11352263	9630225
2022	13251939	11696562	9879247
2023	12846054	11245068	9456832
2024	13403930	11575911	9670770
2025	13512330	11528932	9589833
2026	13923481	11805360	9755374
2027	13899322	11718204	8725985
2028	13155388	10922927	8098361.5
2029	13190298	10877912	8011893
2030	13685548	11158796	8164303
2031	13283352	10758717	7837646.5
2032	13898489	11019300	7992441.5
2033	14337621	11292669	8137053
2034	13955188	10949541	7837721.5
2035	14340978	11176431	7965525.5
<b><i>Average</i></b>	<b>11717880</b>	<b>10571247</b>	<b>9277489</b>

Pada Tabel 5.6 dibawah disajikan nilai rata-rata produksi padi sawah per skenario yang ada.

**Tabel 5.6 Rata-rata Hasil Skenario Produksi Padi Sawah**

<b>No.</b>	<b>Skenario</b>	<b>Rata-rata</b>
1	<i>Basemodel</i>	<b>9.680.084</b>
2	<i>Optimistic</i>	<b>11.717.880</b>
3	<i>Most-likely</i>	<b>10.571.247</b>
4	<i>Pesimistic</i>	<b>9.277.489</b>

### 5.5.2 Analisis Produksi Padi Ladang



**Gambar 5.22 Analisis Produksi Padi Ladang**

Sama halnya dengan padi sawah. Nilai produksi padi ladang ditentukan oleh nilai produktivitas dan juga luas panen. Dapat dilihat bahwa skenario yang menghasilkan nilai produksi paling optimal adalah skenario *optimistic* yaitu skenario pengelolaan tanaman terpadu dan peningkatan indeks penanaman (Gambar 5.22). Dimana dengan skenario tersebut dapat memaksimalkan nilai produktivitas dan luas panen itu sendiri. Pada *basemodel* didapatkan nilai rata-rata produksi padi ladang sebesar 457.878 ton. Dengan penerapan skenario *optimistic*, didapatkan nilai rata-rata produksi padi ladang sebesar 640.381 ton, lebih besar 23% dari skenario *most-likely* dan 29% lebih tinggi daripada skenario *pessimistic* (Tabel 5.7&Tabel 5.8).

**Tabel 5.7 Perbandingan Hasil Skenario Produksi Padi Ladang**

Tahun	<i>Optimistic</i>	<i>Most-likely</i>	<i>Pesimistic</i>
2001-2016			
2017	730716	730716	730716
2018	787323	724337	734835
2019	810079	724167	734662
2020	799645	678863	688701
2021	777948	647821	657209

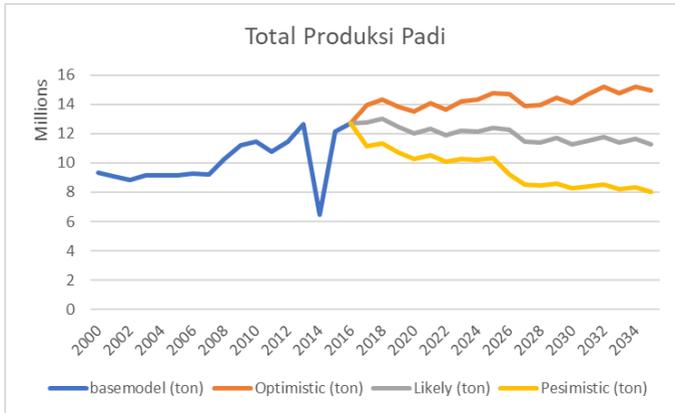
<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2022	806745	660331	669901
2023	766510	619122	628095
2024	798282	619396	628372
2025	793785	600452	609154
2026	815311	598089	606757
2027	825084	579884	483237
2028	762798	531417	442848
2029	770825	522934	435778
2030	795297	520871	434059
2031	794492	496983	414153
2032	815131	494854	412378
2033	838821	493762	411468
2034	830343	468883	390736
2035	853933	469557	391297
<b><i>Average</i></b>	<b>640381</b>	<b>518815</b>	<b>497935</b>

Pada Tabel 5.8 dibawah disajikan nilai rata-rata produksi padi ladang per skenario yang ada.

**Tabel 5.8 Rata-rata Hasil Skenario Produksi Padi Ladang**

<b>No.</b>	<b>Skenario</b>	<b>Rata-rata</b>
1	<i>Bsemodel</i>	<b>457.878</b>
2	<i>Optimistic</i>	<b>640.381</b>
3	<i>Most-likely</i>	<b>518.815</b>
4	<i>Pesimistic</i>	<b>497.935</b>

### 5.5.3 Analisis Total Produksi Padi



**Gambar 5.23 Analisis Total Produksi Padi**

Total produksi padi merupakan nilai akumulasi dari produksi padi sawah dan juga produksi padi ladang. Rata-rata total produksi padi pada awal *basemodel* adalah 10.1 juta ton. Dapat dilihat pada Gambar 5.23, bahwa dengan penerapan skenario *optimistic* yaitu pengelolaan tanaman terpadu dan peningkatan indeks penanaman menghasilkan nilai rata-rata total produksi padi paling besar yaitu 12.3 juta ton dan pada tahun 2035. Lebih tinggi 10% daripada skenario *most-likely* dan lebih tinggi 21% daripada skenario *pessimistic* (Tabel 5.9&Tabel 5.10).

**Tabel 5.9 Perbandingan Hasil Skenario Total Produksi Padi**

Tahun	<i>Optimistic</i>	<i>Most-likely</i>	<i>Pesimistic</i>
2001-2016			
2017	12731548	12731548	12731548
2018	13936024	12755399	11122309
2019	14347722	13037750	11320199
2020	13830925	12434816	10727103
2021	13536561	12000084	10287434
2022	14058684	12356893	10549148
2023	13612564	11864190	10084926
2024	14202212	12195307	10299142

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2025	14306115	12129384	10198987
2026	14738792	12403449	10362131
2027	14724406	12298088	9209222
2028	13918186	11454344	8541209
2029	13961123	11400846	8447671
2030	14480845	11679667	8598362
2031	14077844	11255700	8251799.5
2032	14713620	11514154	8404819
2033	15176442	11786431	8548521
2034	14785531	11418424	8228457.5
2035	15194911	11645988	8356823
<b><i>Average</i></b>	<b>12358261</b>	<b>11090062</b>	<b>9775423</b>

Pada Tabel 5.10 dibawah disajikan nilai rata-rata total produksi padi per skenario yang ada.

**Tabel 5.10 Rata-rata Hasil Skenario Total Produksi Padi**

<b>No.</b>	<b>Skenario</b>	<b>Rata-rata</b>
1	<i>Basemodel</i>	<b>10.137.963</b>
2	<i>Optimistic</i>	<b>12.358.261</b>
3	<i>Most-likely</i>	<b>11.090.062</b>
4	<i>Pesimistic</i>	<b>9.775.423</b>

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari keseluruhan tugas akhir ini serta juga terdapat saran untuk pengembangan penelitian ataupun tugas akhir kedepannya.

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, berikut ini merupakan beberapa kesimpulan yang dapat diambil:

1. Produksi padi ditentukan oleh dua faktor utama yaitu nilai produktivitas padi dan nilai luas panen padi.
2. Model yang dibuat pada tugas akhir ini telah valid dan sesuai dengan sistem nyata. Dimana pada uji validitas dengan *Means Comparison* (E1) mendapatkan nilai  $< 5\%$  dan uji validitas *Amplitudo Variance Comparison* (E2) mendapatkan nilai  $< 30\%$  untuk semua nilai yang dilakukan validasi. Sehingga dapat dikatakan model pada tugas akhir ini dapat dijadikan referensi untuk menentukan kebijakan terkait climate-smart agriculture untuk sektor pertanian pada Provinsi Jawa Timur. Dan juga model ini dapat menjadi acuan melakukan simulasi untuk climate smart agriculture untuk adaptasi dan membangun ketahanan akan perubahan iklim dengan melihat nilai produktivitas, luas panen dan nilai produksi padi itu sendiri.
3. Skenario dibuat untuk dapat memberikan rekomendasi atau usulan terkait perbaikan sistem yang sudah ada. Skenario dibuat berdasarkan referensi pada strategi adaptasi perubahan iklim yang dikeluarkan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) dan juga Kementerian Pertanian. Skenario yang digunakan adalah skenario *optimistic* yaitu dengan penerapan pengelolaan tanaman terpadu (PTT) dan peningkatan indeks penanaman, skenario *most-likely* dengan mengubah nilai parameter dampak faktor internal pada produktivitas dan nilai parameter indeks penanaman menjadi nilai rata-rata, dan skenario *pessimistic*

dengan mengubah nilai parameter dampak faktor internal pada produktivitas dan nilai parameter indeks penanaman menjadi nilai minimum.

4. Dari hasil skenario yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang dapat disimpulkan bahwa:
  - a. Skenario yang paling dapat meningkatkan dan berdampak pada kemampuan produktivitas padi sawah dalam menghadapi dampak kejadian iklim La Nina dan El Nino sehingga kecenderungan produktivitas semakin naik adalah skenario *optimistic* dengan nilai rata-rata produktivitas padi sawah 6 ton/ha.
  - b. Skenario yang paling dapat meningkatkan dan berdampak pada kemampuan produktivitas padi ladang dalam menghadapi dampak kejadian iklim La Nina dan El Nino sehingga kecenderungan produktivitas semakin naik adalah skenario *optimistic* dengan nilai rata-rata produktivitas padi ladang 5 ton/ha.
  - c. Skenario yang memiliki tingkat rata-rata produksi padi sawah paling tinggi adalah skenario *optimistic* yaitu pengelolaan tanaman terpadu dan peningkatan indeks penanaman dengan nilai rata-rata produksi padi sawah sebesar 11.717.880 ton.
  - d. Skenario yang memiliki tingkat rata-rata produksi padi ladang paling tinggi adalah skenario *optimistic* dengan nilai rata-rata produksi padi ladang sebesar 640.381 ton.
  - e. Skenario yang memiliki tingkat rata-rata total produksi padi paling tinggi adalah skenario *optimistic* dengan nilai rata-rata produksi padi ladang sebesar 12.358.261 ton.
5. Berdasarkan perbandingan hasil yang telah didapatkan, dapat diambil kesimpulan bahwa skenario yang dapat meningkatkan nilai produktivitas padi baik sawah maupun ladang dan juga memiliki nilai rata-rata produksi yang paling tinggi adalah skenario *optimistic*.
6. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, pendekatan *climate smart agriculture* yang dapat diterapkan untuk adaptasi dan membangun ketahanan dalam perubahan iklim

adalah *crop management*, *soil management*, dan *water management*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, saran yang digunakan untuk perbaikan maupun pengembangan penelitian kedepannya adalah:

1. Untuk penelitian lebih lanjut, studi kasus yang dipilih dapat lebih fokus untuk daerah yang lebih spesifik.
2. Pemodelan dengan menggabungkan praktik *climate smart agriculture* dengan konsep ketahanan pangan.
3. Pengembangan model dengan menerapkan beberapa praktik *climate smart agriculture* ataupun teknologi pertanian yang lain.
4. Wawasan terkait sistem dinamik serta penggunaannya agar didapatkan model yang dapat merepresentasikan sistem nyata yang ada dan juga valid. Sehingga model yang dibuat dapat menjadi referensi untuk memberikan masukan dan solusi untuk perbaikan sistem yang sudah ada.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. S. Indonesia, “Jumlah Petani menurut Sektor/Subsektor dan Jenis Kelamin Tahun 2013.”
- [2] Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jawa Timur, “Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi Sawah dan Ladang,” 2013.
- [3] Litbang, “II.-dampak-perubahan.pdf.”
- [4] B. Irawan, “Fenomena Anomali Iklim El Nino Dan La Nina: Kecenderungan Jangka Panjang Dan Pengaruhnya Terhadap Produksi Pangan,” vol. 24, no. 1, pp. 28–45, 2006.
- [5] Detik.com, “20.978 Hektar Lahan Pertanian di Jawa Timur Terdampak Kekeringan,” 2015. [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-2976199/20978-hektar-lahan-pertanian-di-jawa-timur-terdampak-kekeringan>. [Accessed: 25-Sep-2017].
- [6] Kompas.com, “Sawah Seluas 1.319 Hektar di Jatim Gagal Panen Akibat Banjir,” 2017. [Online]. Available: <http://regional.kompas.com/read/2017/02/28/12553251/sawah.seluas.1.319.hektar.di.jatim.gagal.panen.akibat.banjir>. [Accessed: 25-Sep-2017].
- [7] I. N. Hidayati, “Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Produksi,” *J. Ekon. dan Stud. Pembang.*, vol. 16, no. 1, pp. 42–52, 2015.
- [8] FAO, *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. 2013.
- [9] I. Muhandhis, D. Pembimbing, E. Suryani, P. Magister, S. Informasi, and P. Pascasarjana, *PENGEMBANGAN MODEL RANTAI PASOK*. 2015.
- [10] A. Khatri-Chhetri, P. K. Aggarwal, P. K. Joshi, and S. Vyas, “Farmers’ prioritization of climate-smart agriculture (CSA) technologies,” *Agric. Syst.*, vol. 151,

- pp. 184–191, 2017.
- [11] N. Andrieu *et al.*, “Prioritizing investments for climate-smart agriculture: Lessons learned from Mali,” *Agric. Syst.*, vol. 154, pp. 13–24, 2017.
- [12] NASA, “What Are Climate and Climate Change,” 2011. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-climate-change-58.html>. [Accessed: 01-Jan-2017].
- [13] Siringo and H. Berlina, “Analisis Keterkaitan Produktivitas Pertanian Dan Impor Beras di Indonesia,” pp. 5–23, 2015.
- [14] Badan ketahanan pangan dan penyuluh pertanian aceh bekerja sama dengan balai pengkajian teknologi pertanian nad 2009, “Budidaya Tanaman Padi,” p. 21 pp, 2009.
- [15] V. Barros *et al.*, “IPCC, 2012 - Glossary of Terms,” *Manag. Risks Extrem. Events Disasters to Adv. Clim. Chang. Adapt.*, pp. 555–564, 2012.
- [16] Fao/Oecd, *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. 2012.
- [17] L. M. W. Satyaningrat, “Penerapan Metode Simulasi Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Kebutuhan Listrik Sektor Rumah Tangga Pada Tiap Area di Jawa Timur,” 2015.
- [18] J. M. Lyenis, “System dynamics for market forecasting and structural analysis - ProQuest.pdf.”.
- [19] E. Suryani, R. A. Vinarti, and R. Files, “Indonesia Yang Dipengaruhi Kondisi Keuangan ( Studi Kasus : Its ),” no. 2008, pp. 1–10, 2011.
- [20] C. Putih, “Pendekatan Sistem Model Causal Loop Diagram ( Cld ) Dalam Memahami Permasalahan

- Penerimaan,” no. Kommit, pp. 20–21, 2008.
- [21] N. Osgood, “System Dynamics Modeling : Overview & Causal Loop Diagrams What is System Dynamics ?,” 2013.
- [22] U. O. Toronto, “Verification and Validation,” *Univ. Toronto*, no. HCSS++, pp. 1–10, 2008.
- [23] D. Zimmerman, “Model validation and verification of large and complex space structures,” *Inverse Probl. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 93–118, 2000.
- [24] R. G. Sargent, “VERIFICATION AND VALIDATION OF SIMULATION MODELS,” *Simulation*, no. 2001, pp. 135–150, 2010.
- [25] J. W. Forrester, “System Dynamics, Alternative Futures, and Scenarios,” *16th Int. Conf. Syst. Dyn. Soc.*, 1998.
- [26] CGIAR and CCAFS, “climate-smart agriculture (CSA) practices and technologies.” [Online]. Available: <https://csa.guide/csa/practices#chapter-1>. [Accessed: 14-Oct-2017].
- [27] A. K. Garside and H. Y. Asjari, “Simulasi Ketersediaan Beras di Jawa Timur,” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. Vol. 14, no. No. 1, pp. 47–58, 2015.
- [28] P. Manajemen *et al.*, “Penerapan Sistem Dinamik Untuk Meningkatkan Efektivitas,” vol. 1, no. 1, 2014.
- [29] E. Suryani, R. . Hendrawan, T. Mulyono, and L. . Dewi, “System Dynamics Model to Support Rice Production and Distribution for,” *J. Teknol. (Sciences Eng.*, vol. 3, no. 68, pp. 45–51, 2014.
- [30] A. K. Tanam, S. I. K. Terpadu, B. Kepmen, P. U. No, and D. Irigasi, “Bagian IV Pengelolaan Sumberdaya Air,” 2007.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Lampiran A – Hasil Model Simulasi *Basemodel*

**Tabel 8.1 Produktivitas Padi Sawah *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Produktivitas Padi Sawah (ton/ha)</b>
2000	5.367
2001	5.355
2002	5.400
2003	5.391
2004	5.413
2005	5.454
2006	5.510
2007	5.516
2008	5.929
2009	5.821
2010	5.832
2011	5.466
2012	5.983
2013	5.998
2014	5.994
2015	6.005
2016	5.987

**Tabel 8.2 Kebutuhan Air Irigasi *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan Air Irigasi (m3)</b>
2000	15769884672
2001	16684269568
2002	16877395968
2003	17061780480
2004	16436586496
2005	16991832064

<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan Air Irigasi (m3)</b>
2006	16943760384
2007	17067099136
2008	15770487808
2009	15977501696
2010	16102716416
2011	13791037440
2012	16375617536
2013	17080875008
2014	16993434624
2015	18706302976
2016	16708687872

**Tabel 8.3 Produktivitas Padi Ladang Basemodel**

<b>Tahun</b>	<b>Produktivitas Padi Ladang (ton/ha)</b>
2000	3.199
2001	3.254
2002	3.349
2003	3.392
2004	3.430
2005	3.511
2006	3.550
2007	3.599
2008	4.239
2009	4.209
2010	4.325
2011	4.432
2012	4.707
2013	4.586
2014	4.400
2015	4.455
2016	4.516

**Tabel 8.4 Luas Lahan Sawah *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Luas Lahan Sawah (ha)</b>
2000	1,118,150
2001	1,115,790
2002	1,113,440
2003	1,111,090
2004	1,108,740
2005	1,106,410
2006	1,104,070
2007	1,101,740
2008	1,109,220
2009	1,106,880
2010	1,104,550
2011	1,102,220
2012	1,099,890
2013	1,097,570
2014	1,095,250
2015	1,092,940
2016	1,090,640

**Tabel 8.5 Luas Lahan Ladang *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Luas Lahan Ladang (ha)</b>
2000	38,238.0
2001	37,310.7
2002	36,405.9
2003	35,523.1
2004	34,661.7
2005	33,821.1
2006	33,001.0
2007	32,200.7

<b>Tahun</b>	<b>Luas Lahan Ladang (ha)</b>
2008	31,419.8
2009	41,788.4
2010	40,775.0
2011	39,786.2
2012	38,821.4
2013	37,880.0
2014	36,961.4
2015	43,244.8
2016	58,380.5

**Tabel 8.6 Luas Panen Sawah *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Luas Panen Sawah (ha)</b>
2000	1,679,189
2001	1,636,059
2002	1,574,410
2003	1,629,162
2004	1,625,725
2005	1,622,295
2006	1,618,872
2007	1,615,456
2008	1,665,777
2009	1,823,088
2010	1,863,259
2011	1,859,328
2012	1,811,572
2013	2,017,184
2014	989,964
2015	1,937,078
2016	2,004,442

**Tabel 8.7 Luas Panen Ladang *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Luas Panen Ladang (ha)</b>
2000	109,342
2001	104,170
2002	98,020.5
2003	99,178.9
2004	96,773.8
2005	94,427
2006	92,137.1
2007	89,902.8
2008	89,845.2
2009	138,075
2010	137,986
2011	134,640
2012	128,272
2013	125,161
2014	122,126
2015	115,596
2016	161,823

**Tabel 8.8 Produksi Padi Sawah *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Produksi Padi Sawah (ton)</b>
2000	9012206
2001	8761636
2002	8502523
2003	8783382
2004	8799884
2005	8847557
2006	8920010
2007	8910047
2008	9876932
2009	10611572

<b>Tahun</b>	<b>Produksi Padi Sawah (ton)</b>
2010	10867440
2011	10163684
2012	10839425
2013	12098811
2014	5933946
2015	11631545
2016	12000833

**Tabel 8.9 Produksi Padi Ladang *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Produksi Padi Ladang (ton)</b>
2000	349785
2001	338996
2002	328249
2003	336365
2004	331928
2005	331577
2006	327123
2007	323527
2008	380880
2009	581135
2010	596795
2011	596751
2012	603829
2013	573977
2014	537364
2015	514938
2016	730716

**Tabel 8.10 Total Produksi Padi *Basemodel***

<b>Tahun</b>	<b>Total Produksi Padi (ton)</b>
2000	9361991
2001	9100632
2002	8830772
2003	9119747
2004	9131812
2005	9179134
2006	9247133
2007	9233574
2008	10257812
2009	11192707
2010	11464235
2011	10760435
2012	11443254
2013	12672788
2014	6471310
2015	12146483
2016	12731548

## Lampiran B - Data Hasil Simulasi Skenario

Tabel 8.11 Hasil Skenario Produktivitas Padi Sawah

<b>Tahun</b>	<i>Optimistic</i>	<i>Most-likely</i>	<i>Pesimistic</i>
2000	5.367	5.367	5.367
2001	5.355	5.355	5.355
2002	5.400	5.400	5.400
2003	5.391	5.391	5.391
2004	5.413	5.413	5.413
2005	5.454	5.454	5.454
2006	5.510	5.510	5.510
2007	5.516	5.516	5.516
2008	5.929	5.929	5.929
2009	5.821	5.821	5.821
2010	5.832	5.832	5.832
2011	5.466	5.466	5.466
2012	5.983	5.983	5.983
2013	5.998	5.998	5.998
2014	5.994	5.994	5.994
2015	6.005	6.005	6.005
2016	5.987	5.987	5.987
2017	6.015	6.015	6.015
2018	6.059	6.023	5.997
2019	5.986	5.902	5.837
2020	6.091	5.923	5.819
2021	6.114	5.897	5.769
2022	6.158	5.892	5.739
2023	6.210	5.861	5.671
2024	6.273	5.850	5.636
2025	6.325	5.861	5.609
2026	6.327	5.830	5.556
2027	6.374	5.784	5.487
2028	6.404	5.772	5.440

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2029	6.421	5.722	5.358
2030	6.477	5.733	5.345
2031	6.549	5.674	5.267
2032	6.610	5.690	5.247
2033	6.603	5.662	5.187
2034	6.640	5.655	5.158
2035	6.711	5.621	5.093

**Tabel 8.12 Hasil Skenario Kebutuhan Air Irigasi**

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	15769884672	15769884672	15769884672
2001	16684269568	16684269568	16684269568
2002	16877395968	16877395968	16877395968
2003	17061780480	17061780480	17061780480
2004	16436586496	16436586496	16436586496
2005	16991832064	16991832064	16991832064
2006	16943760384	16943760384	16943760384
2007	17067099136	17067099136	17067099136
2008	15770487808	15770487808	15770487808
2009	15977501696	15977501696	15977501696
2010	16102716416	16102716416	16102716416
2011	13791037440	13791037440	13791037440
2012	16375617536	16375617536	16375617536
2013	17080875008	17080875008	17080875008
2014	16993434624	16993434624	16993434624
2015	18706302976	18706302976	18706302976
2016	16708687872	16708687872	16708687872
2017	11718971392	17233780736	17233780736
2018	9356855296	14504407040	14504407040
2019	11264593920	16565578752	16565578752
2020	11779715072	20122028032	20122028032

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2021	11680091136	17176604672	17176604672
2022	11746144256	20040581120	20040581120
2023	11668715520	17159875584	17159875584
2024	11731772416	17252605952	17252605952
2025	10481924096	14813545472	14813545472
2026	11156931584	15935725568	15935725568
2027	13301212160	17975744512	17975744512
2028	11954606080	21898280960	21898280960
2029	11131769856	16370249728	16370249728
2030	14068515840	18178760704	18178760704
2031	11522692096	16945135616	16945135616
2032	10912648192	14558665728	14558665728
2033	10866739200	15980497920	15980497920
2034	10834819072	13459489792	13459489792
2035	10912354304	16047580160	16047580160

**Tabel 8.13 Hasil Skenario Produktivitas Padi Ladang**

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	3.199	3.199	3.199
2001	3.254	3.254	3.254
2002	3.349	3.349	3.349
2003	3.392	3.392	3.392
2004	3.430	3.430	3.430
2005	3.511	3.511	3.511
2006	3.550	3.550	3.550
2007	3.599	3.599	3.599
2008	4.239	4.239	4.239
2009	4.209	4.209	4.209
2010	4.325	4.325	4.325
2011	4.432	4.432	4.432
2012	4.707	4.707	4.707

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2013	4.586	4.586	4.586
2014	4.400	4.400	4.400
2015	4.455	4.455	4.455
2016	4.516	4.516	4.516
2017	4.587	4.587	4.587
2018	4.723	4.589	4.589
2019	4.894	4.516	4.516
2020	5.060	4.580	4.580
2021	5.186	4.613	4.613
2022	5.236	4.597	4.597
2023	5.389	4.545	4.545
2024	5.492	4.516	4.516
2025	5.645	4.501	4.501
2026	5.854	4.472	4.472
2027	5.891	4.461	4.461
2028	6.101	4.499	4.499
2029	6.221	4.429	4.429
2030	6.605	4.491	4.491
2031	6.697	4.419	4.419
2032	6.896	4.412	4.412
2033	7.166	4.398	4.398
2034	7.374	4.407	4.407
2035	7.500	4.352	4.352

**Tabel 8.14 Hasil Skenario Luas Panen Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	1679189	1679189	1679189
2001	1636059	1636059	1636059
2002	1574410	1574410	1574410
2003	1629162	1629162	1629162
2004	1625725	1625725	1625725

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2005	1622295	1622295	1622295
2006	1618872	1618872	1618872
2007	1615456	1615456	1615456
2008	1665777	1665777	1665777
2009	1823088	1823088	1823088
2010	1863259	1863259	1863259
2011	1859328	1859328	1859328
2012	1811572	1811572	1811572
2013	2017184	2017184	2017184
2014	989964	989964	989964
2015	1937078	1937078	1937078
2016	2004442	2004442	2004442
2017	2186025	2000213	1726960
2018	2234194	2044287	1765013
2019	2176810	1991781	1719680
2020	2094784	1916727	1654879
2021	2167633	1983384	1712430
2022	2085953	1908647	1647903
2023	2158495	1975023	1705211
2024	2153941	1970856	1701613
2025	2201403	2014284	1739108
2026	2196758	2010033	1570682
2027	2064039	1888596	1475788
2028	2059684	1884611	1472674
2029	2131313	1950151	1523889
2030	2051002	1876667	1466466
2031	2122328	1941930	1517465
2032	2169093	1984720	1550902
2033	2113382	1933744	1511068
2034	2159950	1976354	1544364
2035	2104472	1925592	1504698

Tabel 8.15 Hasil Skenario Luas Panen Padi Ladang

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	109342	109342	109342
2001	104170	104170	104170
2002	98020	98020	98020
2003	99179	99179	99179
2004	96774	96774	96774
2005	94427	94427	94427
2006	92137	92137	92137
2007	89903	89903	89903
2008	89845	89845	89845
2009	138075	138075	138075
2010	137986	137986	137986
2011	134640	134640	134640
2012	128272	128272	128272
2013	125161	125161	125161
2014	122126	122126	122126
2015	115596	115596	115596
2016	161823	161823	161823
2017	171629	157899	160187
2018	171519	157798	160085
2019	163406	150334	152512
2020	153760	141459	143509
2021	155577	143131	145205
2022	146393	134681	136633
2023	148123	136273	138248
2024	144531	132968	134896
2025	144438	132883	134809
2026	140936	129661	108051
2027	129483	119124	99270
2028	126343	116236	96863
2029	127836	117609	98008
2030	120290	110667	92222
2031	121711	111974	93312

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2032	121633	111903	93252
2033	115880	106609	88841
2034	115806	106541	88784
2035	110328	101502	84585

**Tabel 8.16 Hasil Skenario Produksi Padi Sawah**

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	9012206	9012206	9012206
2001	8761636	8761636	8761636
2002	8502523	8502523	8502523
2003	8783382	8783382	8783382
2004	8799884	8799884	8799884
2005	8847557	8847557	8847557
2006	8920010	8920010	8920010
2007	8910047	8910047	8910047
2008	9876932	9876932	9876932
2009	10611572	10611572	10611572
2010	10867440	10867440	10867440
2011	10163684	10163684	10163684
2012	10839425	10839425	10839425
2013	12098811	12098811	12098811
2014	5933946	5933946	5933946
2015	11631545	11631545	11631545
2016	12000833	12000833	12000833
2017	13148701	12031062	10387474
2018	13537643	12313583	10585537
2019	13031280	11755953	10038402
2020	12758613	11352263	9630225
2021	13251939	11696562	9879247
2022	12846054	11245068	9456832
2023	13403930	11575911	9670770

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2024	13512330	11528932	9589833
2025	13923481	11805360	9755374
2026	13899322	11718204	8725985
2027	13155388	10922927	8098361.5
2028	13190298	10877912	8011893
2029	13685548	11158796	8164303
2030	13283352	10758717	7837646.5
2031	13898489	11019300	7992441.5
2032	14337621	11292669	8137053
2033	13955188	10949541	7837721.5
2034	14340978	11176431	7965525.5
2035	14122089	10824254	7663537

**Tabel 8.17 Hasil Skenario Produksi Padi Ladang**

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	349785	349785	349785
2001	338996	338996	338996
2002	328249	328249	328249
2003	336365	336365	336365
2004	331928	331928	331928
2005	331577	331577	331577
2006	327123	327123	327123
2007	323527	323527	323527
2008	380880	380880	380880
2009	581135	581135	581135
2010	596795	596795	596795
2011	596751	596751	596751
2012	603829	603829	603829
2013	573977	573977	573977
2014	537364	537364	537364
2015	514938	514938	514938

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2016	730716	730716	730716
2017	787323	724337	734835
2018	810079	724167	734662
2019	799645	678863	688701
2020	777948	647821	657209
2021	806745	660331	669901
2022	766510	619122	628095
2023	798282	619396	628372
2024	793785	600452	609154
2025	815311	598089	606757
2026	825084	579884	483237
2027	762798	531417	442848
2028	770825	522934	435778
2029	795297	520871	434059
2030	794492	496983	414153
2031	815131	494854	412378
2032	838821	493762	411468
2033	830343	468883	390736
2034	853933	469557	391297
2035	827442	441690	368075

Tabel 8.18 Hasil Skenario Total Produksi Padi

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2000	9361991	9361991	9361991
2001	9100632	9100632	9100632
2002	8830772	8830772	8830772
2003	9119747	9119747	9119747
2004	9131812	9131812	9131812
2005	9179134	9179134	9179134
2006	9247133	9247133	9247133
2007	9233574	9233574	9233574

<b>Tahun</b>	<b><i>Optimistic</i></b>	<b><i>Most-likely</i></b>	<b><i>Pesimistic</i></b>
2008	10257812	10257812	10257812
2009	11192707	11192707	11192707
2010	11464235	11464235	11464235
2011	10760435	10760435	10760435
2012	11443254	11443254	11443254
2013	12672788	12672788	12672788
2014	6471310	6471310	6471310
2015	12146483	12146483	12146483
2016	12731548	12731548	12731548
2017	13936024	12755399	11122309
2018	14347722	13037750	11320199
2019	13830925	12434816	10727103
2020	13536561	12000084	10287434
2021	14058684	12356893	10549148
2022	13612564	11864190	10084926
2023	14202212	12195307	10299142
2024	14306115	12129384	10198987
2025	14738792	12403449	10362131
2026	14724406	12298088	9209222
2027	13918186	11454344	8541209
2028	13961123	11400846	8447671
2029	14480845	11679667	8598362
2030	14077844	11255700	8251799.5
2031	14713620	11514154	8404819
2032	15176442	11786431	8548521
2033	14785531	11418424	8228457.5
2034	15194911	11645988	8356823
2035	14949531	11265944	8031612

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Akmal Faza, dengan nama panggilan Akmal. Penulis dilahirkan di Kudus pada tanggal 17 April 1996. Penulis telah menempuh jenjang Pendidikan formal di SD NU Nawa Kartika Kudus, SMPN 2 Kudus, SMAN 1 Kudus, dan jenjang perguruan tinggi pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi pada tahun 2014 dengan mendapatkan NRP 5214100031.

Penulis aktif pada organisasi kerohanian kampus yaitu Lembaga Dakwah Jurusan Kajian Islam Sistem Informasi (LDJ KISI) selama dua periode sebagai staff pada periode 2015-2016 dan juga kepala departemen kaderisasi pada periode 2016-2017. Penulis juga aktif pada kegiatan kepanitian baik pada lingkup departemen, fakultas maupun institut seperti MANAGE, FTIf Journey, dan Indonesia Youngpreneur Summit.

Penulis juga sempat melakukan kerja praktik di PT Telekomunikasi Indonesia (Telkom) Regional IV Jateng dan DIY dan ditempatkan pada Departemen *Information System Operation Support*.

Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [akmalfaza17@gmail.com](mailto:akmalfaza17@gmail.com)