



TESIS - IS185401

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI SISTEM
DINAMIK UNTUK EVALUASI KESESUAIAN LAHAN
DALAM RANGKA MENINGKATKAN
PRODUKTIVITAS PANEN PERTANIAN
(STUDI KASUS: PROVINSI JAWA TIMUR)**

**SEFTIN FITRI ANA WATI
05211750012024**

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

**PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



THESIS - IS185401

**DEVELOPMENT OF SYSTEM DYNAMIC
SIMULATION MODELS FOR EVALUATING LAND
SUITABILITY TO INCREASE AGRICULTURE CROP
PRODUCTIVITY**

(CASE STUDY: EAST JAVA PROVINCE)

**SEFTIN FITRI ANA WATI
05211750012024**

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

**POSTGRADUATE PROGRAM
DEPARTEMENT OF INFORMATION SYSTEMS
FACULTY OF INTELLIGENT ELECTRICAL AND INFORMATICS
TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

SEFTIN FITRI ANA WATI
NRP: 05211750012024

Tanggal Ujian: 13 Januari 2020
Periode Wisuda: Maret 2020

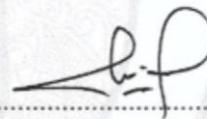
Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 197004272005012001


.....

Penguji:

1. Mahendrawati ER, S.T., M.Sc, Ph.D
NIP: 197610112006042001


.....

2. Dr. Mudjahidin, S.T., M.T
NIP: 197010102003121001


.....

Kepala Departemen Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas



Dr. Mudjahidin, S.T., M.T
NIP: 1970101020031211001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI SISTEM DINAMIK UNTUK EVALUASI KESESUAIAN LAHAN DALAM RANGKA MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS PANEN PERTANIAN (STUDI KASUS: PROVINSI JAWA TIMUR)

Nama Mahasiswa : Seftin Fitri Ana Wati
NRP : 05211750012024
Dosen Pembimbing : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Peningkatan populasi menyebabkan meningkatnya kebutuhan manusia akan permintaan lahan serta permintaan produksi pertanian. Hal ini telah berdampak pada pengurangan lahan pertanian yang berharga. Sehingga mempertahankan produktivitas lahan menjadi semakin penting karena ketersediaan lahan yang terbatas. Evaluasi lahan ilmiah penting dilakukan agar mampu meningkatkan produktivitas lahan saat ini dan masa depan. Evaluasi kesesuaian lahan pertanian merupakan suatu permasalahan sistem yang kompleks. Ketidaktepatan dalam penanganan akan lahan pertanian dapat mempengaruhi produktivitas hasil pertanian. Oleh karena itu evaluasi tingkat kesesuaian lahan pertanian yang tepat diperlukan untuk menjaga produktivitas panen pertanian. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi tingkat kesesuaian lahan dalam rangka meningkatkan produktivitas panen pertanian di Jawa timur dengan kendala fisik yang menggunakan pendekatan pemodelan sistem dinamik. Penelitian ini menggunakan metodologi sistem dinamik untuk menyelidiki hubungan antara variabel dalam sistem tingkat kesesuaian lahan pertanian padi dapat mempengaruhi produktivitas pertanian di masa depan. Penelitian ini menghasilkan skenario pertama mengurangi toksisitas pada lahan dengan cara treatment phytoextraction using *Sedum plumbizincicola*, dari hasil skenario phytoextraction using *Sedum plumbizincicola* tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur pada tahun 2019-2030 rata-rata masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 59%. Skenario kedua RHB+CSR bio tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 41%. Hasil skenario dari Green Fertilizer tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 46%.

Kata Kunci: Kesesuaian Lahan Pertanian, Sistem Dinamik, Produktivitas Padi, Pertanian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DEVELOPMENT OF SYSTEM DYNAMIC SIMULATION MODELS FOR EVALUATING LAND SUITABILITY TO INCREASE AGRICULTURE CROP PRODUCTIVITY (CASE STUDY: EAST JAVA PROVINCE)

By : Seftin Fitri Ana Wati
Student Identity Number : 05211750012024
Supervisor : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

An increase in population has led to an increase in human demand for land demand and demand for agricultural production and has resulted in the reduction of valuable agricultural land. So that maintaining land productivity becomes increasingly important because of the limited availability of land. To identify the right land, it is important to conduct a scientific land evaluation that can increase current and future land productivity. Evaluation of the suitability of agricultural land is a complex system problem. Besides land productivity is the most important factor to increase agricultural productivity, so that inaccuracy in handling agricultural land can affect the productivity of agricultural products. Therefore, an appropriate evaluation of the suitability of agricultural land is needed to maintain the productivity of crops. The purpose of this study was to evaluate the suitability of the land to increase agricultural productivity in East Java with physical constraints using a dynamic system modeling approach. To achieve this goal, this study uses a dynamic system methodology to investigate the relationship between variables in the suitability level system of rice farming that can affect agricultural productivity in the future. The results of this study are the first scenario to reduce the toxicity of land utilizing phytoextraction treatment using *Sedum plumbizincicola*, from the results of phytoextraction scenario using *Sedum plumbizincicola* suitability level of agricultural land for rice plants in East Java in 2019-2030, the average entry-level is at S2 class level (quite appropriate). With the results of rice productivity in 2007-2030 increased by 59%. The second scenario RHB + CSR bio suitability level of agricultural land for rice plants in East Java in 2019-2030 on average entered at the level of the S2 class (quite appropriate). With the results of rice productivity in 2007-2030 increased by 41%. The results of the third Green Fertilizer scenario suitability level of agricultural land for rice plants in East Java in 2019-2030 on average enter the level of the S2 class (quite appropriate). With the results of rice productivity in 2007-2030 increased by 46%.

Keywords: agriculture land suitability, system dynamic, paddy productivity, agriculture

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Yang telah memberikan ridho, rahmat dan hidayah-Nya sehingga tesis yang berjudul “Pengembangan Model Simulasi Sistem Dinamik untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Dalam Rangka Meningkatkan Produktivitas Panen Pertanian (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur)” dapat disusun dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada Program Magister Sistem Informasi Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses penyelesaian tesis ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, baik bantuan moral maupun materiil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua dan kakak penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan selama menyelesaikan studi dan tesis ini.
2. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing dan Dosen Wali Akademik yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran, serta memberikan ilmu, dukungan, dan kesabaran selama membimbing penulis dari awal hingga tesis ini selesai.
3. Bapak dan Ibu dosen yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama Penulis menempuh pendidikan di Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Segenap staf dan karyawan di Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang membantu penulis dalam pelaksanaan tesis ini
5. Para sahabat dan teman-teman keluarga besar S2 Sistem Informasi ITS yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan kebersamaan selama penulis menempuh pendidikan magister.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dan terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan tesis ini.

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

Surabaya, Januari 2020

Seftin Fitri Ana Wati

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	5
1.4 Kontribusi Penelitian	6
1.4.1 Kontribusi di Bidang Keilmuan	6
1.4.2 Kontribusi Praktis	6
1.5 Batasan Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Evaluasi Lahan	9
2.2 Klasifikasi dan Kriteria Kesesuaian Lahan	17
2.2.1 Klasifikasi Kesesuaian Lahan	17
2.2.2 Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Padi	19
2.3 Produksi Padi.....	20
2.4 Konsep Dasar Sistem Simulasi.....	21
2.4.1 Sistem.....	21
2.4.2 Pemodelan	24
2.4.3 Simulasi.....	24
2.5 Sistem Dinamik	26
2.6 Penelitian Terkait.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Kajian Pustaka.....	35
3.2 Pengumpulan Data.....	35
3.2.1 Boundary Adequacy	36
3.2.2 Validasi Struktural.....	36
3.3 Pengolahan Data (Flow Diagram)	39
3.4 Verifikasi Dan Validasi.....	39
3.5 Membuat Skenario Model.....	40
3.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Simulasi	41
3.7 Membuat Kesimpulan.....	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	43

4.1	Identifikasi Tingkat Kesesuaian Lahan	43
4.2	Pengumpulan Data	44
4.2.1	Data Luas Lahan Sawah	44
4.2.2	Data Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi	45
4.2.3	Data Temperatur, Curah Hujan, Kelembaban	46
4.3	Pengembangan Model Penelitian	46
4.4	<i>Problem Articulation</i>	47
4.5	<i>Dynamics Hypothesis</i>	48
4.5.1	<i>Sub Sistem Diagram</i>	48
4.5.2	<i>Boundary Adequacy</i>	49
4.5.3	Causal Loop Diagram	52
4.6	Formulasi Model	54
4.6.1	Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan (<i>Land Suitability Level</i>)	55
4.6.2	Sub Model Luas Lahan Padi (<i>Paddy Land Area</i>) dan Luas Panen (<i>Harvest Area</i>)	59
4.6.3	Sub Model Produktivitas Padi (<i>Paddy Productivity</i>)	62
4.7	<i>Validation and Model Testing</i>	65
4.7.1	<i>Structural Assessment</i>	66
4.7.2	<i>Behavioral Testing</i>	66
4.8	<i>Policy Formulation</i>	74
4.8.1	Skenario <i>Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola</i>	75
4.8.2	Skenario <i>RHB and CSR-Bio</i>	79
4.8.3	Skenario <i>Green Fertilizer</i>	83
4.9	Simpulan dan Hasil Skenario	87
4.10	<i>Evaluation</i>	89
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran	94
DAFTAR	PUSTAKA	95
BIODATA	PENULIS	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Paddy Productivity Supply</i>	4
Gambar 2. 1 Cara untuk Belajar Sebuah Sistem	22
Gambar 2. 2 Representasi Struktur <i>Stock and Flow</i>	29
Gambar 3. 1. Metodologi Penelitian	34
Gambar 4. 1. <i>Causal Loop Diagram Land Suitability Level for Agriculture</i>	53
Gambar 4. 2. Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan (<i>Land Suitability Level</i>).....	56
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Simulasi Tingkat Kesesuaian Lahan.....	58
Gambar 4. 4 Sub Model Luas Lahan padi dan Luas Panen	60
Gambar 4. 5. Grafik Hasil Simulasi Luas Lahan Padi.....	61
Gambar 4. 6. Grafik Hasil Simulasi Luas Panen.....	62
Gambar 4. 7. Sub Model Produktivitas Padi (<i>Paddy Productivity</i>).....	63
Gambar 4. 8. Grafik Hasil Simulasi Produktivitas Padi	64
Gambar 4. 9. Sub Model Produksi Padi (<i>Paddy Production</i>).....	65
Gambar 4. 10 Verifikasi Model.....	66
Gambar 4. 11 Grafik Validasi Luas Lahan Padi.....	68
Gambar 4. 12 Grafik Validasi Luas Panen Padi.....	69
Gambar 4. 13 Grafik Validasi Produksi Padi.....	70
Gambar 4. 14 Grafik Validasi Temperatur.....	71
Gambar 4. 15 Grafik Validasi Curah Hujan.....	73
Gambar 4. 16 Grafik Validasi Kelembaban	74
Gambar 4. 17 Skenario <i>Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola</i>	76
Gambar 4. 18 Hasil Skenario <i>Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola</i> pada Tingkat Kesesuaian Lahan	77
Gambar 4. 19 Hasil Skenario <i>Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola</i> pada Produktivitas Padi.....	78
Gambar 4. 20 Skenario <i>RHB+CSR-Bio</i>	80
Gambar 4. 21 Hasil Skenario RHB+CSR-bio pada Tingkat Kesesuaian Lahan... 81	
Gambar 4. 22 Hasil Skenario RHB+CSR bio pada Produktivitas Padi.....	82
Gambar 4. 23 Skenario <i>Green Fertilizer</i>	84
Gambar 4. 24 Hasil Skenario <i>Green Fertilizer</i> pada Tingkat Kesesuaian Lahan . 85	
Gambar 4. 25 Hasil Skenario <i>Green Fertilizer</i> pada Produktivitas Padi.....	86

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Lahan yang Digunakan sebagai Parameter dalam Evaluasi Lahan.....	11
Tabel 2. 2 Kualitas lahan yang dipakai pada metode evaluasi lahan menurut CSR/FAO (1983), FAO (1983), dan Sys et al. (1993)	14
Tabel 2. 3 Kriteria Kesesuaian Lahan Tanaman Padi.....	19
Tabel 2. 4 Simbol CLD	28
Tabel 3. 1 Karakteristik Lahan yang digunakan dalam Evaluasi Lahan.....	38
Tabel 4. 1 Data Luas Lahan Sawah Irigasi dan Non Irigasi.....	45
Tabel 4. 2. Data Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi	45
Tabel 4. 3 Data Temperatur, Curah Hujan, Kelembaban.....	46
Tabel 4. 4. Boundary Adequacy	50
Tabel 4. 5 Persamaan Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan	57
Tabel 4. 6. Persamaan Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen	60
Tabel 4. 7 Persamaan Sub Model Produktivitas Padi	64
Tabel 4. 8 Hasil Validasi Luas Lahan Padi	67
Tabel 4. 9 Hasil Validasi Luas Panen	68
Tabel 4. 10 Hasil Validasi Produktivitas Padi.....	69
Tabel 4. 11 Hasil Validasi Temperatur	71
Tabel 4. 12 Hasil Validasi Curah Hujan	72
Tabel 4. 13 Hasil Skenario Produktivitas Padi.....	78
Tabel 4. 14 Hasil Skenario <i>RHB+CSR bio</i> pada Produktivitas Padi.....	83
Tabel 4. 15 Hasil Skenario <i>Green Fertilizer</i> pada Produktivitas Padi.....	86
Tabel 4. 16 Hasil Skenario	87

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

Pada pendahuluan ini, akan dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, perumusan masalah yang diteliti, tujuan dan manfaat dilakukannya penelitian, batasan penelitian, dan kontribusi dari penelitian.

1.1 Latar Belakang

Sebagaimana didefinisikan dalam UU.56 PRP tahun 1960, Indonesia termasuk salah satu negara bersifat agraris, dengan ditandai bahwa pertanian sebagai salah satu faktor yang menjadi basis perekonomian suatu bangsa. Meningkatnya kebutuhan ekonomi dalam pemenuhan kebutuhan hidup dan persaingan dalam penggunaan lahan, baik untuk keperluan produksi pertanian maupun non produksi pertanian. Proyeksi peningkatan dalam populasi, pendapatan, dan tingkat konsumsi diperkirakan akan menyebabkan meningkatnya tekanan pada sistem lahan menjadi semakin penting, pertumbuhan penduduk adalah pendorong utama, perubahan dalam konsumsi makanan, dan efisiensi pertanian (Heinonen et al. 2016)(Alabyad-mafraq et al. 2018). Dengan rendahnya peningkatan efisiensi pertanian, ini mengarah pada perluasan lahan pertanian yang sangat memengaruhi produksi pangan dan ketahanan pangan (Doelman et al. 2018)(Dujmovic et al. 2016). Sumber daya lahan untuk tanaman adalah salah satu kunci penentu produksi pertanian dalam menyediakan ketahanan pangan, dan laporan yang dirilis FAO, 2011 telah mengungkapkan bahwa peningkatan populasi diperkirakan akan menyebabkan peningkatan tambahan 70% dalam permintaan global untuk produksi pertanian dengan lahan yang ditanami saat ini pada tahun 2050 (FAO 2011a).

Potensi peningkatan produktivitas lahan budidaya merupakan dasar fundamental untuk meluncurkan konsolidasi lahan, yang merupakan salah satu cara paling penting untuk meningkatkan kapasitas produksi padi-padian (Jiang et al. 2017). Analisis kesesuaian lahan dapat membantu merumuskan strategi untuk meningkatkan produktivitas pertanian (Zolekar and Bhagat 2015) lembaga yang terintegrasi untuk implementasi penuh konsolidasi lahan, peraturan yang tepat dan

Undang-Undang tentang perlindungan tindak lanjut potensi produktivitas lahan yang dibudidayakan, kebijakan ekonomi untuk merangsang kesediaan petani, dan mekanisme transfer untuk lahan yang dibudidayakan merupakan perubahan kebijakan yang diperlukan. Untuk mengurangi pengaruh manusia pada sumber daya alam dan untuk mengidentifikasi penggunaan lahan yang tepat, penting untuk melakukan evaluasi lahan (Abdelrahman, Natarajan, and Hegde 2016). Karena Perubahan dalam sistem lahan menghasilkan banyak tantangan keberlanjutan (Chowdhury et al. 2018) diantaranya memahami faktor pendorong, keadaan, tren dan dampak dari sistem lahan yang berbeda pada proses sosial dan alam membantu mengungkapkan bagaimana perubahan dalam sistem lahan mempengaruhi fungsi sistem sosial-ekologis secara keseluruhan dan pertukaran yang mungkin diwakili oleh perubahan ini (Verburg et al. 2015). Analisis semacam itu memungkinkan mengidentifikasi faktor pembatas utama untuk produksi pertanian dan memungkinkan pengambil keputusan untuk mengembangkan manajemen tanaman yang dapat meningkatkan produktivitas lahan, dengan menambah produksi melalui penilaian potensi biofisik suatu daerah dapat memastikan keamanan pangan dan keberlanjutan sistem (Pradesh 2013).

Kualitas dan karakteristik lahan dari setiap satuan/unit lahan dalam kaitannya dengan persyaratan pertumbuhan tanaman, digunakan sebagai parameter dalam evaluasi lahan yang dapat meningkatkan produktivitas (Rossiter and Wambeke 1997) (Bandyopadhyay et al. 2009). Mendefinisikan hubungan antara karakteristik tanah dan persyaratan tanaman harus menjadi langkah pertama dalam penggunaan lahan pertanian di masa depan (Vasu et al. 2018) (Abdelrahman et al. 2016). Evaluasinya memberikan informasi tentang kendala dan peluang untuk penggunaan lahan dan oleh karena itu memandu keputusan tentang pemanfaatan sumber daya secara optimal, yang pengetahuannya merupakan prasyarat penting untuk perencanaan dan pengembangan penggunaan lahan. Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian strategis, padi (*oryza sativa*) mengacu pada penilaian kriteria kesesuaian lahan yang dikembangkan oleh FAO untuk komoditas pertanian Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSLDP, 2003) dengan dilakukan pembaharuan dan penyempurnaan kriteria

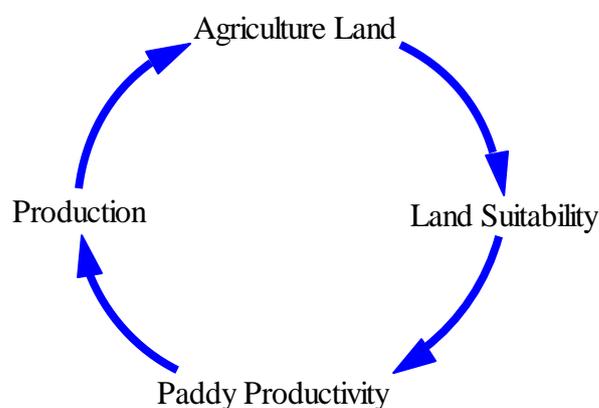
kesesuaian lahan komoditas pertanian strategis melalui forum ‘Fokus Grup Diskusi’ 2016 lingkup Kementerian Pertanian dan Perguruan tinggi (Suryani et al., 2016)

Luas baku lahan sawah di Indonesia pada tahun 2018 adalah 7,1 juta hectare dibandingkan dengan data pada tahun 2017 adalah 7,75 juta hectare telah mengalami penurunan dibandingkan tahun 2017 yaitu 0,65%. Hal tersebut berpengaruh terhadap produksi pada panen pertanian. Pada tahun 2018 produktivitas pertanian adalah sebesar 51,58 kw/ha dan pada tahun 2017 adalah sebesar 54,66 kw/ha. Sehingga mengalami penurunan produktivitas pertanian sebesar 3,08% dengan rata-rata 0,42% pertahun (Badan Pusat Statistik, 2019). Data tersebut dapat dilihat bahwa produktivitas tanaman padi sawah masih belum stabil dari tahun ke tahun. Sehingga perlu adanya penelitian tentang penilaian kesesuaian lahan pertanian terhadap tanaman padi sawah agar lahan sawah dapat dimanfaatkan secara optimal dalam peningkatan produksi panen pertanian.

Beberapa ulasan tentang kesesuaian lahan telah dibahas sebelumnya. Penelitian evaluasi kemampuan dan kesesuaian lahan pertanian dibahas dengan penerapan metode logic scoring of preference berbasis GIS (Dujmovic et al. 2016) pengambilan keputusan multikriteria untuk mengevaluasi area yang cocok untuk pertanian. Kriteria evaluasi meliputi atribut tanah, topografi, iklim, ekonomi, penggunaan lahan dan aksesibilitas. Hasil penelitian adalah peta kemampuan dan kesesuaian lahan pertanian. Penelitian ini mempunyai keterbatasan pada validasi dan sensitivitas variasi dalam kriteria dan parameter serta evaluasi tanaman tertentu.

Pemodelan kesesuaian penggunaan lahan untuk keberlanjutan pertanian dalam evaluasi (Sahoo et al. 2018). Penelitian ini mengidentifikasi zona kesesuaian penggunaan lahan masa depan menggunakan AHP di daerah aliran sungai. Model simulasi dinamis digunakan untuk skenario perubahan kesesuaian lahan dimasa depan, dengan analisis parameter perubahan iklim dengan tiga skenario pada tahun 2030, 2050 dan 2080. Hasil dari penelitian tersebut perubahan kesesuaian penggunaan lahan mungkin terjadi karena pertumbuhan populasi yang cepat, urbanisasi, dan pengembangan industri. Penelitian tersebut mengungkapkan keterbatasan yaitu akan lebih akurat jika lebih banyak faktor yang dipertimbangkan.

Permasalahan evaluasi kesesuaian lahan pertanian terhadap tanaman padi sawah merupakan suatu permasalahan sistem yang cukup kompleks dengan melibatkan persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan terhadap setiap kelas kesesuaian lahan dan lain sebagainya, diantaranya adalah tekstur tanah, kedalaman, erosi, kemiringan, banjir dan fragmen kasar di bawah berbagai unit lahan perlu dievaluasi untuk tanaman (Abdelrahman et al. 2016). Sistem pertanian terutama pada sektor evaluasi kesesuaian lahan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berinteraksi seperti sifat tanah, topografi dan iklim (Suryani et al. 2016). Berikut merupakan gambaran umum hubungan keterkaitan antara faktor-faktor tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1 *Paddy Productivity Supply*

Banyak tantangan yang dihadapi terkait sistem kesesuaian lahan, oleh karena itu perlu dibuatkan model sistem kesesuaian lahan pertanian untuk menganalisis kesesuaiannya terhadap setiap kelas kesesuaiannya (Stermann, J. D, 2000) (Erma, 2006), menyatakan bahwa model simulasi merupakan alat yang cukup fleksibel untuk memecahkan masalah yang sulit untuk dipecahkan. Model simulasi sangat efektif digunakan untuk sistem yang relative kompleks untuk pemecahan masalah dari model tersebut. Model ini membantu pemahaman pengaruh lingkungan, khususnya variasi unsur karakteristik lahan yang berpengaruh terhadap kesesuaian lahan pertanian terhadap kelas kesesuaian lahan termasuk untuk keperluan prediksi. Penggunaan simulasi akan memberikan wawasan yang lebih luas pada pihak manajemen dalam menyelesaikan suatu masalah. Oleh karena itu manfaat yang didapatkan dengan menggunakan metode simulasi adalah sebagai alat perancang sistem atau pembuat keputusan, dalam hal

ini manajer menciptakan sistem dengan kinerja tertentu baik dalam tahap perancangan sistem maupun tahap operasional.

Dengan pemodelan sistem dinamik pada kesesuaian lahan pertanian didapatkan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi terhadap produksi panen pertanian, dengan pemodelan pada sistem hasilnya dapat dijadikan sebagai alat bagi stakeholder pemerintahan untuk menerapkan strategi terbaik dalam pengambilan keputusan untuk meningkatkan potensi lahan pertanian sehingga dapat meningkatkan produktivitas panen pertanian.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah dan latar belakang penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Faktor apa saja yang mempengaruhi kesesuaian lahan pertanian dalam meningkatkan produktivitas panen pertanian?
2. Bagaimana meningkatkan produktivitas lahan melalui peningkatan kesesuaian lahan dengan menggunakan skenario sistem dinamik?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian sebelumnya pada rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui faktor apa saja yang mempengaruhi kesesuaian lahan pertanian dalam meningkatkan produktivitas pertanian.
2. Mengetahui cara meningkatkan produktivitas lahan melalui peningkatan kesesuaian lahan
3. Mengetahui pengaruh tingkat kesesuaian lahan dalam meningkatkan produktivitas panen pertanian.
4. Mengembangkan beberapa skenario strategis untuk menunjang sistem pengambilan keputusan
 - Output model akan menyediakan berbagai skenario strategis untuk pengambilan keputusan yang penting atas dasar penilaian kesesuaian lahan pertanian.

- Keputusan strategis pemerintah sehubungan dengan penanganan terhadap penilaian karakteristik kesesuaian lahan pertanian

1.4 Kontribusi Penelitian

Terdapat beberapa kontribusi yang akan diberikan dari penelitian ini, antara lain:

1.4.1 Kontribusi di Bidang Keilmuan

- a. Kontribusi teoritis dari penelitian ini adalah membangun model yang dapat meningkatkan produksi panen dengan penilaian tingkat kesesuaian lahan terhadap tanaman
- b. Menghasilkan skenario model sistem dinamik untuk meningkatkan panen pertanian dengan penilaian tingkat kesesuaian lahan terhadap tanaman

1.4.2 Kontribusi Praktis

- a. Kontribusi praktis dari penelitian ini adalah pengembangan model untuk meningkatkan kesesuaian lahan pertanian dalam meningkatkan produksi padi sesuai dengan kondisi saat ini dan pengembangan skenario untuk meningkatkan kesesuaian lahan yang dapat membantu pemerintah.
- b. Hasil dari penelitian ini akan memberikan sumbangan pemikiran yang dapat digunakan sebagai referensi bagi pihak terkait dalam mengambil alternative kebijakan dengan tujuan untuk meningkatkan produksi padi.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang menjadi batasan dalam penelitian ini. Batasan penelitian ini antara lain:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dan informasi pertanian untuk wilayah Jawa Timur.
2. Kriteria kesesuaian lahan mengacu pada penilaian kriteria kesesuaian lahan yang dikembangkan oleh FAO untuk komoditas pertanian Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP,2003) dengan dilakukan pembaharuan dan penyempurnaan kriteria kesesuaian lahan komoditas

pertanian strategis melalui forum ‘Fokus Grup Diskusi’ 2016 lingkup Kementerian Pertanian dan Perguruan tinggi.

3. Penelitian ini membahas penilaian kesesuaian lahan sawah untuk meningkatkan produksi pada tanaman padi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Bab 1 Pendahuluan

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

b) Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan penelitian-penelitian yang sudah ada mengenai supply chain, sistem dinamik, dan serangkaian teori yang digunakan sebagai dasar dalam pemodelan untuk topik penelitian.

c) Bab 3 Metodologi Penelitian

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

d) Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini mengulas tentang hasil dan pembahasan terkait penelitian yang dilakukan.

e) Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam penyusunan tesis, yaitu teori tentang evaluasi lahan, kesesuaian lahan, Klasifikasi kesesuaian lahan, Kualitas dan karakteristik lahan, serta teori mengenai metode pemodelan sistem dinamik yang digunakan untuk mengukur dan menguji penelitian dengan menghasilkan model simulasi.

2.1 Evaluasi Lahan

Dalam melaksanakan evaluasi lahan perlu terlebih dahulu memahami istilah-istilah yang digunakan, baik yang menyangkut keadaan sumber daya lahan, maupun yang berkaitan dengan kebutuhan atau persyaratan tumbuh suatu tanaman. Berikut diuraikan secara ringkas mengenai: pengertian lahan, penggunaan lahan, karakteristik lahan, kualitas lahan, dan persyaratan penggunaan lahan.

1. Lahan

Lahan merupakan bagian dari bentang alam (landscape) yang mencakup pengertian lingkungan fisik termasuk iklim, topografi/relief, tanah, hidrologi, dan bahkan keadaan vegetasi alami (natural vegetation) yang semuanya secara potensial akan berpengaruh terhadap penggunaan lahan (FAO, 1976). Lahan dalam pengertian yang lebih luas termasuk yang telah dipengaruhi oleh berbagai aktivitas flora, fauna dan manusia baik dimasa lalu maupun saat sekarang, seperti lahan rawa dan pasang surut yang telah direklamasi atau tindakan konservasi tanah pada suatu lahan tertentu. Penggunaan yang optimal memerlukan keterkaitan dengan karakteristik dan kualitas lahannya. Hal tersebut disebabkan adanya keterbatasan dalam penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik dan kualitas lahannya, bila dihubungkan dengan pemanfaatan lahan secara lestari dan berkesinambungan. Pada peta tanah atau peta sumber daya lahan, hal tersebut dinyatakan dalam satuan peta yang dibedakan berdasarkan perbedaan sifat-sifatnya terdiri atas: iklim, landform (termasuk litologi, topografi/relief), tanah dan/atau hidrologi. Pemisahan satuan lahan/tanah sangat penting untuk keperluan analisis dan interpretasi potensi atau

kesesuaian lahan bagi suatu tipe penggunaan lahan (Land Utilization Types=LUTs).

Evaluasi lahan memerlukan sifat-sifat fisik lingkungan suatu wilayah yang dirinci ke dalam kualitas lahan (land qualities), dan setiap kualitas lahan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (land characteristics). Beberapa karakteristik lahan umumnya mempunyai hubungan satu sama lainnya di dalam pengertian kualitas lahan dan akan berpengaruh terhadap jenis penggunaan dan/atau pertumbuhan tanaman dan komoditas lainnya yang berbasis lahan (peternakan, perikanan, kehutanan)

2. Penggunaan Lahan

Dalam evaluasi lahan penggunaan lahan harus dikaitkan dengan tipe penggunaan lahan (Land Utilization Type) yaitu jenis-jenis penggunaan lahan yang diuraikan secara lebih detil karena menyangkut pengelolaan, masukan yang diperlukan dan keluaran yang diharapkan secara spesifik. Setiap jenis penggunaan lahan dirinci ke dalam tipe-tipe penggunaan lahan. Tipe penggunaan lahan bukan merupakan tingkat kategori dari klasifikasi penggunaan lahan, tetapi mengacu kepada penggunaan lahan tertentu yang tingkatannya dibawah kategori penggunaan lahan secara umum, karena berkaitan dengan aspek masukan, teknologi, dan keluarannya. Sifat-sifat penggunaan lahan mencakup data dan/atau asumsi yang berkaitan dengan aspek hasil, orientasi pasar, intensitas modal, buruh, sumber tenaga, pengetahuan teknologi penggunaan lahan, kebutuhan infrastruktur, ukuran dan bentuk penguasaan lahan, pemilikan lahan dan tingkat pendapatan per unit produksi atau unit areal. Tipe penggunaan lahan menurut sistem dan modelnya dibedakan atas dua macam yaitu multiple dan compound.

3. Karakteristik Lahan

Karakteristik lahan adalah sifat lahan yang dapat diukur atau diestimasi. Dari beberapa pustaka menunjukkan bahwa penggunaan karakteristik lahan untuk keperluan evaluasi lahan bervariasi. Sebagai gambaran Tabel 1 menunjukkan variasi dari karakteristik lahan yang digunakan sebagai parameter dalam evaluasi kesesuaian lahan oleh beberapa sumber (Staf PPT, 1983; Bunting, 1981; Sys et al., 1993; CSR/FAO, 1983; dan Driessen, 1971).

Tabel 2. 1 Karakteristik Lahan yang Digunakan sebagai Parameter dalam Evaluasi Lahan

Staf PPT (1983)	Bunting (1981)	Sys et al. (1993)	CSR/FAO (1983)	Driessen (1971)
Tipe hujan (Oldeman et al.)	Periode pertumbuhan tanaman	Temperatur rerata (°C) atau elevasi	Temperatur rerata (°C) atau elevasi	Lereng
Kelas drainase	Temperatur rerata pada periode pertumbuhan	Curah hujan (mm)	Curah hujan (mm)	Mikrorelief
Sebaran besar butir (lapisan atas)	Curah hujan tahunan	Lamanya masa kering (bulan)	Lamanya masa kering (bulan)	Keadaan batu
Kedalaman efektif	Kelas drainase	Kelembaban udara	Kelembaban udara	Kelas drainase
Ketebalan gambut	Tekstur tanah	Kelas Drainase	Kelas drainase	Regim kelembaban
Dekomposisi gambut/jenis gambut	Kedalaman perakaran	Tekstur/Struktur	Tekstur	Salinitas/alkalinitas
KTK	Reaksi tanah (pH)	Bahan kasar	Bahan kasar	Kejenuhan basa
Kejenuhan basa	Salinitas/ DHL	Kedalaman tanah	Kedalaman tanah	Reaksi tanah (pH)
Reaksi tanah (pH)	Pengambilan hara (N, P, K) oleh tanaman	KTK liat	Ketebalan gambut	Kadar pirit
C-organik	Pengurusan hara (N, P, K) dari tanah	Kejenuhan basa	Kematangan gambut	Kadar bahan organik
P-tersedia		Reaksi tanah (pH)	KTK liat	Tebal bahan organik
Salinitas/DHL		C-organik	Kejenuhan basa	Tekstur
Kedalaman pirit		Aluminium	Reaksi tanah (pH)	Struktur, porositas, dan tingkatan
Lereng (%)/mikrorelief		Salinitas/DHL	C-organik	Macam liat
Erosi		Alkalinitas	Aluminium	Bahan induk/ cadangan mineral

Staf PPT (1983)	Bunting (1981)	Sys et al. (1993)	CSR/FAO (1983)	Driessen (1971)
Kerusakan karena banjir		Lereng	Salinitas/DHL	Kedalaman efektif
Batu dan kerikil, penghambat pengolahan tanah		Genangan	Alkalinitas	
Pori air tersedia		Batuan di permukaan	Kadar pirit	
Penghambat pertumbuhan karena kekurangan air		CaCO ₃	Lereng	
Kesuburan tanah		Gypsum	Bahaya erosi	
Permeabilitas lapisan atas		Jumlah basa total	Genangan	
			Batuan di permukaan	
			Singkapan batuan	

Karakteristik lahan yang digunakan adalah: temperature udara, curah hujan, lamanya masa kering, kelembaban udara, drainase, tekstur, bahan kasar, kedalaman tanah, ketebalan gambut, kematangan gambut, kapasitas tukar kation liat, kejenuhan basa, pH H₂O, C-organik, salinitas, alkalinitas, kedalaman bahan sulfidik, lereng, bahaya erosi, genangan, batuan di permukaan, dan singkapan batuan.

- Temperatur udara: merupakan temperatur udara tahunan dan dinyatakan dalam °C
- Curah Hujan: merupakan curah hujan rerata tahunan dan dinyatakan dalam mm
- Lamanya masa kering: merupakan jumlah bulan kering berturut-turut dalam setahun dengan jumlah curah hujan kurang dari 60 mm
- Kelembaban udara: merupakan kelembaban udara rerata tahunan dan dinyatakan dalam %

- Drainase: merupakan pengaruh laju perkolasi air ke dalam tanah terhadap aerasi udara dalam tanah
- Tekstur: menyatakan istilah dalam distribusi partikel tanah halus dengan ukuran <2 mm
- Bahan kasar: menyatakan volume dalam % dan adanya bahan kasar dengan ukuran >2 mm
- Kedalaman tanah: menyatakan dalamnya lapisan tanah dalam cm yang dapat dipakai untuk perkembangan perakaran dari tanaman yang dievaluasi
- Ketebalan gambut: digunakan pada tanah gambut dan menyatakan tebalnya lapisan gambut dalam cm dari permukaan
- Kematangan gambut: digunakan pada tanah gambut dan menyatakan tingkat kandungan seratnya dalam bahan saprik, hemik atau fibrik, makin banyak seratnya menunjukkan belum matang/mentah (fibrik)
- KTK liat: menyatakan kapasitas tukar kation dari fraksi liat
- Kejenuhan basa: jumlah basa-basa (NH_4OAc) yang ada dalam 100 g contoh tanah
- Reaksi tanah (PH): nilai pH tanah di lapangan. Pada lahan kering dinyatakan dengan data laboratorium atau pengukuran lapangan, sedang pada tanah basah diukur di lapangan
- C-organik: kandungan karbon organik tanah
- Salinitas: kandungan garam terlarut pada tanah yang dicerminkan oleh daya hantar listrik
- Alkalinitas: kandungan natrium dapat ditukar
- Kedalaman bahan sulfidik: dalamnya bahan sulfidik diukur dari permukaan tanah sampai batas atas lapisan sulfidik.
- Lereng: menyatakan kemiringan lahan diukur dalam%
- Bahaya erosi: bahaya erosi diprediksi dengan memperhatikan adanya erosi lembar permukaan (sheet erosion), erosi alur (reel erosion), dan erosi parit (gully erosion), atau dengan memperhatikan permukaan tanah yang hilang (rata-rata) per tahun
- Genangan: jumlah lamanya genangan dalam bulan selama satu tahun

- Batuan dipermukaan: volume batuan (dalam %) yang ada di permukaan tanah/lapisan olah
- Singkapan batuan: volume batuan (dalam %) yang ada dalam solum tanah
- Oksigen: ketersediaan oksigen dalam tanah untuk keperluan pertumbuhan tanaman/ikan

Setiap karakteristik lahan yang digunakan secara langsung dalam evaluasi ada yang sifatnya tunggal dan ada yang sifatnya lebih dari satu karena mempunyai interaksi satu sama lainnya. Karenanya dalam interpretasi perlu mempertimbangkan atau memperbandingkan lahan dengan penggunaannya dalam pengertian kualitas lahan. Sebagai contoh ketersediaan air sebagai kualitas lahan ditentukan dari bulan kering dan curah hujan rata-rata tahunan, tetapi air yang dapat diserap tanaman tentu tergantung pula pada kualitas lahan lainnya, seperti kondisi atau media perakaran, antara lain tekstur tanah dan kedalaman zone perakaran tanaman yang bersangkutan.

4. Kualitas Lahan

Kualitas lahan adalah sifat-sifat pengenal atau attribute yang bersifat kompleks dari sebidang lahan. Setiap kualitas lahan mempunyai keragaan (performance) yang berpengaruh terhadap kesesuaiannya bagi penggunaan tertentu dan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (land characteristics). Kualitas lahan ada yang bisa diestimasi atau diukur secara langsung di lapangan, tetapi pada umumnya ditetapkan dari pengertian karakteristik lahan (FAO, 1976). Dalam evaluasi lahan sering kualitas lahan tidak digunakan tetapi langsung menggunakan karakteristik lahan (Driessen, 1971; Staf PPT, 1983), karena keduanya dianggap sama nilainya dalam evaluasi. Metode evaluasi yang menggunakan kualitas lahan antara lain dikemukakan pada CSR/FAO (1983), FAO (1983), Sys et al. (1993)

Tabel 2. 2 Kualitas lahan yang dipakai pada metode evaluasi lahan menurut CSR/FAO (1983), FAO (1983), dan Sys et al. (1993)

CSR/FAO, 1983	FAO, 1983	Sys et.al., 1993
Temperatur	Kelembaban	Sifat iklim
Ketersediaan air	Ketersediaan hara	Topografi

CSR/FAO, 1983	FAO, 1983	Sys et.al., 1993
Ketersediaan oksigen	Ketersediaan oksigen	Kelembaban
Media perakaran	Media untuk perkembangan akar	Sifat fisik tanah
Retensi hara	Kondisi untuk pertumbuhan	Sifat kesuburan tanah
Toksisitas	Kemudahan diolah	Salinitas/alkalinitas
Sodisitas	Salinitas dan alkalinitas/ toksisitas	
Bahaya sulfidik	Retensi terhadap erosi	
Bahaya erosi	Bahaya banjir	
Penyiapan lahan	Temperatur	
	Energi radiasi dan fotoperiode	
	Bahaya unsur iklim (angin, kekeringan)	
	Kelembaban udara	
	Periode kering untuk pemasakan (ripening) tanaman	

Kualitas lahan dapat berperan positif atau negatif terhadap penggunaan lahan tergantung dari sifat-sifatnya. Kualitas lahan yang berperan positif sifatnya menguntungkan bagi suatu penggunaan. Sebaliknya kualitas lahan yang bersifat negatif akan merugikan (merupakan kendala) terhadap penggunaan tertentu, sehingga merupakan faktor penghambat atau pembatas. Setiap kualitas lahan dapat berpengaruh terhadap satu atau lebih dari jenis penggunaannya. Demikian pula satu jenis penggunaan lahan tertentu akan dipengaruhi oleh berbagai kualitas lahan.

Sebagai contoh bahaya erosi dipengaruhi oleh: keadaan sifat tanah, terrain (lereng) dan iklim (curah hujan). Ketersediaan air bagi kebutuhan tanaman dipengaruhi antara lain oleh: faktor iklim, topografi, drainase, tekstur, struktur, dan

konsistensi tanah, zone perakaran, dan bahan kasar (batu, kerikil) di dalam penampang tanah. Kualitas lahan yang menentukan dan berpengaruh terhadap manajemen dan masukan yang diperlukan adalah:

1. Terrain berpengaruh terhadap mekanisasi dan/atau pengelolaan lahan secara praktis (teras, tanaman sela/alley cropping, dan sebagainya), konstruksi dan pemeliharaan jalan penghubung.
2. Ukuran dari unit potensial manajemen atau blok area/lahan pertanian.
3. Lokasi dalam hubungannya untuk penyediaan sarana produksi (input), dan pemasaran hasil (aspek ekonomi)

Kualitas lahan yang dipilih sebagai berikut: temperatur, ketersediaan air, ketersediaan oksigen, media perakaran, bahan kasar, gambut, retensi hara, toksisitas, salinitas, bahaya sulfidik, bahaya erosi, bahaya banjir, dan penyiapan lahan.

- Temperatur: ditentukan oleh keadaan temperatur rerata
- Ketersediaan air: ditentukan oleh keadaan curah hujan, kelembaban, lama masa kering, sumber air tawar, atau amplitudo pasang surut, tergantung jenis komoditasnya
- Ketersediaan oksigen: ditentukan oleh keadaan drainase atau oksigen tergantung jenis komoditasnya
- Media perakaran: ditentukan oleh keadaan tekstur, bahan kasar dan kedalaman tanah
- Gambut: ditentukan oleh kedalaman dan kematangan gambut
- Retensi hara: ditentukan oleh KTK-liat, kejenuhan basa, pH-H₂O, dan C-organik
- Bahaya keracunan: ditentukan oleh salinitas, alkalinitas, dan kedalaman sulfidik atau pirit (FeS₂)
- Bahaya erosi: ditentukan oleh lereng dan bahaya erosi
- Bahaya banjir: ditentukan oleh genangan
- Penyiapan lahan: ditentukan oleh batuan di permukaan dan singkapan batuan

Fasilitas yang berkaitan dengan aspek ekonomi merupakan penentu kesesuaian lahan secara ekonomi atau economy land suitability class (Rossiter, 1995). Hal ini dengan pertimbangan bagaimanapun potensialnya secara fisik suatu wilayah, tanpa ditunjang oleh sarana ekonomi yang memadai, tidak akan banyak memberikan kontribusi terhadap pengembangan wilayah tersebut

2.2 Klasifikasi dan Kriteria Kesesuaian Lahan

2.2.1 Klasifikasi Kesesuaian Lahan

Lahan merupakan bagian dari bentang alam (landscape) yang mencakup pengertian lingkungan fisik termasuk iklim, topografi/relief, tanah, hidrologi dan keadaan vegetasi alami (natural vegetation) yang secara potensial berpengaruh terhadap penggunaan lahan (FAO, 1976). Lahan dalam pengertian yang lebih luas termasuk lahan yang telah dipengaruhi oleh berbagai aktivitas manusia, flora dan fauna, baik dimasa lalu maupun saat sekarang, seperti lahan rawa pasang surut yang telah direklamasi atau tindakan konservasi tanah pada suatu lahan tertentu. Penggunaan lahan secara optimal perlu dikaitkan dengan karakteristik dan kualitas lahannya. Hal tersebut disebabkan adanya keterbatasan penggunaan lahan, bila dihubungkan dengan pemanfaatan lahan secara lestari dan berkesinambungan.

Pemilihan komoditas pertanian yang sesuai secara biofisik, dan layak secara ekonomi untuk dibudidayakan, serta alternatif teknologi pengelolaan lahan untuk masing-masing wilayah harus berdasarkan karakteristik lahan dan lingkungannya. Pemilahan wilayah berdasarkan sifat-sifat tanah dan lingkungan (zona-zona satuan lahan) akan banyak membantu ke daerah mana suatu paket teknologi yang telah dirakit untuk kondisi fisik lingkungan tertentu dapat diaplikasikan. Pertanian berkelanjutan hanya akan terwujud apabila lahan untuk sistem pertanian dipergunakan dengan tepat dan cara pengelolaannya yang sesuai.

Evaluasi atau penilaian kesesuaian lahan adalah proses pendugaan tingkat kesesuaian lahan untuk berbagai alternatif penggunaan lahan, dan dalam hal ini ditujukan untuk penggunaan lahan pertanian. Penilaian kesesuaian lahan dapat dilaksanakan secara manual ataupun secara komputerisasi. Secara komputerisasi, penilaian dan pengolahan data dalam jumlah besar dapat dilaksanakan dengan cepat, dimana ketepatan penilaiannya sangat ditentukan oleh kualitas data yang tersedia serta ketepatan asumsi – asumsi yang digunakan.

Sistem Penilaian kesesuaian lahan yang berkembang selama ini, menggunakan berbagai pendekatan, antara lain sistem perkalian parameter, penjumlahan, dan sistem matching atau mencocokkan antara kualitas/karakteristik lahan (*land qualities/land characteristics*) dengan persyaratan penggunaan lahan termasuk persyaratan tumbuh tanaman, lingkungan dan manajemen (*landuse requirement*). Sistem evaluasi lahan yang digunakan dan terus dikembangkan di Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) menggunakan sistem matching yaitu mencocokkan antara kualitas lahan/karakteristik lahan dengan persyaratan penggunaan lahan untuk komoditas pertanian yang akan dikembangkan.

Penilaian kesesuaian lahan memerlukan sifat-sifat fisik lahan/tanah dan lingkungan yang dirinci ke dalam kualitas lahan, dimana masing-masing kualitas lahan dapat terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (FAO, 1983). Data sifat-sifat lahan/tanah dan lingkungan dapat dipenuhi dari hasil survei dan pemetaan tanah.

Pada peta tanah, sebaran tanah dibedakan berdasarkan sifat-sifatnya (seperti: kedalaman efektif tanah, batuan induk, sifat fisika dan kimia, drainase), termasuk topografi/relief dan iklim setempat. Pemisahan sifat-sifat tanah kedalam satuan- satuan pemetaan tanah (atau satuan lahan) sangat penting untuk keperluan penilaian dan analisis potensi/ kesesuaian lahan bagi suatu tipe penggunaan lahan pertanian (*Land Utilization Types = LUTs*). Kelas kesesuaian lahan disimbolkan dengan kelas Sesuai (Suitable = S1, S2, S3,) dan tidak sesuai (not suitable =N) untuk menunjukkan tingkat kesesuaiannya. Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian mengacu pada Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian (BBSDLP, 2013 dengan beberapa modifikasi hasil FGD tahun 2016).

Kelas kesesuaian lahan dapat dibedakan atas subkelas kesesuaian lahan berdasarkan kualitas dan karakteristik lahan yang menjadi faktor pembatas terberat. Dengan diketahuinya faktor pembatas, maka akan memudahkan penafsiran secara detail dalam perencanaan penggunaan lahan.

Kelas S1, sangat sesuai: Lahan tidak mempunyai faktor pembatas yang berarti atau nyata terhadap penggunaan secara berkelanjutan, atau faktor pembatas yang bersifat minor dan tidak akan mereduksi produktivitas lahan secara nyata.

Kelas S2, cukup sesuai: Lahan mempunyai faktor pembatas, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan (input). Pembatas tersebut biasanya dapat diatasi oleh petani sendiri.

Kelas S3, sesuai marginal: Lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Untuk mengatasi faktor pembatas pada S3 memerlukan modal tinggi, sehingga perlu adanya bantuan atau campur tangan (intervensi) pemerintah atau pihak swasta. Tanpa bantuan tersebut petani tidak mampu mengatasinya.

Kelas N, tidak sesuai : Lahan yang tidak sesuai (N) karena mempunyai faktor pembatas yang sangat berat dan/atau sulit diatasi.

2.2.2 Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Padi

Kriteria kesesuaian lahan untuk komoditas tanaman padi menurut BBSDLP, 2013 dengan beberapa modifikasi hasil FGD tahun 2016 (Suryani et al. 2016) adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Kriteria Kesesuaian Lahan Tanaman Padi

Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan	Kelas kesesuaian lahan			
	S1 (4)	S2 (3)	S3 (2)	N (1)
Temperatur (tc)				
Temperatur Rata-rata tahunan (°C)	25-28	>28-30 23-<25	>30-33 21-<23	>33 <21
Ketersediaan air (wa)	6-8	4-<6	2-<4	<2
Jumlah Bulan Basah (>200 mm/bl)			>8-10	<10

Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan	Kelas kesesuaian lahan			
	< 3	3-15	15 – 35	> 35
Media perakaran (rc)	< 3	3-15	15 – 35	> 35
kelembaban	> 50	40 - 50	25- 40	< 25
Gambut:				
Ketebalan (cm)	< 50	50 - 100	100 – 150	> 150
Retensi hara (nr)				
KTK tanah (cmol/kg)	> 16	5 - 16	< 5	-
Kejenuhan basa (%)	>50	35 - 50	< 35	-
		4,5 - 5,5	< 4,5	
pH H ₂ O	5,5 - 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0	-
C-organik (%)	> 1,2	0,8 - 1,2	< 0,8	-
Toksisitas (xc)				
Salinitas (dS/m)	<2	2-4	4-6	>6
Sodisitas (xn)				
Alkalinitas/ESP (%)	<20	20-30	30-40	>40
Bahaya sulfidik (xs)				
Kedalaman sulfidik (cm)	>100	75-100	40-75	<40
Bahaya erosi (eh)				
Lereng (%)	<3	3-5	5-8	>8
Penyiapan lahan (lp)				
Batuan di permukaan (%)				
Singkapan batuan (%)	<5	5-15	15-40	>40
	<5	5-15	15-25	>25

2.3 Produksi Padi

Padi merupakan komoditas utama tanaman pangan yang memiliki fungsi strategis, yaitu sebagai makanan pokok, sehingga produksi padi dalam negeri berperan dalam ketahanan dan kemandirian pangan. Komoditas padi memiliki sensitivitas tinggi terhadap aspek politis, ekonomis, dan kerawanan sosial terkait peran padi sebagai pangan pokok lebih dari 95 persen penduduk Indonesia.

Produksi padi terkait erat dengan curah hujan dan sumber daya air permukaan (De Silva et al. 2007). Pada dasarnya kendala antarsektoral dalam peningkatan tanaman pangan, khususnya padi menjadi semakin kompleks karena dihadapkan pada berbagai perubahan dan perkembangan lingkungan strategis di luar sektor pertanian yang berpengaruh dalam peningkatan produksi. Tantangan

utama yang dihadapi dalam upaya peningkatan produksi adalah: (1) meningkatnya permintaan beras sesuai dengan peningkatan jumlah penduduk, (2) terbatasnya ketersediaan beras dunia, dan (3) kecenderungan meningkatnya harga pangan. Di samping tantangan tersebut di atas, upaya peningkatan produksi padi juga dihadapkan pada sejumlah permasalahan, salah satunya yaitu dampak perubahan iklim (Zakaria and Nurasa 2013).

Dampak dari perubahan iklim, khususnya di sektor pertanian sangat memengaruhi waktu musim tanam yang terjadi 2 sampai 4 minggu sejak 5 tahun terakhir. Hal ini mengakibatkan penurunan produksi dan produktivitas, penurunan pangsa GDP sektor pertanian, fluktuasi harga produk pertanian, serta peningkatan jumlah penduduk yang berisiko kelaparan dan ketidakamanan pangan (Muslim 2013).

2.4. Konsep Dasar Sistem Simulasi

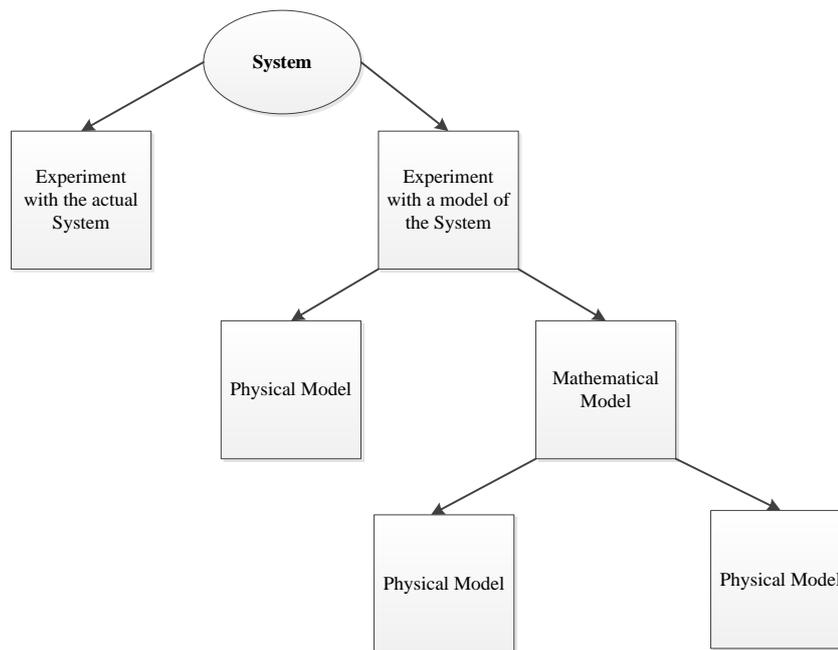
2.4.1 Sistem

Sistem adalah sebagai kumpulan entitas, misalnya, orang atau mesin, yang bertindak dan berinteraksi bersama menuju pencapaian beberapa hal yang logis. (Schmidt dan Taylor, 1970). Dalam prakteknya, sistem tergantung pada tujuan sebuah studi tertentu. Kumpulan entitas yang menyusun sebuah sistem untuk satu studi mungkin hanya merupakan subset dari keseluruhan sistem untuk sistem lainnya. Contoh, jika seseorang ingin mempelajari bank untuk menentukan jumlah teller yang dibutuhkan untuk memberikan layanan yang memadai bagi pelanggan yang hanya ingin mencairkan cek atau melakukan penghematan, sistem dapat didefinisikan sebagai bagian dari bank yang terdiri dari teller dan pelanggan mengantri atau dilayani. Jika, di sisi lain, petugas pinjaman dan kotak brankas harus disertakan, definisi sistem harus diperluas dengan cara yang jelas.

Law A. M dan Kelton W. D (2000) mengategorikan sistem menjadi dua jenis yaitu sistem diskrit (discrete) dan sistem kontinyu (continuous). Sistem diskrit adalah satu dimana variabel keadaan berubah seketika pada titik-titik terpisah pada waktunya. Sistem kontinyu adalah satu dimana variabel keadaan berubah secara terus menerus berkenaan dengan waktu. Beberapa sistem dalam praktiknya sepenuhnya diskrit atau sepenuhnya kontinyu, namun karena satu jenis perubahan

mendominasi sebagian besar sistem, biasanya dimungkinkan untuk mengklasifikasikan suatu sistem sebagai diskrit atau kontinyu.

Pada beberapa titik dalam kehidupan sebagian besar sistem, ada kebutuhan untuk mempelajarinya untuk mencoba mendapatkan beberapa wawasan tentang hubungan di antara berbagai komponen, atau untuk memprediksi kinerja dalam beberapa kondisi baru yang dipertimbangkan. Gambar 2.4 berikut ini memetakan berbagai cara sistem dapat dipelajari (Law A. M dan Kelton W. D, 2000).



Gambar 2. 1 Cara untuk Belajar Sebuah Sistem

- *Experiment with the Actual System vs Experiment with a Model of the System:* Jika memungkinkan untuk mengubah sistem secara fisik dan kemudian membiarkannya beroperasi di bawah kondisi baru, mungkin diinginkan untuk melakukannya, karena dalam kasus ini tidak ada pertanyaan tentang apakah studi yang kita pelajari itu relevan. Namun, karena eksperimen semacam itu seringkali terlalu mahal atau terlalu mengganggu sistem. Misalnya, bank mungkin mempertimbangkan untuk mengurangi jumlah teller untuk menurunkan biaya, namun sebenarnya mencoba hal ini dapat menyebabkan lama waktu tunggu pelanggan menjadi lama. Contoh situasi ini mungkin fasilitas manufaktur fleksibel modern, atau sistem senjata nuklir strategis.

Untuk alasan ini, biasanya diperlukan untuk membangun model sebagai representasi sistem dan mempelajarinya sebagai pengganti sistem yang sebenarnya. Bila menggunakan model, selalu ada pertanyaan apakah secara akurat mencerminkan sistem untuk tujuan keputusan yang akan dibuat; pertanyaan tentang validitas model ini dibahas secara rinci dalam Bab. 5.

- *Physical Model vs. Mathematical Model*: Contoh model fisik (juga disebut model ikonik), dan bukan tipikal jenis model yang biasanya menarik dalam riset operasi dan analisis sistem. Physical Model untuk mempelajari teknik atau sistem manajemen. Namun sebagian besar model yang dibangun untuk tujuan semacam itu bersifat matematis, mewakili sistem dalam hal hubungan logis dan kuantitatif yang kemudian dimanipulasi dan diubah untuk melihat bagaimana model bereaksi, dan dengan demikian bagaimana sistem akan bereaksi. Jika model matematisnya adalah yang valid Mungkin contoh sederhana dari model matematis adalah hubungan yang akrab dengan $r = rt$, di mana r adalah laju perjalanan, t adalah waktu yang dihabiskan untuk bepergian, dan d adalah jarak yang ditempuh. Ini mungkin memberikan model yang valid.
- *Analytical Solution vs Simulation*: setelah membangun model matematis, maka harus diperiksa untuk melihat bagaimana hal itu dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan yang menarik tentang sistem yang seharusnya diwakili. Jika modelnya cukup sederhana, memungkinkan untuk bekerja dengan hubungan dan kuantitasnya untuk mendapatkan solusi analitis yang tepat. Dalam contoh $d = rt$, jika kita mengetahui jarak yang harus ditempuh dan kecepatannya, maka kita bisa bekerja dengan model untuk mendapatkan $t = d/r$ sebagai waktu yang dibutuhkan. Ini adalah solusi closed-form yang sangat sederhana yang bisa didapat hanya dengan kertas dan pensil, namun beberapa solusi analitis dapat menjadi luar biasa kompleks, membutuhkan sumber daya komputasi yang luas. Namun, banyak sistem sangat kompleks, sehingga model matematis yang valid dari mereka adalah kompleks, sehingga menghalangi kemungkinan solusi analitis. Dalam kasus ini, model harus dipelajari melalui simulasi, yaitu menggunakan model input secara numerik untuk melihat bagaimana dampaknya terhadap ukuran kinerja.

2.4.2 Pemodelan

Terdapat beberapa cara untuk dapat merancang, menganalisis dan mengoperasikan suatu sistem. Salah satunya adalah dengan melakukan pemodelan yaitu membuat model dari sistem tersebut. Model adalah sebuah rancangan yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sebuah sistem. Model juga sebagai alat komunikasi yang sangat efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu merangsang untuk meningkatkan atau memperbaikinya. Dengan membuat model dari sistem maka diharapkan dapat lebih mudah untuk melakukan analisis. Dalam membuat suatu model harus dimulai dari bentuk yang paling sederhana dengan cara mendefinisikan permasalahan secara detail, selanjutnya digunakan analisis sensitivitas untuk membantu menentukan rincian model. Menurut Suryani (2006), dalam buku Pemodelan dan Simulasi, model merupakan representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus perhatian dan menjadi pokok permasalahan. Pemodelan dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan model dari sistem tersebut dengan menggunakan bahasa tertentu. Sebuah pemodelan akan diterima jika hasil dari pemodelan tersebut valid.

2.4.3 Simulasi

Menganalisis proses dalam bentuk model dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer. Simulasi merupakan penyelesaian persamaan matematis secara bertahap dari suatu sistem untuk mengetahui perubahan yang terjadi, sehingga dapat dipelajari perilaku sistem tersebut. Metode simulasi mempunyai keunggulan yaitu pada kemampuannya memberikan informasi secara cepat. Beberapa pengertian simulasi menurut para ahli dalam (Suryani, 2006):

1. Hoover dan Perry (1990) Merupakan sebuah proses perancangan model matematis atau logis dari sistem nyata, melakukan eksperimen terhadap model dengan menggunakan komputer untuk menggambarkan, menjelaskan dan memprediksi perilaku sistem.
2. Law dan Kelton (1991) Didefinisikan sebagai sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu.

3. Khosnevis (1994) Merupakan sebuah proses aplikasi untuk membangun model dari sistem nyata atau usulan sistem, melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem atau untuk membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan.

Simulasi merupakan konsep yang cukup fleksibel untuk dapat mengerjakan masalah yang sulit untuk dipecahkan dengan model matematis. Model simulasi juga efektif jika digunakan untuk sistem yang relatif kompleks. Penggunaan simulasi akan memberikan wawasan yang lebih luas pada pihak manajemen dalam menyelesaikan suatu masalah. Berikut ini kelebihan dari pemanfaatan simulasi sebagai berikut (Suryani, 2006):

- a) Tidak semua sistem dapat direpresentasikan dalam model matematis, simulasi merupakan alternatif yang tepat.
- b) Dapat bereksperimen tanpa adanya resiko pada sistem nyata. Dengan simulasi memungkinkan untuk melakukan percobaan terhadap sistem tanpa harus menanggung risiko terhadap sistem yang berjalan.
- c) Simulasi dapat mengestimasi kinerja sistem pada kondisi tertentu dan memberikan alternatif desain terbaik sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.
- d) Simulasi dapat memungkinkan untuk melakukan proyeksi jangka panjang dalam waktu relatif singkat.
- e) Dapat menggunakan inputan data yang bervariasi.

Simulasi juga memiliki kekurangan diantaranya sebagai berikut (Suryani, 2006) :

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

2.5. Sistem Dinamik

Sistem Dinamik adalah metode untuk meningkatkan pembelajaran dalam sistem yang kompleks (Stermann, J. D, 2000). Sistem dinamik difokuskan pada penentuan kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut menentukan tingkah laku masalah-masalah yang dapat dimodelkan. Metodologi sistem dinamik yang dimodelkan adalah berupa struktur informasi sistem yang didalamnya terdapat sumber informasi dan jaringan aliran informasi yang saling terhubung. Penerapan sistem dinamik ini bisa digunakan dalam berbagai bidang seperti dalam bidang sosial, ekonomi, manajerial atau ekologi yang kompleks. Model sistem dinamik dapat dinyatakan dan dipecahkan secara numerik dalam sebuah bahasa pemrograman. Software atau tools yang dapat digunakan untuk mendukung pembuatan model sistem dinamik seperti Dynamo. Simile, Powersim, Vensim, I-think dan lain-lain.

Sistem dinamika (SD) menggabungkan matematika dan simulasi komputer untuk mengeksplorasi perilaku sistem dunia nyata, hubungan dan proses dari waktu ke waktu (Neuwirth, Peck, and Simonović 2015). Ciri terpenting dari sistem dinamik adalah untuk menjelaskan struktur endogen sistem yang sedang diteliti, untuk mengidentifikasi bagaimana elemen-elemen yang berbeda dari sistem tersebut berhubungan satu sama lain, dan untuk bereksperimen dengan perubahan hubungan dalam sistem ketika keputusan yang berbeda dimasukkan (Zhang et al. 2011). Permasalahan dalam sistem dinamik merupakan permasalahan yang menggambarkan hubungan umpan balik atau sistem umpan balik. Proses umpan balik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu (Suryani, 2006).

1. Umpan balik positif

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

2. Umpan balik negative

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. Perilaku yang paling kompleks biasanya timbul dari interaksi (feedback) antara komponen dari suatu sistem, bukan dari kompleksnya komponen tersebut. Namun sistem dinamik dapat menjadi lebih kompleks. Sistem Dinamik menekankan pada banyak loop, banyak kondisi, karakter nonlinear dari feedback system di kehidupan nyata. Menurut Sterman, J. D (2000) Dynamics Complexity timbul karena sistem bersifat:

1. *Dynamic*, perubahan sistem terjadi pada banyak skala waktu, dan perbedaan skala waktu ini kadang saling berinteraksi.
2. *Tightly coupled*, pelaku dalam sistem berinteraksi kuat dengan yang lainnya dan dunia sekelilingnya. Semuanya terhubung dengan yang lainnya.
3. *Governed by feedback*, karena kaitan erat diantara para pelaku, maka kegiatan di antara mereka saling feedback. · Nonlinear, suatu akibat kadang jarang sesuai dengan sebab. Nonlinieritas kadang berasal dari dasar fisik suatu sistem. Nonlinieritas juga timbul ketika berbagai faktor saling berhubungan dalam pengambilan keputusan.
4. *History-dependent*, pengambilan satu jalan sering menghalangi pengambilan yang lain dan menentukan dimana kita berakhir (ketergantungan alur).
5. *Self-organizing, dynamics* suatu sistem timbul secara spontan dari internal strukturnya. Seringkali sedikit gangguan kecil secara acak diperbesar dan dibentuk oleh struktur feedback, membangkitkan pola di dalam ruang dan waktu dan menciptakan ketergantungan alur.
6. *Adaptive*, adaptasi terjadi seperti orang yang belajar dari pengalaman, terutama ketika mereka belajar cara baru untuk mencapai tujuannya sewaktu mereka menghadapi rintangan.
7. *Counterintuitive*, dalam sistem yang kompleks sebab dan akibat jauh dalam ruang dan waktu ketika kita cenderung untuk mencari sebab yang mendekati kejadian yang kita cari untuk dijelaskan. Perhatian kita tertuju pada gejala- gejala yang rumit daripada mendasari penyebabnya.

8. *Policy resistant*, kompleksitas dari suatu sistem yang kita sertakan pada kemampuan kita untuk memahaminya, hasilnya malah banyak solusi yang nampaknya jelas nyata ke permasalahan gagal atau malah menambah buruk situasi.
9. *Characterized by trade-offs*, waktu tunda pada saluran umpan balik berarti respons jangka panjang dari sistem untuk intervensi selalu berbeda dari respons jangka pendeknya.

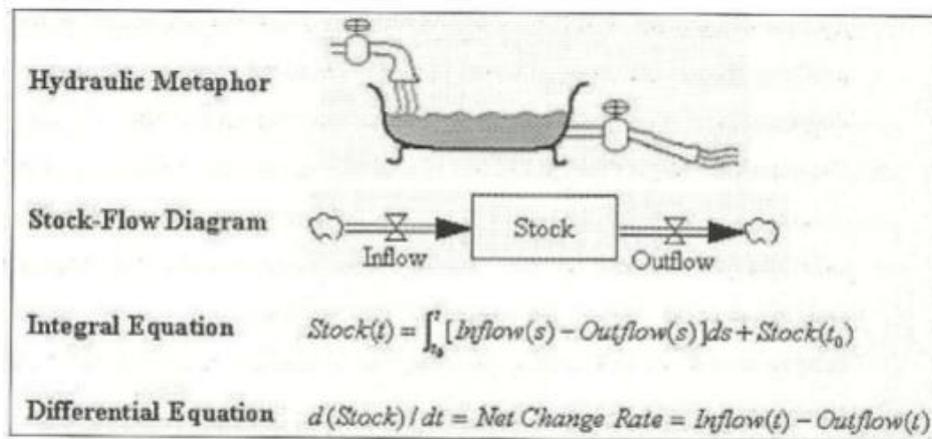
Hubungan sebab akibat dapat merupakan hubungan positif atau Reinforcing dengan simbol + atau R, maupun hubungan negatif atau Balancing dengan simbol – atau B. Simbol-simbol pada CLD dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 4 Simbol CLD

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

Stock Flow Diagram (SFD) sebagai konsep sentral dalam teori sistem dinamik. Menggambarkan struktur secara fisik, yang mana stock merupakan akumulasi yang dapat bertambah dan berkurang, sedangkan flow adalah proses yang menyebabkan stock bertambah atau berkurang. (Sternan, J. D, 2000) menjelaskan empat representasi setara atau ekuivalen dengan struktur stock dan flow : Hydraulic Metaphor, Stock-Flow Diagram, Integral Equation dan Differential Equation pada Gambar 2.5 (Sternan, J. D, 2000). Dalam Hydraulic Metaphor stok diwakili melalui air di bak mandi setiap saat. Jumlah air di bak mandi meningkat (air yang mengalir melalui keran) atau menurun (air yang mengalir

keluar melalui saluran pembuangan), tidak termasuk faktor-faktor luar seperti penguapan. Untuk Stock-Flow Diagram telah memiliki makna matematika tidak ambigu sebagai stock terakumulasi flow-nya. Stock meningkatkan arus masuk melalui bahan dan penurunan arus keluar melalui materi. Untuk Integral Equation menggambarkan prinsip saham-aliran yang sama, sebagai Stock baru (t) didefinisikan melalui Stock awal (t₀) ditambah semua Inflow (t) dikurangi dengan Outflow (t).



Gambar 2. 2 Representasi Struktur Stock and Flow

Pada model yang telah dibuat, data kuantitatif dimasukan dengan mengklik variabel-variabel yang tersedia seperti level, rate, dan auxiliary. Kemudian nilai atau formula matematika di inputkan ke dalam variabel-variabel tersebut untuk mengkalkulasi model. Adapun definisi dari masing-masing jenis variabel tersebut adalah sebagai berikut.

1. Variabel Level

Level merupakan variabel yang menyatakan akumulasi sejumlah benda, contohnya jumlah produksi padi. Level dipengaruhi oleh variabel rate dan dalam Vensim dinyatakan dengan simbol persegi panjang.

2. Variabel Rate

Rate adalah penambahan atau pengurangan pada level per satuan waktu. Dalam Vensim, rate dinyatakan dengan simbol seperti berikut:

3. *Auxiliary*

Auxiliary adalah merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan informasi antara level dan rate, variabel ini dihitung dari variabel lain. Simbol variabel ini adalah sebuah lingkaran. 

Selain variabel-variabel tersebut, terdapat beberapa simbol yang berlaku lainnya yaitu simbol sumber (source dan sink), garis-garis aliran, titik awal informasi, heksagonal untuk konstanta, dan tabel.

2.6 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini terdapat beberapa penelitian terdahulu terkait dengan pendekatan sistem dinamik yang berguna sebagai referensi dalam menyusun penelitian.

1. Penelitian dengan judul “A GIS-based Logic Scoring of Preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture” (Dujmovic et al. 2016). Pertumbuhan daerah perkotaan dan intensifikasi industri telah berkontribusi pada pengurangan lahan pertanian yang berharga dan berbagai dampak lingkungan termasuk perubahan iklim. Pengurangan lahan pertanian yang sangat berdampak pada produksi pangan dan ketahanan pangan. Untuk mengatasi masalah tersebut menggunakan metode analisis dan optimisasi spasial berdasarkan pada evaluasi beberapa kriteria spasial diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan dan kesesuaian lahan yang tersedia untuk produksi pangan saat ini dan masa depan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan metode Logic Scoring of Preference (LSP) berbasis GIS sebagai metode perbaikan pengambilan keputusan multikriteria untuk mengevaluasi area yang cocok untuk pertanian. Kriteria evaluasi meliputi atribut tanah, topografi, iklim, ekonomi, penggunaan lahan dan aksesibilitas. Perpanjangan penelitian untuk masa depan untuk fokus pada validasi dan sensitivitas variasi dalam kriteria dan parameter serta evaluasi tanaman tertentu.
2. Penelitian dengan judul “Future Scenarios of Land-Use Suitability Modeling for Agricultural Sustainability in a River Basin” (Sahoo et al. 2018) Penelitian ini mengidentifikasi zona kesesuaian penggunaan lahan

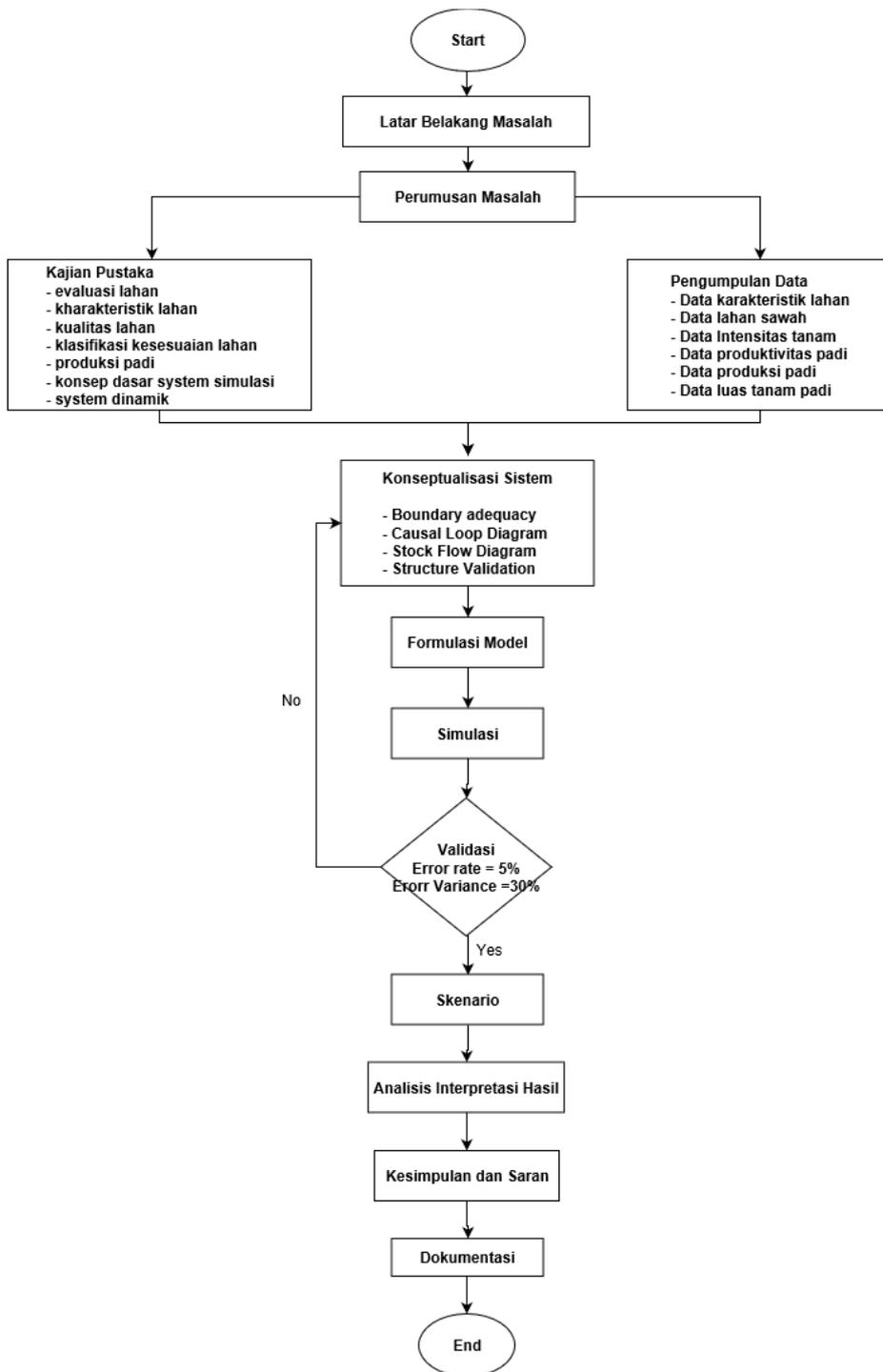
masa depan menggunakan AHP di daerah aliran sungai. Model simulasi dinamis digunakan untuk skenario perubahan kesesuaian lahan dimasa depan, dengan analisis parameter perubahan iklim dengan tiga skenario pada tahun 2030, 2050 dan 2080. Hasil dari penelitian tersebut perubahan kesesuaian penggunaan lahan mungkin terjadi karena pertumbuhan populasi yang cepat, urbanisasi, dan pengembangan industri. Penelitian tersebut mengungkapkan keterbatasan yaitu akan lebih akurat jika lebih banyak faktor yang dipertimbangkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang digunakan untuk mengembangkan model SD yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik terhadap penilaian kesesuaian lahan dalam meningkatkan produksi panen pada sektor pertanian di masa depan. Untuk melakukannya, interkoneksi banyak komponen harus dievaluasi. Dengan usulan komponen model utama yaitu input, *System Dynamics* (SD), dan output.



Gambar 3. 1. Metodologi Penelitian

3.1 Kajian Pustaka

Pada tahapan kajian pustaka diperlukan untuk memperkuat dasar teori guna mendukung pengerjaan dan penelitian tesis. Pencarian dilakukan pada jurnal yang relevan atau penelitian terdahulu, terkait risiko banjir pada sektor pertanian, serta cara meningkatkan mitigasi banjir, khususnya di provinsi Jawa Timur.

3.2 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini pengumpulan data yang dilakukan menjadi tahapan yang cukup penting, karena merupakan inputan bagi model yang akan dibangun. Pengumpulan data dilakukan melalui penggalian informasi dari berbagai sumber yang berkaitan seperti artikel atau paper, situs bank data, dan penelitian sebelumnya. Data penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu, data sekunder dan data primer. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini digunakan sebagai bahan referensi perkembangan keadaan karakteristik lahan pada sektor pertanian saat ini seperti , curah hujan, temperatura, ketersediaan oksigen, irigasi, media perakaran, gambut, hara tersedia, penyiapan lahan serta bahaya yang berkaitan dengan kesesuaian lahan pada sektor pertanian yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Pertanian, Pusat Data Informasi dan lembaga lainnya yang terkait, baik dalam bentuk publikasi tercetak maupun website.

Selain itu data sekunder lainnya yang digunakan adalah penelitian terkait penerapan sistem dinamik dan penilaian kesesuaian lahan pada sektor pertanian. Data-data tersebut digunakan sebagai bahan untuk pembuatan model dan untuk keperluan referensi penelitian. Sedangkan data primer nantinya digunakan untuk keperluan pemodelan sistem yang akan disimulasikan, sehingga dapat membandingkan data real dengan data hasil skenario model dalam jangka panjang. Pengambilan data data ini didapatkan dengan beberapa cara, diantaranya pengamatan langsung, survey, wawancara atau pendapat langsung dari pakar yang kompeten dalam proses mitigasi banjir pada sektor pertanian di wilayah Jawa Timur.

3.3. Pengembangan Model

Dalam tahapan pengembangan model sistem dinamik terdapat empat tahapan yang akan dilakukan yaitu tahapan boundary adequacy, pengembangan causal loop diagram, validasi struktural, dan formulasi model (stock flow diagram).

3.2.1 Boundary Adequacy

Pada tahapan *boundary adequacy*, dijelaskan apakah konsep dan struktur penting untuk mengatasi masalah kebijakan bersifat endogen terhadap model. Tabel dibawah menjelaskan variabel endogen dan eksogen pada model. Pengembangan model terbagi dalam 3 submodel yaitu *economic agriculture model*, *physical model*, dan *policy model*. Penelitian ini dijumpai hubungan antara suatu variable dengan satu atau lebih variable lain. Sebagai contoh variable apa saja yang menentukan tingkat kesesuaian lahan sawah dan bagaimana pengaruhnya terhadap peningkatan produksi panen pertanian.

Pola antara dua atau lebih variable dapat diamati berdasarkan dua hal yaitu keeratan hubungan dan bentuk hubungan. Untuk melihat keeratan hubungan digunakan analisis korelasi. Dan untuk mengetahui bentuk peramalan menggunakan pola yang mengikuti model regresi. Model regresi adalah teknik statistika yang berguna untuk memeriksa dan memodelkan hubungan diantara variabel-variabel. Pada bentuk hubungan penelitian ini memperlihatkan pola hubungan sebab akibat antar satu variable dengan satu atau lebih variable lain. Teknik dalam model sebab akibat (*causing modelling*) yang didasarkan pada alasan yang bahwa analisis jalur memungkinkan pengguna dapat menguji proposisi teoritis mengenai hubungan sebab dan akibat tanpa memanipulasi variable-variabel. Memanipulasi variabel maksudnya ialah memberikan perlakuan (*treatment*) terhadap variabel-variabel tertentu dalam pengukurannya. Dalam persamaan simultan, variabel dibedakan menjadi variabel eksogen (*Exogenous*) dan endogen (*Endogenous*).

3.2.2 Validasi Struktural

Validasi struktural adalah tahapan mendasar dalam proses validasi keseluruhan. Untuk validasi struktural struktural, pendekatan dua cabang diterapkan. Pertama, selama pembangunan model, menggunakan (i) kasus-spesifik

data di Jawa Timur (atau pengetahuan yang tersedia tentang sistem nyata), dan (ii) sub-model / struktur dari model domain yang ada.

Diagram kausatik dari evaluasi tingkat kesesuaian lahan dalam meningkatkan produksi panen pertanian khususnya untuk komoditas tanaman padi dengan mengacu pada (BBSDLP, 2013 dengan beberapa modifikasi hasil FGD 2016) dan dari berbagai sumber literatur dengan melakukan verifikasi kepada pemangku kepentingan dinas pertanian di Jawa Timur. Evaluasi tingkat kesesuaian lahan pertanian dengan persyaratan penggunaan lahan termasuk persyaratan tumbuh tanaman.

Penilaian kesesuaian lahan memerlukan sifat-sifat fisik tanah / lahan dan lingkungan yang dirinci dalam kualitas lahan, dimana masing-masing kualitas lahan dapat dapat terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (FAO, 1983). Sebaran tanah dibedakan berdasarkan sifat-sifatnya kedalaman efektif tanah, batuan induk, sifat fisika dan kimia, drainase), termasuk topografi/relief dan iklim setempat. Pemisahan sifat-sifat tanah kedalam satuan- satuan pemetaan tanah (atau satuan lahan) sangat penting untuk keperluan penilaian dan analisis potensi/ kesesuaian lahan bagi suatu tipe penggunaan lahan pertanian Kelas kesesuaian lahan disimbolkan dengan kelas Sesuai (Suitable = S1, S2, S3,) dan tidak sesuai (not suitable =N) untuk menunjukkan tingkat kesesuaiannya. Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian mengacu pada Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian.

Penelitian evaluasi tingkat kesesuaian lahan dilakukan terhadap komoditas pertanian strategis yaitu tanaman padi, dengan melakukan pencocokan antara kualitas/karakteristik lahan dengan persyaratan penggunaan lahan termasuk persyaratan tumbuh tanaman (*landuse requirement*) berdasar petunjuk sistem penilaian kesesuaian lahan. Evaluasi dilakukan berdasarkan pada kondisi saat ini (*existingland use*), yaitu penilaian sebelum dilakukan tindakan pengolahan lahan. Kelas kesesuaian lahan ini menggambarkan potensi lahan secara aktual, kendala pemanfaatan dan perbaikan (*improvement*) yang diperlukan. Hasil evaluasi merupakan data tabular kelas kesesuaian lahan komoditas tanaman padi berdasar satuan tanah, dengan disimbolkan dengan S1, S2, S3 dan N untuk menunjukkan tingkat kesesuaiannya. Dan untuk memperbaiki akan dilakukan beberapa skenario

dalam tingkat kesesuaian lahan yang nantinya dapat berpengaruh terhadap meningkatnya produksi panen pertanian tersebut.

Tabel 3. 1 Karakteristik Lahan yang digunakan dalam Evaluasi Lahan

Deskripsi	Satuan
Temperature rerata	(0C)
Ketinggian	m
Curah Hujan	mm
Kelembaban	%
Kedalaman Tanah	cm
Ketebalan gambut	cm
Kematangan gambut	
KTK Tanah	cmol
Kejenuhan basa	%
pH H ₂ O	
C-Organik	%
Salinitas	dS/m
Alkalinitas/ESP	%
Kedalaman sulfidik mineral	
Lereng	%
Bahaya erosi	
Batuan permukaan	%
Singkapan batuan	%

Tahapan verifikasi lapangan dengan tujuan untuk pengecekan hasil evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman padi yang dievaluasi. Verifikasi dilakukan pada daerah potensial dan pada daerah kurang potensial. Apabila hasil evaluasi kesesuaian lahan tidak sesuai dengan kenyataan pertumbuhan tanaman dilapangan, maka perlu dilakukan penelusuran terhadap parameter dan kriteria kesesuaian lahan, karakteristik lahan, penerapan teknologi dan pertumbuhan produksi tanaman. Sehingga hasil tersebut dapat memberikan beberapa keputusan strategis kepada pemangku kepentingan.

3.3 Pengolahan Data (Flow Diagram)

Pada tahapan ini, dari model kausatik yang sudah dibuat, selanjutnya model tersebut akan diterjemahkan menjadi model sistem dinamik yang digambarkan melalui diagram stock dan flow (flow diagram). Diagram tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam merancang skenariosasi serta melakukan analisis dari hasil yang dikeluarkan. Dalam pembuatan flow diagram ini terdapat beberapa komponen untuk membetuknya.

1. *Level*: Sebuah Kuantitas yang terakumulasi dari waktu ke waktu dan nilainya dirubah dengan mengakumulasikan nilai Rate.
2. *Rate*: Merupakan aliran yang mengubah nilai level
3. *Auxiliary*: Merepresentasikan formulasi yang dapat mempengaruhi rate atau variabel lainnya
4. *Source* dan *Sink*: Source adalah sistem diluar batasan model, Sink adalah Terminasi sistem

Selanjutnya dari tiap-tiap variabel 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.

3.4 Verifikasi Dan Validasi

Hasil dari model flow diagram yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses Verifikasi dan Validasi. Verifikasi adalah proses pengecekan terhadap model apakah sudah tidak terjadi kesalahan. Verifikasi dilakukan dengan cara memeriksa formulasi yang sudah dibuat sudah sesuai hubungan variabel dengan variabel lain dan memeriksa satuan satauan variabel dalam model. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, maka model telah terverifikasi. Selanjutnya dilakukan proses Validasi untuk memastikan apakah model sudah sesuai menggambarkan kondisi sistem nyatanya. Proses Validasi ini dilakukan dengan dua cara pengujian yaitu validasi model dengan tatistik Uji Perbandingan Rata-Rata (mean comparison) atau dengan validasi model dengan Uji Perbandingan Variasi Aplitudo (% error variance) (Barlas, 1989).

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

$$b. E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \quad (1)$$

Keterangan:

\bar{S} = Nilai Rata-rata Hasil Simulasi

\bar{A} = Nilai Rata-Rata Data

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

c. Uji Perbandingan Variasi Amplitudo (% Error Variance)

$$d. E_2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \quad (2)$$

Keterangan:

S_s = Standar Deviasi Model

S_a = D standar Deviasi Data

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

3.5 Membuat Skenario Model

Pada tahapan ini, model yang telah dibuat diberi beberapa perlakuan model dengan membuat scenario (eksperimen) pada penilaian tingkat kesesuaian lahan di sektor pertanian. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui proses yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik. Dua alternatif skenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik, yaitu (Suryani, 2006):

1. 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.

2. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga di dapat 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.

3.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Simulasi

Data hasil simulasi skenario model yang sudah dibuat kemudian akan dilakukan analisis untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan pada hasil yang diinginkan, pada tahapan ini dapat diputuskan kebijakan yang terbaik terhadap proses penilaian tingkat kesesuaian lahan pada sektor pertanian dalam meningkatkan produksi panen pertanian provinsi Jawa Timur.

3.7 Membuat Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan kesimpulan hasil yang diperoleh dan kemudian memberikan saran-saran yang berkaitan dengan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai pengembangan model peningkatan kesesuaian lahan dalam meningkatkan produksi padi di Jawa Timur. Dalam penelitian ini pengembangan model dilakukan dengan menganalisis kondisi saat ini dan mengumpulkan data terkait variable yang signifikan.

4.1 Identifikasi Tingkat Kesesuaian Lahan

Tanah adalah faktor utama dalam menentukan kesesuaian suatu area untuk pertanian (Worqlul et al. 2017). Penggunaan lahan pertanian melibatkan penilaian potensi lahan serta permintaan lahan untuk berbagai tanaman untuk mengidentifikasi unit lahan yang optimal untuk masing-masing jenis tanaman (van Delden et al. 2010) (Pilehforoosha, Karimi, and Talei 2014). Permintaan akan lahan oleh berbagai tipe penggunaan lahan menentukan kapasitas kompetitif keseluruhan dari berbagai jenis penggunaan lahan, tetapi kesesuaian lahan merupakan penentu utama kapasitas kompetitif dari berbagai jenis penggunaan lahan di lahan tertentu (Luo et al. 2010). Pertumbuhan daerah perkotaan dan intensifikasi industri telah berkontribusi pada pengurangan lahan pertanian yang berharga, ini sangat berdampak pada produksi pangan dan ketahanan pangan (Dujmovic et al. 2016). Pemanfaatan lahan saat ini ditentukan dari data tutupan lahan dengan membandingkan penggunaan pertanian saat ini dan yang optimal, (Trodahl et al. 2016) mengidentifikasi lokasi yang tampaknya kurang atau terlalu dimanfaatkan dan menunjukkan di mana perubahan dalam penggunaan lahan atau pengelolaan dapat bermanfaat. Degradasi tanah yang sedang berlangsung ini mengurangi kemampuan jangka panjang tanah untuk menyediakan layanan bagi manusia, termasuk produksi pangan di masa depan, dan menyebabkan kerusakan lingkungan (Kopittke et al. 2019). Kesesuaian lahan yang terutama tergantung pada faktor lingkungan seperti kondisi medan, suhu, topografi, iklim, kelembaban tanah, kemiringan, ketinggian, kelas tekstur tanah, bahan organik, kedalaman, air yang tersedia, drainase, curah hujan, dan fitur tanaman tertentu (van Delden et al. 2010)(Pilehforoosha et al. 2014). Perhitungan kesesuaian kelas penggunaan lahan

untuk kegiatan pertanian telah banyak dilakukan sebelumnya (Yalew, Griensven, and Zaag 2016) (Anderson and Rocek 2018). Evaluasi kesesuaian penggunaan lahan adalah salah satu masalah lingkungan yang analisisnya sering melibatkan sejumlah faktor kompleks dan saling terkait (Yalew et al. 2016). Evaluasinya memberikan informasi tentang kendala dan peluang untuk penggunaan lahan dan oleh karena itu memandu keputusan tentang pemanfaatan sumber daya secara optimal, yang pengetahuannya merupakan prasyarat penting untuk perencanaan dan pengembangan penggunaan lahan (Abdelrahman et al. 2016). Analisis kesesuaian lahan pertanian untuk produksi tanaman melalui penilaian potensi biofisik adalah salah satu alat utama untuk memastikan pertanian berkelanjutan dan untuk mencapai tujuan ketahanan pangan global (Zolekar and Bhagat 2015) (Akpoti et al. 2019). Pemahaman rinci tentang berbagai faktor manusia dan lingkungan yang mempengaruhi alokasi lahan di antara penggunaan pertanian dapat memfasilitasi kebijakan pertanahan yang lebih efisien dan tepat sasaran (Marcos-martinez et al. 2017). Kualitas lahan yang optimum bagi kebutuhan tanaman atau penggunaan lahan merupakan batasan bagi kelas kesesuaian lahan yang paling sesuai (S1). Sedangkan kualitas lahan yang di bawah optimum merupakan batasan kelas kesesuaian lahan antara kelas yang cukup sesuai (S2), dan/atau sesuai marginal (S3). Di luar batasan tersebut merupakan lahan-lahan yang secara fisik tergolong tidak sesuai (N).

4.2 Pengumpulan Data

Selain itu data historis yang digunakan dalam pengembangan model ini antara tahun 2007 sampai 2018 meliputi data Produksi Padi (ton), Produktivitas Padi (ton/ha), Luas Tanam (ha), Luas Lahan Sawah irigasi (ha), Luas Lahan Sawah Non Irigasi (ha) yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Jawa Timur.

4.2.1 Data Luas Lahan Sawah

Data historis mengenai luas lahan sawah dari tahun 2007 sampai 2018 mengalami perubahan penyusutan, dimana rata-rata dalam kurun waktu tersebut sebesar 1.169.879,34 Ha. Data mengenai luas lahan sawah irigasi dan non irigasi di provinsi Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Luas Lahan Sawah Irigasi dan Non Irigasi

Time (Year)	Irrigation Land	Non-Irrigation Land	Paddy Land Area Total
2007	911187	296022	1207209
2008	927454	245006	1172460
2009	927454	245040	1172494
2010	933681	239803	1173484
2011	931107	240697	1171804
2012	931107	240703	1171810
2013	928307	250957	1179264
2014	924513	252647	1177160
2015	851123	240629	1091752
2016	924514	252135	1176649
2017	916838	257749	1174586
2018	917403	253921	1171324

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur

4.2.2 Data Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi

Data historis yang digunakan dalam pengembangan model antara tahun 2007 sampai 2017 meliputi data luas panen (Ha), produktivitas padi (Kw/Ha), produksi padi (Ton) mengalami perubahan setiap tahunnya dimana rata-rata luas panen 1.857.744,64 Ha, Produktivitas padi 5,83 Kw/ha, dan produksi padi sebesar 11.722.105,09 ton. Masing-masing data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2. Data Luas Panen, Produktivitas dan Produksi Padi

Tahun	Luas Panen (Ha)	Produktivitas (Kw/Ha)	Produksi (Ton)
2007	1 632 669	55,30	9 029 176
2008	1 668 298	60,05	10 017 560
2009	1 787 354	60,19	10 758 398
2010	1 842 445	60,39	11 126 704
2011	1 807 393	55,49	10 029 728
2012	1 838 381	62,55	11 499 199
2013	1 897 816	60,01	11 387 903
2014	1 934 293	60,93	11 785 464
2015	2 021 766	62,15	12 565 824
2016	2 112 563	61,08	12 903 595
2017	2 136 412	58,19	12 432 793
2018	1 835 890	56,35	12 909 755

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur

4.2.3 Data Temperatur, Curah Hujan, Kelembaban

Data historis yang digunakan dalam pengembangan model antara tahun 2007 sampai 2017 meliputi data Temperature ($^{\circ}\text{C}$), Curah Hujan (mm), Kelembaban (%) mengalami perubahan setiap tahunnya dimana rata-rata Temperature $28,25^{\circ}\text{C}$, Curah Hujan 171,10 mm, dan Kelembaban 71,08 %. Masing-masing data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3

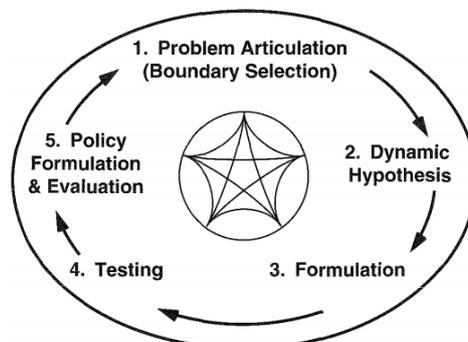
Tabel 4. 3 Data Temperatur, Curah Hujan, Kelembaban

Tahun	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Curah Hujan (mm)	Kelembaban (%)
2007	28,10	126,28	71,04
2008	27,99	125,24	71,04
2009	28,18	165,58	68,79
2010	27,94	241,25	73,83
2011	27,79	149,09	71,54
2012	28,03	115,79	69,92
2013	28,15	189,17	72,13
2014	28,22	165,02	70,38
2015	27,99	168,73	69,29
2016	28,65	248,07	73,38
2017	28,95	176,98	70,42
2018	29,04	182,05	70,42

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur

4.3 Pengembangan Model Penelitian

Pengembangan model penelitian ini terdiri dari 5 tahapan (Stermann, 2000) diantaranya problem articulation, dynamics hypothesis, formulating a simulation model, testing, dan policy design and evaluation. Berikut merupakan tahapan pemodelan berdasarkan Stermann (Stermann, 2000) pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Tahapan Pemodelan Stermann

Langkah pertama *problem articulation* untuk mendefinisikan permasalahan dalam sistem pertanian padi di Jawa Timur. Langkah kedua *formulating a dynamics hypothesis* untuk merumuskan hipotesis awal untuk membentuk proses pemodelan meliputi pembuatan subsystem diagram pertanian, *model boundary chart* pertanian, *causal loop diagram*, dan *stock and flow*. Langkah ketiga *formulating a simulation model* untuk menguji *hypothesis* 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 adalah *policy design and evaluation* mencakup pembuatan strategi, struktur, dan aturan keputusan yang sepenuhnya baru

4.4 Problem Articulation

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai identifikasi dan analisis dari seluruh informasi yang dapat digali dalam memberikan solusi yang tepat guna menciptakan keberlanjutan sistem pertanian yang baik di Jawa Timur. Pertanian di Jawa Timur merupakan salah satu roda penggerak perekonomian nasional yang menghasilkan bahan pangan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Peningkatan produktivitas menjadi prioritas utama dalam sector pertanian. Peningkatan jumlah penduduk menuntut sektor pertanian untuk lebih produktif dalam mencukupi kebutuhan pangan. Dalam sepuluh tahun terakhir pertumbuhan produksi padi dari tahun 2007 sampai tahun 2018 adalah 3,2%. Peningkatan dapat terjadi apabila terus dikembangkan nya sistem irigasi pada setiap área sawah. Dari data terahir luas lahan sawah irigasi di Jawa Timur mencapai 917.403 hektar dari jumlah total sawah irigasi dan non irigasi 1.171.324 hektar. Jawa Timur mempunyai masalah dalam pembangunan bidang pangan. Yaitu menyusutnya lahan pertanian sebesar 1.950 hektar setiap tahunnya karena alih fungsi lahan untuk keperluan infrastruktur, jalan, perumahan, perkantoran, dan sebagainya (Badan Pusat Statistik 2018)

Pertanian di Jawa Timur saat ini dapat dikatakan mengalami perkembangan yang cukup pesat. Tetapi masih terdapat beberapa permasalahan yang menghambat, salah satunya adalah penurunan kualitas lahan pertanian yang diakibatkan oleh berbagai faktor diantaranya perubahan iklim yang menyebabkan degradasi lahan

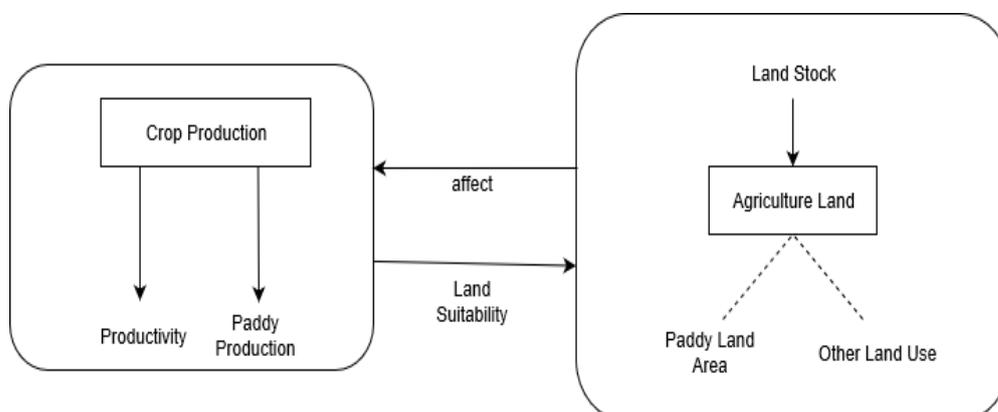
sehingga terjadinya penurunan produktivitas pada lahan pertanian sebesar 50%. Produktivitas lahan akan semakin menurun karena tanah terdegradasi yang berlebihan akibat dari praktik pertanian yang buruk. Oleh karena itu, perlu adanya kebijakan untuk memulihkan tanah yang terdegradasi sehingga dapat menjaga hasil produktivitas panen pertanian demi ketahanan pangan nasional.

4.5 *Dynamics Hypothesis*

Setelah permasalahan telah diidentifikasi dan ditandai dengan tepat, pemodel mulai melakukan untuk pengembangan teori, yang disebut “*dynamics hypothesis*” untuk memperhitungkan perilaku sistem yang bermasalah. Hipotesis tersebut adalah merupakan dinamika karena harus memberikan penjelasan mengenai dinamika *characterizing* masalah dalam hal yang mendasari umpan balik dan stok dan aliran struktur system.

4.5.1 *Sub Sistem Diagram*

Berdasarkan faktor-faktor yang dipilih di atas, setelah analisis kompleks hubungan antara subsistem, diagram aliran lima sub-sistem ini diperoleh menggunakan program perangkat lunak vensim, yang merupakan paket perangkat lunak simulasi untuk meningkatkan kinerja sistem nyata, yang digunakan untuk mengembangkan, menganalisis, dan Kemas sistem model umpan balik dinamis. Diagram dan persamaan model menggambarkan perilaku internal dari masing-masing sub sistem dan hubungan antara faktor-faktor dan subsistem lainnya ditunjukkan sebagai bahan-bahan tambahan. Berikut merupakan gambaran sub system dalam tingkat kesesuaian lahan pertanian ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Subsystem Diagram

a. *Land Area Sub system*

Luas area padi dipengaruhi oleh tingkat pembukaan lahan dan luas tanah konversi lahan padi. Seiring dengan peningkatan populasi menjadikan sumber daya lahan terbatas. Ketika konversi lahan terjadi di area lahan padi, hal ini akan mempengaruhi jumlah padi ketersediaan lahan, yang juga akan mempengaruhi luas area panen. Konversi lahan padi karena perubahan lahan menjadi perumahan penduduk, industri dan fasilitas lainnya. Namun, jika ada pembukaan lahan baru sebagai area lahan padi, hal ini akan meningkatkan ketersediaan luas area padi serta akan mempengaruhi besaran luas lahan dan produksi pertanian yang dihasilkan

b. *Crop Production Sub system*

Perencanaan dan pengelolaan rantai pasokan beras adalah sebuah tantangan untuk ketahanan pangan sejak produksi beras dipengaruhi ketersediaan luas lahan pertanian dan kebutuhan konsumsi per kapita beras yang dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi. Selain itu hasil produksi beras juga dipengaruhi oleh produktifitas lahan dan produksi padi, hal ini yang mempengaruhi produktifitas adalah dampak iklim dan cuaca antara lain faktor suhu dan curah hujan sepanjang tahun.

4.5.2 *Boundary Adequacy*

Boundary adequacy merupakan struktur yang menerangkan cakupan model yang dibuat dengan mengklasifikasikan beberapa variable yang ada ke dalam faktor *endogenous*, *exogenous* dan *excluded*. *Endogenous* merupakan faktor penting yang akan di formulasi/didefinisikan lebih lanjut kedalam tahap formulasi model simulasi. *Boundary adequacy* menilai apakah agregasi model sesuai dan model mencakup semua struktur yang relevan. Pada tahapan ini telah dilakukan dengan mewawancarai beberapa pakar di bidang pembangunan berkelanjutan pertanian, dengan mengarah kepada tinjauan literatur mengenai keakuratan pengujian ini diperoleh. Hasil pengujian memungkinkan mengumpulkan bukti bahwa faktor penting dan parameter menentukan perilaku dinamis sistem yang sebenarnya termasuk dalam model dan bahwa batas-batas dan tingkat detail menggambarkan sistem nyata dengan memadai (Dace, Elina 2015). 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). Batasan sistem untuk model sistem kesesuaian lahan pertanian untuk meningkatkan produktivitas padi ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4. Boundary Adequacy

Sub Model	Endogen Variabel	References	Exogen Variabel	References	Exclude	References
Land Suitability	Water Availability - Irrigation - Rainfal	(Adnan et al. 2017),(Russo , Tomaselli, and Pappalardo 2014), (Suryani et al. 2016),(Sun et al. 2019),(Amba rwulan, Santoso, and Sabiham 2016), (Hasaranga et al. 2018)	Slope	(Zolekar and Bhagat 2015),(Suryani et al. 2016)	Flood Hazard - Elevation - Puddle	(Zolekar and Bhagat 2015), (Pradesh 2013),(Suryani et al. 2016),(Mohamed et al. 2016)
	Nutrient Retention - C Organic - PH H2O - KTK Soil - Base Saturation	(Suryani et al. 2016),(Zolekar and Bhagat 2015),(Walters et al. 2016), (Adnan et al. 2017)	Temperature	(Pradesh 2013),(Suryani et al. 2016),(Alabyad-mafraq et al. 2018)	Climate Changes	(Akpoti et al. 2019),(De Silva et al. 2007),(Doe Iman et al. 2018),(Worqlul et al. 2019)
	Rooting Media - Humidity	(Suryani et al. 2016),(Pilehforoosha et al. 2014),(Bala et al. 2014)	Sulfidic Risk	(Suryani et al. 2016),(Zolekar and Bhagat 2015),(Li and Chen 2019)	Erosion Risk	(Vulevic et al. 2015)

Sub Model	Endogen Variabel	References	Exogen Variabel	References	Exclude	References
	Peat Land	(Suryani et al. 2016),(Pradesh 2013),(Xin et al. 2019)	Toksisitas - Salisitas	(Suryani et al. 2016),(Pradesh 2013),(Li and Chen 2019)	Soil Degradation Hazard	
	Oksigen Availability - drainase	[59](Xin et al. 2019),(Li and Chen 2019)	Sodisitas - Alkalinitas / ESP	(Suryani et al. 2016),(Pradesh 2013),(Li and Chen 2019)		
	Land Preparation - Surface Rock - Rock Outcrops	(Suryani et al. 2016),(Pradesh 2013),(Xin et al. 2019)				
Paddy Land Area	Irrigation Land Non-Irrigation Land	(Alabyad-mafraq et al. 2018),(Doelman et al. 2018),(Dujmovic et al. 2016)	Additional Land Area Conversion	(Dujmovic et al. 2016),(FAO 2011b),(Sharma, Kamble, and Gunasekaran 2018),(Jiang et al. 2017)	Government Regulations regarding the use of land	
Paddy Productivity	Seed Quality	(Zolekar and Bhagat 2015),(Abdelrahman et al. 2016),(Hasaranga et al. 2018)	Pest Attack	(Mohamed et al. 2016), (Hasaranga et al. 2018)		
	Harvest Area	(Pradesh 2013),(Rossiter and Wambeke 1997),(Band yopadhyay et al. 2009)				

Sub Model	Endogen Variabel	References	Exogen Variabel	References	Exclude	References
	Cropping Intensity	(Sharma et al. 2018),(Vasu et al. 2018),(Suryani et al. 2016)				
	Paddy Production	(Stuart et al. 2018)				
	Land Suitability	(Sahoo et al. 2018),(Amini et al. 2019)				

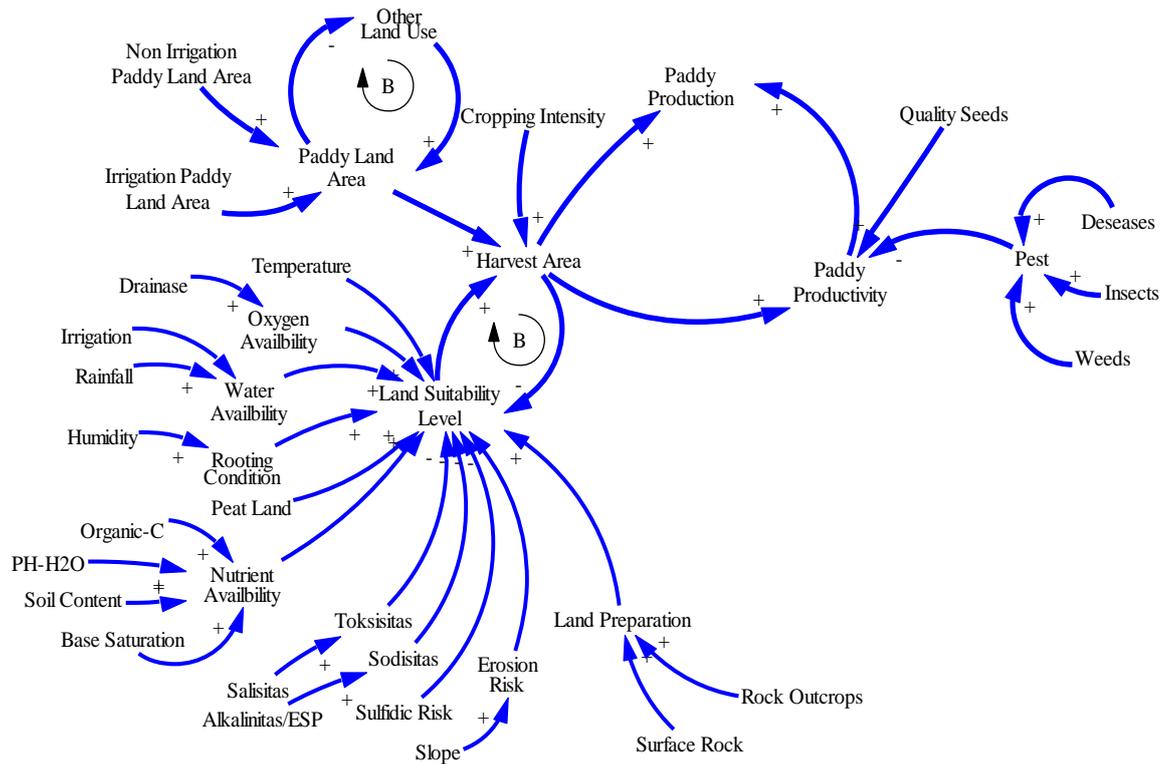
Dalam dinamika model pertanian, kondisi seperti temperatur, ketersediaan oksigen, ketersediaan air, irigasi, media perakaran, kelembaban, gambut, kandungan hara, penyiapan lahan (Suryani et al. 2016) (Abdelrahman et al. 2016)(Rizzalli et al. 2019) dan toksisitas, sodisitas, sulfidik, lereng (Trodahl et al. 2016) merupakan parameter yang mempengaruhi tingkat kesesuaian lahan sawah untuk tanaman padi. Bahaya banjir atau bencana dan perubahan iklim seperti genangan pada masa tanam, tinggi genangan, lama genangan (hari), bahaya erosi serta kondisi ketidakpastian dalam kondisi alam dikecualikan dalam model.

Luas lahan sawah diambil dari total luas lahan sawah irigasi dan non irigasi di Jawa Timur dalam sepuluh tahun terakhir sebagai variable endogen. Penambahan lahan atau konversi área lahan padi dimasukkan dalam variable eksogen untuk mengetahui beberapa hektar rata-rata lahan pertanian yang dialih fungsikan untuk keperluan lain. Selain itu serangan hama merupakan variable eksogen yang mempengaruhi produktivitas pertanian. Nilai awal luas panen dan produktivitas dimasukkan ke dalam model sebagai nilai awal untuk menghasilkan produksi padi yang diharapkan. Luas lahan padi, intensitas tanam, kualitas bibit padi, kesesuaian lahan sawah merupakan faktor-faktor relevan dengan tujuan model dan dipilih sebagai variabel endogen di model pertanian.

4.5.3 Causal Loop Diagram

Pada tahapan ini, setelah didapatkan variabel dan komponen terkait evaluasi tingkat kesesuaian lahan untuk meningkatkan produktivitas padi, maka selanjutnya

adalah melakukan pengembangan model. Dari model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah tingkat kesesuaian lahan untuk meningkatkan produktivitas padi. Berikut merupakan perumusan hubungan dan keterkaitan antar variabel dalam evaluasi tingkat kesesuaian lahan pertanian dalam meningkatkan produktivitas pertanian dalam Causal Loop Diagram seperti pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3. *Causal Loop Diagram Land Suitability Level for Agriculture*

Luas lahan sawah dipengaruhi oleh pembukaan lahan dan luas konversi lahan sawah (B). Seiring dengan perubahan menjadikan sumber daya lahan terbatas. Ketika konversi lahan terjadi di area lahan padi, hal ini akan mempengaruhi jumlah ketersediaan lahan padi. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap luas panen. Konversi lahan sawah karena perubahan lahan menjadi perumahan, infrastruktur, dan fasilitas lainnya. Namun, jika ada pembukaan lahan baru hal tersebut akan berpengaruh meningkatkan ketersediaan luas lahan yang akan berpengaruh meningkatkan besaran hasil luas panen.

Evaluasi penilaian tingkat kesesuaian lahan dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik lahan dan lingkungan yang dirinci kedalam kualitas dan karakteristik lahan dalam kaitannya dengan persyaratan tumbuh tanaman (padi) (FAO 1976). Temperatur

udara tahunan yang dinyatakan dalam °C, curah hujan rerata tahunan dan dinyatakan dalam mm, ketersediaan oksigen dalam tanah untuk keperluan pertumbuhan tanaman, ketersediaan air dan tanah adalah dua sumber daya paling penting untuk produksi makanan dan keduanya saling terkait, kelembaban tanah merupakan kelembaban rerata tanah dalam tahunan, gambut menyatakan tebal dan kandungan serat pada tanah, hara menyatakan nutrisi yang terkandung dalam tanah, toksisitas menyatakan kandungan garam terlarut pada tanah, sodisitas, sulfidic, lereng menyatakan kemiringan lahan, dan penyiapan lahan menyatakan bentuk singkapan batuan volume yang ada dalam tanah berpengaruh terhadap persyaratan tumbuh tanaman padi mengacu pada Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian (BBSLDP, 2013) dengan dilakukan pembaharuan (updating) dan penyempurnaan kriteria kesesuaian lahan komoditas pertanian strategis melalui forum ‘Fokus Grup Diskusi’ lingkup Kementerian Pertanian dan Perguruan tinggi.

Kesesuaian penggunaan lahan dengan potensi dan kemampuan lahan menyebabkan rendah dan meningkatnya luas panen (B) oleh komoditas pertanian yang diusahakan oleh petani. Produktivitas padi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya (1) luas lahan adalah presentase dari total lahan yang dapat ditanami padi untuk menentukan jumlah luas panen, (2) penentuan varietas benih memiliki peran yang sangat penting karena menentukan keunggulan komoditas, (3) bibit unggul digunakan agar tahan terhadap penyakit dan perubahan iklim yang terjadi, (4) intensitas tanam dengan meningkatkan jumlah tanaman yang ditanam sebidang tanah yang sama dapat membantu dalam meningkatkan produktivitas padi, (5) hama dan penyakit dapat mempengaruhi menurunkan produktivitas padi, hal tersebut dapat dicegah dengan mengaplikasikan pestisida pembasmi hama.

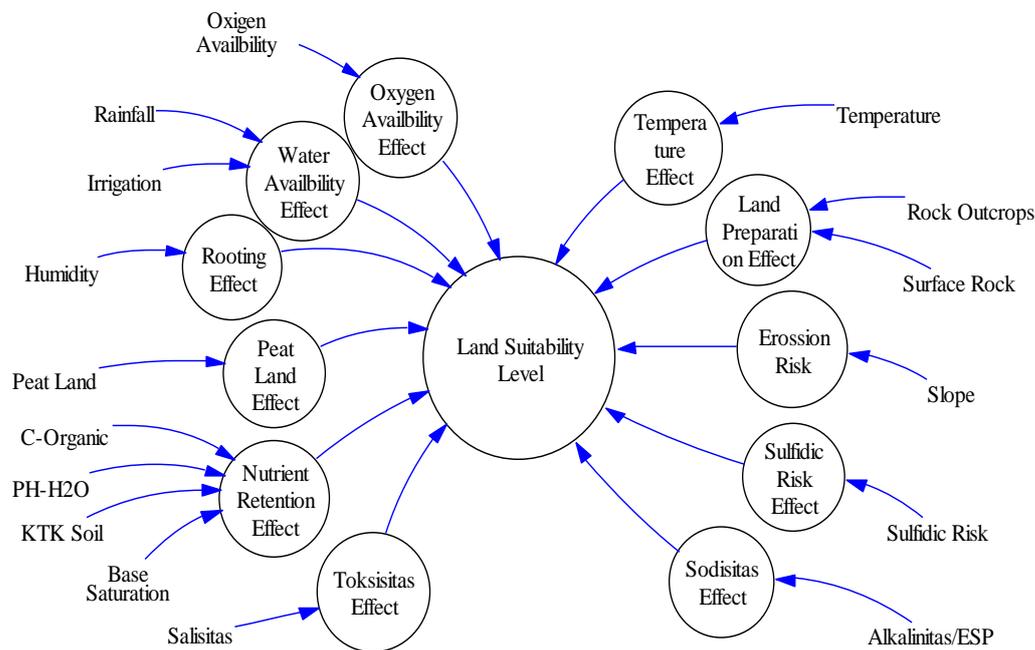
4.6 Formulasi Model

Stock and flow diagram atau diagram alir ini merupakan penjabaran lebih rinci dari sistem yang sebelumnya yang ditunjukkan oleh causal loop diagram karena pada diagram ini memperhatikan pengaruh waktu terhadap keterkaitan antar variabel, sehingga nantinya setiap variabel mampu menunjukkan hasil akumulasi untuk variabel level dan variabel yang merupakan laju aktivitas sistem tiap periode waktu disebut dengan rate.

Stock and flow diagram dibuat berdasarkan causal loop diagram pada Gambar 4.1. Setiap variabel yang telah didefinisikan akan memiliki formulasi yang berbeda-beda. Formulasi untuk setiap variabel akan dibuat dengan berdasarkan pada rumus-rumus umum, kondisi aktual yang terjadi dan data yang terkait. Stock and flow diagram dari model ini dibagi menjadi 3 sub model yaitu sub model *land suitability level*, sub model *paddy land area*, dan sub model *padi productivity*. Analisa data berdasarkan data tahunan dan panjang simulasi dijalankan mulai pada tahun 2007 sampai 2018.

4.6.1 Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan (*Land Suitability Level*)

Sub model Tingkat Kesesuaian Lahan adalah merupakan analisis kesesuaian lahan pertanian untuk produksi tanaman yang dapat memastikan pertanian berkelanjutan dengan mengidentifikasi faktor-faktor pembatas untuk produksi pertanian khususnya tanaman pangan strategis yaitu tanaman padi. Evaluasi kesesuaian lahan dengan mendefinisikan hubungan antara karakteristik tanah dan prasyarat tanaman merupakan langkah pertama dalam penggunaan lahan pertanian yang dapat memberikan informasi tentang kendala dan peluang untuk penggunaan lahan untuk pemanfaatan sumber daya secara optimal yang dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas pertanian strategis di pengaruhi oleh beberapa variable dengan mengacu pada Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian (BBSDLP, 2013) dengan dilakukan pembaharuan (updating) dan penyempurnaan kriteria kesesuaian lahan komoditas pertanian strategis melalui forum 'Fokus Grup Diskusi' lingkup Kementerian Pertanian dan Perguruan tinggi (Suryani et al. 2016) dan beberapa literatur ilmiah. Berikut adalah sub model tingkat kesesuaian lahan untuk tanaman padi dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4. Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan (*Land Suitability Level*)

Pada Gambar 4.4 diatas tingkat kesesuaian lahan untuk tanaman padi dipengaruhi oleh beberapa variabel kualitas lahan diantaranya temperatur dengan menggunakan temperatur rata-rata tahunan, ketersediaan oksigen, ketersediaan air, media akar, gambut, retensi hara, toksisitas, sodisitas, sulfidic, erosi, dan persiapan lahan. Dalam penelitian ini kelas kesesuaian lahan disimbolkan dengan kelas sesuai (*Suitable* = S1, S2, S3) dan tidak sesuai (*Not Suitable* = N) untuk menunjukkan tingkat kesesuaiannya. Penilaian menggunakan index pada tiap kelas kesesuaiannya. Index 4 untuk kelas S1 (sangat sesuai), Index 3 untuk kelas S2 (cukup sesuai), Index 2 untuk kelas S3 (sesuai marginal) dan Index 1 untuk kelas N (tidak sesuai). Berikut kriteria kesesuaian lahan untuk komoditas pertanian tanaman padi sawah irigasi (*Oryza sativa*) dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Dalam memasukkan data kedalam model, maka dibutuhkan data berupa ketersediaan oksigen, curah hujan, irigasi, kelembaban, kondisi tanah, kandungan hara, temperatur, persiapan lahan, kemiringan tanah, jumlah racun pada tanah pada periode 2007-2018. Selanjutnya adalah menghitung tingkat kesesuaian lahan dalam

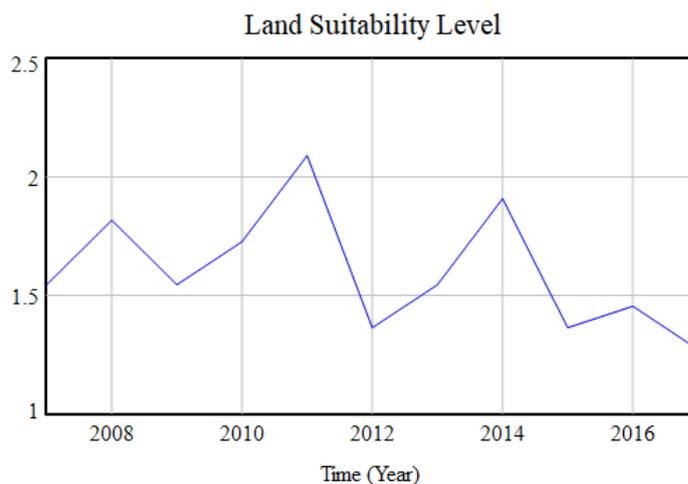
bentuk indeks. Persamaan dari variable pada sub model tingkat kesesuaian lahan berdasarkan pedoman kesesuaian lahan ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Persamaan Sub Model Tingkat Kesesuaian Lahan

Variabel	Persamaan
<i>Land Suitability Level</i>	<i>(Erossion Risk+Nutrient Retention Effect+Oxygen Availability Effect+Peat Land Effect+Land Preparation Effect+Rooting Effect+Sodisitas Effect+Sulfidic Risk Effect+Temperature Effect+Toksistas Effect+Water Availability Effect)/11</i>
<i>Oxygen Availability Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Oxigen Availability>=6 :AND:Oxigen Availability<=8, 4,0)+ IF THEN ELSE(Oxigen Availability>=4 :AND: Oxigen Availability<=5.9, 3,0)+ IF THEN ELSE(Oxigen Availability>=2:AND:Oxigen Availability<=3.9,2,0)+IF THEN ELSE(Oxigen Availability>10,1,1)</i>
<i>Water Availability Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Rainfall>=6 AND:Rainfall<=8:AND:Irrigation>=1.5, 4,0)+ IF THEN ELSE(Rainfall>=4 :AND: Rainfall<=5.9:AND:Irrigation<1.5, 3,0)+ IF THEN ELSE(Rainfall>=2:AND:Rainfall<=3.9:AND:Irrigation>=1,2,0)+IF THEN ELSE(Rainfall>10,1,1)</i>
<i>Rooting Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Humidity>=68 :AND:Humidity<=70, 3,0)+ IF THEN ELSE(Humidity>=71 :AND: Humidity<=73, 4,0)+ IF THEN ELSE(Humidity>=65 :AND: Humidity<=67, 2,1)</i>
<i>Peat Land</i>	<i>IF THEN ELSE(Peat Land<=50,4,0)+ IF THEN ELSE(Peat Land>=51 :AND: Peat Land<=100, 3,0)+ IF THEN ELSE(Peat Land>=101 :AND: Peat Land<=150, 2,1)</i>
<i>Nutrient Retention Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(KTK Soil>16:AND:Base Saturation>50:AND:"PH-H2O"=5.5:AND:"PH-H2O"=7:AND:"C-Organic">=1.2,4,0)+ IF THEN ELSE(KTK Soil>5:AND:KTK Soil=16:AND:Base Saturation<50:AND:"PH-H2O"=4.5:AND:"PH-H2O"=5.5:AND:"C-Organic"=1.2:AND:"C-Organic"=0.8,3,0)+ IF THEN ELSE(KTK Soil<5:AND:Base Saturation<35:AND:"PH-H2O"<4.5:AND:"C-Organic"<0.8,2,1)</i>
<i>Temperature Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Temperature>=25 :AND:Temperature<=28, 2,0)+ IF THEN ELSE(Temperature>=29 :AND: Temperature<=33, 1,0)</i>

<i>Land Preparation Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Surface Rock<5 :AND:Rock Outcrops<5,4,0)+IF THEN ELSE (Surface Rock<=5 :AND: Surface Rock<=15:AND:Rock Outcrops<=5:AND:Rock Outcrops<15,3,0)+IF THEN ELSE(Surface Rock>15:AND:Surface Rock=40:AND:Rock Outcrops>15:AND:Rock Outcrops<=40,2,1)</i>
<i>Erosion Risk</i>	<i>IF THEN ELSE(Slope<3,4,0)+ IF THEN ELSE(Slope=3:AND:Slope>5,3,0)+IF THEN ELSE(Slope=5:AND:Slope=8, 2 , 1)</i>
<i>Sulfidic Risk Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Sulfidic Risk>100,4,0)+ IF THEN ELSE(Sulfidic Risk=75:AND:Sulfidic Risk=100,3,0)+IF THEN ELSE(Sulfidic Risk>40:AND:Sulfidic Risk<40, 2 , 1)</i>
<i>Sodisitas Effect</i>	<i>IF THEN ELSE("Alkalinitas/ESP"<20,4,0)+ IF THEN ELSE("Alkalinitas/ESP"=20:AND:"Alkalinitas/ESP"=30,3,0)+IF THEN ELSE("Alkalinitas/ESP">30:AND:"Alkalinitas/ESP">40, 2 , 1)</i>
<i>Toksisitas Effect</i>	<i>IF THEN ELSE(Salisitas<2,4,0)+ IF THEN ELSE(Salisitas>=2:AND:Salisitas>=4,3,0)+IF THEN ELSE(Salisitas>4:AND:Salisitas>6, 2 , 1)</i>

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari sub model tingkat kesesuaian lahan pada tahun 2007 sampai 2018. Grafik hasil simulasi pada tingkat kesesuaian lahan ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut

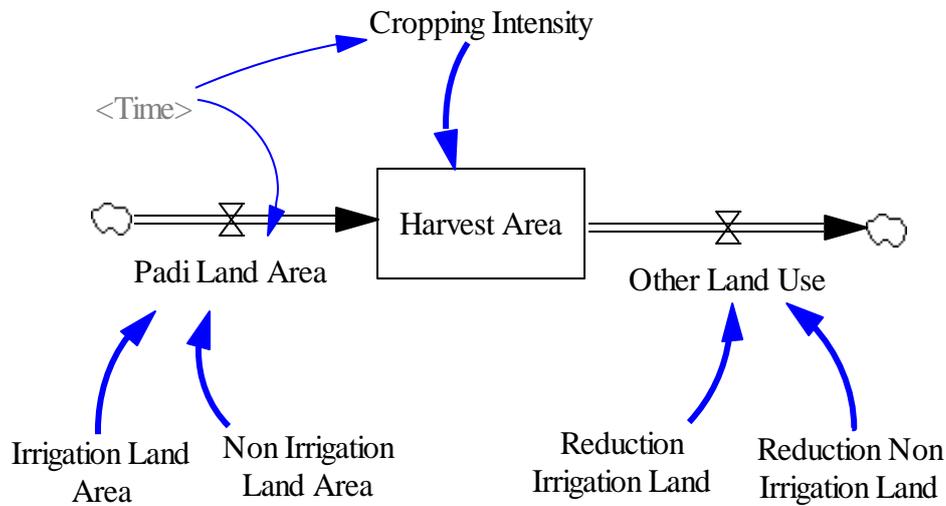


Gambar 4. 5 Grafik Hasil Simulasi Tingkat Kesesuaian Lahan

Gambar diatas adalah merupakan grafik hasil simulasi tingkat kesesuaian lahan untuk lahan sawah di Jawa Timur. Pada grafik menunjukkan tingkat kesesuaian lahan dengan rata-rata paling tinggi adalah 2 yaitu masuk pada kelas S3 sesuai marginal bahkan cenderung menurun tidak sesuai dimana lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Untuk mengatasi faktor pembatas pada S3 memerlukan modal tinggi, sehingga perlu adanya bantuan atau campur tangan (intervensi) pemerintah atau pihak swasta. Tanpa bantuan tersebut petani tidak mampu mengatasinya.

4.6.2 Sub Model Luas Lahan Padi (*Paddy Land Area*) dan Luas Panen (*Harvest Area*)

Luas lahan padi (ha) merupakan total dari luas lahan irigasi dan non irigasi di Jawa Timur. Laju konversi lahan sawah di Jawa Timur sebagai sentra produksi padi dalam 12 tahun terakhir pada tahun 2007 sampai pada tahun 2018 mencapai 0,22% dengan kisaran rata-rata 3.284 ha (Badan Pusat Statistik 2018). Terjadinya alih fungsi lahan pertanian akan mempengaruhi jumlah ketersediaan lahan sawah, sehingga akan berpengaruh terhadap jumlah produksi padi yang dihasilkan. Konversi lahan pada area sawah dapat berupa sebagai akibat dari perubahan guna lahan untuk infrastruktur, perumahan, industri dan fasilitas lainnya. Sub model luas lahan padi dan luas panen dipengaruhi oleh luas lahan sawah irigasi dan non irigasi dan alih fungsi lahan pada lahan sawah. Luas area panen dipengaruhi oleh luas area lahan padi dan indeks penanaman. Semakin besar indeks penanaman akan menambah hasil panen padi dalam satu tahun pada satu lahan yang sama. Berikut adalah sub model luas lahan padi dan luas panen ditunjukkan pada Gambar 4.6



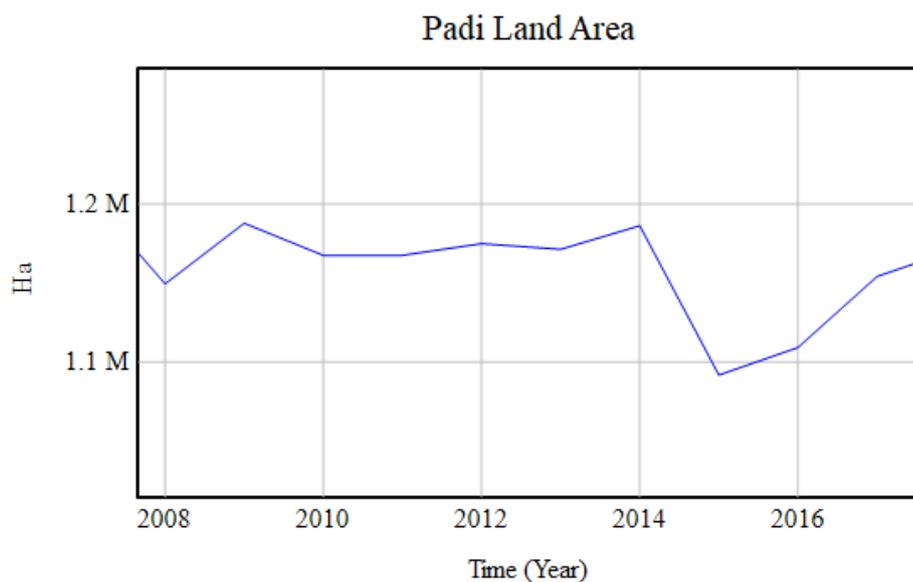
Gambar 4. 6 Sub Model Luas Lahan padi dan Luas Panen

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa luas lahan padi dan luas lahan panen pada periode 2007 sampai 2018. Selanjutnya adalah menghitung pertumbuhan ekspansi lahan sawah irigasi dan non irigasi dan alih fungsi lahan dengan pengurangan lahan irigasi dan non irigasi setiap tahunnya. Persamaan dari variabel pada sub model luas lahan padi dan luas panen ditunjukkan dalam Tabel 4.6 sebagai berikut

Tabel 4. 6. Persamaan Sub Model Luas Lahan dan Luas Panen

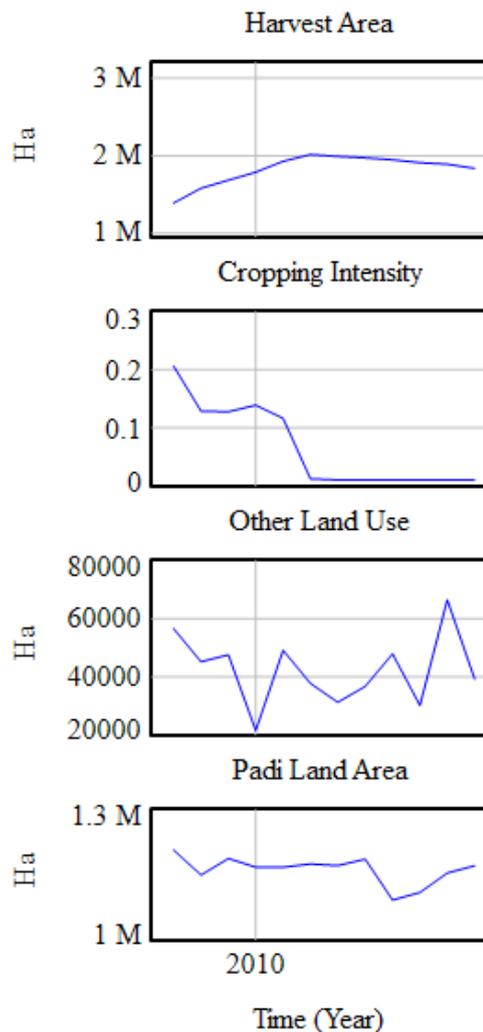
Variabel	Persamaan
<i>Paddy land area</i>	$Paddy\ land\ area\ (ha) = Irrigation\ Land + Non-Irrigation\ Land$ <i>Initial Value = 1.207.209</i>
<i>Harvest Area</i>	$(Padi\ Land\ Area \times Cropping\ Intensity) - Other\ Land\ Use$
<i>Other Land Use</i>	$Reduction\ Irrigation\ Land + Reduction\ Non-Irrigation\ Land$ <i>Initial Value = 1.388.470</i>

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari sub model luas lahan padi dan pada tahun 2007 sampai 2017. Luas lahan padi mengalami penurunan pada tahun 2008 dan mengalami peningkatan pada tahun 2009, kemudian mengalami penurunan yang signifikan pada tahun 2015. Grafik hasil simulasi pada luas lahan padi ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut



Gambar 4. 7. Grafik Hasil Simulasi Luas Lahan Padi

Luas panen padi mengalami peningkatan pada tahun 2008 dan mengalami peningkatan terus menerus dari tahun 2007 sampai 2012, kemudian mengalami penurunan bertahap pada tahun 2013 sampai pada tahun 2018. Grafik hasil simulasi pada luas panen padi ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut



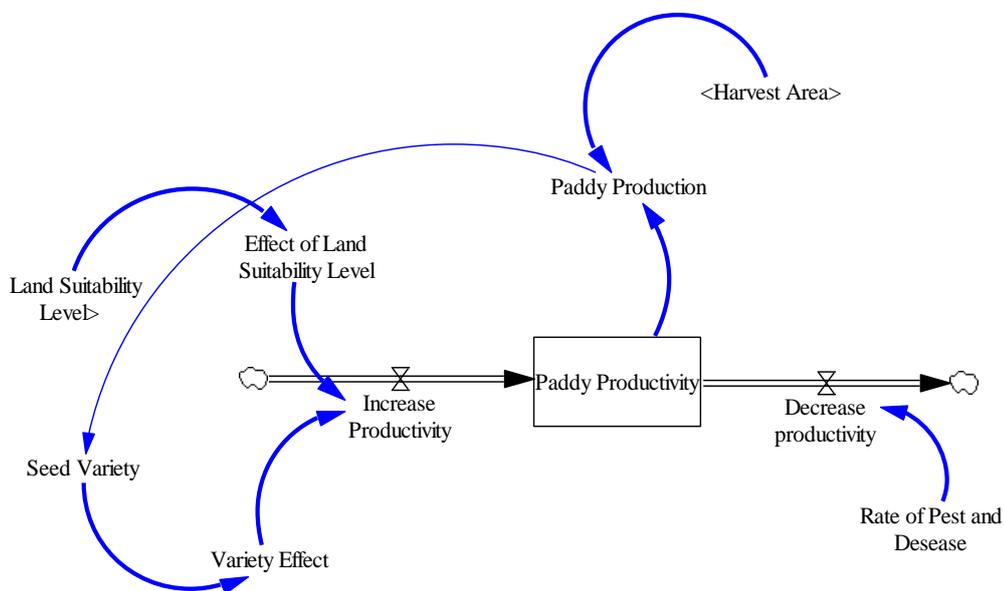
Gambar 4. 8. Grafik Hasil Simulasi Luas Panen

Dari gambar 4.6 diatas dapat diketahui bahwa penurunan yang terjadi pada luas lahan sawah berpengaruh terhadap luas panen. Hal itu menyebabkan tidak stabilnya hasil panen setelah tahun 2010 yang mengalami penurunan sampai pada tahun 2012.

4.6.3 Sub Model Produktivitas Padi (*Paddy Productivity*)

Produktivitas padi adalah produksi padi per satuan luas lahan yang digunakan dalam berusaha tani padi. Produktivitas diukur dalam satuan ton per hektar (ton/ha). Menurut Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Jawa Timur (2019), tingkat produktivitas padi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya penggunaan varietas bibit unggul sebesar 18 persen. Penentuan jenis bibit unggul yang digunakan akan membantu dalam meningkatkan produktivitas, penentuan

bibit unggul biasanya akan tahan terhadap penyakit dan perubahan iklim (Stuart et al. 2018). Kesesuaian lahan, Penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan potensi dan kemampuan lahan menyebabkan rendahnya produksi dan produktivitas komoditas pertanian yang diusahakan oleh petani (Pradesh 2013). Analisis kesesuaian lahan memungkinkan mengidentifikasi faktor pembatas utama untuk produksi pertanian dan memungkinkan pengambil keputusan seperti pengguna lahan, perencana penggunaan lahan, dan layanan dukungan pertanian untuk mengembangkan manajemen tanaman yang mampu mengatasi kendala tersebut, sehingga meningkatkan produktivitas (Alabyad-mafraq et al. 2018). Berikut adalah sub model produktivitas dan produksi padi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



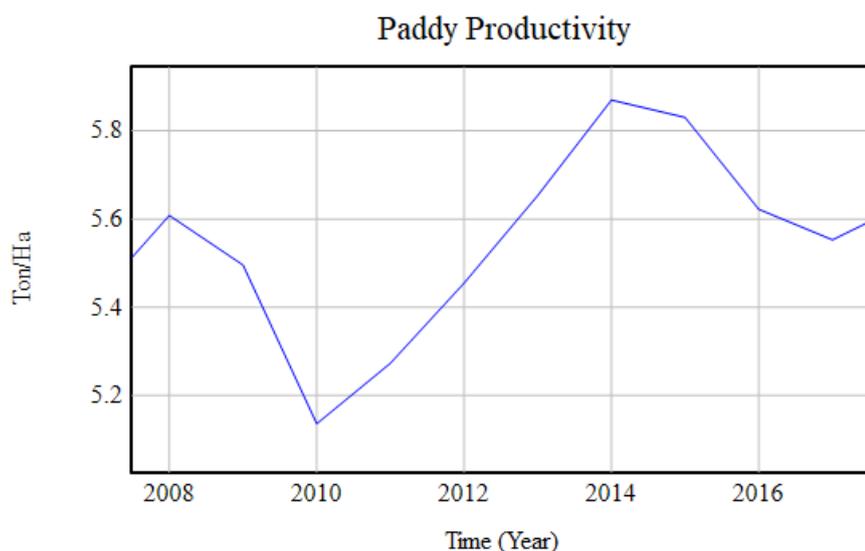
Gambar 4. 9. Sub Model Produktivitas Padi (*Paddy Productivity*)

Dalam memasukkan data kedalam model, maka dibutuhkan data berupa produktivitas padi, produksi padi, jenis bibit unggul, rate hama, dan tingkat kesesuaian lahan pada periode 2007 sampai 2018. Persamaan variabel pada sub model produktivitas padi dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Persamaan Sub Model Produktivitas Padi

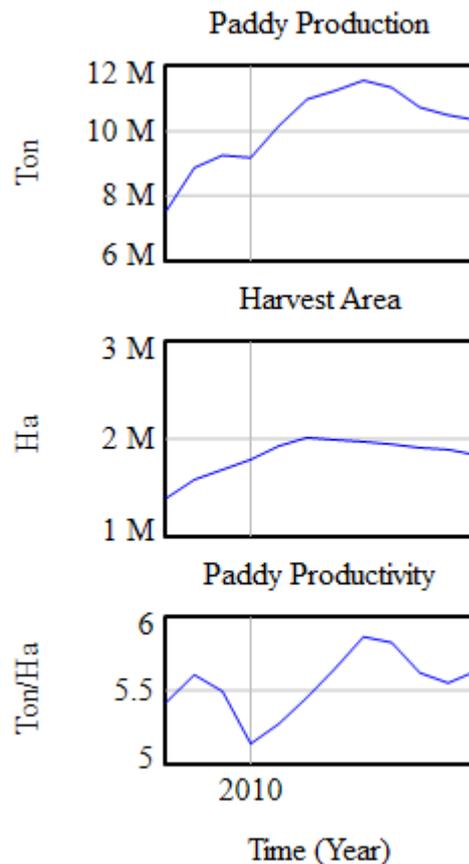
Variabel	Persamaan
<i>Paddy Productivity (ton/ha)</i>	<i>Increase Productivity-Decrease productivity</i> <i>Initial value = 5.42</i>
<i>Paddy Production (ton)</i>	<i>Harvest Area*Paddy Productivity</i>
<i>Effect of Land Suitability Level (index %)</i>	<i>IF THEN ELSE(Land Suitability Level>=2.5,1 , 0)+IF THEN ELSE(Land Suitability Level<=2.4,0.5, 0)+IF THEN ELSE(Land Suitability Level<=1,0.25,0)</i>
<i>Seed Variety</i>	<i>IF THEN ELSE(Seed Variety>=1:AND:Seed Variety<=3,0.1,0)+IF THEN ELSE(Seed Variety>=4:AND:Seed Variety<=5,0.18,0)</i>
<i>Decrease productivity</i>	<i>Rate of Pest and Disease</i>
<i>Increase Productivity</i>	<i>(Effect of Land Suitability Level+Variety Effect)/2</i>

Dalam menghitung tingkat produktivitas didapatkan dari laju peningkatan produktivitas dikurangi laju penurunan produktivitas. Berikut ini merupakan hasil simulasi dari sub model produktivitas dan produksi padi pada tahun 2007 sampai 2018. Produktivitas padi mengalami peningkatan pada tahun 2008 dan mengalami penurunan secara signifikan pada tahun 2010. Grafik hasil simulasi pada produktivitas padi dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut



Gambar 4. 10. Grafik Hasil Simulasi Produktivitas Padi

Tingkat produktivitas dan luas panen akan mempengaruhi tingkat produksi padi di Jawa Timur. Semakin tinggi suatu produktivitas dan luas panen akan menambah jumlah produksi padi yang dihasilkan. Berikut merupakan grafik hasil simulasi pada produksi padi dan faktor yang mempengaruhinya ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut



Gambar 4. 11. Sub Model Produksi Padi (Paddy Production)

Dapat dilihat dari gambar 4.8 diatas diketahui bahwa produktivitas padi mengalami fluktuatif. Hal tersebut tidak berpengaruh secara signifikan pada hasil produksi padi. Grafik pada produksi padi tetap mengalami peningkatan sesuai dengan hasil produktivitas nya.

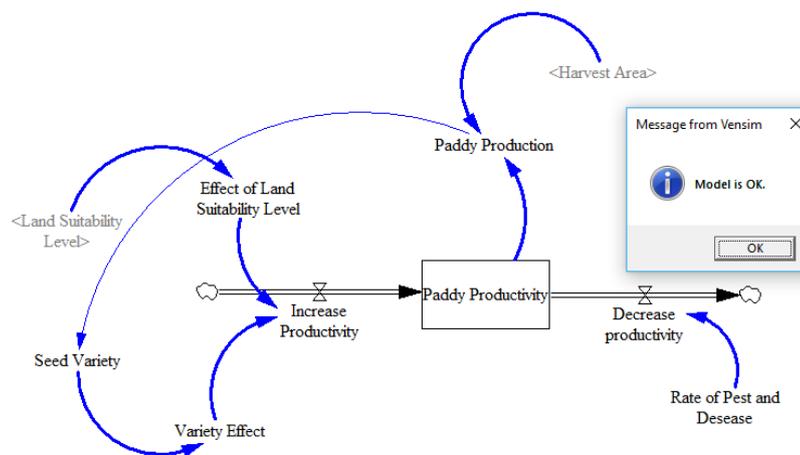
4.7 Validation and Model Testing

Terdapat dua tahapan dalam memastikan apakah model yang telah dibangun dapat mewakili sistem nyata. Langkah validasi dan verifikasi digunakan dalam pengujian terhadap kredibilitas model yang dibangun. Langkah verifikasi model

digunakan untuk menentukan apakah pelaksanaan model akurat mewakili deskripsi konseptual pengembang dari model dan solusi untuk model. Langkah validasi model digunakan untuk proses penentuan apakah teori dan asumsi yang mendasari model konseptual sudah benar dan masuk akal untuk tujuan yang diusulkan terhadap model.

4.7.1 *Structural Assessment*

Verifikasi dilakukan dengan cara memeriksa *error* pada model yang telah dibuat. Hal ini digunakan untuk melihat model yang dibangun sudah merepresentasikan sistem nyata. Dalam verifikasi model terdapat pengecekan terhadap formulasi yang sudah dibuat sudah sesuai hubungan variabel dengan variabel lain dan memeriksa satuan satuan variabel dalam mode. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, maka model telah terverifikasi. Berikut merupakan tampilan model yang telah terverifikasi ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Verifikasi Model

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “Model is OK” sehingga dapat dinyatakan bahwa model yang digunakan dalam penelitian ini sudah benar

4.7.2 *Behavioral Testing*

Hasil dari model 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 dilakukan

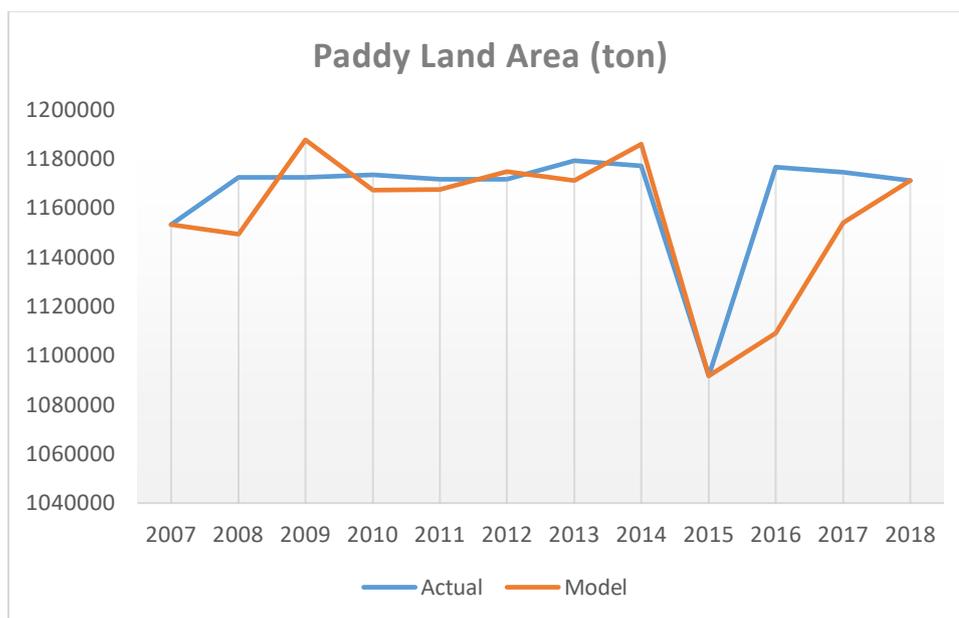
dengan dua cara menurut Yaman Barlas (Barlas, 1989) yaitu validasi model dengan uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) atau dengan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Model dikatakan valid apabila dalam uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) $E1 \leq 5\%$ dan dalam uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*) apabila $E2 \leq 30\%$.

Validasi sub model luas lahan padi dan luas panen meliputi perbandingan data asli dan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Berikut ini adalah hasil validasi sub model luas lahan padi ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Hasil Validasi Luas Lahan Padi

Time (Year)	Paddy Land Area Actual	Model
2007	1153209	1153209
2008	1172460	1149362,375
2009	1172494	1187739,375
2010	1173484	1167422,875
2011	1171804	1167440,25
2012	1171810	1174840,5
2013	1179264	1171242,125
2014	1177160	1186113
2015	1091752	1091750
2016	1176649	1109157,625
2017	1174586	1154114,25
2018	1171085	1171085,25
Rata-Rata	1165479,83	1156956,39
StDev	24109,51826	29165,81434
E1	1%	
E2	21%	

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 1% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 21% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari luas lahan padi di Jawa Timur pada Gambar 4.13.



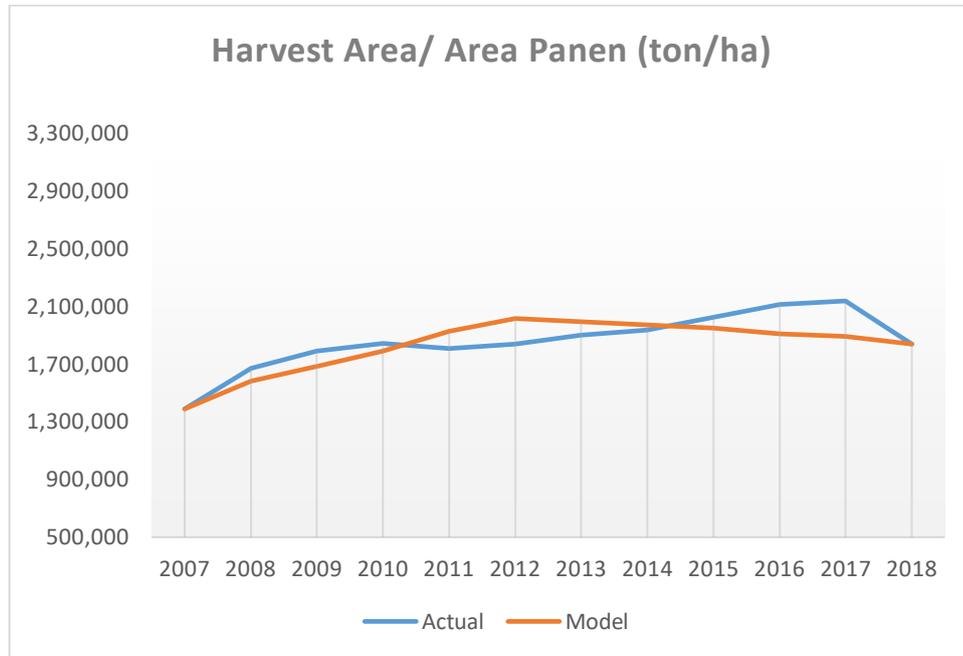
Gambar 4. 13 Grafik Validasi Luas Lahan Padi

Berikut ini adalah hasil validasi luas panen dengan E1 perbandingan rata-rata (mean comparison) dan E2 hasil uji perbandingan variasi amplitudo (% error variance) ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Validasi Luas Panen

Time (Year)	Harvest Area Actual	Model
2007	1.388.470	1388470
2008	1.668.298	1581043,875
2009	1.787.354	1683613,75
2010	1.842.445	1787637,75
2011	1.807.393	1928285,625
2012	1.838.381	2014762,625
2013	1.897.816	1991164,5
2014	1.934.293	1971677,75
2015	2.021.766	1946848
2016	2.112.563	1909891,5
2017	2.136.412	1890880,875
2018	1.835.890	1835889,5
Rata-Rata	1855923,38	1827513,81
StDev	200363,7568	189184,4604
E1	2%	
E2	6%	

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 2% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 6% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari luas panen di Jawa Timur pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14 Grafik Validasi Luas Panen Padi

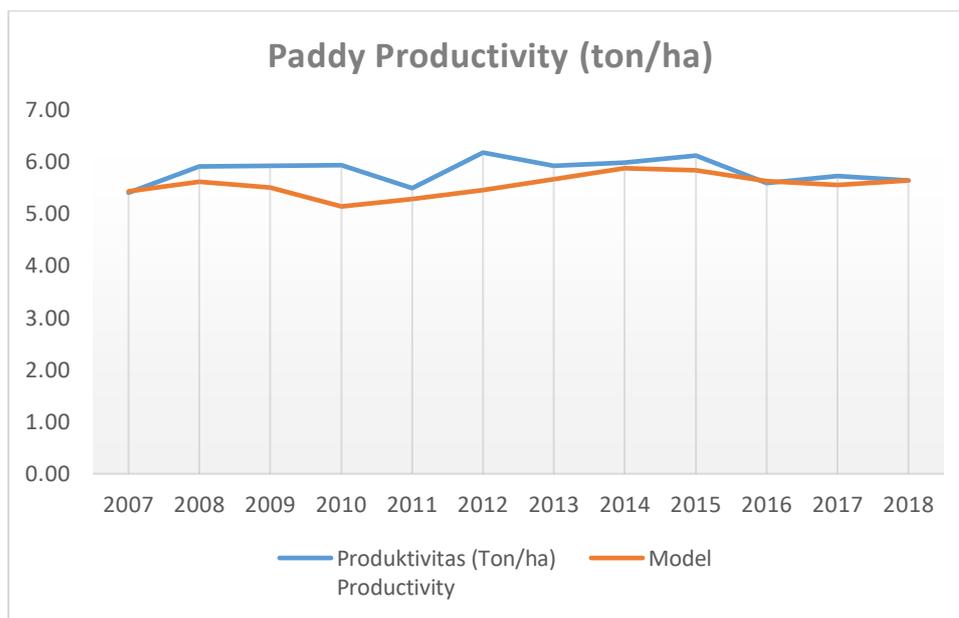
Validasi sub model produktivitas dan produksi padi meliputi perbandingan data asli dan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Berikut ini adalah hasil validasi sub model luas lahan padi ditunjukkan pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Hasil Validasi Produktivitas Padi

Time (Year)	Produktivitas (Ton/ha) <i>Productivity</i>	Model
2007	5,40	5,42
2008	5,90	5,60803
2009	5,91	5,4955
2010	5,93	5,13527
2011	5,49	5,27273
2012	6,17	5,45446
2013	5,92	5,65329
2014	5,98	5,86976

Time (Year)	Produktivitas (Ton/ha) <i>Productivity</i>	Model
2015	6,11	5,83025
2016	5,59	5,62187
2017	5,72	5,55274
2018	5,63	5,63452
Average	5,81	5,55
stdev	0,24	0,21
E1	5%	
E2	14%	

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 5% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 14% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari produktivitas padi di Jawa Timur pada Gambar 4.15



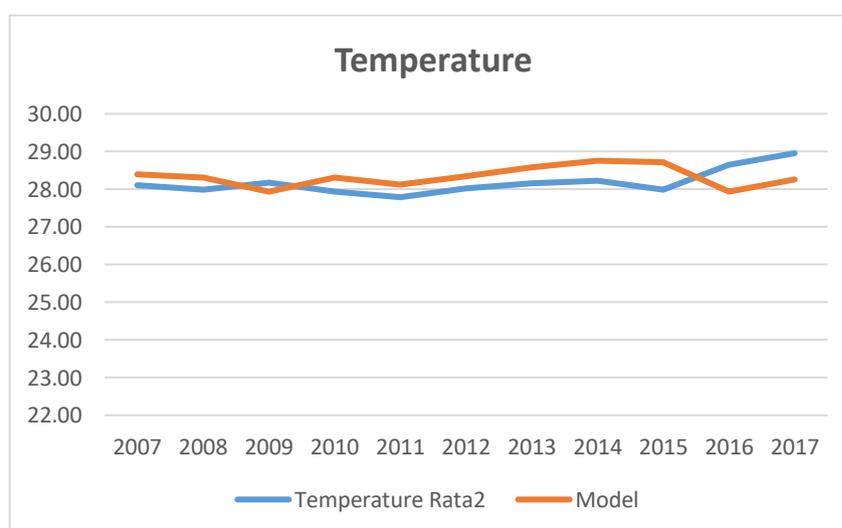
Gambar 4. 15 Grafik Validasi Produksi Padi

Validasi variable temperatur yang merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kesesuaian lahan meliputi perbandingan data asli dan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Berikut ini adalah hasil validasi variable temperatur ditunjukkan pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Hasil Validasi Temperatur

Tahun	Temperature Rata2	Model
2007	28,10	28,40
2008	27,99	28,32
2009	28,18	27,93
2010	27,94	28,31
2011	27,79	28,12
2012	28,03	28,34
2013	28,15	28,58
2014	28,22	28,76
2015	27,99	28,72
2016	28,65	27,94
2017	28,95	28,26
Rata-Rata	28,18	28,33
Stdev	0,336672198	0,276333
E1		1%
E2		18%

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 1% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 18% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari temperatur lahan di Jawa Timur pada Gambar 4.16



Gambar 4. 16 Grafik Validasi Temperatur

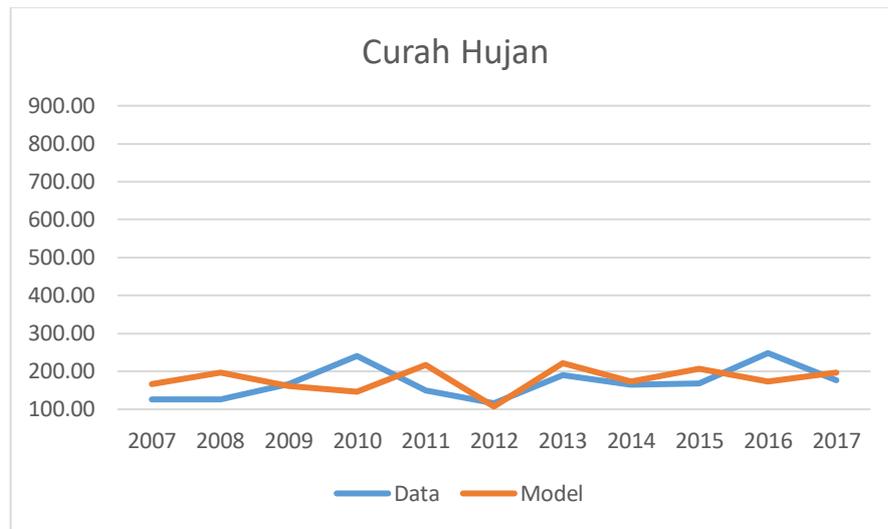
Validasi variable curah hujan yang merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kesesuaian lahan meliputi perbandingan data asli dan hasil simulasi. E1

merupakan hasil uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Berikut ini adalah hasil validasi variable curah hujan ditunjukkan pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Hasil Validasi Curah Hujan

Tahun	Curah Hujan (mm)	Model
2007	126,28	167,17
2008	125,24	196,89
2009	165,58	161,20
2010	241,25	145,42
2011	149,09	217,00
2012	115,79	107,20
2013	189,17	221,59
2014	165,02	173,65
2015	168,73	206,40
2016	248,07	173,77
2017	176,98	196,96
RATA-RATA	170,11	178,84
STDEV	43,50	33,83
E1		5%
E2		22%

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 5% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 22% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari curah hujan lahan di Jawa Timur pada Gambar 4.17



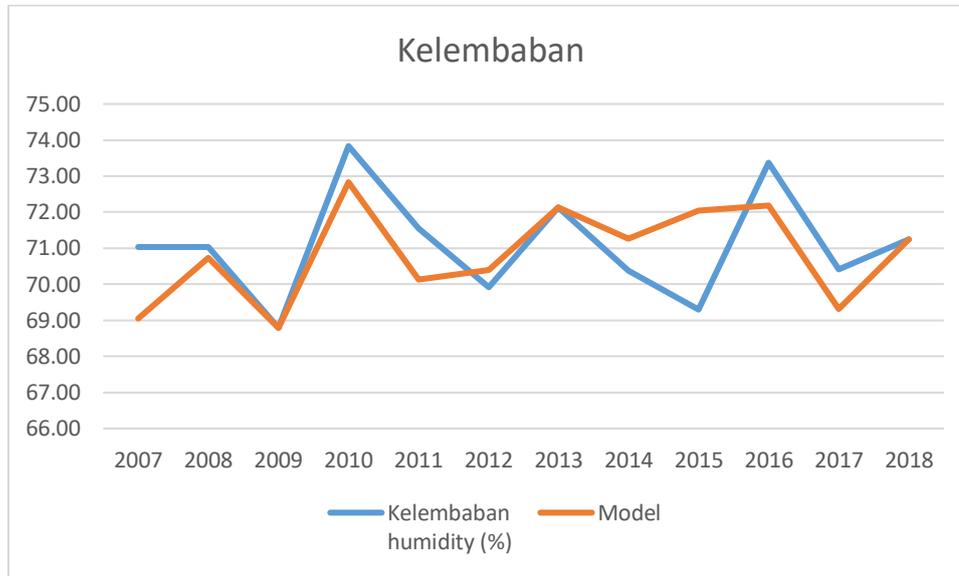
Gambar 4. 17 Grafik Validasi Curah Hujan

Validasi variable Kelembaban yang merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kesesuaian lahan meliputi perbandingan data asli dan hasil simulasi. E1 merupakan hasil uji perbandingan rata-rata (*mean comparison*) dan E2 merupakan hasil uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*). Berikut ini adalah hasil validasi variable kelembaban ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4. 14 Hasil Validasi Kelembaban

Time / year	Kelembaban humidity (%)	Model
2007	71,04	69,05
2008	71,04	70,74
2009	68,79	68,79
2010	73,83	72,83
2011	71,54	70,13
2012	69,92	70,39
2013	72,13	72,13
2014	70,38	71,27
2015	69,29	72,04
2016	73,38	72,19
2017	70,42	69,31
2018	71,25	71,25
Rata-rata	71,07	70,84
stdev	1,504825851	1,33762
E1		0%
E2		11%

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% yaitu dengan nilai 0% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 11% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari kelembaban lahan di Jawa Timur pada Gambar 4.18



Gambar 4. 18 Grafik Validasi Kelembaban

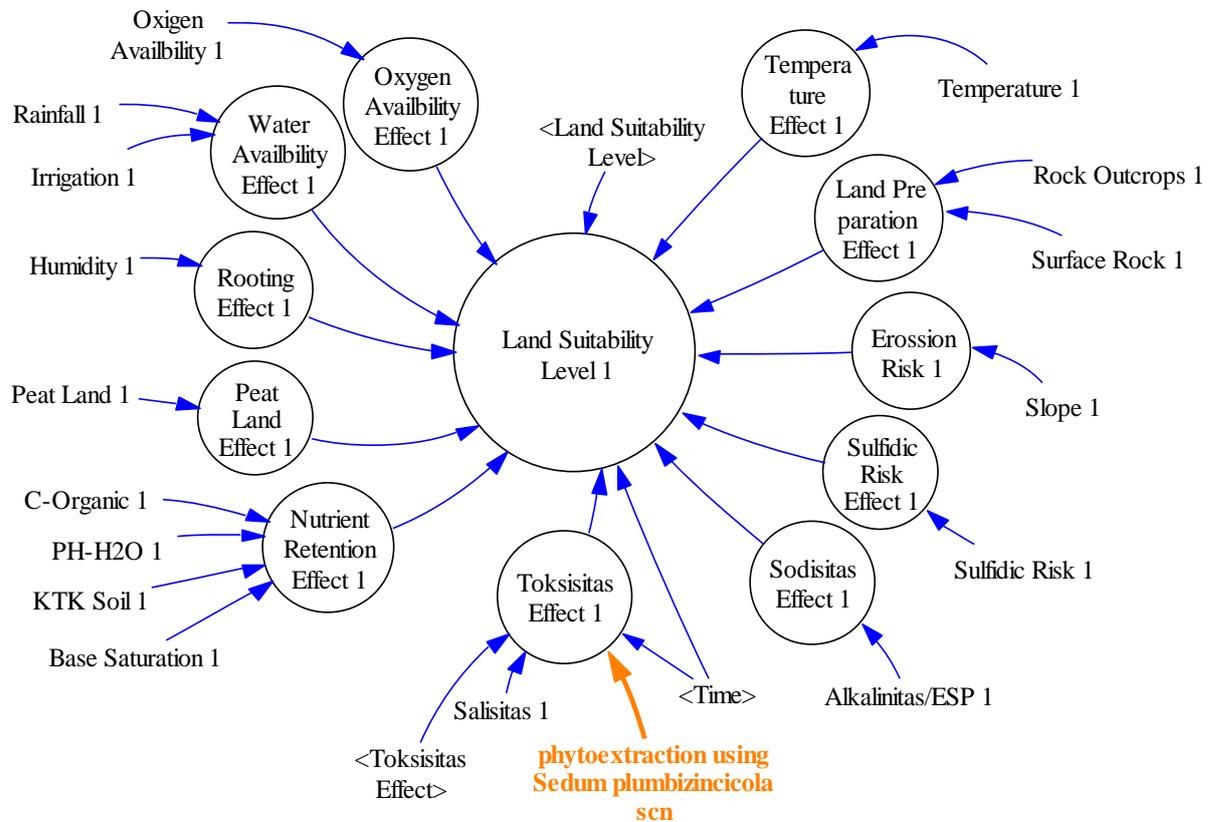
4.8 Policy Formulation

Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara penambahan parameter baru atau merubah struktur yang telah ada. Pada tahapan ini, model yang telah dibuat akan diubah dengan menggunakan tiga skenario, diantaranya:

- a. Skenario untuk menghilangkan kontaminan racun dalam tanah tanpa mengganggu sifat-sifat tanah yang berfungsi untuk perbaikan tanah pertanian yang terkontaminasi dengan soil cadmium dengan menggunakan *phytoextraction using Sedum plumbizincicola*
- b. Skenario untuk meningkatkan status nutrisi tanah pada lahan yang miskin nutrisi daerah tropis yang berfungsi untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk tanaman padi dengan penerapan *RHB+CSR-Bio*
- c. Skenario untuk memperbaiki kondisi lahan yang dapat meningkatkan produktivitas lahan tanpa merusak lingkungan yang dapat berpotensi untuk pembangunan pertanian berkelanjutan dalam meningkatkan hasil panen dengan menerapkan teknologi pupuk hijau atau *Green Fertilizer*

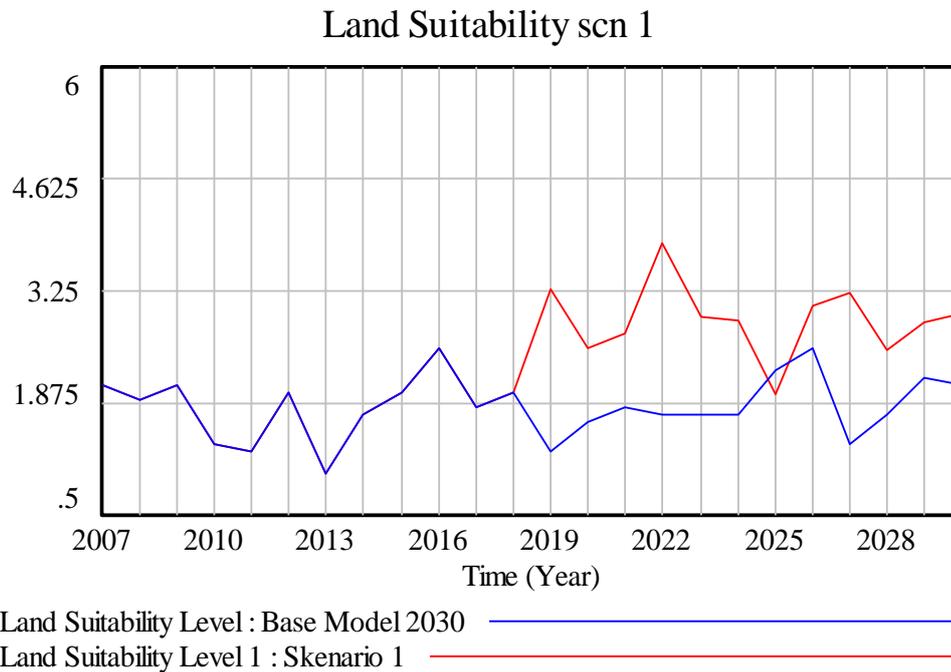
4.8.1 Skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola*

Banyaknya lahan pertanian yang mengalami penurunan pada produktivitas lahan salah satunya dikarenakan pada lahan tersebut telah terkontaminasi oleh unsur-unsur yang berpotensi beracun. Salah satunya adalah *Cadmium* (Cd) dalam kontaminasi tanah pertanian (Hu et al. 2019). Hal tersebut berpotensi mengancam keamanan pangan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu sangat penting untuk memulihkan tanah yang cenderung terkontaminasi untuk memungkinkan menjaga keamanan pangan. Mengidentifikasi pada daerah yang terkontaminasi unsur-unsur racun, dapat mengurangi potensi turunnya produktivitas lahan pertanian yang tercemar. Untuk perbaikan kualitas lahan pertanian adalah dengan melakukan *phytoextraction* berulang menggunakan *hyperaccumulator S. plumbizincicola* merupakan teknik untuk perbaikan tanah pertanian yang sedikit terkontaminasi dengan *cadmium*. Tunas *S. plumbizincicola* diekstraksi 169–353g Cd ha⁻¹ dan tingkat penghapusan Cd dari lapisan garapan adalah 13,8–34,7% per musim dengan rata-rata 21,8%. Konsentrasi total Cd tanah menurun dari 0,64 menjadi 0,29mgkg⁻¹ setelah dua kali panen *phytoextraction* berturut-turut (Hu et al. 2019). Hal tersebut dapat mengembalikan produktivitas lahan yang terkontaminasi racun. dalam mengurangi potensi menurunnya produktivitas lahan pertanian karena potensi racun pada lahan dilakukan perubahan struktur pada pada model menggunakan skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola*. Langkah yang dilakukan adalah mengurangi jumlah toksisitas melalui simulasi model sehingga diperoleh peningkatan pada tingkat kesesuaian lahan pertanian. Berikut merupakan model skenario *phytoextraction using sedum plumbizincicola* dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola*

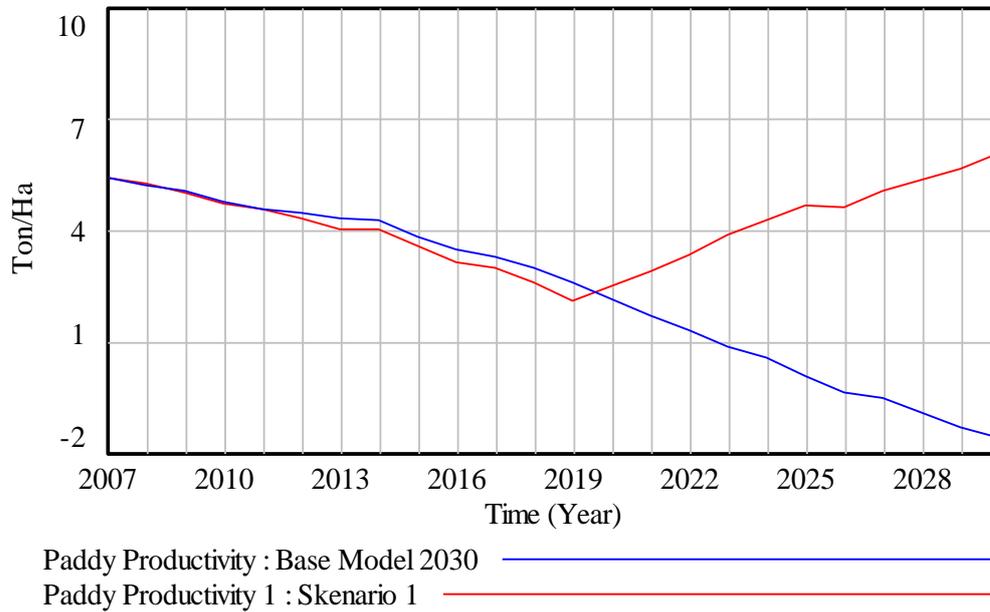
Pada skenario pertama yaitu skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola* merupakan penambahan variable pada model untuk menekan jumlah toxic yang ada pada tanah atau lahan pertanian. Dengan menekan jumlah atau mengurangi kandungan toxic dalam tanah maka akan meningkatkan index tingkat kesesuaian lahan pertanian. Dari hasil simulasi model yang dijalankan, berikut merupakan grafik hasil peningkatan index kesesuaian lahan pertanian dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Hasil Skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola* pada Tingkat Kesesuaian Lahan

Pada gambar 4.18 diatas penerapan skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola* menaikkan tingkat kesesuaian lahan pertanian dengan menekan konsentrasi Cd yang sebelumnya pada tahun 2018 adalah index tingkat kesesuaian lahan pada index angka 1,875 hal tersebut masuk pada tingkat kelas kesesuaian lahan cenderung kelas S3 yaitu sesuai marginal dimana pada lahan mempunyai faktor pembatas yang berat yang akan berpengaruh terhadap produktivitasnya. Dimana untuk mengatasi faktor pembatas pada kelas S3 memerlukan intervensi. Skenario dari tahun 2019 sampai pada tahun 2030 lahan dengan melakukan skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola* grafik menunjukkan kenaikan yaitu rata-rata mencapai 3.25 dimana pada index tersebut masuk pada kelas kesesuaian lahan S2 yaitu cukup sesuai. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap hasil dari produktivitas padi. Berikut merupakan grafik hasil simulasi produktivitas padi (ton/ha) dapat dilihat pada Gambar 4. 21

Paddy Productivity Scn 1



Gambar 4. 21 Hasil Skenario *Phytoextraction using Sedum Plumbizincicola* pada Produktivitas Padi

Pada Gambar 4.19 diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya tingkat kesesuaian pada lahan pertanian untuk tanaman padi hal tersebut berdampak dapat meningkatkan produktivitas padi. Pada gambar 4.19 hasil grafik menunjukkan terjadinya peningkatan produktivitas padi dari tahun 2019 sampai pada tahun 2030. Berikut merupakan tabel hasil simulasi produktivitas beras (ton/ha) dan base model berdasarkan usaha skenario menurunkan nilai toksisitas pada lahan dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Skenario Produktivitas Padi

Tahun	Produktivitas Padi (ton/ha)	
	Skenario	Base Model
2019	2,00	2,50
2020	2,40	2,20
2021	1,77	1,72
2022	2,25	1,31
2023	2,78	0,91
2024	3,19	0,57
2025	3,55	0,11
2026	3,51	-0,35

Tahun	Produktivitas Padi (ton/ha)	
	Skenario	Base Model
2027	3,94	-0,74
2028	4,25	-1,14
2029	4,55	-1,54
2030	5,00	-1,84
Rata-Rata	3,73	2,34

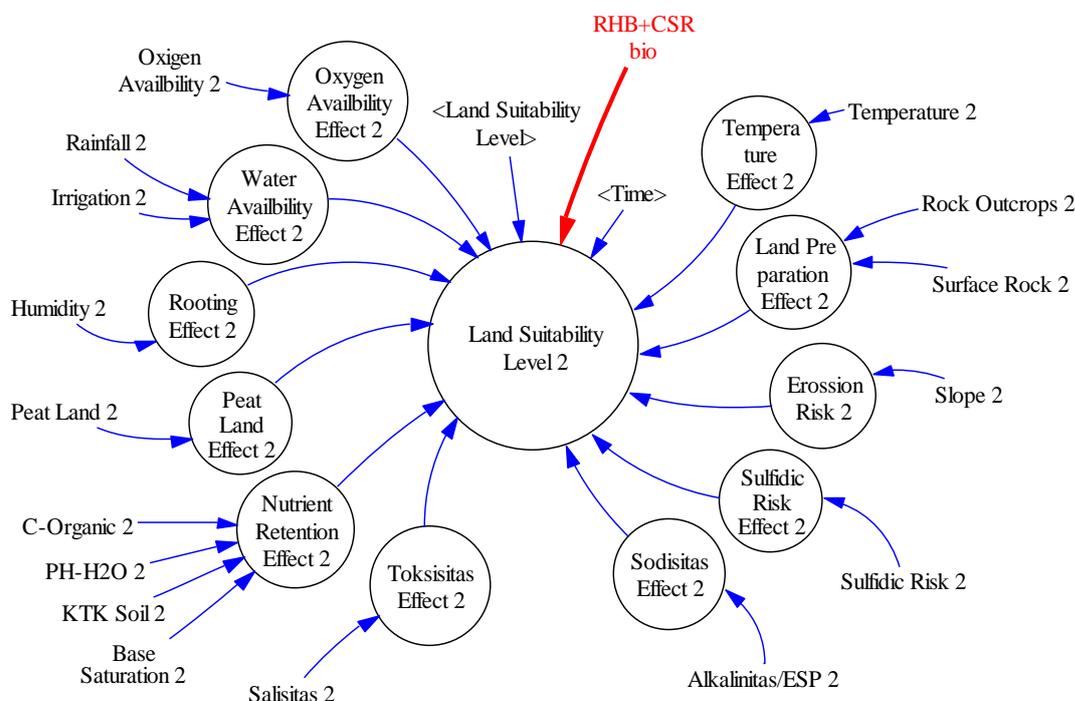
Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa setelah menerapkan skenario pertama pada tingkat kesesuaian lahan hal ini memperngaruhi hasil produktivitas dari lahan padi dengan rata-rata peningkatan pertumbuhan 0,14 ton pada tiap tahunnya sampai 2030. Hasilnya dengan *phytoextraction* dari tanah asam sedikit terkontaminasi menggunakan *S. plumbizincicola* layak untuk menekan total konsentrasi toksisitas pada Cd. Pemanfaatan yang tepat dari kultivar padi dan amandemen tanah dalam tanah *phytoex* dapat berkontribusi lebih lanjut untuk produksi pertanian yang aman.

4.8.2 Skenario RHB and CSR-Bio

Lahan pertanian dominan menghasilkan >500 juta ton residu tanaman setiap tahunnya (Singh et al. 2018). Studi tersebut menjelaskan bahwa khususnya pada lahan sawah irigasi untuk membersihkan sisa jerami setelah panen sebagian residu tanaman dibakar pada lahan pertanian. Hal tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak mematikan keanekaragaman mikroba tanah yang bermanfaat dan nutrisi tanaman dalam kandungan hara tanah menghilang sehingga dapat mengurangi tingkat kesesuaian lahan pertanian. Kesuburan tanah dan hilangnya produktivitas lahan karena miskin unsur hara dan aktivitas pertanian yang buruk dapat mengurangi jumlah hasil produktivitas padi. Oleh karena itu, bagaimana mengatasi gangguan dalam tanah yang dapat memperngaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman sebagai indeks kesuburan tanah tanpa melakukan pembakaran residu tanaman di lokasi yang dapat menciptakan polusi udara dan hilangnya mikroba bermanfaat dalam tanah. Langkah yang diusulkan adalah dengan percobaan CSR-Bio yaitu konsorsium bio formulasi dari mikroba yang menguntungkan, dengan menggunakan kotoran sapi (sebagai bahan pembawa) dan RHB (*Rice Husk Biochar*) sekam padi sebagai kondisioner tanah. Penambahan RHB dengan campuran CSR-Bio akan mempunyai dampak positif

terhadap sifat fisik kima pada tanah yang dapat meningkatkan SMB (*soil microbial biodiversity*) yaitu keanekaragaman hayati mikroba tanah dan produktivitas padi. Penerapan RHB dalam kombinasi CSR-Bio sebagai amandemen pendukung dari tanah pertanian yang miskin akan nutrisi dan unsur hará.

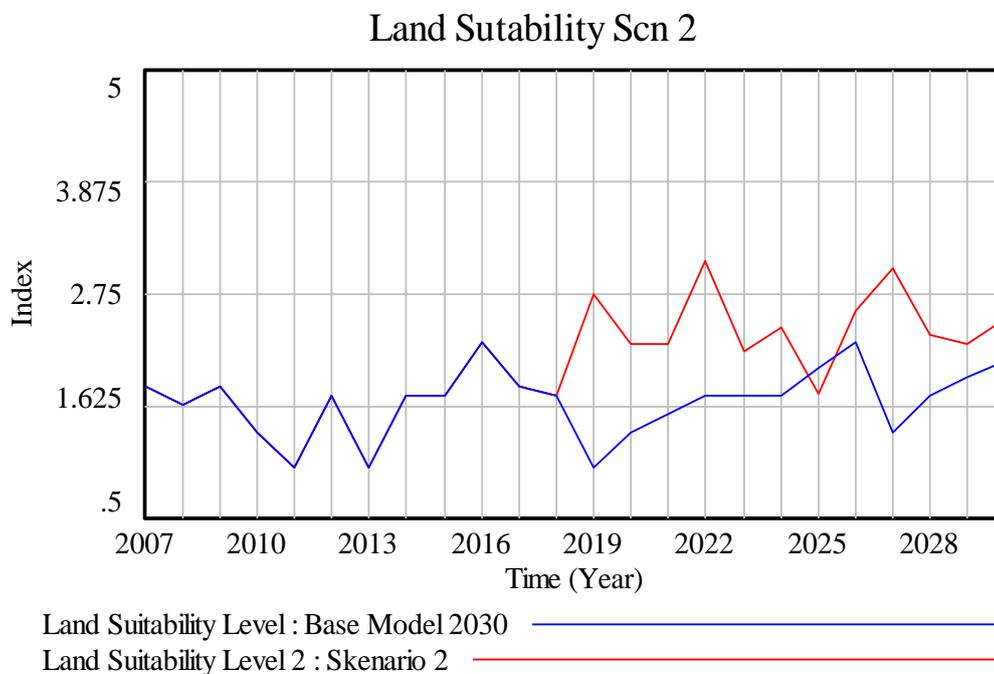
Langkah yang dilakukan adalah dengan treatment RHB+CSR-Bio pada sifat fisikokimia tanah selama siklus panen padi yaitu 3 perulangan x 4 treatments. RHB dengan CSR-BIO kedua amandemen tersebut diterapkan pada tingkat 10 t ha⁻¹. Di seluruh perlakuan, kapasitas penampung air, konsentrasi total -C, -N, -P, dan kadar air tanah secara statistik lebih tinggi di tanah yang diperlakukan dengan RHB dan CSR-BIO dibandingkan kontrol. SMB-C, -N dan -P tertinggi (408,66 ± 0,57, 83,33 ± 2,08 dan 25,66 ± 1,52 µgg soil 1 tanah kering. Tujuan yang dilakukan dengan penggunaan RHB yang dihasilkan residu tanaman padi pada aspek mikroba tanah dan pemulihan produktivitas tanah pertanian padi yang terganggu. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan jumlah SMB karena penambahan RHB + CSR-BIO, meningkatkan status nutrisi tanah dan karenanya, produktivitas padi di tanah pertanian yang miskin unsur hará. Berikut merupakan model skenario RHB+CSR-Bio dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Skenario RHB+CSR-Bio

Pada Gambar 4.20 diatas adalah skenario kedua yaitu skenario RHB+CSR-bio yang merupakan bio formulasi mikroba dengan peran multifungsi, digunakan sebagai pendukung pada tanah yang miskin unsur hara atau nutrisi pertumbuhan tanaman padi yang dapat meningkatkan SMB (*soil microbial biodiversity*) yaitu keanekaragaman hayati mikroba tanah dan produktivitas padi.

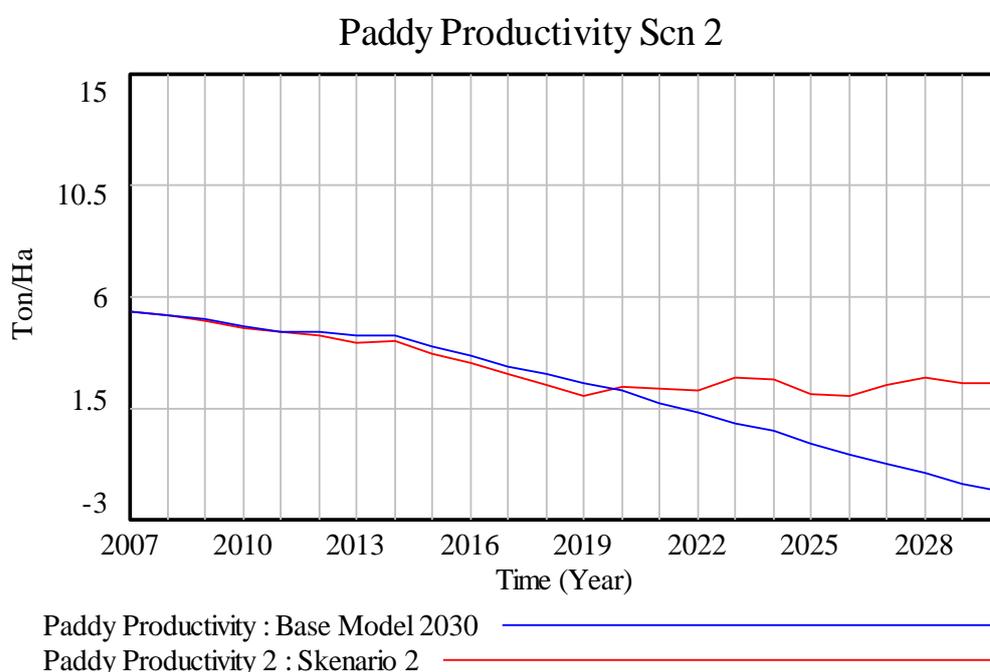
Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan grafik hasil peningkatan pada tingkat kesesuaian lahan pertanian berdasarkan treatment atau perlakuan dengan menambah variable RHB+CSR-bio dapat dilihat pada Gambar 4.23



Gambar 4. 23 Hasil Skenario RHB+CSR-bio pada Tingkat Kesesuaian Lahan

Dari gambar 4.17 grafik hasil skenario kedua penambahan variable RHB+CSR-bio pada model dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan skenario tingkat kesesuaian lahan pertanian menunjukkan angka rata-rata 1.625 dimana masuk dalam kelas S3 yaitu sesuai marginal bahwa lahan mempunyai faktor pembatas yang berat. Hal itu dapat berpengaruh terhadap produktivitasnya. Maka dari itu perlu dilakukannya tambahan atau masukan perlakuan untuk menekan tingkat kesesuaian lahan yaitu dengan penambahan atau treatment perlakuan dengan

menambah RHB+CSR-bio. Setelah dilakukannya skenario pada model dengan penambahan RHB+CSR-bio pada grafik terlihat terjadinya peningkatan tingkat kesesuaian lahan mencapai pada angka rata-rata 2.75 setelah tahun 2018 sampai pada tahun 2030 dimana masuk kedalam kelas S2 yaitu cukup sesuai, dengan pengertian lahan mempunyai faktor pembatas yang akan berpengaruh terhadap produktivitasnya. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap hasil dari produktivitas padi. Berikut merupakan grafik hasil simulasi produktivitas padi (ton/ha) dapat dilihat pada Gambar 4. 24



Gambar 4. 24 Hasil Skenario RHB+CSR bio pada Produktivitas Padi

Pada Gambar 4.24 diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya tingkat kesesuaian pada lahan pertanian untuk tanaman padi hal tersebut berdampak dapat meningkatkan produktivitas padi. Pada Gambar 4.24 hasil grafik menunjukkan terjadinya peningkatan produktivitas padi dari tahun 2019 sampai pada tahu 2030. Berikut merupakan tabel perbandingan hasil simulasi produktivitas padi (ton/ha) dan base model dapat dilihat pada Tabel 4.14

Tabel 4. 14 Hasil Skenario *RHB+CSR bio* pada Produktivitas Padi

Tahun	Produktivitas Padi (ton/ha)	
	Base Model	Skenario
2019	2,50	2,00
2020	2,20	2,40
2021	1,72	2,27
2022	1,31	2,25
2023	0,91	2,78
2024	0,57	2,69
2025	0,11	2,05
2026	-0,35	2,01
2027	-0,74	2,44
2028	-1,14	2,75
2029	-1,54	2,55
2030	-1,84	2,50
Rata-Rata	2,34	3,29

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa setelah menerapkan skenario kedua pada tingkat kesesuaian lahan hal ini mempengaruhi hasil produktivitas dari lahan padi dengan rata-rata peningkatan pertumbuhan 0,96 ton/ha. Hasilnya dengan penambahan RHB+CSR-bio, RHB dari biochar sekam padi dapat menjadi opsi pengelolaan limbah residu tanaman yang berkelanjutan untuk meningkatkan status gizi, biomassa mikroba dan produktivitas padi dari tanah pertanian yang terganggu sehingga dapat menambah produktivitas lahan pertanian yang dapat mempengaruhi produktivitas pada hasil panen pertanian.

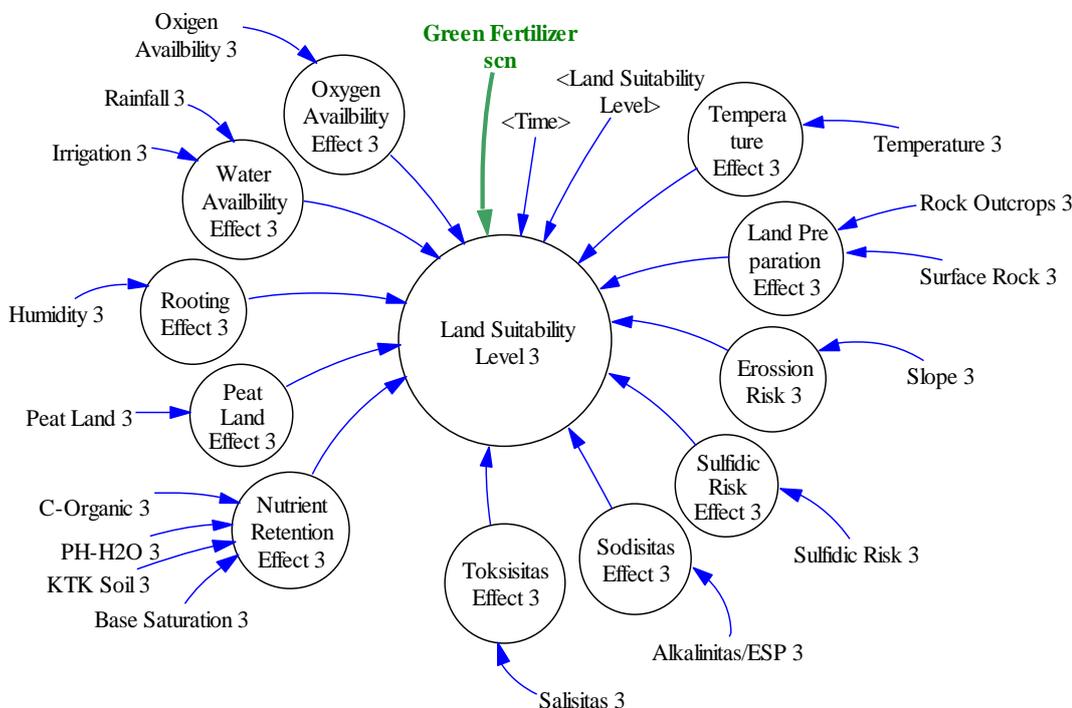
4.8.3 Skenario *Green Fertilizer*

Padi merupakan tanaman pokok yang utama daripada jenis tanaman lainnya, karena merupakan komoditas utama tanaman pangan pokok bagi negara. Untuk membantu pertumbuhan pada padi banyak petani yang menggunakan pupuk, pengaplikasian pupuk sangat dianjurkan pada masa penanaman. Pupuk itu sendiri adalah untuk memberikan unsur hara nutrisi tambahan pada tanaman. Pemberian pupuk pada tanaman tidak dapat dilakukan secara sembarangan, karena hal tersebut juga berdampak buruk pada produktivitas lahan dan tanaman. Beberapa contoh praktik pertanian kebanyakan tidak mempertimbangkan untuk jangka panjang

dimana praktik yang dilakukan dapat meningkatkan hasil pertanian namun dengan cara pengelolaan yang buruk dapat merusak kualitas tanah sehingga meningkatkan kerentanan tanaman.

Pada penelitian (Adnan et al. 2017) ini untuk membantu mengembangkan praktik pertanian berkelanjutan dan kesesuaian tanpa merusak lingkungan mereka menggunakan teknologi pupuk hijau atau *green fertilizer* yang dapat meningkatkan hasil produksi sehingga menjaga ketahanan pangan pada komoditi tanaman padi.

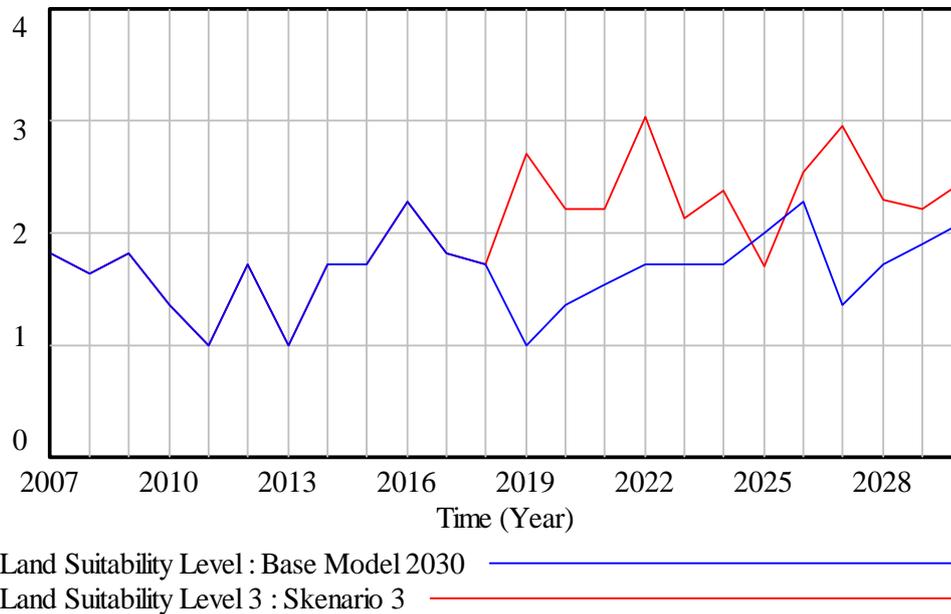
Berikut adalah merupakan model scenario *green fertilizer* untuk tingkat kesesuaian lahan dapat dilihat pada Gambar 4.25



Gambar 4. 25 Skenario *Green Fertilizer*

Pada gambar diatas adalah merupakan penerapan skenario pada model tingkat kesesuaian lahan. Penambahan variable *green fertilizer* untuk tingkat kesesuaian lahan adalah untuk membantu praktik dalam memperbaiki kondisi suatu lahan untuk lebih produktif dari sebelumnya. Hal tersebut dapat menaikkan tingkat kesesuaian lahan dari sebelumnya sebelum dilakukan penambahan pada model. Sehingga apabila kondisi suatu lahan lebih subur, itu dapat mempengaruhi jumlah hasil produktivitas padi. Berikut merupakan grafik tingkat kesesuaian lahan setelah dilakukan penambahan variable *green fertilizer* dapat dilihat pada Gambar 4. 26

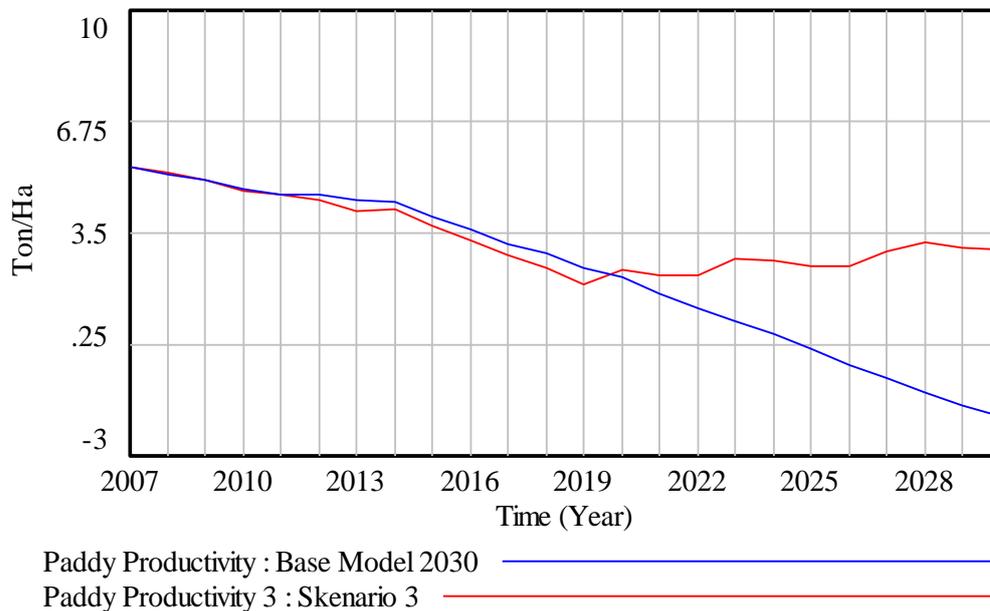
Land Suitability Scn 3



Gambar 4. 26 Hasil Skenario *Green Fertilizer* pada Tingkat Kesesuaian Lahan

Pada Gambar 4.26 skenario diatas dapat dilihat bahwa grafik sebelum dilakukan skenario menunjukkan angka rata-rata 2 dimana itu masuk pada kelas S3 yaitu sesuai marginal yang berarti lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, faktor pembatas yang berat akan berpengaruh terhadap produktivitasnya. Sehingga pada lahan memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak untuk membuat lahan menjadi lebih sesuai. Untuk mengatasi faktor tersebut dilakukan skenario pada model dengan melakukan penambahan variable *green fertilizer*, dapat dilihat bahwa pada grafik menunjukkan peningkatan pada rata-rata 3 dimana nilai tersebut masuk dalam kelas S2 yaitu cukup sesuai. Lahan tetap mempunyai faktor pembatas yang dapat mempengaruhi produktivitas, produktivitas mempengaruhi secara langsung pada hasil produksi padi.

Paddy Productivity Scn 3



Gambar 4. 27 Hasil Skenario *Green Fertilizer* pada Produktivitas Padi

Pada Gambar 4.27 diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya tingkat kesesuaian pada lahan pertanian untuk tanaman padi hal tersebut berdampak dapat meningkatkan produktivitas padi. Pada Gambar 4.27 hasil grafik menunjukkan terjadinya peningkatan produktivitas padi dari tahun 2019 sampai pada tahun 2030. Berikut merupakan hasil produktivitas padi setelah dilakukan skenario *green fertilizer* pada model dapat dilihat pada Tabel 4. 15

Tabel 4. 15 Hasil Skenario *Green Fertilizer* pada Produktivitas Padi

Tahun	Produktivitas Padi (ton/ha)	
	Base Model	Skenario
2019	2,50	2,00
2020	2,20	2,40
2021	1,72	2,27
2022	1,31	2,25
2023	0,91	2,78
2024	0,57	2,69
2025	0,11	2,55
2026	-0,35	2,51
2027	-0,74	2,94
2028	-1,14	3,25

Tahun	Produktivitas Padi (ton/ha)	
	Base Model	Skenario
2029	-1,54	3,05
2030	-1,84	3,00
Rata-Rata	2,34	3,42

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa setelah menerapkan skenario ketiga pada tingkat kesesuaian lahan hal ini mempengaruhi hasil produktivitas dari lahan padi dengan rata-rata peningkatan pertumbuhan 1,08 ton/ha atau 0.31%. Hasilnya dengan praktik penambahan *green fertilizer*, penggunaan pupuk (kimia) yang dapat memeberikan praktik meningkatkan produktivitas, namun hanya untuk jangka pendek yang dapat merusak kualitas tanah sehingga dapat meningkatkan kerentanan terhadap tanaman itu sendiri. Hal tersebut merupakan aspek negatif karena mempengaruhi produktivitas pertanian. Maka darii tu praktik terbaru dengan penerapan skenario *green fertilizer* adalah merupak praktik yang tepat guna dapat meningkatkan produktivitas tanah yang dapat berdampak meningkatkan hasil produktivitas pertanian secara keberlanjutan.

4.9 Simpulan dan Hasil Skenario

Dari beberapa skenario yang telah dibuat, penulis menyimpulkan beberapa skenario tersebut untuk memberikan gambaran lebih jelas, dimana faktor-faktor yang mempengaruhi kesesuaian lahan sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan yang menghasilkan produktivitas padi meningkat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4. 16 Hasil Skenario

No	Simulasi	Sebelum Skenario	Setelah Skenario
1	Hasil simulasi penambahan <i>phytoextraction using Sedum plumbizincicola</i>	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2007-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S3 (sesuai	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada

No	Simulasi	Sebelum Skenario	Setelah Skenario
		marginal). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 56,05 ton/ha.	tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2019-2030 adalah 89,49 ton/ha.
2	Hasil simulasi <i>RHB</i> dan <i>CSR-bio</i>	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2007-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S3 (sesuai marginal). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 56,05 ton/ha.	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 78,99 ton/ha.
3	Hasil simulasi <i>green fertilizer</i>	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2007-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S3 (sesuai marginal). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 56,05 ton/ha.	Tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 81,99 ton/ha.

Sebelum dilakukan simulasi penambahan skenario *phytoextraction using Sedum plumbizincicola*, *RHB* dan *CSR-bio*, *green fertilizer*, tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur pada tahun 2007-2030 adalah masuk pada rata-rata tingkat kelas S3 (sesuai marginal), yaitu lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Hasil simulasi penambahan skenario *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 89,49 ton/ha.

Sedangkan hasil simulasi dengan penambahan skenario *RHB* dan *CSR-bio* tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2007-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 78,99 ton/ha. Kemudian hasil simulasi penambahan skenario *green fertilizer* tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S3 (sesuai marginal). Dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 adalah 81,99 ton/ha. Dari skenario dengan penambahan 3 variabel skenario tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil produktivitas padi pada tahun 2019-2030 meningkat dengan kesesuaian lahan masuk pada tingkat S2 (cukup sesuai).

4.10 Evaluation

Evaluasi atau penilaian kesesuaian lahan adalah proses pendugaan tingkat kesesuaian lahan untuk berbagai alternatif penggunaan lahan, dan dalam hal ini ditujukan untuk penggunaan lahan pertanian. Penilaian kesesuaian lahan dapat dilaksanakan secara manual ataupun secara komputerisasi. Secara komputerisasi, penilaian dan pengolahan data dalam jumlah besar dapat dilaksanakan dengan cepat, dimana ketepatan penilaiannya sangat ditentukan oleh kualitas data yang tersedia serta ketepatan asumsi – asumsi yang digunakan.

Hasil simulasi skenario pertama yaitu dengan penambahan *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* mampu menghasikan tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah

masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai) yang sebelum diskenariokan hanya berada pada tingkat kelas S3 (sesuai marginal). Dengan meningkatnya kelas kesesuaian lahan menjadi kelas S2 maka hal ini juga mempengaruhi produktivitas padi setelah diskenariokan pada tahun 2007-2030 mencapai 89,49 ton/ha. Hasil produktivitas ini mengalami peningkatan dari produksi padi sebelum diskenariokan pada tahun 2007-2030 hanya 56,05 ton/ha. Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh (Hu et al. 2019) bahwa penggunaan *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* dapat mengembalikan produktivitas lahan yang terkontaminasi racun. Beberapa strategi kebijakan untuk meningkatkan tingkat kesesuaian lahan pertanian yang dapat dilakukan oleh pemerintah diantaranya mempromosikan penggunaan *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* kepada kelompok tani untuk perbaikan tanah pertanian yang sedikit terkontaminasi dengan cadmium.

Hasil skenario kedua yaitu penggunaan *RHB dan CSR-bio* mampu menghasilkan tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Tingkat kesesuaian lahan mengalami kenaikan karena sebelum dilakukan skenario tingkat kesesuaian lahan berada pada rata-rata kelas S3 (sesuai marginal). Dengan meningkatnya tingkat kesesuaian lahan, hal ini berpengaruh terhadap hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 yang mencapai 78,99 ton/ha sebelumnya hanya mencapai 56,05 ton/ha.

Hasil skenario ketiga yaitu penerapan *green fertilizer* mampu menghasilkan tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur tahun 2019-2030 rata-rata adalah masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Tingkat kesesuaian lahan mengalami kenaikan karena sebelum dilakukan skenario tingkat kesesuaian lahan berada pada rata-rata kelas S3 (sesuai marginal). Dengan meningkatnya tingkat kesesuaian lahan, hal ini berpengaruh terhadap hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 yang mencapai 81,99 ton/ha sebelumnya hanya mencapai 56,05 ton/ha.

Sebelum dilakukan skenario tingkat kesesuaian lahan pertanian di Jawa timur masuk pada kelas kesesuaian lahan S3 (sesuai marginal) dimana lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, untuk mengatasi faktor pembatas pada lahan S3 perlu

adanya bantuan atau campur tangan (intervensi) pemerintah dan stakeholder dibidang pertanian, karena tanpa bantuan tersebut petani tidak mampu mengatasinya. Beberapa strategi kebijakan untuk meningkatkan tingkat kesesuaian lahan pertanian yang dapat dilakukan oleh pemerintah diantaranya mempromosikan praktik penggunaan *phytoextraction using Sedum plumbizincicola*, *RHB+ CSR bio*, dan *Green fertilizer* kepada kelompok tani untuk perbaikan tanah pertanian yang sedikit terkontaminasi, meningkatkan status hara tanah tanpa menimbulkan dampak emisi, menggunakan green fertilizer untuk meminimalisir penggunaan pupuk kimia yang berlebihan sehingga terciptanya produktivitas lahan yang berkelanjutan tidak hanya dalam jangka pendek pertanian.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya serta saran – saran dari yang diberikan untuk pengembangan penelitian sebelumnya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah untuk menjawab rumusan masalah terkait model simulasi sistem dinamik untuk evaluasi kesesuaian lahan dalam rangka meningkatkan produksi panen pertanian.

1. Faktor – faktor yang mempengaruhi kesesuaian lahan pertanian dalam meningkatkan produktivitas tanaman padi dengan mempertimbangkan faktor internal maupun eksternal yang dapat mempengaruhi dinamika sistem adalah 1) kondisi iklim, 2) topografi dan kondisi biofisik antara lain temperatur, ketersediaan oksigen, 3) ketersediaan air, 4) kelembaban, 5) kondisi gambut pada lahan, 6) ketersediaan hara, 7) toksisitas, 8) sodisitas, 9) sulfidik, 10) elevasi tanah, 11) penyiapan lahan batuan dan 12) singkapan batuan pada lahan.
2. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, untuk meningkatkan produktivitas panen pertanian melalui peningkatan kesesuaian lahan yang diusulkan adalah dengan melakukan beberapa skenario diantaranya skenario *phytoextraction using Sedum plumbizincicola*, Skenario *RHB+CSR bio* dan skenario *Green Fertilizer*. Dari hasil skenario *phytoextraction using Sedum plumbizincicola*, skenario *RHB+CSR bio*, dan skenario *Green Fertilizer* pada tingkat kesesuaian lahan pertanian untuk tanaman padi di Jawa timur pada tahun 2019-2030 rata-rata dengan ketiga skenario tersebut tingkat kesesuaian lahan masuk pada tingkat kelas S2 (cukup sesuai). Skenario *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 59%. Skenario *RHB+SCR bio* dengan hasil produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 41%. Skenario *Green Fertilizer* dengan hasil

produktivitas padi tahun 2007-2030 meningkat sebesar 46%. Dengan adanya skenario dengan tiga variabel: 1) *phytoextraction using Sedum plumbizincicola* 2) *RHB+CSR bio* dan 3) *Green Fertilizer* terbukti bahwa produktivitas padi pada tahun 2007-2030 meningkat dengan peningkatan kelas kesesuaian lahan dari kelas S3 sesuai marginal menjadi kelas S2 cukup sesuai.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikembangkan dari penelitian ini adalah penambahan variable yang dapat berpengaruh mengurangi dalam kesesuaian lahan karena ada faktor yang meningkatkan dan mengurangi pada produktivitas lahan yang pada penelitian ini belum dipertimbangkan. Penambahan dampak pengaruh dalam sektor ekonomi dan lingkungan untuk menjangkau lebih luas cakupan dalam penelitian, kemudian penelitian lebih lanjut terkait tingkat kesesuaian lahan yang dipetakan dengan GIS (*Geographic Information System*) sehingga dapat terlihat lahan mana saja yang telah sesuai untuk penanaman padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, Mohamed A. E., A. Natarajan, and Rajendra Hegde. 2016. "Assessment of Land Suitability and Capability by Integrating Remote Sensing and GIS for Agriculture in Chamarajanagar District , Karnataka , India." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 19(1):125–41. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.02.001>).
- Adnan, Nadia, Shahrina Nordin, Imran Rahman, and Amir Noor. 2017. "Land Use Policy Adoption of Green Fertilizer Technology among Paddy Farmers : A Possible Solution for Malaysian Food Security." *Land Use Policy* 63:38–52. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.022>).
- Akpoti, Komlavi, Amos T. Kabo-bah, Sander J. Zwart, Africa Rice, and Côte Ivoire. 2019. "Agricultural Land Suitability Analysis : State-of-the-Art and Outlooks for Integration of Climate Change Analysis." *Agricultural Systems* 173(January 2018):172–208. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.02.013>).
- Alabyad-mafraq, Al Gadeer, Safa Mazahreh, Majed Bsoul, and Doaa Abu Hamoor. 2018. "GIS Approach for Assessment of Land Suitability for Different Land Use Alternatives in Semi Arid Environment in Jordan: Case Study." *Information Processing in Agriculture*. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08.004>).
- Ambarwulan, Wiwin, Paulus B. K. Santoso, and Supiandi Sabiham. 2016. "Remote Sensing and Land Suitability Analysis to Establish Local Specific Inputs for Paddy Fields in Subang , West Java." 33:94–107.
- Amini, Sherwin, Abbas Rohani, Mohammad Hossein Aghkhani, Mohammad Hossein Abbaspour-fard, and Mohammad Reza Asgharipour. 2019. "Assessment of Land Suitability and Agricultural Production Study of Mazandaran Province , Iran." *Information Processing in Agriculture*. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.10.001>).
- Anderson, Andrea L. and Thomas R. Rocek. 2018. "Journal of Archaeological

- Science : Reports GIS Modeling of Agricultural Suitability in the Highlands of the Jornada Branch of the Mogollon Culture of Southcentral New Mexico.” *Journal of Archaeological Science: Reports* 22(July):142–53. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.09.009>).
- Badan Pusat Statistik. 2018. “Jawa Timur Province in Figures 2017.”
- Bala, B. K., E. F. Alias, Fatimah M. Arshad, K. M. Noh, and A. H. A. Hadi. 2014. “Simulation Modelling Practice and Theory Modelling of Food Security in Malaysia.” *STIMULATION MODELLING PRACTICE AND THEORY* 47:152–64. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2014.06.001>).
- Bandyopadhyay, S., R. K. Jaiswal, V. S. Hegde, and V. Jayaraman. 2009. “Assessment of Land Suitability Potentials for Agriculture Using a Remote Sensing and GIS Based Approach.” *International Journal of Remote Sensing* 30(4):879–95.
- Chowdhury, R. Roy et al. 2018. “Middle-Range Theories of Land System Change.” *Global Environmental Change* 53(March):52–67. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.006>).
- van Delden, Hedwig et al. 2010. “Integrated Assessment of Agricultural Policies with Dynamic Land Use Change Modelling.” *Ecological Modelling* 221(18):2153–66. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.03.023>).
- Doelman, Jonathan C. et al. 2018. “Exploring SSP Land-Use Dynamics Using the IMAGE Model : Regional and Gridded Scenarios of Land-Use Change and Land-Based Climate Change Mitigation.” *Global Environmental Change* 48(November 2017):119–35. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.014>).
- Dujmovic, Jozo, Margaret Schmidt, Bryn Montgomery, and Suzana Dragic. 2016. “Original Papers A GIS-Based Logic Scoring of Preference Method for Evaluation of Land Capability and Suitability for Agriculture.” 124:340–53.
- FAO. 2011a. “Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).” *The State of the World’s Land and Water Resources for Food and*

Agriculture—managing Systems at Risk. Summary Report. Rome, Italy: FAO. Accessed April 4, 2015.

FAO. 2011b. *The State of Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.

FAO, Canada Land. 1976. “An Overview of Land Evaluation and Land Use Planning.” 1–19.

Hasaranga, G. D. G. S. A., L. K. W. Wijayarathne, P. H. P. Prasanna, K. G. P. B. Karunaratne, and R. H. S. Rajapakse. 2018. “Effect of Paddy Variety , Milling Status and Aeration on the Progeny Emergence of *Sitophilus Oryzae* L . (Coleoptera : Curculionidae).” *Journal of Stored Products Research* 79:116–22. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.10.003>).

Heinonen, Sirkka, Matti Minkkinen, Joni Karjalainen, and Sohail Inayatullah. 2016. “Technological Forecasting & Social Change Testing Transformative Energy Scenarios through Causal Layered Analysis Gaming.” *Technological Forecasting & Social Change*. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2016.10.011>).

Hu, Pengjie et al. 2019. “Agriculture , Ecosystems and Environment Assessment of Phytoextraction Using *Sedum Plumbizincicola* and Rice Production in Cd-Polluted Acid Paddy Soils of South China : A Field Study.” *Agriculture, Ecosystems and Environment* 286(July):106651. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106651>).

Jiang, Guanghui, Ruijuan Zhang, Wenqiu Ma, Dingyang Zhou, and Xinpan Wang. 2017. “Land Use Policy Cultivated Land Productivity Potential Improvement in Land Consolidation Schemes in Shenyang , China : Assessment and Policy Implications.” 68(19):80–88.

Kopittke, Peter M., Neal W. Menzies, Peng Wang, Brigid A. Mckenna, and Enzo Lombi. 2019. “Soil and the Intensi Fi Cation of Agriculture for Global Food Security.” *Environment International* 132(July):105078. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>).

Li, Hongwei and Yaning Chen. 2019. “Assessing Potential Land Suitable for

- Surface Irrigation Using Groundwater Data and Multi-Criteria Evaluation in Xinjiang Inland River Basin.” *Computers and Electronics in Agriculture* (October):105079. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105079>).
- Luo, Geping, Changying Yin, Xi Chen, Wenqiang Xu, and Lei Lu. 2010. “Combining System Dynamic Model and CLUE-S Model to Improve Land Use Scenario Analyses at Regional Scale : A Case Study of Sangong Watershed in Xinjiang , China.” *Ecological Complexity* 7(2):198–207. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.02.001>).
- Marcos-martinez, Raymundo, Brett A. Bryan, Jeffery D. Connor, and Darran King. 2017. “Land Use Policy Agricultural Land-Use Dynamics : Assessing the Relative Importance of Socioeconomic and Biophysical Drivers for More Targeted Policy.” *Land Use Policy* 63:53–66. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.011>).
- Mohamed, Zainalabidin, Rika Terano, Juwaidah Sharifuddin, and Golnaz Rezai. 2016. “Determinants of Paddy Farmer ’ s Unsustainability Farm Practices.” *Italian Oral Surgery* 9:191–96. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.120>).
- Muslim, Chairul. 2013. “Mitigasi Perubahan Iklim Dalam Mempertahankan Produktivitas Tanah Padi Sawah (Studi Kasus Di Kabupaten Indramayu) Climate Change Mitigation In Maintaining Land Productivity Rice Rice Fields (Cases ; Regency of Indramayu).” *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 13(3):211–22.
- Neuwirth, C., A. Peck, and S. P. Simonović. 2015. “Modeling Structural Change in Spatial System Dynamics: A Daisyworld Example.” *Environmental Modelling and Software* 65:30–40.
- Pilehforoosha, Parastoo, Mohammad Karimi, and Mohammad Taleai. 2014. “A GIS-Based Agricultural Land-Use Allocation Model Coupling Increase and Decrease in Land Demand.” *Agricultural Systems* 130:116–25. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.07.001>).

- Pradesh, Uttar. 2013. “Biophysical Linkage with Simulation Modelling for Sustainable Land Use and Agricultural Productivity: A Case Study in Western.” *Procedia Environmental Sciences* 18:818–28. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2013.04.110>).
- Rizzalli, R. H. et al. 2019. “Field Crops Research Improving Resource Productivity at a Crop Sequence Level.” *Field Crops Research* 235(October 2018):129–41. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.011>).
- Rossiter, David G. and Armand R. Van Wambeke. 1997. “ALES Version 4 . 65 User ’ s Manual February 1997 Printing.” 1(February).
- Russo, Patrizia, Giovanna Tomaselli, and Giuseppe Pappalardo. 2014. “Land Use Policy Marginal Periurban Agricultural Areas: A Support Method for Landscape Planning.” *Land Use Policy* 41:97–109. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.04.017>).
- Sahoo, Satiprasad et al. 2018. “Future Scenarios of Land-Use Suitability Modeling for Agricultural Sustainability in a River Basin.” *Journal of Cleaner Production* 205:313–28. Retrieved (<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618328191>).
- Sharma, Rohit, Sachin S. Kamble, and Angappa Gunasekaran. 2018. “Big GIS Analytics Framework for Agriculture Supply Chains : A Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives.” *Computers and Electronics in Agriculture* 155(September):103–20. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.001>).
- De Silva, C. S., E. K. Weatherhead, J. W. Knox, and J. A. Rodriguez-Diaz. 2007. “Predicting the Impacts of Climate Change-A Case Study of Paddy Irrigation Water Requirements in Sri Lanka.” *Agricultural Water Management* 93(1–2):19–29.
- Singh, Chhatarpal, Shashank Tiwari, Vijai Kumar, and Jay Shankar. 2018. “Catena The e Ff Ect of Rice Husk Biochar on Soil Nutrient Status , Microbial Biomass and Paddy Productivity of Nutrient Poor Agriculture Soils.” *Catena* 171(June):485–93. Retrieved

(<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.042>).

Stuart, Alexander M., Krishna P. Devkota, Takahiro Sato, Anny Ruth, and P. Pame. 2018. "Field Crops Research On-Farm Assessment of Different Rice Crop Management Practices in the Mekong Delta , Vietnam , Using Sustainability Performance Indicators." *Field Crops Research* 229(October):103–14. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.001>).

Sun, J., Y. P. Li, C. Suo, and Y. R. Liu. 2019. "Impacts of Irrigation Efficiency on Agricultural Water-Land Nexus System Management under Multiple Uncertainties — A Case Study in Amu Darya River Basin , Central Asia." 216(September 2018):76–88.

Suryani, Erna et al. 2016. "PEDOMAN PENILAIAN KESESUAIAN LAHAN UNTUK KOMODITAS PERTANIAN STRATEGIS Tingkat Semi Detail Skala 1 : 50 . 000."

Trodahl, Martha I., Bethanna M. Jackson, Julie R. Deslippe, and Alister K. Metherell. 2016. "Investigating Trade-offs between Water Quality and Agricultural Productivity Using the Land Utilisation and Capability Indicator (LUCI) – A New Zealand Application." *Ecosystem Services* (October):1–12. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.013>).

Vasu, Duraisamy et al. 2018. "A Comparative Assessment of Land Suitability Evaluation Methods for Agricultural Land Use Planning at Village Level." *Land Use Policy* 79(August):146–63. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.007>).

Verburg, Peter H. et al. 2015. "Land System Science and Sustainable Development of the Earth System: A Global Land Project Perspective." *Anthropocene* 12:29–41. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.004>).

Vulevic, Tijana, Nada Dragovic, Stanimir Kostadinov, Snezana Belanovic Simic, and Irina Milovanovic. 2015. "Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Analysis Methods." *Polish Journal of Environmental Studies* 24(1):317–23.

- Walters, Jeffrey P. et al. 2016. “Exploring Agricultural Production Systems and Their Fundamental Components with System Dynamics Modelling.” *Ecological Modelling* 333:51–65. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015>).
- Worqlul, Abeyou W. et al. 2017. “Assessing Potential Land Suitable for Surface Irrigation Using Groundwater in Ethiopia.” *Applied Geography* 85:1–13. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.010>).
- Worqlul, Abeyou W. et al. 2019. “Original Papers Effect of Climate Change on Land Suitability for Surface Irrigation and Irrigation Potential of the Shallow Groundwater in Ghana.” *Computers and Electronics in Agriculture* 157(December 2018):110–25. Retrieved (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.040>).
- Xin, Fengfei et al. 2019. “Large Increases of Paddy Rice Area , Gross Primary Production , and Grain Production in Northeast China during 2000-2017 Department of Microbiology and Plant Biology , Center for Spatial Analysis , University of c Institute of of Land Science and Technology , China Agricultural University , Beijing 100193 , China * Corresponding Author : Xiangming Xiao (Xiangming.Xiao@ou.Edu).”
- Yalew, S. G., A. Van Griensven, and P. Van Der Zaag. 2016. “AgriSuit : A Web-Based GIS-MCDA Framework for Agricultural Land Suitability Assessment.” *Computers and Electronics in Agriculture* 128:1–8. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.008>).
- Zakaria, Amar K. and Tjetjep Nurasa. 2013. “STRATEGI PENGGALANGAN PETANI UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PENINGKATAN PRODUKSI PADI BERKELANJUTAN Strategy for Consolidating Farmers to Support the Sustainable Rice Production Enhancement Program.” 75–87.
- Zhang, Bo et al. 2011. “Computers & Geosciences SD – GIS-Based Temporal – Spatial Simulation of Water Quality in Sudden Water Pollution Accidents.” *Computers and Geosciences* 37(7):874–82.

Zolekar, Rajendra Bhausheb and Vijay Shivaji Bhagat. 2015. "Multi-Criteria Land Suitability Analysis for Agriculture in Hilly Zone : Remote Sensing and GIS Approach." *COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE* 118:300–321. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016>).

BIODATA PENULIS



Nama lengkap Seftin Fitriana lahir di Bojonegoro 20 maret 1991, anak terakhir dari tujuh bersaudara dari pasangan Bapak Alm. H. Urip dan Ibu Hj. Kabdah. Penulis adalah warga negara Indonesia dan beragama Islam. Adapun riwayat pendidikan penulis yaitu SMAN 1 Padangan Bojonegoro tahun 2009. Kemudian 2009 melanjutkan ke perguruan tinggi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Surabaya dengan mengambil program studi Teknik Informatika dengan masa tempuh 4 tahun. Pada tahun 2013 penulis berhasil menyelesaikan studi pendidikan S1 dengan tugas akhir berjudul “Webmap untuk mengetahui daerah rawan banjir di Kabupaten Bojonegoro Jawa Timur”. Kemudian penulis

melanjutkan dengan bekerja dari tahun 2014 sampai pada tahun 2017 di bidang construction sebelum akhirnya memutuskan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang lebih tinggi yaitu magister jurusan Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2017 semester genap. Pada penelitian ini penulis mengambil konsentrasi Sistem Enterprise (SE) dengan topik pemodelan sistem dinamik. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan di alamat email seftinfiriana@gmail.com.