



# Model Sistem Dinamik Peningkatan Produktivitas Padi

Berbasis *Internet of Things* (IoT)

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

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

Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.

Muhammad Galang Satrio Wicaksono, S.Kom., M.Kom.



**MODEL SISTEM DINAMIK  
PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADI  
BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)**

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

**MODEL SISTEM DINAMIK  
PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADI  
BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)**

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

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

Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.

Muhammad Galang Satrio Wicaksono, S.Kom., M.Kom.



**MODEL SISTEM DINAMIK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADI  
BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)**

**Erma Suryani ... [et al.]**

Desain Cover :

**Syaiful Anwar**

Sumber :

<https://www.shutterstock.com> (WINEXA)

Tata Letak :

**G.D. Ayu**

Proofreader :

**Avinda Y.**

Ukuran :

**xii, 96 hlm, Uk: 15.5x23 cm**

ISBN Elektronis :

**978-623-8446-43-8 (PDF)**

Tahun Terbit Digital :

**2023**

Hak Cipta 2023, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2023 by Deepublish Digital**

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH DIGITAL**

**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)

[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)

E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga kami bisa menyelesaikan penulisan buku dengan judul ***Model Sistem Dinamik Peningkatan Produktivitas Padi Berbasis Internet of Things (IoT)***. Tujuan dari penulisan buku ini adalah untuk membantu menunjang pembelajaran/pengetahuan mengenai Sistem Dinamik bagi para pembaca, seperti mahasiswa, praktisi dalam dunia bisnis (pelaku bisnis), peneliti, maupun akademisi.

Buku ini memberikan informasi secara lengkap mengenai materi pengembangan Model Simulasi dan Skenario dengan menggunakan Sistem Dinamik dalam bidang pertanian. Buku ini juga dilengkapi dengan evaluasi pada setiap bab untuk mengukur pemahaman pembaca. Referensi yang digunakan pada buku ini berasal dari berbagai sumber terpercaya yang berguna sebagai tambahan wawasan bagi para pembaca.

Buku ini bermanfaat dalam menunjang perkuliahan pemodelan dan simulasi, serta dapat memberikan wawasan bagi para mahasiswa, praktisi, peneliti, dan akademisi dalam membuat model simulasi sistem dinamik. Kami menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih jauh dari kata sempurna. Besar harapan kami untuk memperoleh masukan dari para pembaca mengenai kebutuhan pengetahuan di bidang model dan simulasi Sistem Dinamik, sehingga dapat menjadi acuan perbaikan bagi kami dalam mengembangkan isi buku ini di masa yang akan datang.

Penulis

## RINGKASAN

Padi adalah salah satu tanaman pangan terpenting di dunia yang menjadi makanan pokok, khususnya di Negara Indonesia. Di Jawa Timur sendiri permintaan beras semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk, sementara tingkat produktivitas yang rendah menyebabkan kurangnya ketersediaan pangan. Dengan berkembangnya teknologi khususnya pada bidang pertanian teknologi *Internet of Thing* merupakan teknik baru untuk meningkatkan produktivitas suatu lahan. salah satu fitur *Internet of Things* adalah dapat menentukan suhu, kualitas tanah (pH), curah hujan, hama dan kelembaban.

Sedangkan permasalahan yang ada saat ini adalah para petani mengeluhkan beberapa hal yang membuat produktivitas tanaman padi menurun drastis dikarenakan tingginya faktor gagal panen. Tidak hanya itu sulitnya petani untuk menentukan perencanaan jadwal tanam pada saat bulan-bulan tertentu dan pengendalian hama pada tanaman padi. Maka dilakukan sebuah analisis skenario IoT dalam menentukan suhu, kualitas tanah (pH), curah hujan, hama dan kelembaban untuk pertanian pintar dengan menggunakan *system thinking* untuk meningkatkan produktivitas suatu lahan pertanian khususnya pada tanaman padi.

Vensim (Ventana Simulation) adalah alat pemodelan visual yang mempermudah untuk membuat konsep, mendokumentasikan, menyimulasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan cara yang mudah dan sederhana untuk dapat membangun model simulasi, baik itu *causal loop diagram* (CLD) atau *stock and flow diagram* (SFD). Setelah pembuatan model dan melakukan validasi model dan model dinyatakan valid, berikutnya dapat

dilakukan pengembangan skenario. Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara menambahkan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Dalam buku ini skenario IoT dalam menentukan suhu, kualitas tanah (pH), curah hujan, hama dan kelembaban untuk pertanian pintar dengan menggunakan *system thinking* untuk meningkatkan produktivitas suatu lahan pertanian khususnya pada tanaman padi

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	v
RINGKASAN .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
<b>BAB I      PRODUKTIVITAS PADI .....</b>	<b>1</b>
1.1. Produktivitas Padi .....	1
1.2. Produksi Padi.....	2
1.3. Ketahanan Pangan .....	4
1.4. Pendapatan Petani.....	5
1.5. Evaluasi.....	6
<b>BAB II      INTERNET OF THINGS (IOT).....</b>	<b>7</b>
2.1. Smart Agriculture .....	7
2.2. <i>Peranan Internet of Things (IoT)</i> .....	8
2.3. Evaluasi.....	9
<b>BAB III     SISTEM DAN MODEL .....</b>	<b>10</b>
3.1. Sistem.....	10
3.2. Model.....	10
3.3. Evaluasi.....	11
<b>BAB IV     SIMULASI.....</b>	<b>12</b>
4.1. Pengertian Simulasi.....	12
4.2. Keuntungan dan Kekurangan Penggunaan Simulasi .....	14
4.3. Evaluasi.....	15

<b>BAB V</b>	<b>SISTEM DINAMIK</b> .....	<b>16</b>
	5.1. Sistem Dinamik .....	16
	5.2. Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik .....	17
	5.3. Evaluasi .....	24
<b>BAB VI</b>	<b>PENGEMBANGAN MODEL PENINGKATAN PRODUKTIVITAS</b> .....	<b>25</b>
	6.1. Proses Pengumpulan Data .....	25
	6.2. Pengembangan Model.....	27
	6.3. Evaluasi .....	54
<b>BAB VII</b>	<b>VALIDASI MODEL</b> .....	<b>55</b>
	7.1. Validasi dan Pengujian Model ( <i>Validation and Model Testing</i> ) .....	55
	7.2. Validasi Struktural Model ( <i>Structural Validation</i> ).....	55
	7.3. Uji Validitas Perilaku Model ( <i>Behavior Validity Test</i> ) .....	63
	7.4. Evaluasi .....	72
<b>BAB VIII</b>	<b>SKENARIO MODEL PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADI BERBASIS <i>INTERNET OF THINGS</i> (IOT)</b> .....	<b>73</b>
	8.1. Perumusan Kebijakan ( <i>Policy Formulation</i> ) .....	73
	8.2. Skenario Penggunaan Iot .....	75
	8.3. Resume Skenario Peningkatan Produktivitas Padi Berbasis <i>Internet of Things</i> .....	81
	8.4. Evaluasi .....	82
	REFERENSI.....	83
	PROFIL PENULIS .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Simbol Causal Loop Diagram .....	18
Tabel 5.2	Simbol <i>Stock and Flow Diagram</i> .....	20
Tabel 6.1	Persamaan Submodel <i>Harvest Land Area</i> .....	31
Tabel 6.2	Persamaan Submodel Rice Productivity and Production .....	32
Tabel 6.3	Persamaan Submodel Rice Productivity and Production .....	33
Tabel 6.4	<i>Boundary Adequacy</i> .....	35
Tabel 6.5	<i>Boundary Adequacy</i> Submodel Produktivitas Lahan .....	37
Tabel 6.6	<i>Boundary Adequacy</i> Submodel Luas Lahan .....	38
Tabel 6.7	<i>Boundary Adequacy</i> Submodel Total Kebutuhan .....	39
Tabel 6.8	<i>Boundary Adequacy</i> Submodel Pemenuhan .....	39
Tabel 6.9	Persamaan Submodel <i>Harvest Land Area</i> .....	43
Tabel 6.10	Persamaan Submodel <i>Rice Productivity and Production</i> .....	46
Tabel 6.11	Persamaan Submodel Population and Total Consumption .....	49
Tabel 6.12	<i>Structural Validation</i> .....	52
Tabel 6.13	<i>Behavior Validity Test</i> .....	52
Tabel 7.1	Parameter Model, Nilai Parameter, dan Sumber .....	57
Tabel 7.2	Skenario Pengujian dan Parameter Uji <i>Extreme Conditions Test</i> .....	57

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Produksi Beras Nasional pada Tahun 2000–2018 .....	3
Gambar 5.1	Tahapan Pemodelan (Sterman, 2000).....	17
Gambar 5.2	Contoh Causal Loop Diagram .....	19
Gambar 5.3	Contoh Stock and Flow Diagram .....	21
Gambar 5.4	Diagram Verifikasi dan Validasi .....	22
Gambar 6.1	Subsistem Dalam Budi Daya Padi .....	30
Gambar 6.2	Causal Loop Diagram .....	40
Gambar 6.3	Submodel <i>Harvest Land Area</i> .....	42
Gambar 6.4	Grafik Hasil Simulasi <i>Harvest Land Area</i> .....	43
Gambar 6.5	<i>Causes Strip</i> Hasil Simulasi <i>Harvest Land Area</i> .....	44
Gambar 6.6	Submodel Paddy Productivity and Production.....	45
Gambar 6.7	Grafik Hasil Simulasi <i>Paddy Production</i> .....	46
Gambar 6.8	<i>Causes Strip</i> Hasil Simulasi <i>Paddy Production</i> .....	47
Gambar 6.9	Submodel Population and Total Consumption .....	48
Gambar 6.10	Grafik Hasil Simulasi <i>Population</i> .....	49
Gambar 6.11	<i>Causes Strip</i> Hasil Simulasi <i>Population</i> .....	50
Gambar 7.1	Grafik Hasil <i>Extreme Conditions Test</i> dengan Skenario Pengujian 1 .....	58
Gambar 7.2	Grafik Hasil <i>Extreme Conditions Test</i> dengan Skenario Pengujian 2 .....	59
Gambar 7.3	Hasil <i>Check Model</i> .....	62
Gambar 7.4	Grafik Validasi Submodel <i>Harvest Land Area</i> .....	64
Gambar 7.5	Grafik Validasi Submodel <i>Paddy Production</i> .....	66

Gambar 7.6	Grafik Validasi Submodel Produktivitas Lahan .....	67
Gambar 7.7	Grafik Validasi Submodel Populasi .....	69
Gambar 7.8	Grafik Validasi Submodel Produksi beras Jawa Timur.....	70
Gambar 7.9	Grafik Hasil <i>Extreme Policy Test</i> .....	71
Gambar 8.1	Skenario Hama IoT.....	76
Gambar 8.2	Grafik Perbandingan Hasil Produktivitas Padi (Skenario Hama IoT) .....	76
Gambar 8.3	Grafik Perbandingan Kenaikan dan Penurunan produktivitas lahan (Skenario hama IoT) di Jawa Timur.....	77
Gambar 8.4	Grafik Pengaruh Nilai Variabel Kenaikan dan Penurunan Produktivitas Lahan (Skenario Hama IoT) di Jawa Timur.....	78
Gambar 8.5	Grafik Perbandingan Hasil Produksi Padi (Skenario Hama IoT).....	79
Gambar 8.6	Grafik Perbandingan Kenaikan dan Penurunan Produksi Padi (Skenario Hama IoT).....	80
Gambar 8.7	Perbandingan Grafik <i>Fulfillment Ratio</i> antara Hasil Skenario Hama lot dengan <i>Base Model</i> .....	81

# BAB I

## PRODUKTIVITAS PADI



Pada bab ini akan dibahas mengenai produktivitas padi, produksi padi, ketahanan pangan, serta pendapatan petani.

### 1.1. Produktivitas Padi

Produktivitas merupakan kemampuan tanah untuk menghasilkan produksi tanaman dalam keadaan dan pengolahan tanah tertentu (Tati & Nurmala, 2012). Produktivitas erat kaitannya dengan proses produksi, di mana produktivitas digunakan untuk menunjukkan atau membandingkan hasil luaran (*output*) dengan masukan (input) dalam sebuah proses produksi (Siringo & H, 2015).

Menurut (Hernanto, 1996) produktivitas dapat dinyatakan sebagai rasio antara keluaran terhadap sumber daya yang dipakai, bila dalam rasio tersebut masukan yang dipakai untuk menghasilkan keluaran dihitung seluruhnya, disebut sebagai produktivitas total, tetapi bila yang dihitung sebagai masukan hanya faktor tertentu saja disebut sebagai produktivitas parsial (Hernanto, 1996) yang dapat dituliskan dalam bentuk tabulasi sederhana seperti pada persamaan di bawah ini.

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

Peningkatan produktivitas padi dapat dipengaruhi oleh mutu biji-bijian (benih padi), irigasi, hama padi, kualitas tanah, perubahan iklim, pupuk dan bencana alam. Dalam upaya pengembangan produksi padi

yang lebih kompetitif, diperlukan upaya efisiensi usaha tani, baik ekonomi, mutu maupun produktivitas melalui penerapan teknologi mulai dari penentuan lokasi, penggunaan varietas, benih bermutu, penanaman, pemeliharaan, hingga penanganan panen dan pasca panen yang tepat (Kementerian Pertanian, 2013).

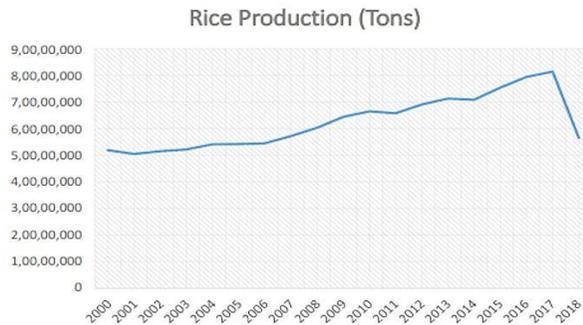
## 1.2. Produksi Padi

Produksi adalah suatu kegiatan untuk menciptakan/menghasilkan atau menambah nilai guna terhadap suatu barang atau jasa untuk memenuhi kebutuhan oleh orang atau badan (produsen). Orang atau badan yang melakukan kegiatan produksi dikenal dengan sebutan produsen. Sedangkan barang atau jasa yang dihasilkan dari melakukan kegiatan produksi disebut dengan produk. Istilah Produksi berasal dari bahasa Inggris *to produce* yang berarti menghasilkan. Sedangkan dalam arti ekonomi, pengertian produksi adalah sebagai kegiatan mengenai penciptaan dan penambahan atau utilitas terhadap suatu barang dan jasa (Situmorang, 2008). Produksi merupakan perkalian luas lahan dan produktivitas dapat dituliskan dalam bentuk tabulasi sederhana seperti pada persamaan:

$$\text{Produksi (Ton)} = \text{LuasLahan (Ha)} \times \text{Produktivitas} \left( \frac{\text{Ton}}{\text{Ha}} \right)$$

Beras merupakan makanan yang sangat esensial bagi kelangsungan hidup manusia. Sebagian besar orang fokus pada produksi beras untuk keuntungan finansial mereka serta kelangsungan hidup mereka di masyarakat. Produksi beras sangat berarti, tidak hanya untuk petani, tetapi juga untuk seluruh masyarakat. Produksi beras dalam negeri, yang merupakan makanan pokok bagi masyarakat Indonesia perlu ditingkatkan karena populasi terus bertambah. Integrasi dan koordinasi yang baik antar beras anggota rantai pasokan, dari produsen hingga konsumen akhir, adalah kunci untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan rantai

pasokan. Produksi beras nasional pada tahun 2000–2018 dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Produksi Beras Nasional pada Tahun 2000–2018

Hal tersebut terlihat pada 2000–2017, produksi nasional cenderung meningkat dengan peningkatan rata-rata 3% (Badan Pusat Statistik, 2019). Perubahan iklim mempunyai pengaruh signifikan pada budi daya tanaman padi, karena budi daya tanaman padi mempunyai ketergantungan yang kuat terhadap unsur iklim terutama curah hujan dan temperatur (Roem, 2016). Faktor lainnya yang menyebabkan produksi beras nasional tidak optimal termasuk alat teknologi yang masih tradisional, kelembagaan petani yang lemah, sistem produksi dan distribusi benih yang lemah, kerusakan tinggi pada irigasi jaringan, dan biaya produksi dan transportasi yang tinggi (Irawan, Sujaya, & Yusuf, 2017). Produktivitas beras rata-rata bidangnya masih kurang optimal dibandingkan dengan bidang lainnya daerah yang mencapai 7-8 ton per ha.

Permasalahan lain yang dijumpai dalam produksi beras menurut (Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018) sangatlah sulit untuk melindungi beras selama dan sesudahnya produksi karena beberapa sebab, seperti bencana alam, hujan deras, banjir, gempa bumi, kerusakan padi karena hama, dll. Kerusakan padi dapat terjadi pada saat produksi dan setelah produksi karena beberapa hal hama (Bhoi, *et al.*, 2020). Oleh karena itu,

sangat penting untuk mengidentifikasi hama pada padi sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan untuk perlindungannya. Dalam makalah ini, *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi hama padi dan mencoba mencari solusi strategi dalam metode model simulasi dinamik untuk melihat seberapa jauh tingkat kegagalan panen dalam produksi padi yang terjadi oleh hama.

### **1.3. Ketahanan Pangan**

Ketahanan dan keamanan pangan adalah masalah prioritas tinggi untuk pembangunan global yang berkelanjutan baik secara kuantitatif maupun kualitatif (Rai, 2019). Pertanian adalah sektor penting bagi perekonomian negara, memberikan insentif untuk mempercepat pengentasan kemiskinan dan meningkatkan ketahanan pangan. Pengamanan produksi diupayakan melalui pengendalian dampak perubahan iklim, pengurangan kehilangan hasil, dan peningkatan mutu melalui perbaikan teknologi panen dan pascapanen. Beberapa penyebab kerawanan pangan dan kemiskinan dapat ditelusuri dari kerentanan pertanian terhadap bahaya produksi, yang pada akhirnya mempengaruhi pendapatan petani (Gervantes-Godoy, D., & Anton, 2013).

Adaptasi perubahan iklim juga sangat penting untuk ketahanan pangan negara-negara berkembang, jika direncanakan dengan baik merupakan bagian dari intervensi kebijakan yang luas untuk petani kecil (Di Falco, Veronesi, & Yesuf, 2011; Tubiello & F. N. *et al.*, 2015). Masalah keamanan pangan dan lingkungan lebih penting daripada minat pada peningkatan rasa makanan dan memiliki pertanian modern (Azadi & Ho, 2010). Keamanan pangan adalah prioritas global untuk kesehatan manusia yang lebih baik (Rai, 2019). Oleh karena itu, masalah keamanan pangan yang muncul dan beragam telah menjadi perhatian global, terutama hubungannya yang tak terpisahkan dengan kesehatan manusia (ICarke, 2011; Saumel, 2012; Rai, 2019). Beragam strategi untuk meningkatkan makanan organik tanpa aplikasi bahan kimia bermanfaat bagi kesehatan manusia dan telah mendapatkan banyak popularitas di tingkat global (Rock, 2017). Tanaman organik dipromosikan sebagai

produk ramah lingkungan di beberapa negara, mereka telah memicu kontroversi besar di negara-negara berkembang yang menghadapi ketahanan pangan dan produktivitas pertanian yang rendah (Azadi & Ho, 2010). Selain itu, optimalisasi penggunaan lahan juga mempromosikan keamanan pangan (Rai, 2019).

#### **1.4. Pendapatan Petani**

Analisis pendapatan terhadap petani penting dalam kaitannya dengan tujuan yang hendak akan dicapai oleh setiap pertanian dengan berbagai pertimbangan dan motivasinya. Pendapatan petani terutama dari penjualan produksi pertanian (Wang, Deng, & Chen, 2015). Indikator pendapatan adalah laba per kilogram dan harga per kilogram (Soullier & Moustier, 2018). Analisis pendapatan pada dasarnya memerlukan dua keterangan pokok (Hernanto, 1996), yaitu: (a) keadaan penerimaan, dan (b) keadaan pengeluaran (biaya produksi) selama jangka waktu tertentu. Menurut (Sukirno, 2006) pendapatan adalah jumlah penghasilan yang diterima oleh penduduk atas prestasi kerjanya selama satu periode tertentu, baik harian, mingguan, bulanan maupun tahunan (Sukirno, 2006).

Tujuan pembangunan pertanian adalah sebagai salah satu pembangunan ekonomi di Indonesia bertujuan memperbaiki dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat di bidang pertanian di pedesaan. Hal ini dapat tercapai bila pendapatannya baik dari pertanian maupun non petani (Rahim & Hastuti, 2008). Khusus rumah tangga petani biasanya terdapat di pedesaan untuk pemenuhan kebutuhan diperlukan pendapatan, baik dari pekerjaan pokok sebagai petani maupun pekerjaan sampingan dan anggota keluarga yang bekerja. Besarnya pengeluaran dari hasil pendapatan ditentukan oleh konsumsi pangan maupun non pangan. Tujuan dari suatu penerapan teknologi pada pertanian adalah untuk mencapai produktivitas pertanian yang lebih tinggi. Hasil yang diperoleh akan berbentuk uang yang akan diperhitungkan dari nilai produksi setelah dikurangi dengan biaya yang telah dikeluarkan. Pendapatan akan mendorong petani untuk dapat

mengalokasikan dana tersebut untuk berbagai kebutuhan seperti untuk biaya produksi periode selanjutnya, tabungan dan pengeluaran lainnya untuk memenuhi kebutuhan keluarga (Soekartawi, 1996.).

Perangkat keuangan, kontrak pemasaran tidak berdampak pada praktik pertanian, kualitas produk, atau pendapatan, namun jumlah produksi memiliki dampak positif pada pendapatan (Soullier & Moustier, 2018). Peningkatan *input* dan sarana teknis dapat meningkatkan hasil dan meningkatkan kualitas, sehingga dapat meningkatkan pendapatan petani (Reardon, Barrett., J, & Swinnen, 2009).

### **1.5. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai produktivitas padi pada bab ini.

1. Apakah yang dimaksud dengan produktivitas?
2. Jelaskan yang dimaksud dengan produksi padi!
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ketahanan pangan!
4. Jelaskan faktor-faktor yang memengaruhi pendapatan petani!
5. Jelaskan tujuan dari penerapan teknologi pada pertanian!

## BAB II

# INTERNET OF THINGS (IOT)



Pada bab ini akan dibahas terkait dengan *smart agriculture* dan peranan *Internet of Things (IoT)*.

### 2.1. Smart Agriculture

*Smart Agriculture (SA)* adalah suatu pendekatan untuk mengembangkan kondisi teknis, kebijakan dan investasi untuk mencapai pembangunan pertanian berkelanjutan untuk ketahanan pangan di bawah perubahan iklim (FAO, 2013). Tujuan *Smart Agriculture* adalah untuk memungkinkan suatu sektor beralih ke sistem produksi yang tahan iklim dan pembangunan yang lebih berkelanjutan dengan adanya tekanan perubahan iklim dan variabilitas iklim. Dimensi pembangunan berkelanjutan tersebut meliputi bidang ekonomi, sosial dan lingkungan. *Smart Agriculture* terdiri atas tiga karakteristik yaitu (FAO, 2013):

- a) *Productivity*: Meningkatkan produktivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan (yaitu memperkuat mata pencaharian dan ketahanan pangan, terutama petani kecil).
- b) *Resilience*: Ketahanan terhadap perubahan iklim, harga komoditas dan tekanan atau guncangan lainnya tergantung pada kapasitas adaptif yang ada di masyarakat dan sistem pertanian
- c) *Mitigation*: Mengurangi atau mengeluarkan emisi gas rumah kaca, jika memungkinkan. Konsep *Smart Agriculture* berupaya menyesuaikan produksi pertanian dengan perubahan iklim dan variabilitas cuaca, dengan mempertahankan produktivitas

pertanian, keanekaragaman hayati dan ekosistem yang mendukung ketahanan pangan, mata pencaharian dan pembangunan ekonomi.

Selain itu, *Smart Agriculture* berupaya dalam meningkatkan produktivitas, konservasi air, mata pencaharian, keanekaragaman 10 hayati, ketahanan terhadap tekanan iklim, dan kualitas lingkungan (FAO, 2013).

Dalam penerapan penggunaan konsep *Smart Agriculture* ini, hasil yang didapatkan yaitu untuk memperbaiki pendapatan mata pencaharian dibidang pertanian, menghasilkan ketahanan pangan dan pembangunan pertanian berkelanjutan dengan memastikan bahwa sistem produksi pertanian sesuai untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan variabilitas. Ketahanan pertanian terhadap perubahan iklim dan variabilitas dapat meningkatkan produksi pertanian dan berkontribusi secara luas terhadap pembangunan yang berkelanjutan (FAO, 2013). *Smart Agriculture* dapat membantu untuk mendukung pengambil kebijakan dalam membuat suatu kebijakan, sarana teknis dan finansial yang diperlukan untuk mengutamakan pertimbangan perubahan iklim ke sektor pertanian dan memberikan konsep dasar untuk mengoperasionalkan pembangunan pertanian berkelanjutan.

## **2.2. Peranan Internet of Things (IoT)**

*Internet of Things* memungkinkan pertanian, di sini khususnya pertanian subur, menjadi berdasarkan data, yang mengarah ke produksi dan pengelolaan yang lebih tepat waktu dan hemat biaya pertanian, dan pada saat yang sama mengurangi dampak lingkungannya (Krishna, Silver, Malende, & Malende, 2017). Ulasan ini adalah menangani survei analitik dari aplikasi saat ini dan potensial dari Internet Hal-hal dalam pertanian subur, di mana data spasial, lingkungan yang sangat bervariasi, keanekaragaman tugas dan perangkat seluler menghadirkan tantangan unik untuk diatasi dibandingkan dengan pertanian lainnya sistem. Ulasan ini memberikan gambaran umum tentang seni teknologi dikerahkan. Ini memberikan garis besar aplikasi saat ini dan potensial, dan membahas tantangan dan kemungkinan solusi dan implementasi. Terakhir, ini

menghadirkan masa depan petunjuk untuk *Internet of Things* dalam pertanian subur. Masalah terkini seperti pintar telepon, manajemen cerdas Jaringan Sensor Nirkabel, platform *middleware*, Sistem Informasi Manajemen Pertanian yang terintegrasi di seluruh rantai pasokan, atau otonom kendaraan dan robotika menonjol karena potensinya untuk memimpin pertanian subur menjadi cerdas pertanian subur. Selama implementasi, berbagai tantangan ditemui, dan di sini interoperabilitas adalah rintangan utama di semua lapisan dalam arsitektur *file* sistem *Internet of Things*, yang dapat digunakan dengan standar dan protokol bersama. Tantangan seperti keterjangkauan, konsumsi daya perangkat, latensi jaringan, Big Data analisis, privasi dan keamanan data, antara lain, telah diidentifikasi oleh artikel ditinjau dan dibahas secara rinci. Solusi berbeda untuk semua tantangan yang teridentifikasi adalah menyajikan teknologi pengalaman seperti pembelajaran mesin, platform *middleware*, atau manajemen data cerdas (Heriksen, T.C.E, Pesonen, Green, & Soresen, 2020).

### **2.3. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai *Internet of Things (IoT)*.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *Smart Agriculture*!
2. Jelaskan dimensi pembangunan berkelanjutan!
3. Jelaskan karakteristik *Smart Agriculture*!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan IOT!
5. Jelaskan pemanfaatan IOT dalam bidang pertanian!

## BAB III

# SISTEM DAN MODEL



Pada bab ini akan dibahas terkait dengan definisi dari sistem dan model.

### 3.1. Sistem

Sistem adalah kumpulan entitas yang bertindak dan berinteraksi bersama untuk mencapai beberapa tujuan (Schmidt & Taylor, 1970). Sistem dikategorikan menjadi dua jenis yaitu sistem diskrit dan kontinu (Law & Kelton, 1991). Sistem diskrit merupakan sistem yang variabelnya berubah secara instan pada titik yang terpisah dalam waktu. Sistem kontinu merupakan sistem yang status variabelnya berubah secara dinamis menerus sehubungan dengan waktu. Dalam suatu sistem, untuk bereksperimen langsung dengan sistem secara fisik dan kemudian membiarkannya beroperasi dalam kondisi baru yang diinginkan sering menimbulkan beberapa masalah.

### 3.2. Model

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. Pemodelan merupakan alat bantu dalam pengambilan keputusan. Model didefinisikan sebagai suatu penggambaran dari suatu sistem yang telah dibatasi. Sistem yang dibatasi ini merupakan sistem yang meliputi semua konsep dan variabel yang saling berhubungan dengan permasalahan dinamik (*dynamic problem*) yang ditentukan (Richardson & A, 1986). Pengembangan model dapat

dilakukan dengan menggunakan beberapa aturan yaitu elaborasi, analogi dan dinamis (Suryani E., 2005). Prinsip pengembangan model dengan elaborasi dimulai dari yang paling sederhana kemudian secara bertahap dielaborasi menjadi model yang representatif. Penyederhanaan permasalahan dapat dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model. Pengembangan model dengan analogi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa prinsip dan teori yang sudah dikenal luas. Pengembangan model dengan dinamis bukanlah suatu proses mekanis dan linier, sehingga dalam pengembangan model ini mungkin saja terdapat proses pengulangan (Suryani E., 2005).

Model yang dikembangkan dengan sistem dinamik mempunyai karakteristik sebagai berikut (Noorsaman & Wahid, 1998).

- a) Menggambarkan hubungan sebab akibat dari sistem.
- b) Sederhana dalam *mathematical nature*.
- c) Sinonim dengan terminologi dunia industri, ekonomi, dan sosial dalam tata nama.
- d) Dapat melibatkan banyak variabel.
- e) Dapat menghasilkan perubahan yang tidak kontinu jika dalam keputusan memang dibutuhkan.

### **3.3. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman terkait definisi sistem dan model pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud sistem!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan model!
3. Berilah contoh sistem yang ada dalam kehidupan sehari-hari!
4. Jelaskan karakteristik model sistem dinamik!
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan asumsi!

## BAB IV

### SIMULASI



Pada bab ini akan dibahas mengenai definisi simulasi, serta keuntungan dan kekurangan penggunaan simulasi.

#### 4.1. Pengertian Simulasi

Simulasi dengan menggunakan bantuan komputer untuk mengevaluasi suatu model secara numerik, dan data dikumpulkan untuk memperkirakan karakteristik sebenarnya dari model tersebut (Law & Kelton, 1991). Simulasi adalah proses perancangan suatu model dari suatu sistem nyata dan melakukan percobaan- percobaan dengan model tersebut dengan tujuan untuk memahami tingkah laku sistem atau mengevaluasi berbagai strategi untuk pengoperasian sistem (Tasrif, 2004). Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relatif kompleks untuk pemecahan analitis dari model tersebut. Penggunaan simulasi akan memberikan wawasan yang lebih luas pada pihak manajemen dalam menyelesaikan suatu masalah (Suryani E., 2005). Definisi simulasi menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

- a) Simulasi adalah sebagai suatu model sistem di mana komponennya dipresentasikan oleh profesor-profesor aritmetika dan logika yang dijalankan komputer untuk memperkirakan sifatsifat dinamis sistem tersebut (Emshoff & Simon, 1970).
- b) Simulasi merupakan proses perencanaan model dari sistem nyata yang dilanjutkan dengan pelaksanaan eksperimen terhadap model untuk mempelajari perilaku sistem atau evaluasi strategi (Shanon, 1975).

- c) Simulasi adalah tiruan sistem nyata yang dikerjakan secara manual oleh komputer dan kemudian diobservasi dan disimpulkan untuk mempelajari karakteristik sistem (Banks & Carson, 1990).
- d) Simulasi adalah sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu (Law & Kelton, 1991).
- e) Simulasi merupakan proses aplikasi membangun model dari sistem nyata atau usulan sistem, melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem atau untuk membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan (Khosnevis, 1994). Menurut (Herrel, *et al.*, 2004) di dalam bukunya yang berjudul *Simulation Using Promodel* penggolongan simulasi dilakukan berdasarkan sifat dan cara kerjanya. Secara umum kategori simulasi dibedakan menjadi tiga yaitu:
  - a) Simulasi statis atau simulasi dinamis

Sistem statis merupakan simulasi sistem yang tidak bergantung atau berdasar terhadap waktu, namun biasanya simulasi ini melibatkan pengambilan sampel yang acak untuk menyimulasikan *output* statistik yang dapat dianalisis. Simulasi sistem statis menghasilkan *output* melalui bilangan acak atau *random* dan berlaku hanya pada saat bilangan *random* itu dibuat. simulasi dinamis sangat bergantung terhadap perubahan waktu, statusnya selalu berubah-ubah sepanjang waktu, mekanisme jam akan bergerak sejalan dengan waktu dan status dari variabelnya juga akan berubah seiring berubahnya waktu. Karena itu simulasi dinamis merupakan simulasi yang cocok untuk memodelkan sistem yang memiliki pola yang dinamis juga, seperti sistem manufaktur dan jasa.
  - b) Simulasi stokastik atau simulasi deterministik

Simulasi stokastik dan simulasi deterministik merupakan simulasi yang di mana variabel inputnya bersifat acak atau

*random*. Dalam simulasi stokastik simulasi harus dijalankan secara berulang atau dijalankan dengan beberapa replikasi untuk mendapatkan *output* yang akurat. Simulasi deterministik variabel *input* tidak ada satu pun yang sifatnya acak. Pada simulasi deterministik ini *output* yang dihasilkan akan bersifat konstan dan tergantung terhadap variabel inputnya. Berbeda dengan simulasi stokastik yang harus dijalankan berulang-ulang untuk mendapatkan hasil yang optimal, simulasi deterministik hanya perlu dijalankan sebanyak satu kali untuk mendapatkan *output* yang optimal.

c) Simulasi sistem diskrit atau simulasi sistem kontinu.

Simulasi diskrit diartikan sebagai simulasi yang di mana perubahan status terjadi pada titik-titik waktu diskrit yang ditandai dengan suatu kejadian. Perubahan status ini dipicu oleh suatu kejadian yang terjadi pada waktu tertentu. Sedangkan simulasi sistem kontinu, perubahan status variabel terjadi sepanjang waktu. Simulasi sistem kontinu menggunakan persamaan diferensial untuk menentukan tingkat perubahan status variabelnya.

#### **4.2. Keuntungan dan Kekurangan Penggunaan Simulasi**

Keuntungan penggunaan simulasi menurut (Chase & N., 1991) adalah sebagai berikut:

- a) Simulasi mampu mengembangkan model dari sistem sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap sistem nyata.
- b) Simulasi jauh lebih umum dibandingkan model matematik dan dapat digunakan di mana model analitik matematik tidak dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan.
- c) Model simulasi memberikan replikasi yang lebih realistis terhadap sistem nyata karena memerlukan asumsi yang lebih sedikit.

Sedangkan kekurangan dalam penggunaan simulasi menurut (Siagian, 1987) adalah sebagai berikut:

- a) Simulasi tidak menghasilkan sebuah jawaban tetapi menghasilkan cara untuk menilai jawaban termasuk jawaban optimal. Simulasi bukan sebuah presisi dan juga bukan sebuah proses optimisasi.
- b) Model simulasi yang baik dan efektif adalah sangat mahal dan memerlukan waktu lama dibandingkan model analitik.
- c) Tidak semua situasi dapat dinilai melalui simulasi kecuali situasi yang memuat ketidakpastian

#### **4.3. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman terkait simulasi pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan simulasi!
2. Bagaimana keterkaitan antara model dan simulasi?
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem diskrit!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem kontinu!
5. Jelaskan perbedaan antara sistem diskrit dan sistem kontinu!

# BAB V

## SISTEM DINAMIK



Bab ini membahas tentang pengertian sistem dinamik dan tahapan pengembangan model sistem dinamik.

### 5.1. Sistem Dinamik

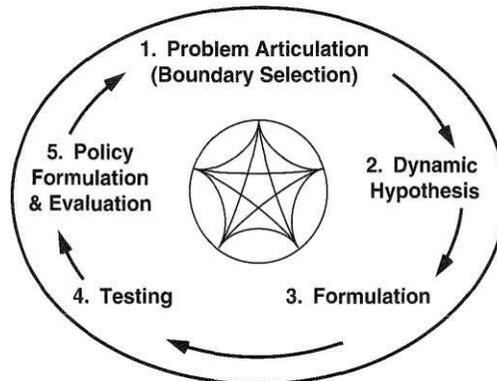
Sistem Dinamik adalah suatu pendekatan dengan bantuan komputer untuk menganalisis kebijakan dan desain. Simulasi sistem dinamik merupakan simulasi kontinu yang dikembangkan oleh Jay Forrester (MIT) pada tahun 1960-an, berfokus pada struktur dan perilaku sistem yang terdiri atas interaksi antar variabel dan *loop feedback*. Hubungan dan interaksi antar variabel dinyatakan dalam diagram kausatik. Proses umpan balik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu (Suryani E., Hendrawan, Muhandhis, & Indraswari, 2020):

- a) Umpan Balik Positif Jenis umpan balik ini menciptakan proses pertumbuhan, di mana suatu kejadian dapat menimbulkan akibat yang akan memperbesar kejadian berikutnya secara terus menerus. Umpan balik ini dapat menyebabkan ketidakstabilan, ketidakseimbangan, serta pertumbuhan yang kontinu. Contoh: sistem pertumbuhan penduduk.
- b) Umpan balik negatif Jenis umpan balik ini berusaha menciptakan keseimbangan dengan memberikan koreksi agar tujuan dapat dicapai. Contoh: sistem pengatur suhu ruangan.

Dalam pemodelan Sistem Dinamik dilakukan proses *feedback* bersama struktur *stock and flow*, *time delay*, dan kenonlinieran yang menentukan alur suatu sistem.

## 5.2. Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik

Menurut (Sterman, 2000), terdapat 5 tahapan yang dilakukan dalam mengembangkan model sistem dinamik, kelima tahapan tersebut seperti pada Gambar 5.1.



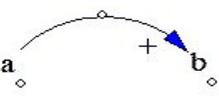
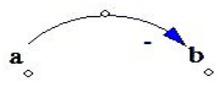
Gambar 5.1 Tahapan Pemodelan (Sterman, 2000)

Berikut penjelasan masing-masing tahapan:

- a) *Problem articulation*, langkah ini dilakukan pendefinisian masalah yang akan diselesaikan menggunakan model sistem dinamik beserta pendefinisian variabel-variabel yang terkait di dalamnya. Pada tahapan ini seorang pembuat model mengembangkan karakterisasi awal masalah melalui diskusi dengan tim klien, dilengkapi dengan penelitian arsip, pengumpulan data, wawancara, dan observasi atau partisipasi langsung. Pemilihan tema meliputi apa masalah dan mengapa hal itu menjadi sebuah masalah. Setelah menentukan tema, selanjutnya mendefinisikan variabel kunci.
- b) *Formulating a dynamics hypothesis*, tahapan ini dimulai dari perumusan hipotesis awal yang berisi mengenai teori terkini tentang perilaku bermasalah yang bersifat sementara untuk membentuk proses pemodelan. Fokus endogen merumuskan hipotesis dinamika yang menjelaskan dinamika dan konsekuensi endogen dari struktur umpan balik (*feedback*). Pada langkah ini

dibuat diagram kausatik/*Causal Loop Diagram* yang digunakan untuk menggambarkan gabungan kasualitas antar variabel di dalam sistem. Setelah pembuatan diagram kausatik dilanjutkan dengan mengubah diagram tersebut menjadi diagram simulasi atau bisa disebut *Flow Diagram*. Dengan melakukan simulasi akan diambil hipotesis dinamik dengan melihat struktur hubungan antar variabel. Pemetaan struktur sebab-akibat berdasarkan hipotesis awal, variabel kunci, mode referensi, dan data lain yang tersedia, menggunakan *Boundary Adequacy* dan *Causal Loop Diagram*. Dengan melakukan simulasi akan diambil hipotesis dinamik dengan melihat struktur hubungan antar variabel. Variabel direalisasikan oleh tautan sebab akibat, ditunjukkan oleh panah. Setiap tautan sebab akibat diberi polaritas, baik positif (+) atau negatif (-) untuk menunjukkan bagaimana variabel dependen berubah ketika variabel independen berubah. Pada Simbol-simbol pada CLD dapat dilihat pada Tabel 5.1.

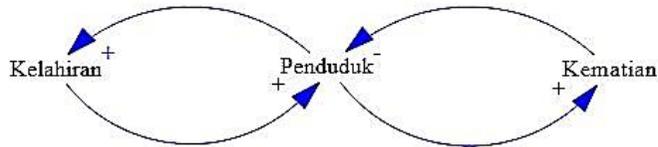
Tabel 5.1 Simbol Causal Loop Diagram

No	Simbol	Keterangan
1		Link positif semua lainnya sama, jika A bertambah (menurun), maka B naik (turunkan) di atas (di bawah) dalam hal akumulasi A menambah B.
2		Link negatif semua yang lain sama, jika A bertambah (menurun), maka B turun (meningkat) di atas (di bawah) dalam hal akumulasi A kurangi dari B.

Sumber: (Sterman, 2000)

Contoh *Causal Loop Diagram* dapat dilihat pada Gambar 5.2. Lingkaran umpan balik tersebut terdiri atas lingkaran umpan balik positif yaitu hubungan antara kelahiran dengan penduduk, di mana semakin banyak kelahiran bayi semakin bertambah jumlah penduduk, di lain pihak semakin banyak jumlah penduduk semakin

banyak jumlah kelahiran bayi. Sebaliknya, lingkaran umpan balik negatif yaitu hubungan antara kematian dengan penduduk, di mana semakin banyak kematian bayi semakin berkurang jumlah penduduk, di lain pihak semakin banyak jumlah penduduk semakin banyak jumlah kematian bayi.



Gambar 5.2 Contoh Causal Loop Diagram

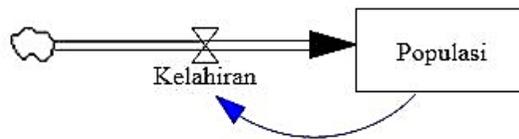
Tahapan selanjutnya menurut (Sterman, 2000) adalah:

- c) *Formulating a Simulation Model*, tahapan ini akan menguji *dynamics hypothesis* dari *Causal Loop Diagram* untuk model formal yang ditentukan sepenuhnya, lengkap dengan persamaan, parameter, dan kondisi awal. Pada tahap ini dilakukan konversi elemen dan variabel di dalam sistem menjadi persamaan, *level*, *rate*, dan *auxiliary*. Pada tahap ini pula ditentukan estimasi dari nilai awal dan nilai parameter. *Stock and Flow* menggambarkan struktur aliran secara rinci sehingga dapat digunakan untuk menyusun model matematis. Diagram alir (simulasi) menggambarkan hubungan antar variabel dan sudah dinyatakan dalam bentuk simbol-simbol. Dalam pemodelan sistem dinamik terdapat besaran-besaran pokok yang terdiri atas variabel-variabel. Variabel yang digunakan adalah variabel "*level*", variabel "*rate*", dan variabel "*auxiliary*". Pada Tabel 5.2 akan menjelaskan simbol dari *stock and flow diagram* pada sistem dinamik.

Tabel 5.2 Simbol *Stock and Flow Diagram*

No	Simbol	Keterangan
1		"Level" merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda ( <i>nouns</i> ) seperti orang, uang, inventori, dan lain-lain, terhadap waktu. "Level" dipengaruhi oleh variabel "rate" dan dinyatakan dengan simbol persegi panjang. Pada bagian bawah simbol variabel "level" menunjukkan nama variabel.
2		"Rate" merupakan suatu aktivitas, pergerakan ( <i>movement</i> ), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel "level". "Rate" merupakan satu-satunya variabel yang mempengaruhi variabel "level" (Tasrif, 2004). Dalam Powersim simbol "rate" dinyatakan dengan kombinasi antara "flow" dan "auxiliary". Simbol ini harus terhubung dengan sebuah variabel "level".
3		<i>Auxiliary</i> merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan informasi antara "level" dan "rate". Seperti variabel "level", variabel "auxiliary" juga dapat digunakan untuk menyatakan sejumlah benda ( <i>nouns</i> ). Simbol "auxiliary" dinyatakan dengan sebuah lingkaran.

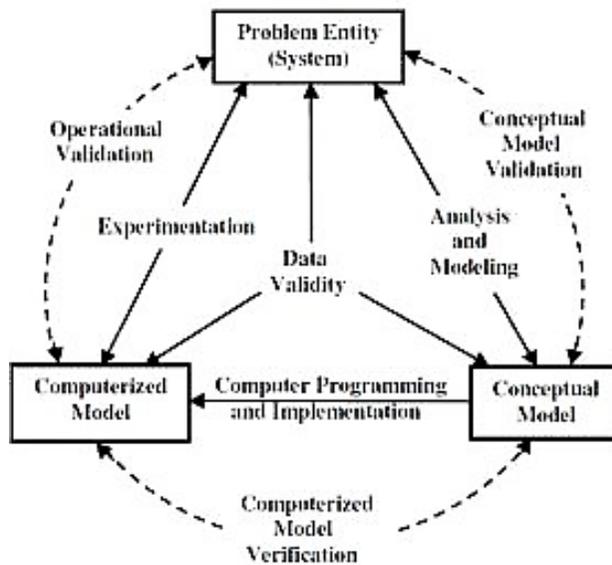
Contoh *Stock and Flow Diagram* dapat dilihat pada Gambar 5.3. Melalui struktur sistem kelahiran tersebut, dapat diketahui bahwa setiap kelahiran akan berpengaruh terhadap jumlah populasi penduduk sehingga apabila kelahiran meningkat maka populasi pun meningkat. Sedangkan apabila tingkat kelahiran menurun maka populasi menurun. Populasi sendiri dapat mempengaruhi variabel kelahiran. Tanda panah (*information link*) tersebut menunjukkan bahwa populasi mempengaruhi kelahiran. Artinya, semakin tinggi tingkat populasi maka tidak menutup kemungkinan akan mempengaruhi tingkat kelahiran. Hal ini dimungkinkan karena dengan meningkatnya populasi maka akan membuka peluang proses perkawinan.



Gambar 5.3 Contoh Stock and Flow Diagram

Tahapan selanjutnya menurut (Sterman, 2000) yaitu:

- d) *Testing*, tahapan ini dilakukan pengujian dimulai setelah melengkapi persamaan dan parameter pada setiap bagian. Pengujian bertujuan untuk membandingkan perilaku yang di simulasikan dari model dengan perilaku aktual dari sistem yang sebenarnya. Setiap persamaan harus diperiksa untuk konsistensi dimensi. Tingkat sensitif perilaku model dan rekomendasi kebijakan harus dinilai berdasarkan ketidakpastian dalam asumsi maupun *structural*. 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. 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. Proses verifikasi dan validasi selanjutnya harus dilakukan pada setiap tahapan pembuatan model. Untuk mempermudah pemahaman dalam verifikasi dan validasi dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram Verifikasi dan Validasi

Penjelasan dari Gambar 5.4 di atas 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 komputer 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.

Menurut (Barlas, 1989) proses validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada Persamaan 1 dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau % *error variance* pada Persamaan 2.

1. Uji Perbandingan Rata-Rata atau *Mean Comparison*

$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \%$$

Keterangan:

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

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

2. Uji Perbandingan Variasi Amplitudo atau % *Error Variance*

$$E_2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \times 100 \%$$

Keterangan:

$S_s$  = Standar Deviasi Model

$S_a$  = Standar Deviasi Data

Tahapan selanjutnya menurut (Serman, 2000) yaitu:

- e) *Policy design and evaluation*, pada tahap desain kebijakan lebih dari sekadar mengubah nilai parameter. Desain kebijakan mencakup pembuatan strategi, struktur, dan aturan keputusan yang sepenuhnya baru. Dalam struktur umpan balik dari suatu sistem menentukan dinamika, sebagian besar waktu kebijakan akan melibatkan umpan balik dominan dengan mendesain ulang struktur stok dan aliran, menghilangkan penundaan waktu, menyalurkan aliran dan kualitas informasi yang tersedia di titik keputusan utama, atau secara fundamental menciptakan kembali proses pengambilan keputusan aktor dalam sistem. Pada tahap ini model yang telah

dibuat dapat dijadikan acuan untuk membuat ataupun melakukan evaluasi dari kebijakan yang sudah ada terkait sistem yang dimodelkan.

### **5.3. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai definisi sistem dinamik dan tahapan pengembangan model sistem dinamik pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem dinamik!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan umpan balik sistem!
3. Jelaskan tahapan pengembangan model sistem dinamik!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan validasi model!
5. Jelaskan bagaimana cara melakukan validasi model!

## BAB VI

# PENGEMBANGAN MODEL PENINGKATAN PRODUKTIVITAS



Pada bab ini akan dibahas tentang tahapan yang ditentukan dalam pengembangan model peningkatan produktivitas padi.

### 6.1. Proses Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data pada Gambar 1.1, hal ini dilakukan dengan beberapa cara, seperti: penggalan informasi dari berbagai sumber terkait seperti artikel atau jurnal, penelitian sebelumnya dan situs bank data seperti BPS (Badan Pusat Statistik, Statistik), Kementerian Pertanian dan Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) dan media massa siap diperebutkan perkembangan tanaman padi saat ini. Data literatur digunakan sebagai variabel signifikan dan variabel tambahan yang saling mempengaruhi dalam pemodelan sistem yang akan disimulasikan.

Dalam pembahasan ini mencakup dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data mentah yang dijadikan acuan meliputi data produksi beras (ton), hasil beras (ton / ha), luas panen (ha) dan penduduk Jawa Timur (manusia).

#### 6.1.1. Data Produksi Padi

Data terkait produksi padi di Jawa Timur mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2000-2001 mengalami penurunan yang awalnya 9.224.353 Ton menjadi 8.672.791. Kenaikan produksi padi terjadi secara signifikan pada tahun 2012, jumlah produksi yang awalnya 10.029.728

Ton pada tahun 2011, meningkat menjadi 11.499.199Ton pada tahun 2012. Sedangkan jumlah produksi padi pada tahun 2018 sebesar 12.367.414 Ton, mengalami penurunan pada tahun 2019 menjadi 9.580.934 Ton. Dan untuk rata-rata produksi padi antara tahun 2000 hingga 2020 sebesar 10.322.808 Ton. Data mengenai produksi padi di Jawa Timur diperoleh dari situs bank data Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan) dan Badan Pusat Statistik (BPS).

#### **6.1.2. Data Produksi Beras**

Data terkait produksi padi di Jawa Timur mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2000-2001 mengalami penurunan yang awalnya 5.903.586 Ton menjadi 5.550.586 Ton. Kenaikan produksi beras terjadi secara signifikan pada tahun 2012, jumlah produksi yang awalnya 6.419.026 Ton pada tahun 2011, meningkat menjadi 7.359.487 Ton pada tahun 2012. Sedangkan jumlah produksi padi pada tahun 2018 sebesar 7.915.145 Ton, mengalami penurunan pada tahun 2019 menjadi 6.131.798 Ton. Dan untuk rata-rata produksi beras antara tahun 2000 hingga 2020 sebesar 6.606.597 Ton. Data mengenai produksi padi di Jawa Timur diperoleh dari situs bank data Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan) dan Badan Pusat Statistik (BPS).

#### **6.1.3. Data Luas Area Lahan Panen**

Data terkait luas area panen padi di Jawa Timur mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2000 hingga 2003. Dengan rata-rata kenaikan sebesar 21.894 Ha. Kenaikan luas area secara signifikan terjadi pada tahun 2016, luas area panen yang awalnya 2.021.766 Ha pada tahun 2015, meningkat menjadi 2.112.563 Ha pada tahun 2016. Sedangkan luas area panen padi pada tahun 2017 seluas 2.136.412 Ha, mengalami penurunan pada tahun 2018 hingga 2020 dengan rata-rata penurunan menjadi 40.441 Ha. Dan untuk rata-rata luas area panen padi dalam kurun waktu dari tahun 2000 hingga 2020 sebesar 1.771.287 Ha. Data mengenai luas area panen Padi di Jawa Timur diperoleh dari situs bank data

Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan) dan Badan Pusat Statistik (BPS).

#### **6.1.4. Data Produktivitas Padi**

Data terkait produktivitas komoditas padi di Jawa Timur mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2000 hingga 2002. Kenaikan produktivitas padi terjadi pada tahun 2003 hingga 2010, produktivitas yang awalnya 5,35 Ton/Ha pada tahun 2003, meningkat menjadi 6,03 Ton/Ha pada tahun 2010. Dengan rata-rata kenaikan sebesar 0,10 Ton/Ha. Sedangkan produktivitas padi pada tahun 2018 sebesar 6,8 Ton/Ha, mengalami penurunan pada tahun 2019 menjadi 5,3 Ton/Ha. Dan untuk rata-rata produktivitas padi dalam kurun waktu dari tahun 2000 hingga 2020 sebesar 5,8 Ton/Ha. Data mengenai produktivitas komoditas padi di Jawa Timur diperoleh dari situs bank data Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan) dan Badan Pusat Statistik (BPS).

#### **6.1.5. Data Populasi**

Data mengenai jumlah populasi di Jawa Timur mengalami kenaikan tiap tahunnya dari tahun 2007 hingga tahun 2019. Rata-rata populasi di Jawa Timur pada kurun waktu tersebut sebesar 38.303.653 jiwa dengan rata-rata pertumbuhan 0,70% (BPS, 2019). Pengambilan data jumlah populasi dilakukan pada situs bank data Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS).

### **6.2. Pengembangan Model**

Pengembangan model ini terdiri atas 5 tahapan (Stermann, 2000) di antaranya *problem articulation*, *dynamics hypothesis*, *formulating a simulation model*, *testing*, serta *policy design and evaluation*. Pada langkah pertama yaitu *problem articulation* untuk mendefinisikan permasalahan dalam sistem budi daya padi di Jawa Timur. Langkah kedua yaitu *formulating a dynamics hypothesis* untuk merumuskan hipotesis awal untuk membentuk proses pemodelan meliputi pembuatan subsistem diagram pertanian padi, model *boundary*, *causal loop diagram*,

dan *stock and flow*. Langkah ketiga yaitu *formulating a simulation model* untuk menguji hipotesis dari *causal loop diagram* dengan persamaan, parameter dan kondisi *existing* pada sistem pertanian di Jawa Timur. Langkah keempat testing meliputi pengujian membandingkan model simulasi dengan sistem sebenarnya. Langkah kelima, yaitu *policy design and evaluation* mencakup pembuatan strategi, struktur, dan aturan keputusan yang sepenuhnya baru. Langkah Ini dijelaskan secara detail pada Bab V pada Gambar 5.1.

### **6.2.1. Problem Articulation**

Pada tahap mengartikulasikan masalah, masalah terkait didefinisikan budi daya padi di Jawa Timur yang akan dilaksanakan dengan menggunakan model sistem dinamika dan definisi variabel terkait di dalamnya. Dua hal terpenting pada tahap ini adalah mengembangkan mode referensi dan mengatur cakrawala waktu dengan jelas.

Pengumpulan data dan informasi akan menjadi mode referensi yang diwakili oleh pola perilaku dari variabel yang berisi aspek dan masalah yang terkait dengan budi daya padi. Informasi historis ini sangat penting dalam menggambarkan pola perilaku masalah dan memprediksi kemungkinan yang akan terjadi. Beberapa data ini menunjukkan bahwa masalah yang akan muncul adalah meliputi cara meningkatkan produksi padi dalam penanganan hama dan pengadopsian dalam teknologi.

Dengan data yang diperoleh jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2019 mencapai 267 juta jiwa dengan rata-rata konsumsi beras 111,4 kg/kapita/tahun. Di mana kenaikan jumlah penduduk berdampak pada kebutuhan beras. Selama kurun waktu sepuluh tahun (2009-2019) rata-rata konsumsi beras per minggu yaitu 1,64 kg. Dan laju pertumbuhan penduduk rata-rata 1,31 persen per tahun. Jika Indonesia tidak ingin bergantung pada impor beras, maka produksi padi Indonesia harus terus ditingkatkan untuk mengimbangi pertumbuhan penduduk yang ada. Produksi beras di Indonesia mengalami penurunan sebesar 5 juta ton dari tahun sebelumnya. Masalah konsumsi beras dan pemenuhannya akan tetap merupakan agenda penting. Sektor pertanian harus terus

dikembangkan agar tetap menjadi andalan menetapkan ketahanan pangan, meningkatkan pendapatan petani dan penduduk pedesaan, mengentaskan kemiskinan, memasok tenaga kerja yang berkualitas bagi sektor non pertanian, memacu pertumbuhan ekonomi dan menyehatkan ekonomi (Tjetjep & Adreng, 2011).

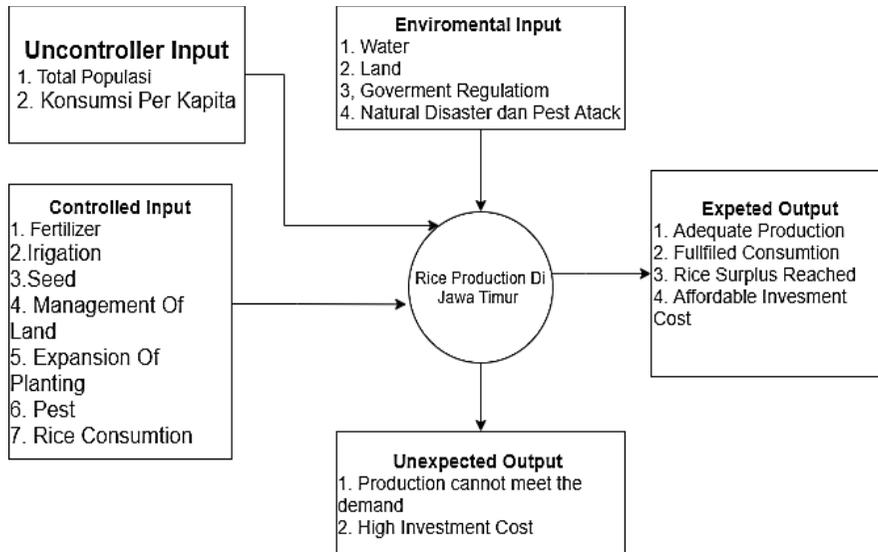
Permasalahan yang dijumpai dalam upaya peningkatan produktivitas tanaman padi antara lain: 1) Kondisi perubahan iklim yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan turunnya produktivitas, dan ditemukan bahwa pendapatan pertanian yang sedikit. Hal ini menyebabkan pengurangan ketersediaan dan akses pangan, dan peningkatan kemiskinan (Boansi, Tambo, & M.Müller, 2017). 2) Pengelolaan hama khususnya yang bersifat hewani mengakibatkan para petani banyak mengalami kegagalan panen (M.Stuart, *et al.*, 2018; Mohamed, Terano, Sharifuddin, & Rezai, 2016; Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018; Oort, 2015; Zhou, Hu, Wang, & Lin, 2010 ; Rosadi, Balafif, & Novianti, 2020). 3) Pemakaian pupuk kimia anorganik yang terus menerus mengakibatkan penurunan jumlah produksi pertanian (Heriksen, T.C.E, Pesonen, Green, & Soresen, 2020; Krishna, Silver, Malende, & Malende, 2017). 4) Pengelolaan irigasi yang kurang efisien dikarenakan sulitnya cadangan air akibat kekeringan yang mengakibatkan kerusakan pada tanaman padi (Niang, 2017; Olayide, Emmanuel, Tetteh, & Popoola, 2016). Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan adanya kebijakan maupun strategi yang tepat dan dapat diaplikasikan untuk pertanian berkelanjutan khususnya komoditas tanaman pangan padi.

#### 6.2.1.1. *Subsystem Diagram*

Berdasarkan masalah dan faktor yang diperoleh, kemudian menganalisis kompleksitas hubungan antar subsistem, kemudian Diagram blok subsistem ini diperoleh dengan menggunakan program komputer Vensim, yang merupakan paket perangkat lunak simulasi yang meningkatkan kinerja sistem aktual yang digunakan untuk mengembangkan, menganalisis, dan mendapatkan umpan balik dinamis tentang sistem. Model diagram dan persamaan menggambarkan perilaku

internal setiap subsistem dan hubungannya antara faktor dan subsistem lainnya ditampilkan sebagai komponen tambahan.

Diagram dan persamaan model menggambarkan perilaku internal dari masing-masing subsistem dan hubungan antara faktor-faktor dengan subsistem lainnya. Gambaran subsistem dalam budi daya padi ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Subsistem Dalam Budi Daya Padi

### 1. Harvest Land

Area Luas panen adalah tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur. Dalam panen berhasil ini termasuk juga tanaman yang hasilnya sebagian saja dapat dipungut (paling sedikit sampai dengan 11%) yang mungkin disebabkan karena mendapat serangan organisme pengganggu tumbuhan atau bencana alam (Badan Pusat Statistik, 2019). luas panen, dan produktivitas padi mempengaruhi produksi padi. Untuk meningkatkan produksi beras guna menjaga ketahanan pangan perlu dilakukan peningkatan di beberapa bagian penting. Peningkatan produksi padi ini menggunakan dua skenario yaitu

peningkatan produktivitas pada skenario pertama dengan menggunakan benih berkualitas (A. M. Stuart, 2018). dan memperbaiki mekanisme panen dengan mengganti alat pertanian tradisional menggunakan alat pertanian modern ditambah dengan penerapan IoT serta Persamaan dari variabel pada submodel luas panen padi ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Persamaan Submodel *Harvest Land Area*

Variabel	Persamaan
<i>Total Harvest Land Area</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Suprianto & Suryani, 2014), (Ustriyana, 2015)	<i>Initial Harvest Land Area + (Expansion Plant Area - Reduce Plant Area)</i>
<i>Expansion Plant Area</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Suprianto & Suryani, 2014), (Ustriyana, 2015)	<i>Expansion Rate * Total Harvest Land Area</i>
<i>Reduce Plant Area</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Suprianto & Suryani, 2014), (Ustriyana, 2015)	<i>Reduce Rate * Total Harvest Land Area</i>

## 2. Rice Productivity and Production

Irawan (2003) melaporkan bahwa selama 1978-1998 sekitar 1,07 juta ha lahan (30,8%) telah terkonversi menjadi lahan non pertanian. Selama periode yang sama, terdapat pembukaan sawah baru sekitar 0,91 juta ha. Namun, sejak krisis ekonomi yang berkepanjangan, pembukaan sawah baru hampir tidak mungkin karena keterbatasan dana pembangunan (Suprianto & Suryani, 2014). Dengan demikian, adalah sangat sulit mempertahankan luas areal tanam padi di Jawa. Di lain pihak, sekitar 48% padi ditanam di Jawa, mempunyai kontribusi produksi sekitar 58% dari produksi padi nasional (Muhandhis & Suryani, 2015). Berbagai kebijakan untuk meningkatkan produksi padi seperti pembangunan sarana irigasi, subsidi benih, pupuk, dan pestisida, kredit usaha tani bersubsidi, dan pembinaan kelembagaan usaha tani telah ditempuh (Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016). Peningkatan produksi padi masih

merupakan prioritas dalam mendukung program ketahanan pangan dan agribisnis. Produksi padi terus dipacu untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat. Namun demikian, segala upaya untuk meningkatkan produksi selalu mendapat gangguan, antara lain berupa kekeringan, banjir, serangan hama, dan penyakit (Boansi, Tambo, & M.Müller, 2017). Penggunaan pupuk secara rasional dan berimbang merupakan faktor kunci dalam peningkatan produksi padi. Sedangkan rekomendasi pupuk yang berlaku saat ini masih bersifat umum dan belum mempertimbangkan kandungan atau status hara tanah sehingga penggunaan pupuk tidak efisien (Boansi, Tambo, & M.Müller, 2017). Sedangkan untuk menghitung produktivitas padi dengan menghitung kenaikan yang disebabkan oleh variabel pendukungnya ditunjukkan pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Persamaan Submodel Rice Productivity and Production

Variabel	Persamaan
<i>Rice Production</i> , (Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016), (Muhandhis & Suryani, 2015)	$Rice\ Productivity * Total\ Harvest\ Land\ Area$
<i>Fulfillment Ratio</i> (Badan Pusat Statistik, 2019), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, & Chandra, 2018), (Andri & Pangarsa, 2016)	$(Rice\ Production / Rice\ Demand) * 100$
<i>Rice Productivity</i> (Hernanto, 1996)	$Initial\ Rice\ Productivity + (Increase\ Rice\ Productivity - Decrease\ Rice\ Productivity)$
<i>Decrease Rice Productivity</i> (Badan Pusat Statistik, 2019) (BAPPENAS)	<i>Flood, Pest And Disease Effect</i>

### 3. Population

Jumlah penduduk dipengaruhi oleh angka kelahiran, angka kematian, angka imigrasi, tingkat emigrasi penduduk dan total permintaan beras. Angka kelahiran dan tingkat imigrasi mempengaruhi permintaan beras, Semakin bertambahnya populasi penduduk maka akan mempengaruhi jumlah ketersediaan lahan terutama lahan panen padi

(Andri & Pangarsa, 2016). Semakin banyak populasi juga akan menambah banyak adanya industri. Dengan adanya permintaan yang meningkat tetapi berbanding terbalik dengan penurunan luas lahan mengakibatkan produktivitas padi mengalami penurunan (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, & Chandra, 2018).

Tabel 6.3 Persamaan Submodel Rice Productivity and Production

Variabel	Persamaan
<i>Population</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, & Chandra, 2018)	<i>Initial Population + (Increase- Decrease)</i>
<i>Increase</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, & Chandra, 2018)	<i>(Birth Rate + Immigration Rate + Rice Demand Effect) * Total Population</i>
<i>Decrease</i> (Muhandhis & Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, & Chandra, 2018)	<i>(Death Rate + Emmigration Rate) * Total Population</i>

#### 4. Rice Demand

Permintaan padi/*demand* yang dimaksud di sini adalah jumlah dari penggunaan padi untuk pakan ternak, industri dan konsumsi (Badan Pusat Statistik, 2019). Permintaan padi semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya ternak dan industri yang memerlukan *supply* padi, hal ini dipengaruhi oleh semakin meningkatnya populasi. sedangkan permintaan padi untuk konsumsi juga dipengaruhi oleh besaran konsumsi per kapita (Suryani E., Hendrawan, Muhandhis, & Indraswari, 2020). Selanjutnya, *fulfillment ratio* dipengaruhi oleh permintaan padi dari berbagai elemen dan total produksi padi. Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa permintaan padi untuk industri baik industri pakan ternak maupun industri non pakan ternak, data permintaan padi untuk pakan ternak, dan konsumsi per kapita (Aprillya, Suryani, & Dzulkarnain, 2019; Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia,

& Chandra, 2018). Masing-masing data tersebut merupakan data pada periode 2000 sampai 2020. Selanjutnya adalah menghitung permintaan padi setiap tahunnya dari berbagai elemen dengan menambahkan permintaan padi untuk industri pakan ternak dan non pakan ternak, kemudian menambahkan dengan permintaan padi untuk pakan ternak. Sedangkan untuk menghitung permintaan padi untuk konsumsi yakni dengan mengalikan total populasi dengan konsumsi per kapita.

#### 6.2.1.2. *Boundary Adequacy*

Pada tahapan *boundary adequacy* digunakan untuk membantu dalam mendefinisikan batasan model. Tahapan *boundary adequacy* dilakukan dalam pemodelan untuk memastikan bahwa model sesuai untuk tujuan yang ditetapkan. Jika struktur tambahan memiliki dampak yang signifikan pada perilaku model maka harus disertakan. Jika variabel tidak memiliki dampak dapat dihilangkan dari model (*excluded*), sehingga model menjadi lebih kecil dan lebih mudah untuk menjelaskan model (Sterman, 2000) pada Gambar 5.1.

Hal ini digunakan untuk membantu dalam mendefinisikan batasan model dengan mendaftar variabel apa saja yang perlu untuk dimasukkan dan dihilangkan dari model, di antaranya variabel yang masuk dalam faktor endogen, eksogen yang saling berpengaruh dan *excluded*. Jika struktur tambahan memiliki dampak yang signifikan pada perilaku model maka harus disertakan. Jika variabel tidak memiliki dampak dapat dihilangkan dari model (*excluded*), sehingga model menjadi lebih kecil dan lebih mudah untuk menjelaskan model (Sterman, 2000).

Tabel 6.4 merupakan tabel yang menggambarkan faktor internal dan faktor eksternal, baik faktor pendukung maupun faktor yang berperan penting dalam pembuatan model sistem dinamik pada produktivitas dan produksi tanaman padi.

Tabel 6.4 *Boundary Adequacy*

Submodel	Endogenous	Unit	Reference	Exogenous	Unit	Reference
Rice Production	Paddy	Ton/ Ha	(Suprianto & Suryani, 2014),(Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016), (Muhandhis & Suryani, 2015)	-	-	
	Harvest Area	Ha	(Muhandhis & Suryani, 2015)	-	-	
Fulfillment Ratio (%)	Rice Production	Ton	(Badan Pusat Statistik, 2019), (Suprianto & Suryani, 2014), (Christian, Juwitasary, Putra, Fiffilia, & Chandra, 2018), (Andri & Pangarsa, 2016)	Total Demand	Ton	(Suprianto & Suryani, 2014), (Christian, Juwitasary, Putra, Fiffilia, & Chandra, 2018), (Andri & Pangarsa, 2016)
Land Productivity	Quality	%	(Suprianto & Suryani, 2014), (Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016)	Rainfal Effect	%	(Olayide, Emmanuel, Tetteh, & Popoola, 2016), (Niang, 2017), (Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018), (Boansi, Tambo, & M.Müller, 2017), (Bagwar, 2019), (Niang, 2017)
	Seeds Effect	%	(Suprianto & Suryani, 2014), (Banayo, P., Haeefele, Desamero, & kato., 2018), (Berkhout, Erza, Glover, & Kuyvenhoven., 2015)	Pest Effect	%	(M.Stuart, <i>et al.</i> , 2018), (Mohamed, Terano, Sharifuddin, & Rezai, 2016), (Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018), (Oort, 2015), (Zhou, Hu, Wang, & Lin, 2010), (Rosadi, Balaffif, & Novianti, 2020), (Bhol, <i>et al.</i> , 2020), (Niang, 2017)
Internet of Things	Perseman Effect	%		Humidity Effect	%	(Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018), (Niang, 2017)
	Plowing Rice	%	(Suprianto & Suryani, 2014)	Temperature Effect	%	(Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018), (Bagwar, 2019), (Niang, 2017)
	Harvest Control	%	(Suprianto & Suryani, 2014), (Aqeel-Ur & A, 2009)	Soil Ph	%	(Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018), (Bagwar, 2019)
	Internet of Things	%	(Aqeel-Ur & A, 2009), (Rosadi, Balaffif, & Novianti, 2020), (Bhol, <i>et al.</i> , 2020), (Krishna, Silver, Malende, & Malende, 2017), (Bagwar, 2019)			

Submodel	Endogenous	Unit	Reference	Exogenous	Unit	Reference
	Irrigation	%	(Aqeel-Ur & A, 2009), (Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016), (Muhandhis & Suryani, 2015), (Arsal, Yunus, Handoyo, & Ahmad, 2020), (Khairuman, <i>et al.</i> , 2021)			
Total Demand (Tons)	Total Consumption	Ton	(Suryani E., Hendrawan, Muhandhis, & Indraswari, 2020)			
Population	Birth Rate	%	(Badan Pusat Statistik, 2019), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifiilia, & Chandra, 2018)			
	Death Rate	%	(Badan Pusat Statistik, 2019), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifiilia, & Chandra, 2018)			
Total Consumption	Rice Of Percapita	Kg / Capita / Year	(Suryani E., Hendrawan, Muhandhis, & Indraswari, 2020)			
	Real Price of Rice	Kg / Rupiah	(Hidayat, Suryani, & Hendrawan, 2016), (Hoang, K., & Meyers., 2015)			
	Population	People	(M.Stuart, <i>et al.</i> , 2018), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifiilia, & Chandra, 2018),(Oort, 2015)			
Total Harvest Land Area	Land Clearing	Ha	(Muhandhis & Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifiilia, & Chandra, 2018)			
	Land Use Change	Ha	(Muhandhis & Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifiilia, & Chandra, 2018)			

Untuk memudahkan dalam pembuatan *boundary adequacy*, maka Batasan variabel didasarkan pada lima submodel yakni produktivitas lahan, luas panen, produksi padi dan penghasilan petani. Pertama daftar variabel endogen dan eksogen baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel produktivitas padi seperti pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 *Boundary Adequacy* Submodel Produktivitas Lahan

Submodel	Endogen	Eksogen
lot Factor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rainfall Factor (Olayide, Emmanuel, Tetteh, &amp; Popoola, 2016), (Niang, 2017), (Khanal, Wilson, Hoang, &amp; Lee, 2018), (Boansi, Tambo, &amp; M.Müller, 2017), (Bagwar, 2019), (Niang, 2017)</li> <li>• Humadity Factor (Khanal, Wilson, Hoang, &amp; Lee, 2018), (Niang, 2017)</li> <li>• Temperature Factor (Khanal, Wilson, Hoang, &amp; Lee, 2018), (Bagwar, 2019), (Niang, 2017)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil Ph Factor (Khanal, Wilson, Hoang, &amp; Lee, 2018), (Bagwar, 2019)</li> </ul>
Soil Management		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plowing Rice Field (Suprianto &amp; Suryani, 2014), (Aqeel-Ur &amp; A, 2009)</li> <li>• Perseman (Suprianto &amp; Suryani, 2014), (Aqeel-Ur &amp; A, 2009)</li> <li>• Irrigation (Aqeel-Ur &amp; A, 2009), (Hidayat, Suryani, &amp; Hendrawan, 2016), (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Arsal, Yunus, Handoyo, &amp; Ahmad, 2020), (Khairuman, <i>et al.</i>, 2021)</li> <li>• Quality Seeds (Suprianto &amp; Suryani, 2014), (Hidayat,</li> </ul>

Submodel	Endogen	Eksogen
		Suryani, & Hendrawan, 2016) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harvest Control (Suprianto &amp; Suryani, 2014), (Hidayat, Suryani, &amp; Hendrawan, 2016)</li> </ul>
Decrease productivity		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pest (M.Stuart, <i>et al.</i>, 2018), (Mohamed, Terano, Sharifuddin, &amp; Rezai, 2016), (Khanal, Wilson, Hoang, &amp; Lee, 2018), (Oort, 2015), (Zhou, Hu, Wang, &amp; Lin, 2010), (Rosadi, Balafif, &amp; Novianti, 2020), (Bhoi, <i>et al.</i>, 2020), (Niang, 2017)</li> </ul>

Kedua, daftar variabel endogen dan eksogen baik variabel dan yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh pada submodel luas lahan Tabel 6.6.

Tabel 6.6 *Boundary Adequacy* Submodel Luas Lahan

Submodel	Endogen	Eksogen
Land Area	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Land Clearing (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Land Use Change (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> <li>• Land Extensification (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> </ul>

Ketiga, daftar variabel endogen dan eksogen baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel total kebutuhan Tabel 6.7.

Tabel 6.7 *Boundary Adequacy* Submodel Total Kebutuhan

Submodel	Endogen	Eksogen
Total Consumotion		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rice of percapita (Suryani E., Hendrawan, Muhandhis, &amp; Indraswari, 2020)</li> </ul>
Total population		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Birth rate (Badan Pusat Statistik, 2019), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> <li>• Death Rate (Badan Pusat Statistik, 2019), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> </ul>

Terakhir, datar variabel endogen dan eksogen baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling berpengaruh dalam submodel pemenuhan Tabel 6.8.

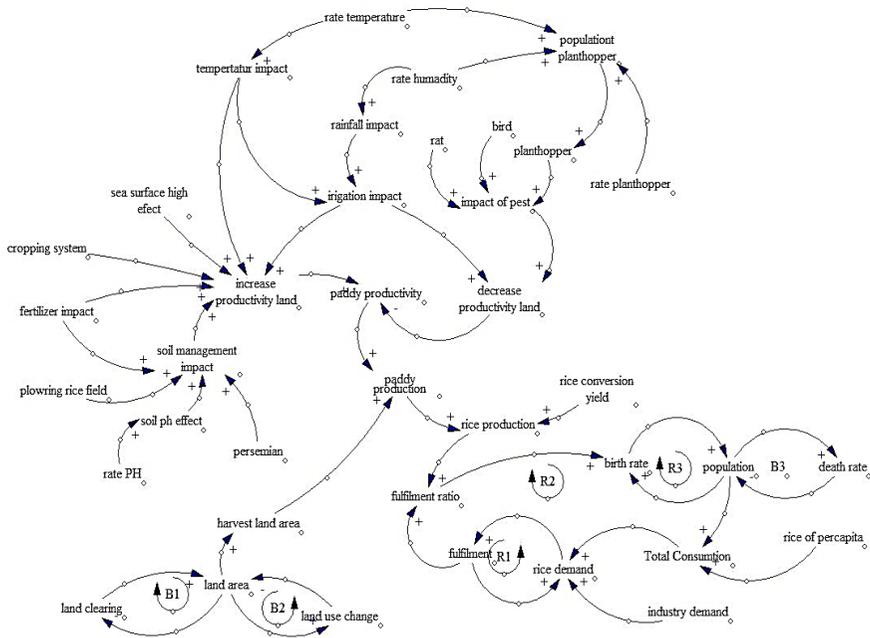
Tabel 6.8 *Boundary Adequacy* Submodel Pemenuhan

Submodel	Endogen	Eksogen
Fullfilment Ratio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rice Production (Badan Pusat Statistik, 2019), (Suprianto &amp; Suryani, 2014), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018), (Andri &amp; Pangarsa, 2016)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Land clearing (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> <li>• Land use change (Muhandhis &amp; Suryani, 2015), (Christian, Juwitasary, Putra, Fifilia, &amp; Chandra, 2018)</li> </ul>

#### 6.2.1.3. *Causal Loop Diagram Model*

Hasil dari tahapan ini akan didapatkan beberapa diagram sebab akibat yang nantinya akan digabung menjadi sebuah sistem utuh. Berikut merupakan perumusan hubungan dan keterkaitan antar variabel juga dijelaskan pada Sub Bab 6.2.1.1 dan Sub Bab 6.2.1.2 dalam peningkatan

produktivitas tanaman padi tahan kekeringan dan hama serta adopsi teknologi seperti pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Causal Loop Diagram

Terdapat beberapa faktor baik internal maupun eksternal yang mempengaruhi produktivitas padi. Variabel yang mempengaruhi besarnya produktivitas padi terdiri atas beberapa bagian:

1. *Rice demand and fulfilment Ratio*

Sebuah proses antara produksi beras dan permintaan beras disajikan di mana permintaan dipengaruhi oleh jumlah penduduk yang tinggi, sehingga konsumsi beras per kapita secara otomatis akan meningkat jika permintaan beras yang tinggi akan meningkat. Jumlah penduduk itu sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu angka kelahiran (R3) dan angka kematian (B3). Sedangkan produksi padi sendiri dipengaruhi oleh luas panen.

## 2. *Rice Productivity*

Menggambarkan permasalahan yang ada dalam produksi padi. Beberapa faktor yang mempengaruhi produksi padi itu sendiri, yaitu (1) produktivitas lahan tanam di mana faktor ini pengelolaan lahan, kesuburan dan kesesuaian lahan sangat mempengaruhi hasil produksi padi. (2) tingkat serangan hama, di mana apabila kerusakan ham cukup tinggi maka tingkat gagal panen juga luas akibat gagal panen yang tinggi, sehingga tingkat produktivitas padi akan menurun. (3) luas lahan panen jika luas panen bertambah karena pelepasan lahan yang ada maka luas tanam juga akan bertambah sehingga produksi padi juga meningkat dan sebaliknya jika luas panen berkurang maka produksi padi juga akan menurun.

## 3. *Harvest Area*

Menggambarkan struktur umum daerah persawahan yang bermasalah. Beberapa faktor mempengaruhi pelepasan lahan oleh pemerintah (B1) dan konversi lahan (B2). 2 faktor utama ini dapat mempengaruhi jumlah produksi dan produktivitas padi itu sendiri.

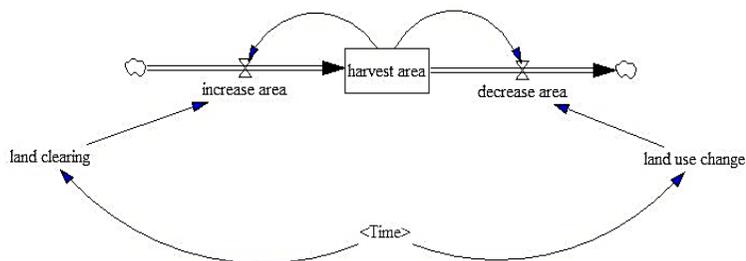
## 4. *Increase Land Productivity*

Menjelaskan beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas lahan. 3 faktor utama yang krusial, yaitu (1) manajemen irigasi, (2) pengelolaan tanah, (3) *Internet of Things*. Dari ketiga faktor tersebut masing-masing dipengaruhi oleh faktor lain yaitu revitalisasi lahan yang dipengaruhi oleh pupuk dan insektisida, kemudian dari pengelolaan tanah dipengaruhi oleh Persemanian, Pengairan, Bibit Berkualitas, Pembajakan sawah, pengendalian panen, dan yang terakhir. satu dari *Internet of Things*. berperan dalam mengambil beberapa faktor yaitu faktor Kelembaban, faktor PH Tanah, Faktor Curah Hujan dan faktor Suhu.

#### 6.2.1.4. Submodel Luas Area Lahan Panen (*Harvest Land Area*)

Lahan pertanian adalah salah satu faktor produksi, tempat dihasilkannya produk pertanian yang memiliki sumbangan yang cukup besar terhadap usaha tani, karena banyak sedikitnya hasil produksi dari usaha tani sangat dipengaruhi oleh luas sempitnya lahan yang digunakan (Ambarita & Kartika, 2015). Luas panen adalah luasan tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur (BPS, 2020).

Luas area panen padi dipengaruhi oleh tingkat pembukaan lahan dan tingkat konversi lahan. Tingkat pembukaan lahan dipengaruhi oleh laju pembukaan lahan, sedangkan tingkat konversi lahan dipengaruhi oleh laju konversi lahan. Ketika terjadi konversi di area lahan padi, maka akan mempengaruhi jumlah ketersediaan luas panen padi. Konversi lahan dikarenakan adanya perubahan lahan menjadi perumahan penduduk, industri dan fasilitas umum lainnya. Pertumbuhan penduduk di Jawa Timur berpengaruh dalam pengurangan area lahan panen sekitar 1,3% (Marhaeni & Yuliarmi, 2018; Hidayat, 2008).



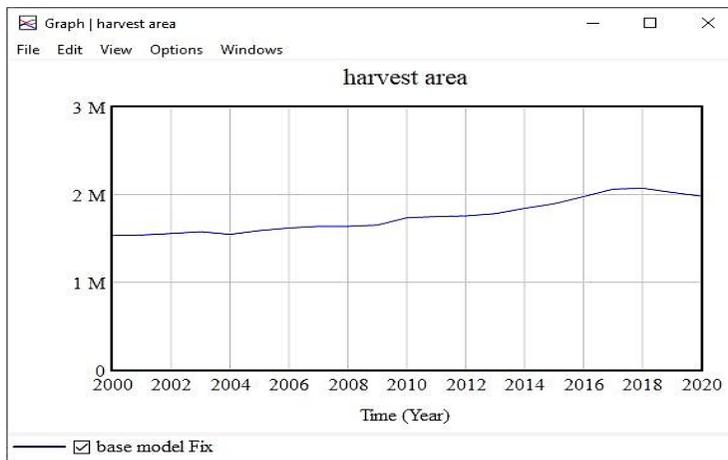
Gambar 6.3 Submodel *Harvest Land Area*

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa luas lahan panen padi (*harvest land area*) pada periode 2000 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung pertumbuhan ekspansi lahan dan alih fungsi lahan setiap tahunnya. Persamaan dari variabel pada submodel *harvest land area* ditunjukkan dalam Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Persamaan Submodel *Harvest Land Area*

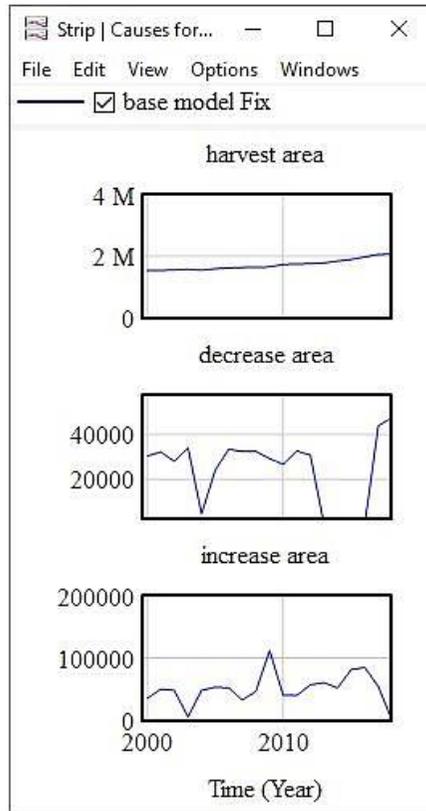
Variabel	Persamaan
Total Harvest Area	Initial Total Harvest Land Area + (Increase Area-Decrease Area) Initial Value: 1535030
Decrease Area	Harvest Area*Land Use Change
Increase Area	Harvest Area*Land Clearing
Land Use Change	IF THEN ELSE (Time=2003, 0.003, IF THEN ELSE (Time=2009, 0.068, IF THEN ELSE(Time>2014:AND: Time<2017, 0.043, IF THEN ELSE(Time>=2018:AND: Time<=2020, 0, RANDOM NORMAL (0.011, 0.043, 0.026, 0.01, 0))))))
Land Clearing	IF THEN ELSE(Time=2004, 0.003,IF THEN ELSE(Time>=2013:AND:Time<2017, 0,IF THEN ELSE(Time>=2017:AND:Time<=2020, RANDOM UNIFORM(0.021, 0.023, 0), RANDOM NORMAL(0.012, 0.023, 0.019, 0.005, 0))))

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *harvest land area* pada tahun 2000 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *harvest land area* ditunjukkan pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Grafik Hasil Simulasi *Harvest Land Area*

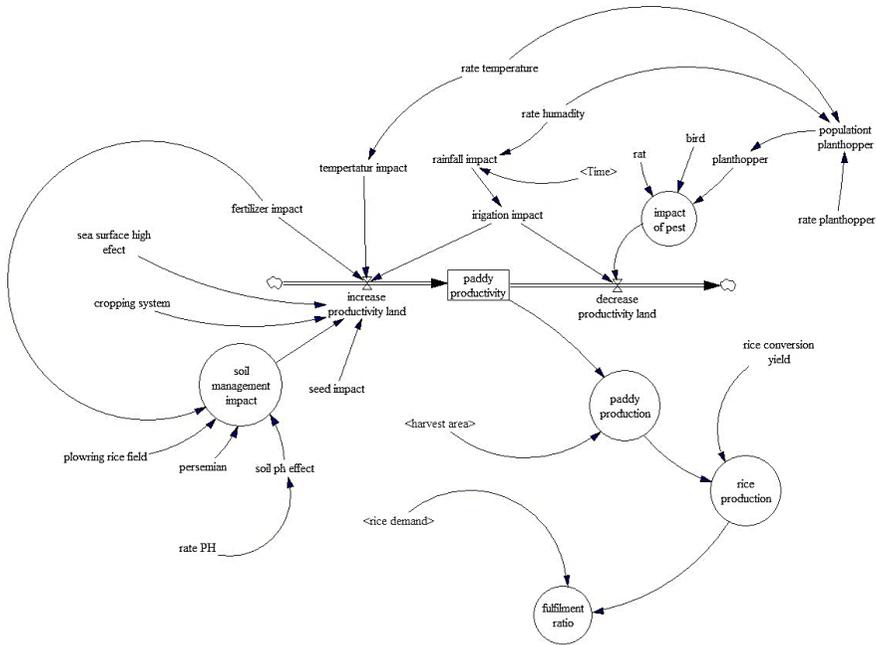
Luas area lahan panen padi (*harvest land area*) mengalami peningkatan dan penurunan pada kurun waktu 2000 hingga 2020. Kenaikan luas lahan panen padi dipengaruhi oleh *land clearing* sedangkan pengurangan luas lahan panen padi dipengaruhi oleh *land use change*. *Causes strip* hasil simulasi pada luas area panen padi ditunjukkan pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5 *Causes Strip* Hasil Simulasi *Harvest Land Area*

Dari *causes strip* pada Gambar 6.5 dapat diketahui bahwa luas area panen padi yang mengalami kenaikan dan penurunan selama tahun 2000 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya *decrease area* dan *increase area*.

### 6.2.1.5. Submodel Produktivitas dan Produksi Padi (*Rice Productivity and Production*)



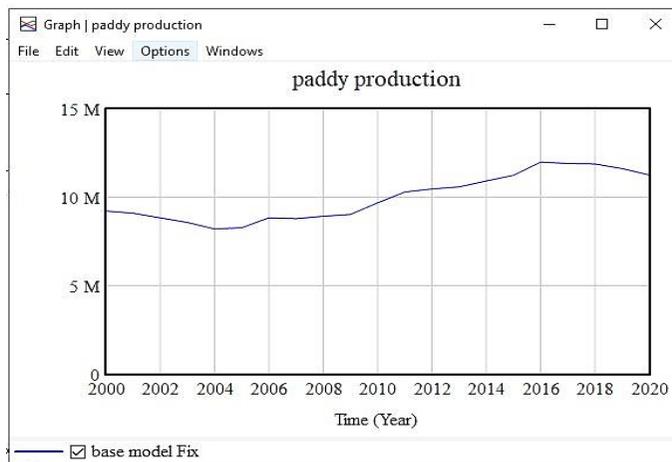
Gambar 6.6 Submodel Paddy Productivity and Production

Dalam pembuatan *stock flow* diagram model dapat memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa produktivitas padi pada periode 2000 hingga 2020 langkah ini diambil dari alur yang telah dijelaskan pada Gambar 6.6. Selanjutnya adalah menghitung kenaikan dan penurunan produktivitas padi per hektare. Persamaan dari variabel pada submodel *rice productivity* ditunjukkan dalam Tabel 6.10.

Tabel 6.10 Persamaan Submodel *Rice Productivity and Production*

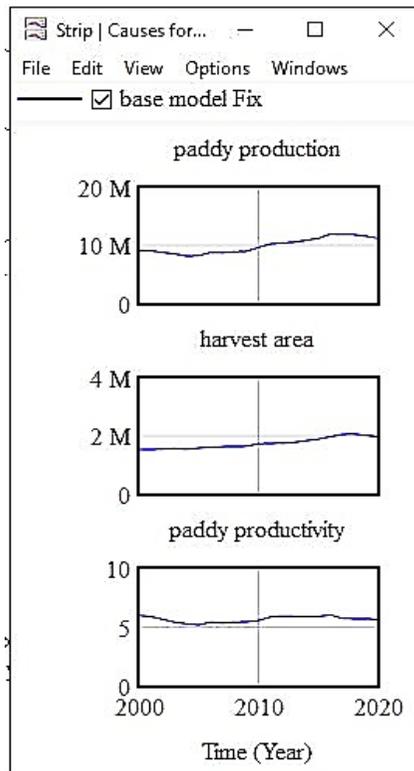
Variabel	Persamaan
<i>Paddy Productivity</i>	<i>increase productivity land-decrease productivity land</i> <i>initial value: 6.01</i>
<i>Fulfillment ratio</i>	$(\text{Rice Production} / \text{Rice Demand})$
<i>Paddy Production</i>	$(\text{Land Productivity} * \text{Harvest Area})$
<i>Rice Production</i>	$\text{Paddy Production} * \text{Rice Conversion Yield}$
<i>Impact Soil Management</i>	$\text{fertilizer impact} + \text{persemanian} + \text{plowring rice field} + \text{soil ph effect}$
<i>increase productivity land</i>	$\text{cropping system} + \text{fertilizer impact} + \text{irigation impact} + \text{seed impact} + \text{soil management impact} + \text{tempertatur impact} + \text{sea surface high efect}$
<i>Irrigation impact</i>	$\text{IF THEN ELSE} (\text{rainfall impact} > 0.022, \text{RANDOM UNIFORM} (0.29, 0.38, 0), 0.2)$
<i>Impact of pest</i>	$\text{bird} + \text{planthopper} + \text{rat}$
<i>decrease productivity land</i>	$\text{IF THEN ELSE} (\text{irigation impact} = 0.2, (\text{impact of pest} + 0.08), \text{impact of pest})$

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *rice productivity* pada tahun 2000 hingga 2020. Hasil simulasi cenderung naik dan hanya pada tahun 2005 hingga 2016, dan pada tahun 2000 hingga 2004 mengalami penurunan signifikan. Hasil simulasi tersebut seperti tren data yang diperoleh. Grafik hasil simulasi pada *paddy production* ditunjukkan pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Grafik Hasil Simulasi *Paddy Production*

Produktivitas padi cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2000 hingga 2020. Hal ini dipengaruhi oleh persentase kenaikan dan penurunan produktivitas padi per hektare. *Causes strip* hasil simulasi pada produktivitas beras ditunjukkan pada Gambar 6.8.

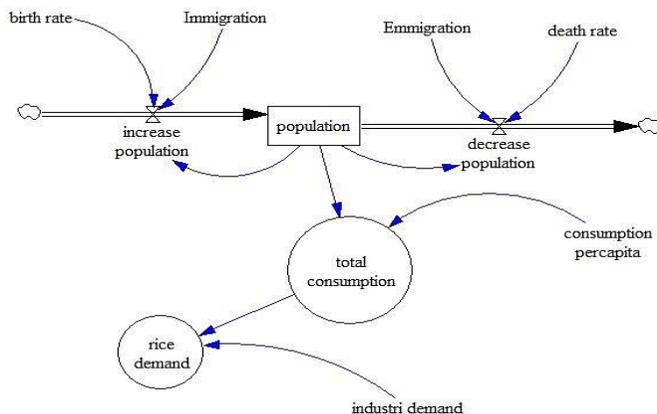


Gambar 6.8 Causes Strip Hasil Simulasi Paddy Production

Dari *causes strip* pada Gambar 6.8 dapat diketahui bahwa rasio pemenuhan (*fulfillment ratio*) yang berfluktuasi tetapi cenderung meningkat selama tahun 2000 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya produktivitas padi yang dipengaruhi dari peningkatan dan pengurangan produktivitas lahan dan juga dipengaruhi oleh luas lahan penanaman padi.

### 6.2.1.6. Submodel Populasi dan Konsumsi Beras (*Population and Total Consumption*)

Populasi penduduk dipengaruhi oleh laju kelahiran, laju kematian, laju imigrasi, laju emigrasi dan efek dari rasio pemenuhan permintaan akan beras pada tahun sebelumnya. Jawa Timur telah mencapai surplus beras dan jagung. Namun komoditi kedelai masih mengalami minus sehingga dipenuhi dari impor. Kendati menjadi lumbung pangan, konsumsi beras masyarakat Jatim kini terus mengalami penurunan mencapai 88 kg per kapita per tahun. “Konsumsi beras nasional masih 114 kg per kapita per tahun. Konsumsi beras di Jatim sendiri sebesar 91,26 kg per kapita per tahun, bahkan ada kecenderungan turun menjadi 88 kg per kapita per tahun. dengan konsumsi beras yang menurun, maka surplus beras Jatim semakin besar. “Surplus beras kita kirim ke provinsi lain yang membutuhkan. Ketersediaan beras di Jatim sebesar 8,485 juta ton, dengan kebutuhan beras sebesar 3,545 juta ton, sehingga surplus 4,94 juta ton (BPS & BAPPENAS, 2016).



Gambar 6.9 Submodel Population and Total Consumption

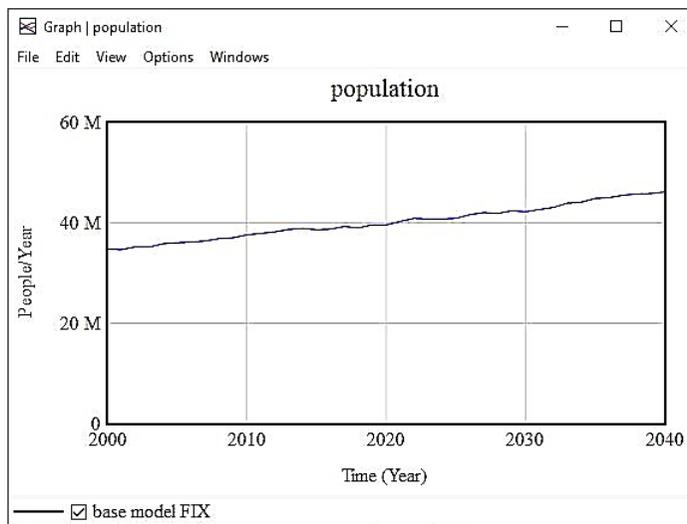
Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa jumlah populasi manusia di Jawa Timur pada periode 2000 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung kenaikan dan penurunan populasi

di Jawa Timur. Persamaan dari variabel pada submodel *population* ditunjukkan dalam Tabel 6.11.

Tabel 6.11 Persamaan Submodel Population and Total Consumption

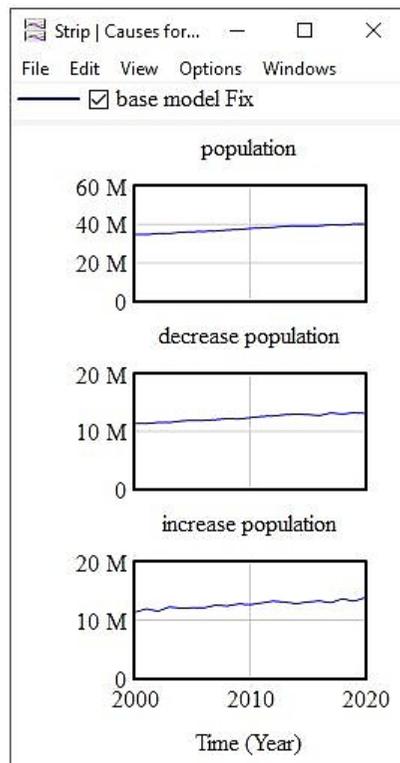
Variabel	Persamaan
<i>Population</i>	<i>Initial Total Population + (Increase-Decrease)</i> <i>Initial Value: 34766000</i>
<i>Increase</i>	$(\text{Death Rate} + \text{Emmigration}) * \text{Population}$
<i>Decrease</i>	$\text{Death Rate} * \text{Population}$
<i>Total Consumption</i>	$\text{Population} * \text{Consumption Percapita}$
<i>Immigration</i>	$\text{RANDOM UNIFORM}(0.18, 0.1883, 0)$
<i>Emigration</i>	$\text{RANDOM UNIFORM}(0.243, 0.2499, 0)$

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *population* pada tahun 2000 hingga 2019. Grafik hasil simulasi pada *population* ditunjukkan pada Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Grafik Hasil Simulasi *Population*

Populasi manusia di Jawa Timur cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2007 hingga 2019. Hal ini dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung konstan (tidak mengalami banyak kenaikan atau penurunan). *Causes strip* hasil simulasi pada populasi ditunjukkan pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11 *Causes Strip* Hasil Simulasi *Population*

Dari *causes strip* pada Gambar 6.11 dapat diketahui bahwa populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung meningkat selama tahun 2000 hingga 2020 dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung konstan (tidak mengalami banyak kenaikan atau penurunan).

### **6.2.2. Pengelolaan Data/Formulasi Model**

Pada tahap ini akan dilakukan formulasi model, model konseptual yang telah digambarkan melalui *causal loop diagram* akan diterjemahkan menjadi model sistem dinamik yang digambarkan melalui diagram *stock* dan *flow* (*flow diagram*) yang terbentuk melalui beberapa komponen yaitu *level*, *rate*, *auxiliary*, *source* dan *sink*. Diagram tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam merancang skenario yang akan dijalankan pada model tersebut serta melakukan analisis dari hasil *output* model.

Tahap pertama yaitu menentukan persamaan dari tiap-tiap variabel, sebagai formulasi pada model dilakukan dengan cara memahami dan menguji konsistensi model apakah sudah sesuai dengan tujuan dan batasan sistem yang dibuat. Setelah model dibuat, selanjutnya dilakukan tahap validasi dan verifikasi. Pada tahap validasi dan verifikasi, dilakukan pengecekan terhadap model yang dibuat, apakah model sudah sesuai dengan yang diinginkan, masuk akal dan persamaan maupun satuan sudah konsisten. Maka setelah itu model disimulasikan menggunakan aplikasi Vensim.

### **6.2.3. Structural Validation**

Pengujian struktural dilakukan dengan cara memeriksa eror pada model yang telah dibuat dijelaskan juga pada Gambar 5.4. Hal ini dilakukan untuk memastikan formulasi yang sudah dibuat sudah sesuai hubungan variabel dengan variabel lain dan memeriksa satuan variabel dalam model. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, maka model telah terverifikasi. Ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan "*model is ok*" maka dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan sudah benar. Selain itu perlu pengecekan unit untuk mengetahui semua variabel dalam model memiliki unit yang sesuai.

Tabel 6.12 *Structural Validation*

Jenis Pengujian	Pertanyaan yang Diajukan dalam Pengujian
Verifikasi struktur	Apakah struktur model konsistensi dengan pengetahuan deskriptif yang relevan tentang sistem?
Verifikasi Parameter	Apakah parameter-parameter model konsistensi dengan pengetahuan deskriptif yang relevan tentang sistem?
Kondisi ekstrem	Apakah masing-masing persamaan masuk akal meskipun inputnya memiliki nilai-nilai ekstrem?
Kecukupan batas (struktur)	Apakah konsep-konsep yang penting menyangkut persoalan telah tercakup (endogenous) dengan model?
Konsistensi dimensional	Apakah masing-masing persamaan konsisten

#### 6.2.3.1. Structural Validation

Model *stock and flow* diagram yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses validasi untuk menguji apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Menurut Barlas, (1989) proses validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan. *Behavior validity test* secara ringkas dirangkum dalam Tabel 6.13.

Tabel 6.13 *Behavior Validity Test*

Jenis Pengujian	Pertanyaan yang Diajukan dalam Pengujian
Reproduksi perilaku	Apakah model secara endogenous membangkitkan gejala-gejala dan persoalan, mode-mode perilaku, frekuensi dan karakteristik lain dari perilaku sistem riil?
Anomali perilaku	Apakah perilaku abnormal muncul jika suatu asumsi model ditiadakan?
Family member	Dapatkah model mereproduksi perilaku dari contoh-contoh sistem lain dalam kelas yang sama seperti model?
Perilaku mengejutkan	Apakah model menunjukkan adanya suatu model perilaku yang sebelumnya tidak dikenali dalam sistem riil?

Jenis Pengujian	Pertanyaan yang Diajukan dalam Pengujian
Kebijakan ekstrem	Apakah model berperilaku sebagaimana mestinya bila dihadapkan pada kebijakan-kebijakan ekstrem atau input-input pengujian?
Kecukupan batas (perilaku)	Apakah perilaku model sensitif terhadap penambahan atau perubahan struktur untuk mewakili teori-teori alternatif yang dapat diterima?
Karakter statistika	Apakah <i>output</i> model memiliki karakter statistika yang sama dengan <i>output</i> dari sistem riil?

#### 6.2.4. Structural Validation

Model yang telah dibuat diberi beberapa perlakuan dengan membuat skenario (eksperimen). Sesuai dengan tujuan awal, maka model yang telah dibangun tersebut akan dibuat suatu skenario untuk meningkatkan produktivitas pada tahan kekeringan dan hama serta adopsi teknologi dan juga dijelaskan pada Gambar 5.1. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi kebijakan untuk mengetahui perilaku yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik. Terdapat alternatif skenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik yaitu skenario parameter dan skenario struktur (Suryani E., 2005) berikut penjelasan masing-masing skenario:

a) Skenario Parameter

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

b) Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga didapat struktur model yang baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem supaya struktur baru yang terbentuk dapat memperbaiki kinerja sistem.

Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara penambahan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada.

#### **6.2.5. Structural Validation**

Data *output* simulasi skenario akan dianalisis dan ditentukan dari faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan dalam *output* yang diinginkan. Pada tahapan ini bisa diputuskan kebijakan yang terbaik terhadap peningkatan produksi padi dalam adopsi teknologi informasi di sektor pertanian sehingga bisa diputuskan kebijakan terbaik terhadap peningkatan produksi padi.

#### **6.3. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman terkait pengembangan model peningkatan produktivitas pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan problem *articulation*!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *boundary adequacy*!
3. Jelaskan bagaimana cara mengembangkan *causal loop diagram*!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *structural validation*!
5. Jelaskan bagaimana cara mengonversi dari *causal loop diagram* menjadi *stock and flow diagram*!

## BAB VII

### VALIDASI MODEL



Pada bab ini akan dibahas tentang bagaimana tahapan-tahapan setiap proses validasi model.

#### 7.1. Validasi dan Pengujian Model (*Validation and Model Testing*)

Terdapat dua metode pengujian/*testing* yakni pengujian pertama adalah *structural validation* yang digunakan untuk menentukan kredibilitas model yang dibangun dan dilakukan oleh para ahli untuk menilai urutan dan persamaan variabel yang benar (Serman, 2000). Pengujian struktural dilakukan untuk memastikan semua variabel saling berhubungan, dan tidak ada yang dihentikan (Mudjahidin, 2019). Pengujian kedua adalah *behavior validity test* digunakan dalam validasi model untuk menguji substansi model sesuai dengan tujuan model yang ingin dicapai.

#### 7.2. Validasi Struktural Model (*Structural Validation*)

Validasi struktural berarti menguji hubungan yang dibangun ke dalam model telah dapat merepresentasikan hubungan yang ada pada sistem nyata. Langkah pertama dalam mengembangkan *causal loop diagram* adalah merumuskan masalah dengan mengidentifikasi hubungan sebab akibat dalam sistem (Pidd, 2010). Validasi struktural dapat dilakukan dengan menggunakan lima pengujian validitas *structural: boundary adequacy (structure) test, structure verification test, dimensional consistency test, parameter verification test, dan extreme conditions test* (Forrester & Senge, 1980; Martis, 2006).

*Causal loop* diagram pada Gambar 6.2 merepresentasikan enam hubungan variabel utama dalam sistem budi daya padi. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut:

- 1) *Harvest land area*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi perluasan dan pengurangan luas area panen.
- 2) *Paddy productivity*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi peningkatan dan penurunan produktivitas padi per hektare baik oleh faktor iklim dan cuaca, pupuk, benih, pengairan, maupun serangan hama dan penyakit.
- 3) *Paddy production*: menjelaskan dinamika total produksi padi yang ditentukan oleh luas area panen dan besarnya produktivitas padi per hektare.
- 4) *Fulfillment ratio*: memberikan informasi mengenai persentase rasio pemenuhan yang dipengaruhi oleh seluruh permintaan dari berbagai elemen dan total produksi padi.
- 5) *Population*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi total populasi manusia di Jawa Timur.

Setelah mengidentifikasi variabel-variabel utama dalam sistem budi daya padi yang menjadi dasar pengembangan *causal loop diagram*, proses selanjutnya adalah validasi struktural.

#### **7.2.1. Parameter Verification Test**

Parameter *verification test* bertujuan untuk menetapkan apakah parameter-parameter model konsisten dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata. Penentuan nilai parameter model mengenai peningkatan produksi padi dengan adopsi teknologi dalam upaya peningkatan pendapatan petani didasarkan pada pengetahuan yang ada dan data numerik yang diperoleh dari BPS (Badan Pusat Statistik) dan Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan). Parameter model, nilai parameter, dan sumber data dapat dijelaskan pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Parameter Model, Nilai Parameter, dan Sumber

Parameter Model	Nilai Parameter	Referensi
Land Clearing	0.011- 0.043/Years	(Kementan & BPS)
Land Use Change	0.012 - 0.023/Years	(Kementan & BPS)

Hasil parameter *verification test* memperlihatkan bahwa penetapan parameter pada model tidak bertentangan dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata.

### 7.2.2. Extreme Conditions Test

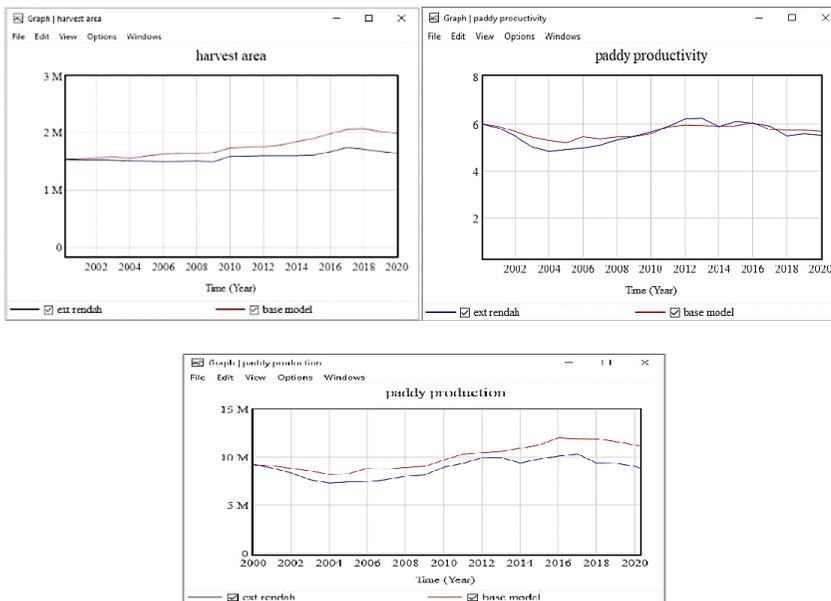
*Extreme conditions test* bertujuan untuk menetapkan apakah persamaan dalam model masuk akal meskipun pada variabel terdapat nilai yang ekstrem. Jadi *extreme conditions test* dilakukan dengan mengubah parameter input pada nilai ekstrem. Nilai ekstrem diterapkan pada parameter yang dipilih untuk menganalisis dan membandingkan perilaku model dengan perilaku referensi dari sistem nyata dalam kondisi ekstrem hal ini dilakukan agar sesuai dengan alur yang dijelaskan pada Gambar 5.4.

Pengujian *extreme conditions* dilakukan karena perilaku sistem pada kondisi ekstrem lebih mudah diduga secara model mental. Skenario pengujian dan parameter uji yang digunakan dalam melakukan *extreme conditions test* dapat dilihat pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Skenario Pengujian dan Parameter Uji *Extreme Conditions Test*

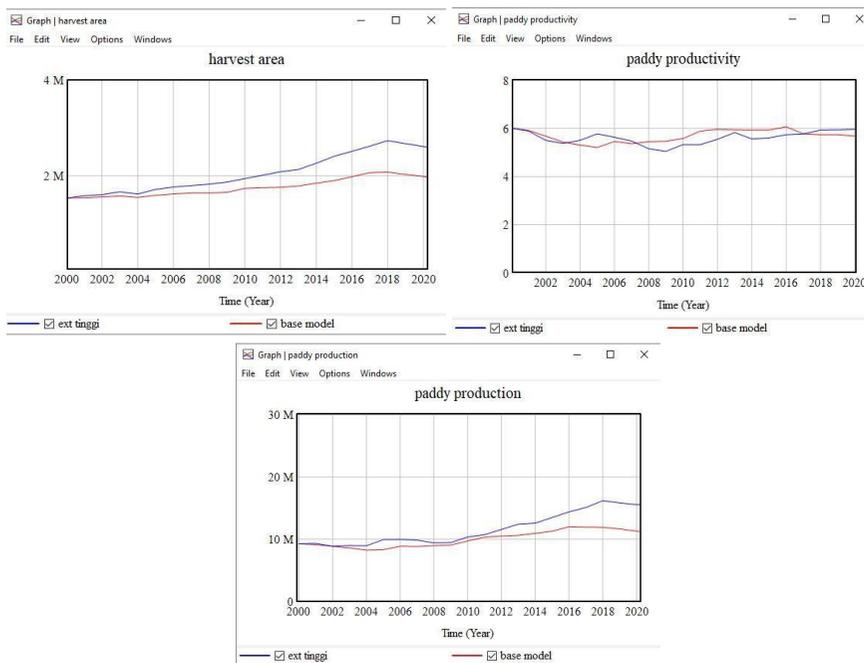
Skenario Pengujian	Luas Area Panen (Ha)	Produktivitas Lahan (Ton/Ha)	Produksi Padi (Ton)
Kondisi Acuan	1.983.270	5,68	11.264.500
<i>Expansion Rate</i> Lahan Rendah	1.641.860	5,51	9.051.600
<i>Expansion Rate</i> Lahan Tinggi	2.607.930	5,95	15.541.900

Hasil pengujian model budi daya padi pada kondisi awal menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 1.983.270 Ha, produktivitas padi sebesar 5,68 Ton/Ha, dan produksi padi sebesar 11.264.500 Ton. Kemudian dilakukan skenario pengujian *extreme conditions*. Skenario pengujian pertama yakni *expansion rate* lahan rendah, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *expansion rate* yang ditetapkan sebesar 0,011-0,043 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0-0,011. Hasil pengujian dengan skenario pertama menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 1.641.860 Ha, Produktivitas padi sebesar 5,51 Ton/Ha, dan produksi padi sebesar 9.051.600 Ton. Grafik hasil pengujian *extreme conditions* dengan skenario pertama *expansion rate* lahan rendah seperti terlihat pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Grafik Hasil *Extreme Conditions Test* dengan Skenario Pengujian 1

Skenario pengujian *extreme conditions* yang kedua yakni *expansion rate* lahan tinggi, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *expansion rate* yang ditetapkan sebesar 0,011-0,043 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0,043-0,068. Hasil pengujian dengan skenario kedua menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 2.607.930 Ha, produktivitas padi sebesar 5,95 Ton/Ha, dan produksi padi sebesar 15.541.900 Ton. Grafik hasil pengujian *extreme conditions* dengan skenario kedua *expansion rate* lahan tinggi seperti terlihat pada Gambar 7.2.



Gambar 7.2 Grafik Hasil *Extreme Conditions Test* dengan Skenario Pengujian 2

Dari hasil validasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa luas area panen, produktivitas dan produksi padi mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi ekstrem yang artinya perilaku model sejalan dengan perilaku sistem yang sebenarnya. Hasil *output* dari kedua skenario

pengujian *extreme conditions* yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa perilaku model logis dengan sistem nyata sehingga model telah dikatakan valid secara perilaku.

### **7.2.3. Structure Verification Test**

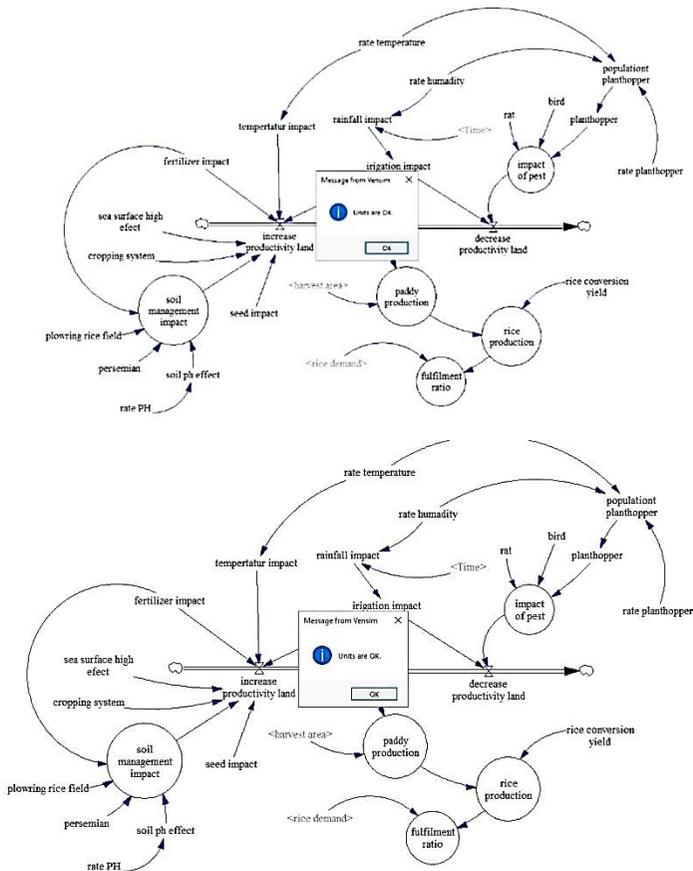
*Structure verification test* bertujuan untuk menetapkan apakah struktur model tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan apakah struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan. Untuk mendukung pengujian ini, telah ditetapkan beberapa *feedback loop* dari *causal loop diagram* pada Gambar 6.2 yang terdiri atas empat *balancing feedback loop* atau *B-Loop* (B1, B2, B3, dan B4) serta tiga *reinforcing feedback loop* atau *R-Loop* (R1, R2, dan R3), yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- B1-Loop: meningkatnya laju *land clearing* menyebabkan bertambahnya luas area panen padi
- B2-Loop: meningkatnya laju *land use change* menyebabkan berkurangnya luas area panen padi
- B3-Loop: meningkatnya populasi di Jawa Timur mempengaruhi berkurangnya luas area panen, sedangkan meningkatnya luas area panen menyebabkan meningkat pula jumlah produksi padi, produksi padi yang semakin meningkat akan menyebabkan rasio pemenuhan/*fulfillment ratio* juga akan meningkat, dan ketika *fulfillment ratio* semakin besar maka secara tidak langsung akan menyebabkan peningkatan populasi di Jawa Timur.
- B4-Loop: *fulfillment ratio* yang semakin besar menyebabkan peningkatan populasi di Jawa Timur, populasi yang semakin meningkat menyebabkan peningkatan pada permintaan padi untuk konsumsi, permintaan padi untuk konsumsi adalah salah satu elemen yang dapat meningkatkan jumlah permintaan padi, dan semakin besar permintaan padi maka akan memperkecil rasio pemenuhan/*fulfillment ratio*.
- R1-Loop: meningkatnya laju ekspansi lahan menyebabkan bertambah pula luas area panen padi.

- R2-Loop: meningkatnya laju kelahiran menyebabkan bertambah pula jumlah populasi di Jawa Timur.
- R3-Loop: meningkatnya luas area panen padi menyebabkan meningkat pula jumlah produktivitas padi, produktivitas padi yang semakin meningkat juga.

Hasil *structure verification test* memperlihatkan bahwa struktur model budi daya padi tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan, dengan beberapa *feedback loop* atau hubungan keterkaitan yang sesuai dengan sistem nyata yang telah diidentifikasi sebelumnya, model terdiri atas variabel-variabel yang saling berpengaruh dan signifikan dalam membentuk model sistem budi daya padi di Jawa Timur. Variabel ini terdiri atas level, *auxiliary*, dan *rate*. Variabel level dalam model sistem pertanian padi meliputi *total population*, *paddy productivity*, dan *total harvest land area*. Variabel *auxiliary* dalam model sistem budi daya padi meliputi *rice production*, *fulfillment ratio*, *total consumption*.

*Structure verification test* juga dilakukan dengan cara memeriksa eror pada hasil formulasi model yang telah dibuat pada Gambar 6.6 akan dicek sesuai dengan alur yang telah dijabarkan Gambar 5.1 dan Gambar 5.4. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan "*Model is OK*" dan "*Unit is OK*", dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan sudah benar. Tampilan model yang telah terverifikasi ditunjukkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3 Hasil *Check Model*

Ketika dilakukan simulasi dan dilakukan *check units*, hasil menyatakan bahwa model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “*Model is OK*” dan “*Unit is OK*” seperti pada Gambar 7.3 sehingga dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan sudah benar dan bebas dari eror.

### 7.3. Uji Validitas Perilaku Model (*Behavior Validity Test*)

*Behavior validity tests* digunakan untuk memeriksa apakah model memberikan perilaku keluaran yang dapat diterima. *Behavior validity tests* dapat dilakukan dengan membandingkan rata-rata atau *mean comparison* dan variasi amplitudo atau *% error variance* (Barlas, 1989). Untuk pengujian ini, dibutuhkan data historis selama jangka waktu dari tahun 2000 hingga 2020 dengan mempertimbangkan *range* waktu dan data yang tersedia serta perilaku sistem dengan data yang diambil.

#### 7.3.1. Behavior Reproduction Test

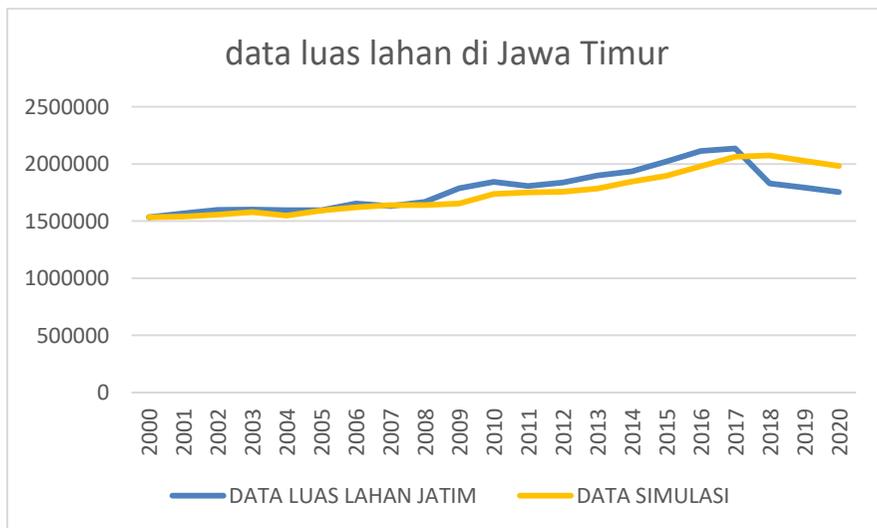
Hasil formulasi model berupa *stock and flow* diagram yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses validasi untuk menguji apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Validasi model tersebut dilakukan dengan dua cara menurut (Barlas, 1989) yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Model dikatakan valid apabila dalam uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E_1 \leq 5\%$  dan dalam uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*  $E_2 \leq 30\%$ . Submodel pertama yang divalidasi yakni submodel *harvest land area* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi.  $E_1$  merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan  $E_2$  merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *harvest land area*.

$$E_1 = \left| \frac{1752283 - 1771287}{1771287} \right| \\ = -0,0108 \times 100\% = 1\%$$

$$E_2 = \left| \frac{185936,1315 - 177995,3507}{177995,3507} \right| \\ = 0,042707034 \times 100\% = 4.2\%$$

Nilai rata-rata data luas area panen sebesar 1.771.287 dan standar deviasi untuk data luas area panen sebesar 177995,3507 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 1752283 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 185936,1315. Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel *harvest land* area adalah 1%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *harvest land area* adalah 4%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E1 \leq 5\%$  dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*  $E2 \leq 30\%$ , maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari luas area panen padi di Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 7.4.



Gambar 7.4 Grafik Validasi Submodel *Harvest Land Area*

Submodel selanjutnya yang divalidasi yakni submodel *paddy production* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau % *error variance*. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau % *error variance* pada submodel *paddy productivity*.

$$E_1 = \left| \frac{9986968,571 - 10322808}{10322808} \right|$$

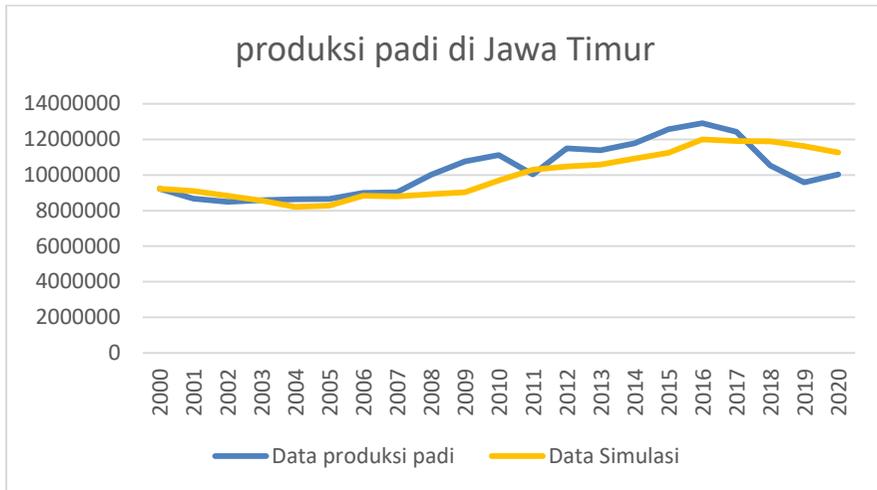
$$= -0,0242 \times 100\% = 2,4\%$$

$$E_2 = \left| \frac{1311911,73 - 1515993,784}{1515993,784} \right|$$

$$= -0,0911 \times 100\% = 9\%$$

Nilai rata-rata data produksi padi sebesar 10.322.808 dan standar deviasi untuk data produksi padi sebesar 1515993,784 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 9986968,571 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 1311911,73. Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel produksi padi adalah 2,4%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *paddy production* adalah 9%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E1 \leq 5\%$  dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau % *error variance*  $E2 \leq 30\%$ , maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari produksi padi di Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5 Grafik Validasi Submodel *Paddy Production*

Submodel selanjutnya yang divalidasi yakni submodel *land productivity* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *paddy productivity*.

$$E_1 = \left| \frac{5,69 - 5,76}{5,76} \right|$$

$$= -0,011828395 \times 100\% = 1,1\%$$

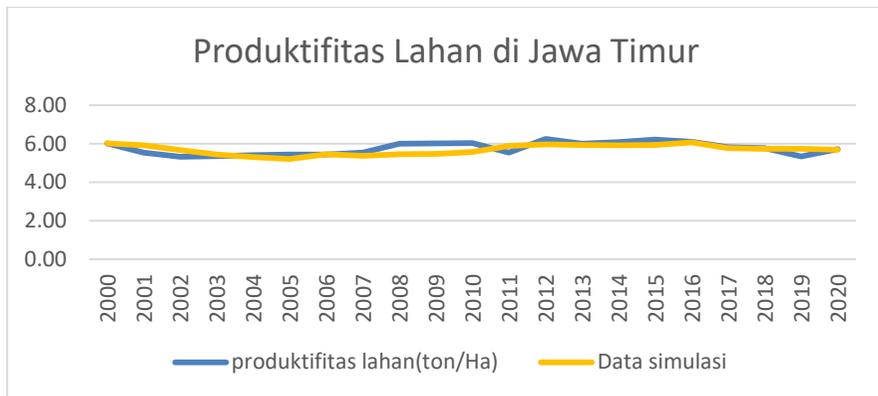
$$E_2 = \left| \frac{0,256880615 - 0,316439767}{0,316439767} \right|$$

$$= -0,188216397 \times 100\% = 18,8\%$$

Nilai rata-rata data produktivitas lahan padi sebesar 5,76 dan standar deviasi untuk data produksi padi sebesar 0,316439767 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 5,69 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 0,256880615. Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari

hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel produktivitas lahan padi adalah 1,1%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *paddy productivity* adalah 18.8%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E1 \leq 5\%$  dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*  $E2 \leq 30\%$ , maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari produktivitas lahan padi Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 Grafik Validasi Submodel Produktivitas Lahan

Submodel selanjutnya yang divalidasi yakni submodel *population* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *population*.

$$E_1 = \left| \frac{37368157,14 - 37258711,89}{37258711,89} \right|$$

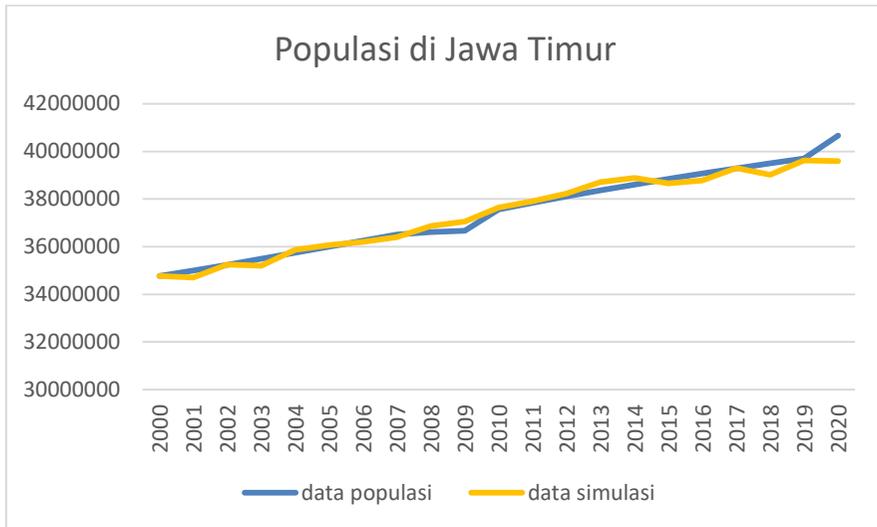
$$= 0,00294 \times 100\% = 0\%$$

$$E_2 = \left| \frac{1658035,767 - 1620892,895}{1620892,895} \right|$$

$$= 0,0229 \times 100\% = 2\%$$

Nilai rata-rata data populasi sebesar 37258711,89 dan standar deviasi untuk data populasi 1620892,895 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 37368157,14 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 1658035,767 Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel populasi adalah 0%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *population* adalah 2%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E1 \leq 5\%$  dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*  $E2 \leq 30\%$ , maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari populasi Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7 Grafik Validasi Submodel Populasi

Submodel selanjutnya yang divalidasi yakni submodel produksi beras dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *rice production*.

$$E_1 = \left| \frac{6391662,381 - 6606597}{6606597} \right|$$

$$= 0,0243 \times 100\% = 2.4\%$$

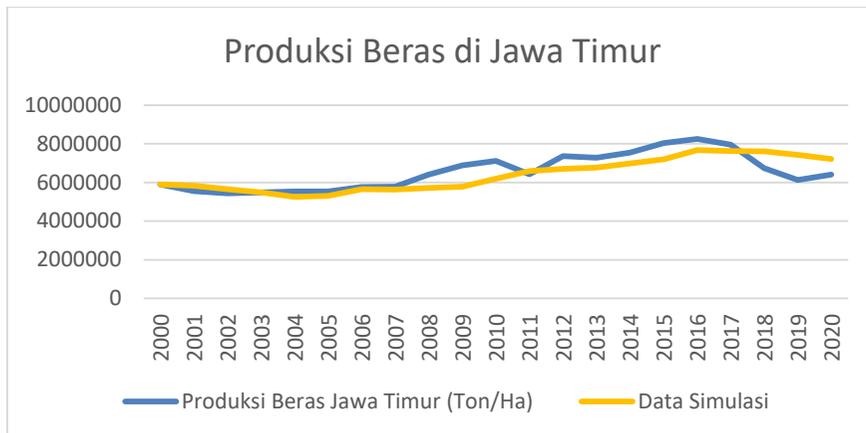
$$E_2 = \left| \frac{839628,9427 - 970236,0219}{970236,0219} \right|$$

$$= 0,091 \times 100\% = 9.1\%$$

Nilai rata-rata data produksi beras sebesar 6606597 dan standar deviasi untuk data produksi beras 970236,0219 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 6391662,381 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 839628,9427. Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari hasil

simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel populasi adalah 2.4%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *population* adalah 9.1%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison*  $E1 \leq 5\%$  dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*  $E2 \leq 30\%$ , maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari produksi beras Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 7.8.



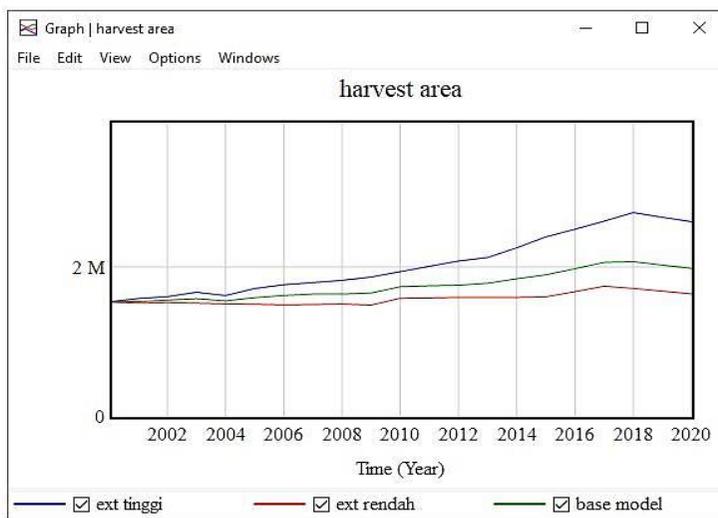
Gambar 7.8 Grafik Validasi Submodel Produksi beras Jawa Timur

### 7.3.2. Extreme Policy Test

*Extreme policy test* bertujuan untuk menetapkan apakah model berperilaku sesuai harapan di bawah kebijakan ekstrem, bahkan yang belum pernah diamati dalam sistem sebenarnya. Pada *extreme policy test* atau uji kondisi ekstrem dilakukan dengan menguji kebijakan dalam sebuah model. Jika dengan kondisi ekstrem model tetap memberikan

hasil yang sesuai dan logis maka model dikatakan valid. Sebaliknya jika hasil yang didapatkan tidak logis maka terdapat kesalahan dalam model.

Uji kondisi ekstrem yang kedua dilakukan terhadap submodel *harvest land area* dengan mengubah nilai pada *expansion rate* sesuai pengujian yang telah dilakukan pada *extreme conditions test*. Kondisi awal pada *expansion rate* yang ditetapkan sebesar 0,011-0,043 diubah pada kondisi ekstrem rendah menjadi 0-0,011 dan pada kondisi ekstrem tinggi menjadi 0,043-0,068. Hasil *extreme policy test* kedua didokumentasikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 7.9.



Gambar 7.9 Grafik Hasil *Extreme Policy Test*

Hasil simulasi kondisi ekstrem rendah dan ekstrem tinggi terhadap submodel *harvest land area* menunjukkan tren grafik yang sesuai kondisi yang diujikan, ketika ekstrem tinggi grafik cenderung naik dan ketika ekstrem rendah, grafik berada di bawah *base model*/model awal. Adapun hasil maksimum terjadi pada tahun terakhir yakni 2020 pada kondisi ekstrem tinggi dan rendah. Karena hasil *extreme policy test* menunjukkan bahwa model berperilaku sesuai harapan di bawah kebijakan ekstrem, maka model telah dapat dikatakan valid.

#### **7.4. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai validasi model pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan parameter *verification test*!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *extreme condition test*!
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *structure verification test*!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *behavioral validation*!
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *extreme policy test*!

## BAB VIII

# SKENARIO MODEL PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADI BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*



---

Pada bab ini akan dibahas tentang perumusan kebijakan (*policy formulation*), skenario penggunaan IoT, serta resume skenario peningkatan produktivitas padi berbasis *Internet of Things*.

### **8.1. Perumusan Kebijakan (*Policy Formulation*)**

Berdasarkan tujuan awal yakni mengembangkan skenario model sistem dinamik untuk meningkatkan produksi padi dalam adopsi teknologi pertanian dengan mempertimbangkan beberapa variabel pendukung untuk mengembangkan strategi dan kebijakan terkait sistem pertanian berkelanjutan, maka *base model* yang telah dibangun sebelumnya akan dibuat suatu skenario guna mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

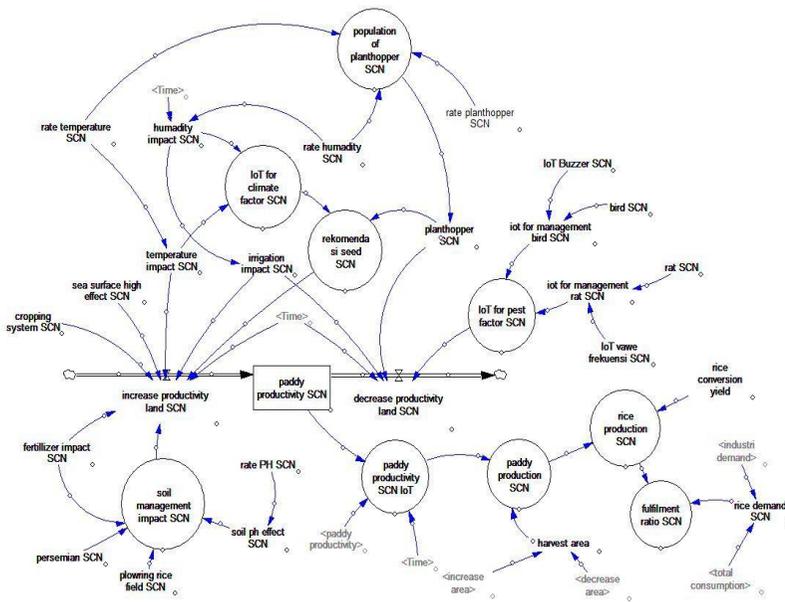
Pada tahap ini akan dilakukan simulasi kebijakan untuk mengetahui perilaku yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik. Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara penambahan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Sesuai dengan hasil identifikasi yang telah dilakukan sebelumnya mengenai “Identifikasi faktor budi daya padi” yang menyatakan bahwa faktor signifikan yang mempengaruhi budi daya padi yakni luas lahan panen dan input budi daya seperti penggunaan pupuk,

benih, dan penggunaan teknologi, maka cara terbaik untuk meningkatkan produktivitas dan produksi padi yaitu dengan memperbaiki faktor-faktor tersebut. Skenario penggunaan IoT: Pada saat pengadopsian teknologi IoT dalam pertanian ada beberapa hal yang mempengaruhi. Yaitu faktor Kompleksitas, kompatibilitas, manfaat yang dirasakan, dan biaya (Lin, Lee, & Lin, 2016). Dengan mengadopsi IoT petani dapat mendapatkan keuntungan pelacakan waktu nyata, kontrol yang efektif dan manajemen seluruh proses informasi (Lianguang, 2014). Dengan sistem IoT dan memiliki Informasi yang dapat dikelola pada area pertanian baik luar ruangan maupun dalam ruangan (Harun, Mohamed, Ahmad, Rahim, & Ani, 2019). Dengan pendeteksian hama padi berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berbasis *Internet of Things* (IoT) mampu memantau sawah secara berkala dengan menangkap gambar hama padi (Bhoi, *et al.*, 2020). Pemilihan skenario Model Hama IoT dapat menjadi solusi untuk pengurangan hama khususnya hama burung dan tikus. Penelitian yang dilakukan oleh (Hikmah & Khumaidi, 2020; Hidayat, Akhyar, & Mahdi, 2019) menggunakan pengusiran hama burung dengan pendeteksian sensor gerak berbasis IoT dengan hasil mampu mengurangi kerusakan sebesar 3-10% dampak kerusakan. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat, Akhyar, & Mahdi, 2019; Herdianto & Tarigan, 2020; Rosadi, Balafif, & Novianti, 2020) Pengusiran hama tikus menggunakan gelombang ultrasonik yang mampu menurunkan kerusakan yang diakibatkan oleh tikus. Karena keterbatasan jangkauan jarak gelombang maka hama tikus tidak dapat ditanggulangi secara sepenuhnya hanya mampu menurunkan sebesar 10%-15% kerusakan, dan untuk wereng dan pengusir hama tikus, bekerja pada malam hari karena sensor (*Light Dependent Resistor*).

## 8.2. Skenario Penggunaan Iot

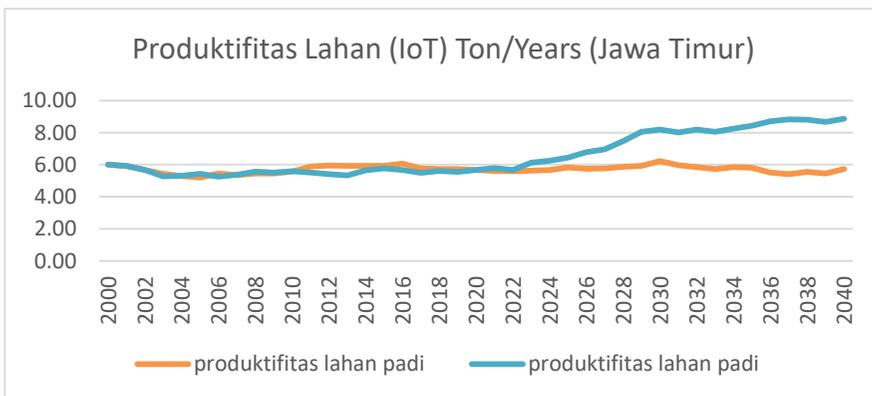
Atas dasar interaksi antara suhu tinggi dan relatif kelembaban, daerah budi daya padi di daerah tropis dan subtropis dapat diklasifikasikan menjadi daerah panas/kering atau panas/lembap. Dapat diasumsikan bahwa penanaman padi di daerah panas/kering di mana suhu dapat melebihi 40 C. Perubahan cuaca dan iklim diindikasikan menjadi salah satu penyebab gagal panen dan rendahnya produktivitas tanaman (R. Wassmann, *et al.*, 2009). Ada juga strategi *monitoring* faktor yang ditemukan adalah hubungan antar faktor kelembaban, suhu, kelembaban tanah akan membantu petani untuk menganalisis pertumbuhan tanaman (Bagwar, 2019). Adaptasi perubahan iklim juga sangat penting untuk ketahanan pangan negara-negara berkembang, jika direncanakan dengan baik merupakan bagian dari intervensi kebijakan yang luas untuk petani kecil (Di Falco, Veronesi, & Yesuf, 2011; Tubiello & F. N. *et al.*, 2015).

Permasalahan lain yang dijumpai dalam produksi beras menurut (Khanal, Wilson, Hoang, & Lee, 2018) sangatlah sulit untuk melindungi beras selama dan sesudahnya produksi karena beberapa sebab, seperti bencana alam, hujan deras, banjir, gempa bumi, kerusakan padi karena hama, dll. Kerusakan padi dapat terjadi pada saat produksi dan setelah produksi karena beberapa hal hama (Bhoi, *et al.*, 2020). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengidentifikasi hama pada padi sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan dan perlindungan. Dalam upaya peningkatan produksi dan produktivitas padi dalam penanggulangan hama dengan menggunakan teknologi IoT berupa teknologi *buzzer* untuk hama burung dan teknologi gelombang ultrasonik untuk hama tikus (Hidayat, Akhyar, & Mahdi, 2019; Herdianto & Tarigan, 2020; Rosadi, Balafif, & Novianti, 2020) maka dilakukan perubahan parameter pada model menggunakan skenario hama IoT tidak lupa untuk memasukkan variabel terkait. Berikut merupakan model skenario hama IoT seperti terlihat pada Gambar 8.1.



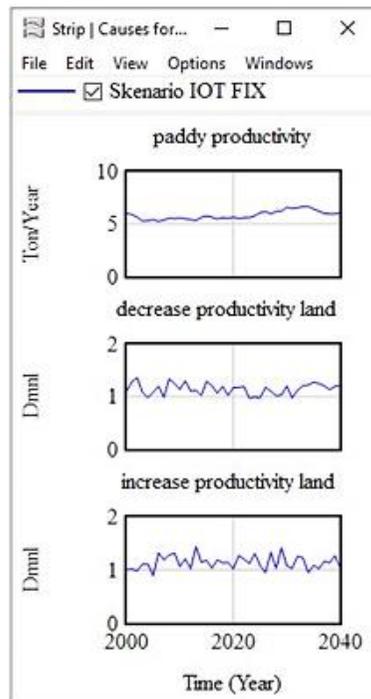
Gambar 8.1 Skenario Hama IoT

Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik produktivitas padi Jawa Timur antara hasil skenario hama IoT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 8.2.



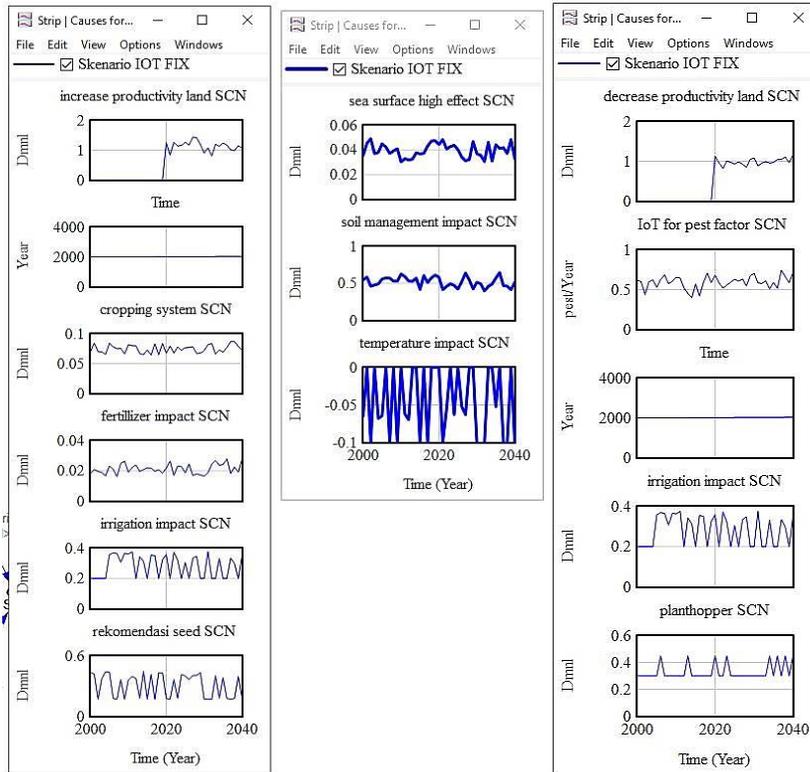
Gambar 8.2 Grafik Perbandingan Hasil Produktivitas Padi (Skenario Hama IoT)

Dari hasil perbandingan skenario hama IoT dengan *base model* produktivitas juga dipengaruhi dari variabel peningkatan dan variabel pengurangan produktivitas yang berkaitan, berikut merupakan grafik kenaikan dan penurunan antara variabel yang mempengaruhi produktivitas lahan di Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 8.3.



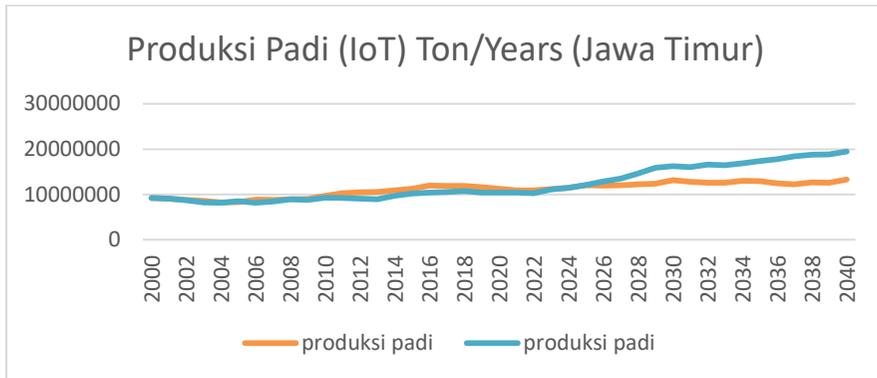
Gambar 8.3 Grafik Perbandingan Kenaikan dan Penurunan produktivitas lahan (Skenario hama IoT) di Jawa Timur

Dari hasil skenario hama IoT dengan *base model* kenaikan dan penurunan produktivitas di Jawa Timur juga dipengaruhi dari nilai variabel yang memiliki peranan dalam hal peningkatan maupun penurunan produktivitas, berikut merupakan grafik kenaikan dan penurunan antara variabel yang mempengaruhi produktivitas lahan di Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 8.4.



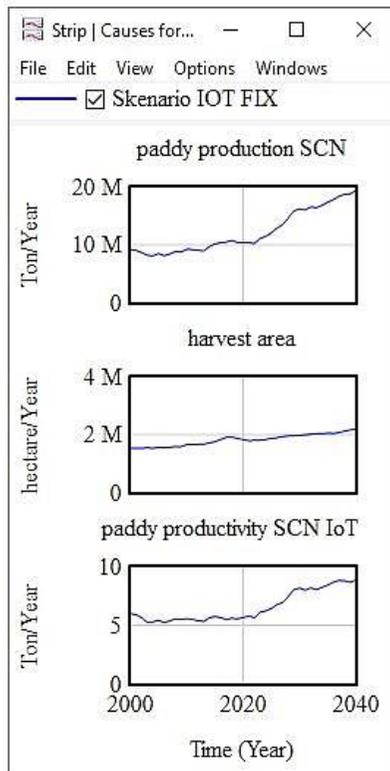
Gambar 8.4 Grafik Pengaruh Nilai Variabel Kenaikan dan Penurunan Produktivitas Lahan (Skenario Hama IoT) di Jawa Timur

Dengan adanya perubahan produktivitas padi dengan menggunakan skenario Hama IoT maka hal ini otomatis mempengaruhi jumlah produksi padi setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik produksi padi antara hasil skenario hama IoT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 8.5.



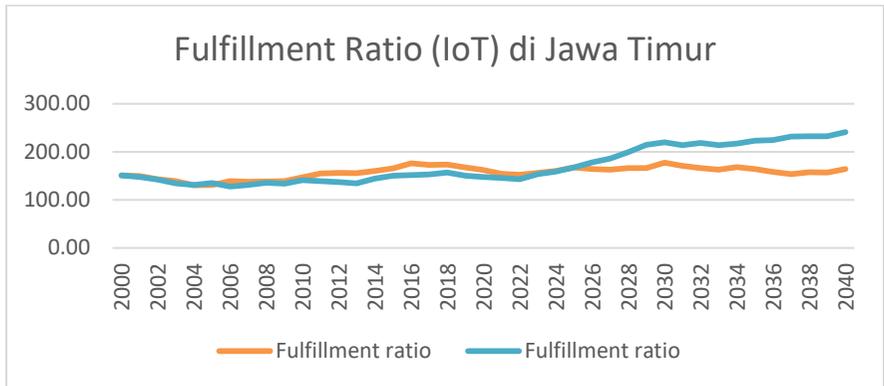
Gambar 8.5 Grafik Perbandingan Hasil Produksi Padi (Skenario Hama IoT)

Dari hasil perbandingan skenario hama IoT dengan *base model* produksi padi di Jawa Timur juga dipengaruhi dari variabel produktivitas lahan dan variabel luas lahan penanaman yang berkaitan, berikut merupakan grafik kenaikan dan penurunan antara variabel yang mempengaruhi produktivitas lahan di Jawa Timur dapat dilihat pada Gambar 8.6.



Gambar 8.6 Grafik Perbandingan Kenaikan dan Penurunan Produksi Padi (Skenario Hama IoT)

Dengan adanya perubahan pada hasil produksi padi di Jawa Timur dengan menggunakan skenario Hama IoT maka hal ini otomatis mempengaruhi besarnya *fulfillment ratio* atau rasio pemenuhan atas permintaan beras setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik *fulfillment ratio* antara hasil skenario hama IoT dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 8.7.



Gambar 8.7 Perbandingan Grafik *Fulfillment Ratio* antara Hasil Skenario Hama lot dengan *Base Model*

### 8.3. Resume Skenario Peningkatan Produktivitas Padi Berbasis *Internet of Things*

Berikut disampaikan resume dari skenario peningkatan produktivitas berbasis IoT, hasil resume seperti Peningkatan produksi dan produktivitas padi dengan menggunakan teknologi *Internet of Thing* dalam mengurangi serangan hama (burung dan tikus). Skenario ini dilakukan dengan menambah teknologi IoT *Buzzer* untuk hama burung dan teknologi IoT Gelombang ultrasonik untuk Hama Tikus dengan hasil yang dicapai produktivitas padi meningkat dari rata-rata 5,56 Ton/Ha Menjadi 7,63 Ton/Ha, dan produksi padi yang awalnya 9303510,429 Ton/Ha menjadi 15261926,35 Ton/Ha. Maka peningkatan yang terjadi adalah produktivitas di Jawa Timur meningkat 2% per tahun, sedangkan produksi padi di Jawa Timur meningkat sebesar 3,2% per tahun.

#### **8.4. Evaluasi**

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman mengenai skenario model peningkatan produktivitas padi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan skenario model!
2. Jelaskan bagaimana tahapan dalam mengembangkan skenario model!
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan skenario parameter!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan skenario struktur!
5. Jelaskan manfaat skenario model!

## REFERENSI

- A. M. Stuart, K. P. (2018). On-farm assessment of different rice crop management practices in the Mekong Delta, Vietnam, using On-farm assessment of different rice crop management practices in the Mekong Delta, Vietnam, using. *Field Crops Research*.
- Andreas, O. L., & Gusmareta, Y. (2019). Pengembangan Media Pembelajaran Mata Kuliah Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi Berbasis Video Tutorial. *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 1689–1699.
- Andri, K. B., & Pangarsa, N. (2016). Analyzing Determinant Components on East Java Rice Surplus Contribution Using Dynamical System Approach. *International Journal of Agriculture System (IJAS)*.
- Anggraini, F., A.Suryanto, & Aini. (2013). Sistem Tanam dan Umur Bibit pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Varietas Inpari 13. *Jurnal Produksi Tanaman*, 52-60.
- Aprillya, M. R., Suryani, E., & Dzulkarnain, A. (2019). *The Fifth Information Systems International Conference* (pp. 920-926). Surabaya: Elsevier B.V.
- Aprillya, M. R., Suryani, E., & Dzulkarnain, A. (2019). *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 67 - 75.
- Aprillya, M. R., Suryani, E., & Dzulkarnain, A. (2019). The Analysis Of Quality Of Paddy Harvest Yield To Support Food Security: A System Thinking Approach (Case Study: East Java). *Procedia Computer Science*, 919-926.
- Aqeel-Ur, R., & A, S. Z. (2009). Smart Agriculture. *Pakistan : Bentham Science Publishers Ltd*.

- Arsal, T., Yunus, M., Handoyo, E., & Ahmad, S. (2020). Rice Survival Strategy Farmers in Planting Paddy of Rice in Dry Season. *International Journal of Indonesian Society and Culture*, 163-170.
- Arshad, & Mohamed, F. (2015). Modelling Boom and Bust of Cocoa Production Systems in Malaysia. *Ecological Modelling*, 22–32.
- Astriningrum, M. (2005). *Manajemen Persampahan*. Magelang: Majalah Ilmiah Dinamika.
- Azadi, H., & Ho, P. (2010). Genetically modified and organic crops in developing countries: A review of options for food security. *Biotechnology Advances*, 160–168.
- Badan Pusat Statistik. (2013, 10 7). Retrieved from Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035: <https://www.bps.go.id/publication/2013/10/07/053d25bed2e4d62aab3346ec/p>
- Badan Pusat Statistik. (2019). Retrieved from Badan Pusat Statistik Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035.
- Baehaki, S. (2012). Perembangan Bioipe Hama Wereng Coklat pada Tanaman Padi. *IPTEK Tanaman Pangan*.
- Bagwar, S. (2019). Impact Of *Internet of Things* Based Monitoring And Prediction System Inprecision Agriculture. *Think India Journal*.
- Banayo, P., N., Haefele, S. M., Desamero, N. V., & Kato., Y. (2018). On-Farm Assessment Of Site-Specific Nutrient Management For Rainfed Lowland Rice In The Philippines. *Field Crops Research*, 88–96.
- Banks, J., & Carson, J. S. (1990). *Discrete-event system simulation*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Barlas, Y. (1989). Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research*.
- Berkhout, Erza, Glover, D., & Kuyvenhoven., A. (2015). On-Farm Impact Of The System Of Rice Intensification (Sri): Evidence And Knowledge Gaps Ezra. *Agricultural Systems Journal*, 157-166.
- Bhatt, a., Hossain, A., & Singh, P. (2019). Scientific Interventions to Improve Land and Water Productivity for Climate-Smart Agriculture in South Asia. *Spinger*, 499-558, *Agronomic Crops*.

- Bhoi, S. K., Jena, K. K., Panda, S. K., Long, H. V., Kumar, R., Subbulakshmi, P., & Jebreen, H. B. (2020). An *Internet of Things* Assisted Unmanned Aerial Vehicle Based Artificial Intelligence Model For Rice Pest Detection. *Microprocessors and Microsystems*.
- Boansi, D., Tambo, J., & M.Müller. (2017). Analysis Of Farmers' Adaptation To Weather Extremes In West African Sudan Savanna. *Weather And Climate Extremes*, 16, 1-13.
- Caro, M. P., Ali, M. S., Vecchio, M., & Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based Traceability in Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation. *IEEE*.
- Chase, R. B., & N, J. A. (1991). *Production and operations management; a life cycle approach 6th edition*. Boston: Irwin.
- Christian, L., Juwitasary, H., Putra, E. P., Fifilia, & Chandra, Y. U. (2018).
- Christian, L., Juwitasary, H., Putra, E. P., Fifilia, & Chandra, Y. U. (2018). *International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)* (pp. 560-563). Jakarta: IEEE.
- Di Falco, S., Veronesi, M., & Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *Am. J. Agric. Econ*, 829–846.
- Duttaa, P., Choi, T.-M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E*.
- Dwivedi, S. K., Amin, R., & Vollala, S. (2020). Blockchain based secured information sharing protocol in supply chain management system with key distribution mechanism. *Journal of Information Security and Applications*, 1-15.
- Emshoff, & Simon, A. (1970). Rancangan Ulang dan Simulasi. *Jurnal social work*.
- FAO. (2013). *Climate-Smart Agriculture*. Retrieved from Food and agriculture organization.
- Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT Press.
- Gervantes-Godoy, D., K. S., & Anton, J. (2013). *Smallholder risk management in developing countries*. OECD Publishing.

- Haraldsson, H. V. (2004). *Introduction to System Thinking and Causal Loop Diagrams*. Lund: Department of Chemical Engineering.
- Harun, A. N., Mohamed, N., Ahmad, R., Rahim, A. R., & Ani, N. N. (2019). Improved *Internet of Things* (IoT) monitoring system for growth optimization of *Brassica chinensis*. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Hasanah, M. (2002). Peran Mutu Fisiologik Benih dan Pengembangan Industri Benih Tanaman Industri. *Litbang Pertanian*.
- Herdianto, & Tarigan, A. P. (2020). Perancangan Pembangkit Gelombang Ultrasonic Variabel Menggunakan Mikrokontroler Atmega 16. *Snastikom*.
- heriksen, a. v., T.C.E, G., Pesonen, L. A., Green, O., & Soresen, C. A. (2020). *Internet of Things* in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. *Biosystems Engineering*, 191, 60 - 84.
- Hernanto, F. (1996). *Ilmu Usahatani*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Herrel, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R. (2004). *Simulation using promode*. United States of America: McGraw-Hill Companies.
- Hidayat, H. T., Akhyar, & Mahdi. (2019). Rancang Bangun Prototipe Pengusir Hama Tikus dan Burung Berbasis *Internet of Things*. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*.
- Hidayat, S., Suryani, E., & Hendrawan, R. A. (2016). Sistem Dinamik Spasial Untuk Meningkatkan Efektifitas Dan Efisiensi Logistik Pada Rantai Pasok Pangan. *Surabaya : Integer Jurnal*.
- Hikmah, N., & Khumaidi, A. (2020). Rancang Bangun Prototipe Pengusir Hama Burung Menggunakan Sensor Gerak Rowl Microwave Berbasis *Internet of Things*. *Simetris*.
- Hoang, K., H., & Meyers., W. H. (2015). Price Stabilization and Impacts of Trade Liberalization in The Southeast Asian Rice Market. *Food Policy*, 26-39.
- Irawan, D., Sujaya, D. H., & Yusuf., M. N. (2017). Tingkat partisipasi petani dalam kelompok tani padi sawah terhadap program sekolah

- lapang pengelolaan tanaman terpadu. *J. Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh*, 324-329.
- iwan, N., & Nuhfil, H. (2007). Investasi Sektor Pertanian di Propinsi Jawa Timur. *ResearchGate*.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2019). Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. *International Journal of Information Management*.
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 640-652.
- Kementerian Pertanian. (2013). Retrieved from Statistik ketahanan pangan.
- Khairuman, Satria, E., Anugreni, F., Asmaidi, Rusnanda, R., Barus, E. S.,... Arifa., M. (2021). Irrigation Control System Design For Paddy Field By Means Of *Internet of Things*. *Icates 2020 Iop Conf. Series: Earth And Environmental Science*.
- Khanal, U., Wilson, C., Hoang, V.-N., & Lee, B. (2018). Farmers' Adaptation To Climate Change, Its Determinants And Impacts On Rice Yield In Nepal. *Ecological Economics*, 139 -147.
- Khosnevis, B. (1994). *Descrate system simulation*. New York: McGraww Hill.
- Kohler, S., & Pizzol, M. (2020). Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain. *Journal of Cleaner Production*.
- Krishna, K., Silver, O., Malende, W. F., & Malende, W. F. (2017). *Internet of Things* Application For Implementation Of Smart Agriculture System.
- KumarBhoi, S., Jena, K. K., KumarPanda, S., VietLong, H., Kumare, R., P.Subbulaksmi, & BinJebreeng, H. (2021). An *Internet of Things* assisted Unmanned Aerial Vehicle based artificial intelligence model for rice pest detection. *Microprocessors and Microsystems*.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modelling and analysis*. McGraw-Hili: s.n.

- ICarke, B. O. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environ*, 226-247.
- Lianguang, M. (2014). Study on Supply-Chain of Agricultural Products Based on IOT. *IEEE*, 627 - 631.
- Lönngren, J., & Svanström, M. (2016). Systems Thinking for Dealing with Wicked Sustainability Problems: Beyond Functionalist Approaches. *Springer International Publishing Switzerland*.
- M.Stuart, A., P.Devkota, K., Sato, T., P.Pame, A. R., Balingbing, C., Phung, N. T.,... R.Singleton, G. (2018). On-Farm Assessment Of Different Rice Crop Management Practices In The Mekong Delta, Vietnam, Using Sustainability Performance Indicators. *Field Crops Research*, 103–114.
- Mar, S., Nomura, H., Takahashi, Y., Ogata, K., & Yabe, M. (2018). Impact Of Erratic Rainfall From Climate Change On Pulse Production Efficiency In Lower Myanmar. *Sustainability*, 10.
- Mohamed, Z., Terano, R., Sharifuddin, J., & Rezai, G. (2016). Determinants Of Paddy Farmer's Unsustainability Farm Practices. *Agriculture And Agricultural Science Procedia*.
- Mokhtor, S. A., Pebrian, D. E., & Johari, N. A. (2020). Actual Field Speed Of Rice Combine Harvester And Its Influence On Grain Loss In Malaysian Paddy Field. *Journal Of The Saudi Society Of Agricultural Sciences*, 19(6), 422-425.
- Morshed, M. M., Islam, M. S., Lohano, H. D., & Shyamsundar, P. (2020). Production Externalities Of Shrimp Aquaculture On Paddy Farming In Coastal Bangladesh. *Agricultural Water Management*.
- Mudjahidin. (2019). *Testing Methods on System Dynamics: A Model of Reliability, Average Reliability, and Demand of Service*. Surabaya: Procedia Computer Science.
- Muhandhis, I., & Suryani, E. (2015). Pengembangan Model Rantai Pasok Produksi Beras Untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan Dengan Menggunakan Sistem Dinamik. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII*.

- Niang, A. E. (2017). Variability And Determinants Of Yields In Rice Production Systems Of West Africa. *Field Crops Research*, 1-12.
- Noorsaman, S. A., & Wahid, A. (1998). Pemodelan industri minyak bumi dan gas alam Indonesia dengan pendekatan sistem dinamik. *Jurnal Teknologi*, 27-29.
- Olayide, Emmanuel, O., Tetteh, I. K., & Popoola, L. (2016). Differential Impacts Of Rainfall And Irrigation On Agricultural Production In Nigeria: Any Lessons For Climate-Smart Agriculture?. *Agricultural Water Management*, Agricultural Water Management.
- Oort, P. (2015). Assessment Of Rice Self-Sufficiency In 2025 In Eight African Countries. *Global Food Security*, 39–49.
- Pillai, R., & Sivathanu, B. (2020). Adoption of *Internet of Things* (IoT) in the agriculture industry deploying the BRT framework. *Benchmarking: An International*, 27, 1341-1368.
- R.Wassmann, S.V.K.Jagadish, S.Heuer, A.Ismail, E.Redona, R.Serraj,... K.Sumfleth. (2009). Climate Change Affecting Rice Production: The Physiological and Agronomic Basis for Possible Adaptation Strategies. *Advances in Agronomy*, 59-122.
- Rahim, A., & Hastuti, D. R. (2008). *Pengantar, teori dan kasus ekonomika*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Rahmatika, W. (2010). Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa*.L) Akibat Pengaruh Persentase N (*Azolla* dan urea). *Makalah Seminar Departemen Agronomi dan Hortikultura IPB*, 84 – 88.
- Rai, P. K. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms and management. *Environment International*, 365 - 385.
- Ram, S. A., & Irfan, Z. B. (2021). Application of System Thinking Causal Loop Modelling in understanding water Crisis in India: A case for sustainable Integrated Water resources management across sectors. *HydroResearch*, 1 - 10.
- Reardon, Barrett., J. B., & Swinnen, J. (2009). Agrifood industry transformation and small farmers in developing countries. *World Dev*, 1717-1727.

- Reynolds, T., Waddington, S., Anderson, C., Chew, A., True, Z., & Culle, A. (2015). Environmental Impacts And Constraints Associated With The Production Of Major Food Crops In Sub-Saharan Africa And South Asia. *Food Security*, 795–822.
- Richardson, G. P., & A, L. P. (1986). *Introduction to system dynamics modelling with dynamo*. Cambridge, Massachusete, and London, England: The MIT Press.
- Rijswijk, K., Klerkx, L., & Turner, J. A. (2019). Digitalisation in the New Zealand Agricultural Knowledge and Innovation System: Initial understandings and emerging organisational responses to digital agriculture. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 1-14.
- Rock, B. e. (2017). Organic food and health: a systematic review. *Journal of Community Medicine & Health Education*, 1 - 7.
- Roem, R. (2016). Analisis penurunan produksi tanaman padi akibat perubahan iklim di Kabupaten Bandung Jawa Barat. *Jurnal Kultivasi*, 1-9.
- Rosadi, A., Balafif, S., & Novianti, T. (2020). System Control Pest Rice Plant Based On Microcontroller Arduino Uno. *International Conference On Environment And Technolog Iop Conf. Series: Earth And Environmental Science*. Surabaya.
- Routroy, S., & Behera, A. (2016). Agriculture Supply Chain: A Systematic Review of Literature and Implications for Future Research. *Emeraldinsight*.
- Ruan, J., Wang, Y., Chan, F. T., Hu, X., Zhao, M., Zhu, F.,... Lin, F. (2019). A Life Cycle Framework of Green IoT-Based Agriculture and Its Finance, Operation, and Management Issues. *IEEE*, 90 - 96.
- Saetta, S., & Caldarelli, V. (2019). How to increase the sustainability of the agri-food supply chain through innovations in 4.0 perspective: a first case study analysis. *International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, 333–336.
- Saumel, I. e. (2012). How healthy is urban horticulture in high traffic areas? trace How healthy is urban horticulture in high traffic areas? trace neighbourhoods in Berlin. *Environ Pollu*, 124 - 132.

- Schmidt, J. W., & Taylor, R. E. (1970). *Simulation and Analysis of Industrial System*. Homewood: Richard D. Irwin.
- Shanon, R. E. (1975). *System simulation: the art and science*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Siagian, P. (1987). *Penelitian operasional: teknik dan praktek*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Siringo, & H, B. (2015). Analisis keterkaitan produktivitas pertanian dan impor beras di Indonesia. 5 - 23.
- Situmorang. (2008). *Analisis Data Penelitian*. Medan: USU press.
- Soekartawi. (1996.). *Pembangunan pertanian*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Soullier, G., & Moustier, P. (2018). Impacts of contract farming in domestic grain chains on farmer income and food insecurity. *Food Policy*, 1-20.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill/Irwin: Jeffrey J. Shelstad.
- Sujaya, D. H., Hardiyanto, T., & Isyanto, A. Y. (2018). FACTORS THAT Influence On The Productivity Of Rice-Fish. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 25-39.
- Sukirno, S. (2006). *Ekonomi pembangunan*. Jakarta: Kencana.
- Supartha, I. N., Wijaya, G., & Adnyana, G. M. (2012). Aplikasi Jenis Pupuk Organik pada Tanaman Padi Sistem Pertanian Organik. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*.
- Surmaini, E., Runtunuwu, E., & Las, I. (2011). Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Jurnal Litbang Pertanian*, 1, 1-7.
- Suryani, E. (2005). *Pemodelan dan Simulasi*. Graha Ilmu.
- Suryani, E., Chou, S.-Y., & Chen, C.-H. (2010). Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion A system dynamics framework. *Expert Systems with Applications*.
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Muhandhis, I., & Indraswari, R. (2020). A simulation model to improve the value of rice supply chain (A case study in East Java – Indonesia). *Journal of Simulation*.

- Sutanto, R. (2006). *Penerapan Pertanian Organik (Pemasyarakatan dan Pengembangannya)*. Yogyakarta: Kanisius.
- Tang, Y.-L. (2009). System dynamic simulation of three crops per year in paddy field. *World Journal of Modelling and Simulation*, 144-150.
- Tao, Q., Wang, Z., Gu, C., Zhan, Y., Xu, J., & Tang, Z. (2017). Intelligent Optimal Lifecycle Planning in Agricultural Products Supply Chains Using Cloud Computing and RFID Data. *IEEE*, 66- 71.
- Tasrif, M. (2004). *Model simulasi untuk analisis kebijakan: pendekatan metodologi system dynamics*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tati, & Nurmala. (2012). *Pengantar Ilmu Pertanian*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tjetjep, N., & Adreng, P. (2011). *Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian*,.
- Tjetjep, N., & Adreng, P. (2012). Analisis Profitabilitas Usaha Tani Pada Analisis Profitabilitas Usaha Tani Pada. *Petani dan Pembangunan Pertanian* (pp. 405-424). Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian.
- Torky, M., & Hassanein, A. E. (2020). Integrating blockchain and the *Internet of Things* in precision agriculture: *of things in precision agriculture*.
- Tubiello, & F. N. *et al.* (2015). The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming. *Global Change Biol*, 2655-2660.
- Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). *Internet of Things* in agriculture, recent advances and future challenges. *biosystem engineering*, 31-48.
- Ustriyana, I. N. (2015). Dynamic modeling of rice stock in Bali Province, Indonesia. *European Journal of Business and Management*.
- Verdouw, C., Wolfert, J., Beulens, A., & Rialland, A. (2016). Virtualization of food supply chains with the *Internet of Things*. *Journal of Food Engineering*.

- Wang, Z., Deng, X., & Chen, J. (2015). Impacts of sparing use of water on farmer income of China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 18 - 24.
- Yadav, S., & Garg, D. (2020). Development of IoT based data-driven agriculture supply chain performance measurement framework. *Journal of Enterprise Information Management*.
- Yahyan, W., & Siregar, M. I. (2019). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Bibit Benih Padi Unggul Berbasis Webmengggunakan Metode Ahp. *Menara Ilmu*.
- Yasar, M., Siwar, C., & Firdaus, R. B. (2015). Assessing Paddy Farming Sustainability In The Northern Terengganu Integrated Agricultural Development Area (Iada Ketara): A Structural Equation Modelling Approach. *Pacific Science Review B: Humanities And Social Sciences*, 1(2), 71-75.
- Zhou, J., Hu, Y., Wang, C., & Lin, W. (2010). Studies On Construction Of Rice Pests Multifactor Spatial Overlay Model. *IEEE*.
- Zhou, Z., & Zhou, Z. (2012). Application of *Internet of Things* in agriculture products supply chain management. *Computer Society*, 259 - 261.
- Zhou, Z., Liu, Y., Yu, H., & Chen, Q. (2021). Logistics supply chain information collaboration based on FPGA and *Internet of Things* system. *Microprocessors and Microsystems*.

## PROFIL PENULIS



**Prof. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.** telah menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 1994; S-2 Teknik Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2001; S-3 Industrial Management di National Taiwan University of Science and Technology (NTUST) pada tahun 2010 dengan topik disertasi “Sistem Dinamik dan Aplikasinya di Berbagai Bidang”. Saat ini penulis sebagai dosen di Departemen Sistem Informasi–ITS, dan *reviewer* di beberapa jurnal internasional Q1 dan Q2, serta aktif sebagai *reviewer* riset nasional. Penulis juga menjadi *guest editor* pada *Jurnal Science Publication* untuk bidang *Analytics Modelling, Simulation, and Applications*. Bidang riset penulis saat ini meliputi: *Model-Driven Decision Support Systems; System Dynamics, Modelling and Simulation; Urban Planning; Intelligent Transportation Systems; Pengembangan Software; Internet of Things (IoT) Implementation to Support Smart City; Sustainable Development*.



**Rully Agus Hendrawan, S.Kom., M.Eng.** telah menyelesaikan pendidikan S-1 Teknik Informatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2004; S-2, *Advanced Information Science and Engineering*, Ritsumeikan University, Japan pada tahun 2009. Saat ini penulis sebagai dosen di Departemen Sistem Informasi–ITS, serta Kepala Laboratorium Sistem Enterprise, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas (FT-EIC). Topik tesis pada saat S-2 adalah tentang “*Finding Logical Coupling using Association Mining on Software Repository*”. Bidang riset penulis saat ini meliputi: *Information Engineering, User Experience, Human Computer Interaction, Database Design*, serta Pemodelan dan Simulasi.



**Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.** Telah menyelesaikan pendidikan S-1 Sistem Informasi di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur pada tahun 2019 dengan bidang penelitian *Software Development*; S-2 Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2021 dengan topik tesis “Sistem Dinamik pada Sektor Pertanian”. Saat ini penulis sebagai dosen di Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember. Penulis memiliki pengalaman sebagai Staf *Enterprise Resource Planning (ERP) Functional Consultant* di PT. Andromedia Indonesia pada tahun 2019 dan sebagai *Project Control Manager* di PT. Piramida Teknologi Informasi pada tahun 2021. Bidang riset penulis saat ini meliputi Sistem Enterprise, *Software Development*, Sistem Dinamik, serta Pemodelan dan Simulasi.



**Muhammad Galang Satrio Wicaksono, S.Kom., M.Kom.** telah menyelesaikan pendidikan S-1 Sistem Informasi di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur pada tahun 2019 dengan bidang penelitian *Software Development*; S-2 Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2022 dengan topik tesis “Sistem Dinamik pada Sektor Pertanian”.

Saat ini penulis sebagai Staf IT Ahli Database di Balai Besar Wilayah Sungai Berantas–PUPR. Penulis memiliki pengalaman sebagai Staf Web Development di BPJS Kesehatan pada tahun 2016. Bidang riset penulis saat ini meliputi Sistem Enterprise, *Software Development*, Sistem Dinamik, serta Pemodelan dan Simulasi.

Padi adalah salah satu tanaman pangan terpenting di dunia yang menjadi makanan pokok, khususnya di negara Indonesia. Di Jawa Timur sendiri permintaan beras semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk, sementara tingkat produktivitas yang rendah menyebabkan kurangnya ketersediaan pangan. Sedangkan permasalahan yang ada saat ini adalah para petani mengeluhkan beberapa hal yang membuat produktivitas tanaman padi menurun drastis dikarenakan tingginya faktor gagal panen.

Pemecahan permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan simulasi model sistem dinamik. Sistem dapat diartikan sebagai sekumpulan entitas yang saling berinteraksi satu sama lain. Model merupakan sebuah representasi dari sistem nyata. Simulasi merupakan proses pembuatan sebuah model berdasarkan sistem nyata. Sedangkan sistem dinamik dapat digunakan untuk memodelkan perilaku non-linier serta interaksi dinamis (umpan-balik) antarfaktor yang saling berhubungan. Simulasi sistem dinamik terdiri dari lima tahapan, yakni *problem articulation, dynamics hypothesis, formulating a simulation model, testing, serta policy design and evaluation*.

Vensim menyediakan cara yang mudah dan sederhana untuk dapat membangun model simulasi, baik itu *causal loop diagram* (CLD) atau *stock and flow diagram* (SFD). Setelah pembuatan model serta melakukan validasi model dan model dinyatakan valid, selanjutnya dilakukan pengembangan skenario IoT. simulasi pada model yang telah dibuat, bahwa besarnya produktivitas dan produksi padi dipengaruhi oleh luas area panen, dan input budi daya seperti penggunaan pupuk, benih, dan penggunaan teknologi dengan hasil peningkatan pada skenario hama IoT yang dilakukan dengan menambahkan model teknologi penanggulangan hama dan, hasilnya dapat meningkatkan produktivitas sebesar 2% per tahun dan meningkatkan produksi sebesar 3,2% per tahun lalu.

**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

📘 Penerbit Deepublish

📧 [@penerbitbuku\\_deepublish](https://www.penerbitdeepublish.com)

🌐 [www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)



Kategori : Teknologi Pertanian

ISBN 978-623-8446-43-8 (PDF)



9

786238

446438