



Prof. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.
Rully Agus Hendrawan, S.Kom., M.Eng.
Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.

Implementasi Model Simulasi Sistem Dinamik dalam **Industri Jagung**



**IMPLEMENTASI
MODEL SIMULASI SISTEM DINAMIK
DALAM INDUSTRI JAGUNG**

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

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

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

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

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

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

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

IMPLEMENTASI MODEL SIMULASI SISTEM DINAMIK DALAM INDUSTRI JAGUNG

Prof. Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.
Rully Agus Hendrawan, S.Kom., M.Eng.
Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom.



**IMPLEMENTASI MODEL SIMULASI SISTEM DINAMIK
DALAM INDUSTRI JAGUNG**

Erma Suryani, Rully Agus Hendrawan & Ulfa Emi Rahmawati

Desain Cover :
Dwi Novidiantoko

Sumber :
www.shutterstock.com

Tata Letak :
Gofur Dyah Ayu

Proofreader :
Avinda Yuda Wati

Ukuran :
xi, 100 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :
978-623-02-3351-7

ISBN Elektronik :
978-623-02-3479-8

Cetakan Pertama :
September 2021

Tahun Terbit Digital :
2021

Hak Cipta 2021, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2021 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

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

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

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

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

RINGKASAN

Sistem merupakan sekumpulan elemen yang saling bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan. Sistem dapat diklasifikasikan menjadi sistem abstrak dan fisik, alamiah dan buatan, tertentu dan tidak tertentu, serta tertutup dan terbuka. Model merupakan representasi dari sebuah sistem. Dalam mengembangkan sebuah model diperlukan adanya pengetahuan tentang sistem yang dimodelkan. Simulasi merupakan proses perancangan model dari sebuah sistem untuk mempelajari perilaku dan karakteristik sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem atau menciptakan sistem sesuai dengan tujuan pembuatan model. Langkah-langkah simulasi meliputi pendefinisian sistem, formulasi model, pengambilan data, pembuatan model, verifikasi model, validasi model, dan skenario (eksperimen) terhadap model.

Dalam buku ini dibahas tentang implementasi model sistem dinamik pada industri jagung. Salah satu teknik pengambilan keputusan adalah teknik “Pemodelan dan Simulasi”. Permintaan jagung meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan industri, hal ini mengakibatkan permintaan akan jagung semakin meningkat. Pertumbuhan produksi jagung di Jawa Timur lebih mengandalkan peningkatan luas areal panen, kontribusi terbesar luas panen jagung nasional berasal dari Provinsi Jawa Timur, yaitu sebesar 26,52%. Setelah dilakukan pemahaman sistem maka dapat dikembangkan model simulasi untuk meningkatkan produksi dan pendapatan petani jagung.

Vensim (Ventana Simulation) merupakan sarana untuk mengembangkan model yang memungkinkan untuk membuat konsep, mendokumentasikan, menyimulasikan, dan menganalisis model sistem dinamik. Vensim menyediakan teknik yang sederhana dan fleksibel untuk membangun *Causal Loop Diagram* (CLD) maupun *Stock and Flow Diagram* (SFD). Vensim juga memiliki beberapa fasilitas seperti *graph*, *causal strip*, dan *table* sebagai media interpretasi hasil simulasi.

Untuk mengecek akurasi model yang dikembangkan, maka dilakukan validasi model. Setelah model dinyatakan valid, berikutnya dapat dilakukan pengembangan skenario model. Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara menambahkan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Dalam studi ini akan diprediksi beberapa variabel seperti produktivitas, produksi, biaya usaha tani jagung, dan pendapatan petani jagung.

KATA PENGANTAR

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

Buku ini memberikan informasi secara lengkap mengenai materi pengembangan model simulasi dan skenario dengan menggunakan sistem dinamik dalam industri jagung. Buku ini juga dilengkapi dengan evaluasi pada setiap bab untuk mengukur pemahaman pembaca. Referensi yang digunakan pada buku ini berasal dari berbagai sumber terpercaya yang berguna sebagai tambahan wawasan bagi para pembaca.

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

Penulis

DAFTAR ISI

RINGKASAN	V
KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR GAMBAR	X
BAB I PENGANTAR SISTEM.....	1
1.1. Definisi Sistem	1
1.2. Klasifikasi Sistem	3
1.3. Contoh-Contoh Sistem	4
1.4. Evaluasi.....	5
BAB II PEMODELAN SISTEM	6
2.1. Model	6
2.2. Klasifikasi Model.....	8
2.3. Tahapan Pengembangan Model	9
2.4. Evaluasi.....	10
BAB III SIMULASI SISTEM	11
3.1. Pengertian Simulasi.....	11
3.2. Tahapan Pengembangan Model Simulasi	12
3.3. Jenis-Jenis Simulasi.....	13
3.4. Contoh-Contoh Model Simulasi	14
3.5. Evaluasi.....	15
BAB IV SISTEM DINAMIK.....	16
4.1. Pengertian Sistem Dinamik	16
4.2. Karakteristik Sistem Dinamik	16
4.3. Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik	17
4.4. Implementasi Sistem Dinamik.....	21
4.5. Contoh Model Sistem Dinamik.....	22
4.6. Kelebihan Model Sistem Dinamik	25

4.7.	Evaluasi.....	26
BAB V	VENTANA SIMULATION SEBAGAI TOOL UNTUK PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK	27
5.1.	Pengantar Ventana Simulation (Vensim)	27
5.2.	Fasilitas-Fasilitas di dalam Vensim	28
5.3.	Fungsi-Fungsi di dalam Vensim	35
5.4.	Contoh Model dengan Menggunakan Vensim.....	40
5.5.	Evaluasi.....	43
BAB VI	IMPLEMENTASI MODEL SISTEM DINAMIK DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI DAN PENDAPATAN PETANI JAGUNG	44
6.1.	Pemahaman Sistem (Problem Articulation).....	44
6.2.	Hipotesis Dinamis (Dynamics Hypothesis)	46
6.3.	Formulasi Model	58
6.4.	Validasi Model.....	60
6.5.	Analisis Hasil Simulasi Model	71
6.6.	Skenario Model (Policy Formulation).....	84
6.7.	Evaluasi.....	90
REFERENSI.....		91
PROFIL PENULIS		99

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Simbol <i>Causal Loop Diagram</i>	18
Tabel 4.2	Simbol Stock and Flow	19
Tabel 6.1	Boundary adequacy submodel maize productivity	49
Tabel 6.2	Boundary adequacy submodel harvest land area	49
Tabel 6.3	Boundary adequacy submodel maize demand.....	50
Tabel 6.4	Boundary adequacy <i>submodel</i> maize production <i>dan</i> farmers' income	50
Tabel 6.5	Persamaan submodel harvest land area.....	59
Tabel 6.6	Persamaan submodel maize productivity and production.....	59
Tabel 6.7	Persamaan submodel population and maize demand	60
Tabel 6.8	Persamaan submodel farmers' income and cultivation cost.....	60
Tabel 6.9	Parameter model, nilai parameter, dan sumber	65
Tabel 6.10	Skenario pengujian dan parameter uji extreme conditions test	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem dan lingkungannya	2
Gambar 1.2	Model sistem	3
Gambar 1.3	Sistem tertutup	4
Gambar 1.4	Sistem terbuka	4
Gambar 4.1	Tahapan pengembangan model sistem dinamik.....	17
Gambar 4.2	Contoh <i>Causal Loop Diagram</i>	18
Gambar 4.3	Contoh Stock and Flow Diagram.....	20
Gambar 4.4	Contoh CLD penjualan dan pendapatan pada UMKM frozen food	22
Gambar 4.5	Contoh SFD penjualan dan pendapatan pada UMKM <i>frozen food</i>	23
Gambar 4.6	Grafik hasil simulasi total sales of frozen food	24
Gambar 4.7	Grafik hasil simulasi income of frozen food.....	24
Gambar 4.8	Grafik hasil simulasi total income	25
Gambar 5.1	Antarmuka Vensim	27
Gambar 5.2	Antarmuka model setting pada Vensim	28
Gambar 5.3	Jendela utama Vensim	28
Gambar 5.4	Analysis toolset	34
Gambar 5.5	Memasukkan fungsi	38
Gambar 5.6	Initial condition pada equation editor	40
Gambar 5.7	Membangun model profit UMKM frozen food	41
Gambar 5.8	Grafik hasil simulasi profit of UMKM frozen food	42
Gambar 5.9	Causes strip profit of UMKM frozen food.....	43
Gambar 6.1	Blok diagram budi daya jagung.....	45
Gambar 6.2	Subsystem diagram budi daya jagung	46
Gambar 6.3	Causal Loop Diagram produksi dan pendapatan petani jagung	51
Gambar 6.4	Submodel harvest land area	54
Gambar 6.5	Submodel maize productivity and production	56

Gambar 6.6	Submodel population and maize demand.....	57
Gambar 6.7	Submodel farmers' income and cultivation cost.....	58
Gambar 6.8	Hasil check model.....	63
Gambar 6.9	Hasil check units.....	64
Gambar 6.10	Grafik validasi submodel harvest land area.....	68
Gambar 6.11	Grafik validasi submodel maize productivity.....	69
Gambar 6.12	Grafik validasi submodel maize production.....	70
Gambar 6.13	Grafik validasi submodel population.....	71
Gambar 6.14	Grafik hasil simulasi harvest land area.....	72
Gambar 6.15	Causes strip hasil simulasi harvest land area.....	73
Gambar 6.16	Grafik hasil simulasi maize productivity.....	74
Gambar 6.17	Causes strip hasil simulasi maize productivity.....	74
Gambar 6.18	Grafik hasil simulasi maize production.....	75
Gambar 6.19	Causes strip hasil simulasi maize production.....	76
Gambar 6.20	Causes strip hasil simulasi gross income.....	77
Gambar 6.21	Causes strip hasil simulasi fulfillment ratio.....	78
Gambar 6.22	Grafik hasil simulasi population.....	79
Gambar 6.23	Causes strip hasil simulasi population.....	80
Gambar 6.24	Causes strip hasil simulasi maize demand.....	81
Gambar 6.25	Causes strip hasil simulasi net income.....	82
Gambar 6.26	Causes strip hasil simulasi cultivation cost.....	83
Gambar 6.27	Model skenario hibrida KSC 647 (1).....	86
Gambar 6.28	Model skenario hibrida KSC 647 (2).....	87
Gambar 6.29	Grafik perbandingan hasil produktivitas jagung (skenario hibrida KSC 647).....	87
Gambar 6.30	Grafik perbandingan hasil produksi jagung (skenario hibrida KSC 647).....	88
Gambar 6.31	Grafik perbandingan rasio pemenuhan (skenario hibrida KSC 647).....	89
Gambar 6.32	Grafik biaya budi daya (skenario hibrida KSC 647).....	89
Gambar 6.33	Grafik pendapatan bersih petani (skenario hibrida KSC 647).....	90

PENGANTAR SISTEM

Bab ini membahas mengenai definisi sistem, klasifikasi sistem, serta contoh-contoh sistem.

1.1. Definisi Sistem

Sistem adalah kumpulan dari komponen-komponen yang membentuk satu kesatuan. Organisasi dan sistem informasi adalah sistem fisik dan sosial, yang disusun untuk mencapai tujuan tertentu. Manajer unit organisasi adalah orang yang menciptakan sistem pengembangan *personal computer* (PC), membuat sistem yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak, dan PC menjadi subsistem dari perangkat konferensi elektronik. Sistem fisik dan sosial adalah sistem abstrak dari konsep dan ide. Contoh sistem abstrak adalah pengembangan siklus hidup atau pengembangan sistem perangkat lunak.

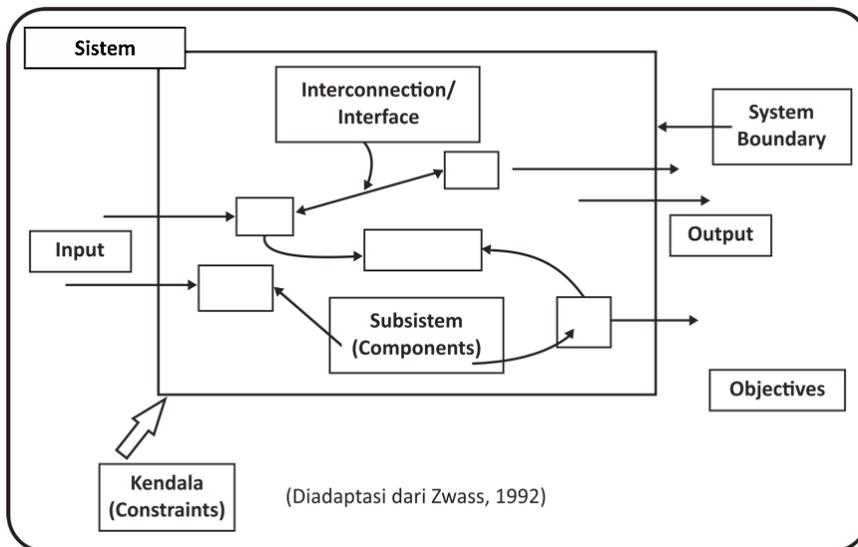
Pengertian sistem merupakan gabungan dari beberapa komponen dan elemen yang bertujuan untuk mencapai tujuan tertentu. Sistem dalam bahasa Latin (*systema*) dan Yunani (*sustain*), kata sistem dalam bahasa tersebut menunjukkan suatu kesatuan yang terdiri dari komponen dan elemen, saling berhubungan untuk mendorong aliran materi, informasi atau energi untuk mencapai Tujuan tertentu. Arti istilah sistem digunakan untuk menggambarkan kumpulan entitas yang berinteraksi, yang sering dapat dihitung.

Sistem adalah seperangkat 'objek' aktual atau abstrak (*a set of things*) yang terdiri dari bagian atau komponen yang saling bergantung, terkait, dan mendukung, keseluruhan disatukan sebagai satu kesatuan (*unity*). suatu tujuan dari tujuan tertentu secara efektif dan efisien (Amsyah, 2005).

Sistem beroperasi di lingkungan tertentu yang dibatasi oleh batas-batas tertentu. Seperti terlihat pada Gambar 1.1, sistem secara bertahap menentukan subsistemnya dan kemudian menguraikannya menjadi komponen-komponen yang lebih kecil. Interkoneksi antar komponen ini juga akan terlihat jelas. Penentuan batasan sistem harus dilakukan dengan hati-hati dan tidak dapat dilakukan melalui *trial and error*. Pertama menentukan komponen atau subsistem mana yang akan dimasukkan ke dalam sistem, kemudian secara tidak langsung mencari batasan sistem.

Kemudian, perlu dipikirkan kembali tujuan atau sasaran yang akan dicapai sistem, seperti jenis transaksi yang akan didukung, dan kemudian kendala yang akan dihadapi

sistem yang dipilih, seperti peraturan pemerintah, waktu pemrosesan, dan interaksi dengan sistem yang ada. Dilihat dari keterbatasan sistem, menentukan apa yang akan muncul, input dan *output* sistem.



Gambar 1.1 Sistem dan lingkungannya

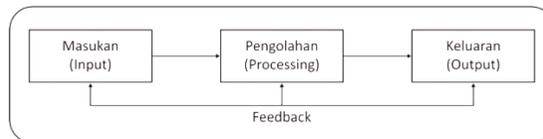
Perusahaan dan departemen pemerintah adalah contoh sistem yang baik. Penggunaan sistem perlu tepat sasaran untuk menentukan kriteria pengukuran keberhasilan sistem yang dipilih, setelah selesai dilanjutkan dengan menyusun rencana proses atau rencana kerja sistem. Tujuan terukur adalah untuk mengontrol prasyarat sistem dengan mempertimbangkan persentase rencana yang disetujui yang dapat dieksekusi. Membuat struktur organisasi perusahaan adalah salah satu fungsi manajemen dasar. Dari sini diperoleh gambaran berapa banyak subsistem (departemen) dari struktur organisasi paling bawah hingga paling atas (Tyoso, 2016).

Schronderberg (1971) dalam (Muslihudin & Oktafianto, 2016) secara singkat menjelaskan bahwa sistem adalah:

- Komponen dihubungkan bersama.
- Suatu keseluruhan yang tidak dapat dipisahkan dari unsur-unsur penyusunnya.
- Bersama untuk mencapai tujuan.
- Ada input dan *output* yang dibutuhkan oleh sistem lain.
- Ada konversi input ke *output*.
- Tunjukkan adanya entropi
- Ada aturannya.
- Ada subsistem yang lebih kecil.
- Ada perbedaan antara sistem.

- Memiliki tujuan yang sama meskipun awalnya berbeda.

Sedangkan unsur-unsur yang mewakili suatu sistem pada umumnya adalah input, *processing* dan *output*. Hal ini dapat digambarkan dalam model sistem pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Model sistem

Gambar di atas menunjukkan bahwa suatu sistem atau pendekatan sistem setidaknya harus memiliki empat komponen, yaitu input, proses, *output*, dan umpan balik atau kontrol.

1.2. Klasifikasi Sistem

Berikut merupakan beberapa klasifikasi sistem yang sering kita temui (Nexusocean, 2020):

1.2.1. Sistem Abstrak dan Fisik (*Physical System*)

- Sistem abstrak: Suatu sistem yang berupa pikiran atau gagasan yang tidak dapat dilihat. Contoh: sistem keagamaan.
- Sistem fisik: Sebuah sistem yang keberadaannya terlihat secara fisik. Contoh: bisnis, komputer.

1.2.2. Sistem Alamiah dan Buatan (*Human Made System*)

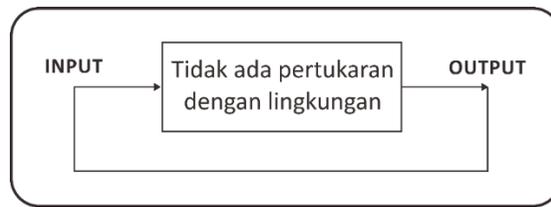
- Sistem alami: Sistem yang terbentuk dari proses alam. Contoh: tata surya, intisari.
- Sistem buatan: Sistem yang dirancang dan dibangun oleh manusia yang melibatkan interaksi dengan mesin. Contoh: sistem produksi di pabrik.

1.2.3. Sistem Tertentu dan Tidak Tertentu (*Probabilistic System*)

- Sistem Tertentu (Sistem Deterministik): Sebuah sistem yang modus tindakannya dapat diprediksi, interaksinya dapat dideteksi secara andal, dan keluarannya dapat ditebak. Contoh: informatika
- Sistem Tidak Tentu: Sistem yang keluarannya tidak dapat diprediksi dengan pasti karena mengandung unsur probabilitas.

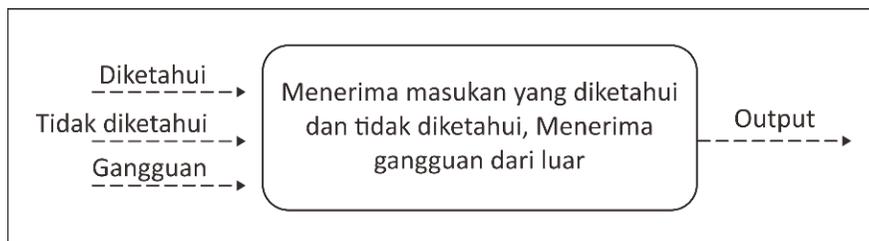
1.2.4. Sistem Tertutup dan Terbuka (*Open System*)

- Sistem Tertutup: adalah sistem yang tidak terhubung dengan dunia luar dan tidak terpengaruh oleh lingkungan luar (operasi otomatis). Bahkan, sistem tertutup yang tidak ada relatif tertutup.



Gambar 1.3 Sistem tertutup

- Sistem Terbuka: Suatu sistem yang memiliki hubungan dengan dunia luar dan dipengaruhi oleh lingkungan luar. Sistem ini menerima input dan menghasilkan *output* untuk subsistem lainnya.



Gambar 1.4 Sistem terbuka

1.3. Contoh-Contoh Sistem

Terdapat beberapa contoh sistem yang ada di lingkungan kita, yaitu (Arora, 2015):

- a) Komponen elektronik komputer yang membentuk sistem komunikasi, sistem jaringan, sistem perangkat lunak, dan sistem perangkat keras.
- b) Organ tubuh manusia yang membentuk beberapa sistem, antara lain sistem pernafasan, sistem pencernaan, sistem ekskresi, dan sistem saraf.
- c) Rakyat Indonesia yang membentuk beragam sistem di Negara Indonesia, antara lain sistem pemerintahan, sistem keamanan, dan sistem hukum.

Contoh lain dari sistem yang sering kita jumpai di sekitar kita, yaitu (Sitepostone, 2021):

1. Sistem komputer

Komputer memiliki suatu sistem, yakni sistem operasi yang merupakan sistem terpenting pada komputer karena apabila sebuah komputer tidak memiliki sistem operasi maka tidak bisa bekerja dengan baik. Sistem komputer tersebut seperti windows, Mac, OS, Unix, Amiga, Garuda OS, dan lain sebagainya.

2. Sistem otomotif

Sistem otomotif pada kendaraan contohnya sistem starter, sistem pengapian, sistem kelistrikan, sistem penggerak, sistem pengereman, dan sistem yang memiliki keterkaitan lainnya.

3. Manusia

Manusia adalah sistem yang berada di muka bumi yang terdiri dari lahiriah dan batiniah. Jika dilihat dari sudut pandang biologi, manusia adalah sistem yang terdiri dari komponen biologis, yaitu sistem panca indra, sistem pernafasan, sistem pencernaan, sistem pengeluaran, dan sistem-sistem lainnya yang bekerja sama dalam satu kesatuan.

4. Sistem pemerintahan

Pemerintahan di Indonesia juga disebut sistem yang memiliki tugas dan fungsi masing-masing seperti Presiden, Wakil Presiden, Menteri, Kepala Daerah, Camat, Kepala Desa, Ketua RT, Ketua RW, dan perangkat-perangkat lainnya yang memiliki keterkaitan.

5. Sistem ekonomi

Terdapat istilah sistem ekonomi syariah yang memiliki komponen seperti pemerintah, kebijakan syariah, bank syariah, koperasi syariah, nasabah syariah, dan komponen lainnya yang memiliki keterkaitan.

1.4. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem!
2. Jelaskan klasifikasi sistem!
3. Apa yang dimaksud dengan sistem tertutup?
4. Apa yang dimaksud dengan sistem terbuka?
5. Jelaskan beberapa contoh sistem dalam kehidupan sehari-hari!

PEMODELAN SISTEM

Bab ini membahas tentang model, klasifikasi model, dan tahapan pengembangan model.

2.1. Model

Pada subbab ini akan memaparkan mengenai pengertian model, kegunaan model, kelebihan model, kriteria model yang baik, dan hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan model.

2.1.1. Pengertian Model

Model adalah representasi dari suatu objek, barang, atau ide dalam bentuk yang disederhanakan. Model berisi informasi tentang sistem yang dibuat untuk tujuan mempelajari sistem yang sebenarnya. Model dapat berupa model tiruan dari objek, sistem, atau peristiwa nyata yang hanya berisi informasi yang dianggap penting untuk dipelajari. Model merupakan cara sederhana untuk melihat masalah. Model berfungsi sebagai representasi (deskripsi) atau formalisasi bahasa tertentu (persetujuan) dari sistem nyata. Sistem nyata adalah sistem yang bertahan dalam kehidupan, sistem perhatian dan titik perhatian (Faizarteta, 2020).

Dalam pemodelan, model dirancang sebagai penggambaran dari operasi sistem nyata secara ideal guna menjelaskan atau menunjukkan hubungan-hubungan penting yang terkait. Model dirancang sebagai deskripsi fungsional dari sistem nyata, idealnya untuk menjelaskan atau menunjukkan hubungan yang penting. Tujuan dari studi pemodelan adalah untuk menentukan informasi apa yang dianggap penting untuk dikumpulkan, sehingga tidak ada model yang tunggal. Sebuah sistem dapat memiliki beberapa model, tergantung pada sudut pandang dan preferensi pemodel. Pemodelan sistem adalah seperangkat kegiatan pemodelan di mana model merupakan representasi atau abstraksi dari objek atau situasi nyata, penyederhanaan dari realitas yang kompleks (Arif, 2017).

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

- a) Menggambarkan hubungan sebab akibat dari sistem.
- b) Sederhana dalam *mathematical nature*.

- c) Sinonim dengan terminologi dunia industri, ekonomi, dan sosial dalam tata nama.
- d) Dapat melibatkan banyak variabel.
- e) Dapat menghasilkan perubahan yang tidak kontinyu jika dalam keputusan memang dibutuhkan.

2.1.2. Kegunaan Model

Terdapat beberapa kegunaan model antara lain sebagai berikut (Faizarteta, 2020):

- a) Membantu berpikir dan menjelaskan fakta.
- b) Untuk komunikasi/bimbingan.
- c) Untuk prediksi/evaluasi.
- d) Digunakan untuk kontrol.
- e) Teori alternatif/jika teori sudah ada, sebagai amandemen teori.

2.1.3. Kelebihan Model

Terdapat beberapa kelebihan model antara lain sebagai berikut (Faizarteta, 2020):

- a) Dengan sebuah model, dimungkinkan untuk melakukan analisis dan eksperimen dengan mengubah nilai atau bentuk hubungan antar variabel dalam situasi yang kompleks, yang tidak mungkin terjadi dalam sistem nyata.
- b) Model menghemat biaya ketika menggambarkan situasi nyata.
- c) Penggunaan model dapat menghemat waktu, biaya, tenaga dan sumber daya berharga lainnya dalam analisis masalah.
- d) Model dapat lebih fokus pada fitur-fitur penting dari masalah yang dihadapi.

2.1.4. Kriteria Model yang Baik

Beberapa kriteria model yang baik meliputi (Faizarteta, 2020):

- a) Menyimpan semua variabel yang relevan
- b) Sederhana
- c) Mempunyai kegunaan
- d) Perwakilan masalah
- e) Generalisasi tingkat tinggi
- f) Mekanisme transparan
- g) Potensi pengembangan
- h) Peka terhadap perubahan asumsi

2.1.5. Hal–Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam Pengembangan Model

Berikut hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mengembangkan suatu model (Faizarteta, 2020):

- a) Faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku sistem yang dimodelkan harus dipertimbangkan.
- b) Tentukan variabel untuk mengamati kinerja sistem.
- c) Bagaimana mengontrol dan menyesuaikan variabel-variabel tersebut.

2.2. Klasifikasi Model

Pengelompokan model memungkinkan upaya untuk memahami arti dan pentingnya model. Mereka dapat diklasifikasikan menurut model, jenis, dimensi, fungsi, tujuan, objek studi, atau tingkat abstraksi mereka. Kategori umum yang sangat praktis pada dasarnya adalah jenis-jenis model yang dapat dikelompokkan menjadi Ikon, Analog, Simbolik, Analisis dan Simulasi (Arif, 2017).

2.2.1. Model Ikonik (Model Fisik)

Model ikonik pada dasarnya adalah representasi fisik dari beberapa baik dalam bentuk ideal dan berbagai skala. Model ikonik ini memiliki karakteristik yang sama yang diwakilinya, dan sangat cocok untuk menggambarkan peristiwa pada waktu tertentu. Model ikonik bisa menjadi Berdimensi dua (foto, peta, cetak-biru) atau tiga dimensi (alat, prototipe mesin, dan lain sebagainya). Jika model memiliki lebih dari tiga dimensi, maka tidak dapat membangun model secara fisik, sehingga memerlukan kategori model simbolik.

2.2.2. Model Analog (Model Diagramatik)

Model analog dapat digunakan untuk mewakili situasi dinamik, yaitu keadaan yang dapat berubah menurut waktu. Model ini sering digunakan daripada model ikonik karena kemampuannya untuk menyetarakan karakteristik dari peristiwa yang dikaji. Model analog sesuai dengan penjabaran hubungan kuantitatif antara sifat dari beberapa komponen. Dengan melalui transformasi sifat menjadi analognya, sehingga kemampuan untuk membuat perubahan dapat ditingkatkan. Contoh dari model analog ini, yaitu kurva permintaan, kurva distribusi frekuensi pada statistik, dan diagram alir. Model analog dipergunakan karena kesederhanaannya tetapi efektif pada situasi yang khas, seperti pada proses pengendalian mutu dalam industri (*operating characteristic curve*).

2.2.3. Model Simbolik (Model Matematik)

Pada dasarnya, ilmu sistem memusatkan perhatian pada model simbolik sebagai perwakilan dari realita yang dikaji. Format model simbolik dapat berupa suatu bentuk angka, simbol dan rumus. Jenis model simbolik yang umum digunakan, yaitu suatu persamaan (*equation*).

Bentuk persamaannya akurat, ringkas dan mudah dipahami. Simbol persamaan tidak mudah dimanipulasi dengan kata-kata, tetapi juga mengenali artinya dengan lebih cepat.

Suatu persamaan adalah bahasa yang universal pada penelitian operasional dan ilmu sistem, di mana di dalamnya menggunakan suatu logika simbolis.

Di dalam mempelajari ilmu sistem membutuhkan suatu penjelasan yang mendasar tentang simbol-simbol matematika, dikarenakan kalau tidak demikian akan menambah kompleksitas dari konsep evaluasi itu sendiri. Belajar dari suatu hal, maka kunci dari kelancaran dan pemahaman adalah frekuensi latihan aplikasinya. Dengan begitu diharapkan untuk para pengguna bisa secara efisien menangkap makna dari setiap notasi matematis yang disajikan. Misalnya, notasi a_i dapat diartikan faktor perubah a , dan A_{ij} dapat digambarkan sebagai tabel matriks perubah A dengan baris i dan kolom j .

2.2.4. Model Analitik

Model analitik ialah model matematik yang dapat memberikan solusi kuantitatif. Misalnya, model analitik digunakan untuk menghitung ekspektasi jumlah pelanggan (entiti- N) pada suatu sistem yang terdiri dari seorang pelayan (*single server*) dan satu jalur kedatangan/menunggu (*single input queue*) dengan tingkat kedatangan (λ) berdistribusi *Poisson*, waktu pelayanan berdistribusi *Exponential* dengan mean (μ):

$$N = \lambda / (\mu - \lambda)$$

Model analitik dapat menghasilkan hasil optimum tanpa proses coba-coba (*trial and error*). Model analitik umumnya memiliki sifat statis, preskriptif, deterministik atau probabilistik.

2.2.5. Model Simulasi

Adalah model yang mencerminkan hubungan sebab dan akibat (*cause and effect relationship*) pada sebuah sistem dalam model komputer yang mampu menggambarkan sifat yang mungkin terjadi di sistem nyatanya. Model simulasi digunakan sebagai alat untuk mengetahui apa yang terjadi jika (*what if*) satu atau lebih komponen atau variabelnya diubah. Contohnya model analitik, model simulasi pun memberikan *output* kuantitatif. Kelebihannya, yaitu dapat mengatasi kompleksitas fluktuasi statistis dan interdependensi. Model simulasi sangat sulit dibuat dan lebih bersifat deskriptif daripada preskriptif.

Model dari segi akademik berfungsi untuk menjelaskan fenomena atau objek-objek berguna sebagai pengganti teori, yang dipakai untuk konfirmasi atau koreksi terhadap teori tersebut. Model dari segi manajerial berfungsi untuk alat mengambil keputusan, komunikasi, belajar, dan memecahkan masalah.

2.3. Tahapan Pengembangan Model

Ada beberapa tahapan dalam pengembangan model (Sutedja, 2019), sebagai berikut:

- Identifikasi permasalahan dan tujuan
- Pendefinisian sistem (model konseptual)
- Identifikasi variabel
- Formulasi model
- Pengembangan persamaan model
- Validasi model
- Skenarioisasi

2.4. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

1. Apa yang dimaksud dengan model?
2. Jelaskan kegunaan model!
3. Jelaskan beberapa kelebihan model!
4. Jelaskan kriteria model yang baik!
5. Jelaskan hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan model!
6. Jelaskan beberapa klasifikasi model!
7. Jelaskan tahapan dalam pengembangan model!

SIMULASI SISTEM

Bab ini membahas tentang pengertian simulasi, tahapan pengembangan model simulasi, jenis-jenis simulasi, kelebihan dan kekurangan simulasi, serta contoh-contoh model simulasi.

3.1. Pengertian Simulasi

Simulasi adalah suatu teknik meniru sebuah proses-proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer dan berlandaskan dari beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah. Dalam simulasi digunakan media komputer untuk mempelajari sistem secara numerik, sehingga dilakukan pengumpulan data untuk melakukan estimasi statistik untuk mendapatkan karakteristik asli dari sistem tersebut. Simulasi, yaitu alat yang tepat untuk penggunaan terutama jika diharuskan untuk melakukan sebuah eksperimen dalam rangka mencari komentar terbaik dari komponen-komponen sistem tersebut. Hal ini disebabkan karena sangat mahal dan memerlukan waktu yang cukup lama jika eksperimen dilakukan secara riil (Monte, 2020).

Dengan melaksanakan studi simulasi maka dalam waktu singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat serta tidak memakan biaya yang terlalu besar, karena keseluruhan cukup dilakukan dengan komputer. Pendekatan simulasi didahului dengan pembangunan model sistem nyata. Model harus dapat menunjukkan bagaimana berbagai komponen dalam sistem yang saling berinteraksi sehingga menggambarkan perilaku sistem. Setelah model dibuat maka model tersebut ditransformasikan ke dalam program komputer yang memungkinkan untuk disimulasikan. Simulasi merupakan suatu metodologi untuk melaksanakan percobaan dengan menggunakan model dari suatu sistem nyata (Siagian, 1987). Adapun definisi lain dari simulasi menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

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

- c) Simulasi adalah tiruan sistem nyata yang dikerjakan secara manual oleh komputer dan kemudian diobservasi dan disimpulkan untuk mempelajari karakteristik sistem (Banks & Carson, 1990).
- d) Simulasi adalah sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata, yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu (Law & Kelton, 1991).
- e) Simulasi merupakan proses aplikasi membangun model dari sistem nyata atau usulan sistem, melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem atau untuk membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan (Khosnevis, 1994).

3.2. Tahapan Pengembangan Model Simulasi

Terdapat tujuh langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan simulasi menurut (Monte, 2020), yakni seperti berikut:

- a) Pendefinisian Sistem, ialah menentukan batasan sistem dan identifikasi variabel yang signifikan.
- b) Formulasi Model, yaitu merumuskan hubungan dengan antar komponen model.
- c) Pengambilan Data, merupakan identifikasi data yang diperlukan model yang sesuai dengan tujuan pembuatan.
- d) Pembuatan Model, adalah menyesuaikan penyusunan model dengan jenis bahasa simulasi yang dipergunakan.
- e) Verifikasi Model, yaitu proses pengecekan pada model apakah sudah bebas dari kesalahan. Pada tahap ini perlu disesuaikan dengan bahasa simulasi yang digunakan.
- f) Validasi Model, merupakan proses pengujian pada model apakah sudah sesuai dengan sistem yang nyata.
- g) Skenariosasi. Setelah model dianggap valid, maka berikutnya membuat beberapa skenario atau eksperimen untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan.

Sedangkan menurut (Djati, 2007) tahapan simulasi memiliki lima tahapan, yaitu:

- a) Menentukan permasalahan yang akan disimulasikan.
- b) Menentukan tujuan simulasi yang harus dipecahkan, dijawab dan juga disimpulkan atas permasalahan tersebut serta hal-hal lain yang mendukung terwujudnya model simulasi.
- c) Pengembangan model simulasi dan pengujian terhadap kebenaran proses perhitungan yang ada di dalamnya.
- d) Menentukan periode waktu simulasi dan jumlah replikasi.
- e) Analisis hasil simulasi.

3.3. Jenis-Jenis Simulasi

Menurut (Herrel, et al., 2004) penggolongan simulasi dilakukan berdasarkan sifat dan cara kerjanya. Secara umum jenis-jenis simulasi dibedakan menjadi tiga, yaitu:

3.3.1. Simulasi Statis atau Simulasi Dinamis

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

3.3.2. Simulasi Stokastik atau Simulasi Deterministik

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

3.3.3. Simulasi Sistem Diskret atau Simulasi Sistem Kontinyu

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

3.3.4. Kelebihan dan Kekurangan Simulasi

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

- a) Simulasi mampu mengembangkan model dari sistem sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap sistem nyata.

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

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

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

3.4. Contoh-Contoh Model Simulasi

Adapun beberapa contoh dari simulasi adalah sebagai berikut (Monte, 2020):

- a) Meramalkan permintaan pada suatu bisnis produksi
- b) Evaluasi sistem senjata atau taktik militer yang terbaru.
- c) Perancangan sistem komunikasi serta *message protocol*.
- d) Perhitungan keuntungan penjualan.
- e) Merancang dan analisis sistem *manufacturing*.
- f) Merancang dan pengoperasian fasilitas transportasi, seperti jalan tol, bandara, rel kereta, atau pelabuhan.
- g) Evaluasi perancangan organisasi jasa, seperti rumah sakit, kantor pos, atau restoran *fast food*.
- h) Evaluasi persyaratan *hardware* serta *software* untuk sistem komputer.

3.5. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan simulasi!
2. Jelaskan beberapa tahapan dalam pengembangan model simulasi!
3. Jelaskan beberapa jenis simulasi!
4. Jelaskan kelebihan dan kekurangan simulasi!
5. Jelaskan beberapa contoh model simulasi!

SISTEM DINAMIK

Bab ini membahas tentang pengertian sistem dinamik, karakteristik sistem dinamik, tahapan pengembangan model sistem dinamik, implementasi sistem dinamik, contoh model sistem dinamik, serta kelebihan sistem dinamik.

4.1. Pengertian Sistem Dinamik

Aplikasi metode sistem dinamik terus berkembang semenjak pemanfaatannya dalam bidang-bidang sosial dan ilmu-ilmu fisik. Pengertian sistem dinamik menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

- a) Sistem dinamik adalah suatu metode analisis permasalahan di mana waktu merupakan salah satu faktor penting, dan meliputi pemahaman bagaimana suatu sistem dapat dipertahankan dari gangguan di luar sistem, atau dibuat sesuai dengan tujuan dari pemodelan sistem yang akan dibuat (Coyle, 1996).
- b) Sistem dinamik adalah metodologi untuk memahami suatu masalah yang kompleks. Metodologi ini dititikberatkan pada kebijakan dan bagaimana kebijakan tersebut menentukan tingkah laku masalah-masalah yang dapat dimodelkan oleh sistem dinamik (Richardson & A, 1986).
- c) Sistem dinamik adalah suatu metode pendeskripsian kualitatif, pemahaman, dan analisis sistem kompleks dalam ruang lingkup proses, informasi, dan struktur organisasi, yang memudahkan dalam simulasi pemodelan kuantitatif dan analisis kebijakan dari struktur sistem dan kontrol (Daalen & W, 2001).
- d) Sistem dinamik adalah suatu bidang untuk memahami bagaimana sesuatu berubah menurut waktu. Sistem ini dibentuk oleh persamaan-persamaan diferensial. Persamaan diferensial digunakan untuk masalah-masalah biofisik yang diformulasikan sebagai keadaan di masa datang yang tergantung dari keadaan sekarang (Forrester, 1999).

4.2. Karakteristik Sistem Dinamik

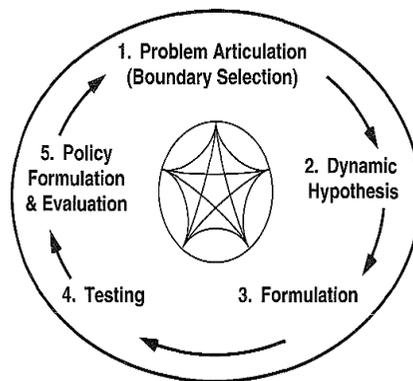
Berikut merupakan beberapa karakteristik dari model sistem dinamik.

- a) Dinamika sistem yang kompleks.
- b) Perubahan perilaku sistem terhadap waktu.

- c) Adanya sistem umpan balik tertutup.
- d) Adanya umpan balik ini menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem, yang kemudian akan menghasilkan keputusan selanjutnya.

4.3. Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik

Menurut (Sterman, 2000), terdapat 5 tahapan yang dilakukan dalam mengembangkan model sistem dinamik, kelima tahapan tersebut seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tahapan pengembangan model sistem dinamik (Sterman, 2000)

Detail dari masing-masing tahapan pengembangan model sistem dinamik adalah sebagai berikut.

4.3.1. Problem Articulation

Langkah ini dilakukan pendefinisian masalah yang akan diselesaikan menggunakan model sistem dinamik beserta pendefinisian variabel-variabel yang terkait di dalamnya. Pada tahapan ini seorang pembuat model mengembangkan karakterisasi awal masalah melalui diskusi dengan tim klien, dilengkapi dengan penelitian arsip, pengumpulan data, wawancara, dan observasi atau partisipasi langsung. Pemilihan tema meliputi apa masalah dan mengapa hal itu menjadi sebuah masalah. Setelah menentukan tema, selanjutnya mendefinisikan variabel kunci.

4.3.2. Formulating a Dynamics Hypothesis

Tahapan ini dimulai dari perumusan hipotesis awal yang berisi mengenai teori terkini tentang perilaku bermasalah yang bersifat sementara untuk membentuk proses pemodelan. Fokus endogen merumuskan hipotesis dinamika yang menjelaskan dinamika dan konsekuensi endogen dari struktur umpan balik (*feedback*). Pada langkah ini dibuat diagram kausatik/*Causal Loop Diagram* yang digunakan untuk menggambarkan gabungan

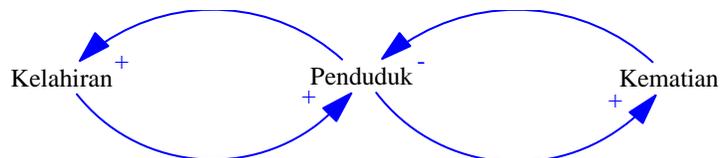
kasualitas antar variabel di dalam sistem. Setelah pembuatan diagram kausatik dilanjutkan dengan mengubah diagram tersebut menjadi diagram simulasi atau bisa disebut *Flow Diagram*. Dengan melakukan simulasi akan diambil hipotesis dinamik dengan melihat struktur hubungan antar variabel. Pemetaan struktur sebab-akibat berdasarkan hipotesis awal, variabel kunci, mode referensi, dan data lain yang tersedia, menggunakan *Boundary Adequacy* dan *Causal Loop Diagram*. Dengan melakukan simulasi akan diambil hipotesis dinamik dengan melihat struktur hubungan antar variabel. Variabel direalisasikan oleh tautan sebab akibat, ditunjukkan oleh panah. Setiap tautan sebab akibat diberi polaritas, baik positif (+) atau negatif (-) untuk menunjukkan bagaimana variabel dependen berubah ketika variabel independen berubah. Pada Tabel 4.1 menjelaskan mengenai simbol dalam *Causal Loop Diagram*.

Tabel 4.1 Simbol *Causal Loop Diagram*

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

Sumber: (Sterman, 2000)

Contoh *Causal Loop Diagram* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Lingkaran umpan balik tersebut terdiri atas lingkaran umpan balik positif, yaitu hubungan antara kelahiran dengan penduduk, di mana semakin banyak kelahiran bayi semakin bertambah jumlah penduduk, di lain pihak semakin banyak jumlah penduduk semakin banyak jumlah kelahiran bayi. Sebaliknya, lingkaran umpan balik negatif, yaitu hubungan antara kematian dengan penduduk, di mana semakin banyak kematian bayi semakin berkurang jumlah penduduk, di lain pihak semakin banyak jumlah penduduk semakin banyak jumlah kematian bayi.



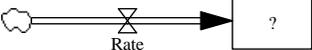
Gambar 4.2 Contoh *Causal Loop Diagram*

4.3.3. Formulating a Simulation Model

Tahapan ini akan menguji *dynamics hypothesis* dari *Causal Loop Diagram* untuk model formal yang ditentukan sepenuhnya, lengkap dengan persamaan, parameter, dan kondisi

awal. Pada tahap ini dilakukan konversi elemen dan variabel di dalam sistem menjadi persamaan, *level*, *rate*, dan *auxiliary*. Pada tahap ini pula ditentukan estimasi dari nilai awal dan nilai parameter. *Stock and Flow* menggambarkan struktur aliran secara rinci sehingga dapat digunakan untuk menyusun model matematis. Diagram alir (simulasi) menggambarkan hubungan antar variabel dan sudah dinyatakan dalam bentuk simbol-simbol. Dalam pemodelan sistem dinamik terdapat besaran-besaran pokok yang terdiri atas variabel-variabel. Variabel yang digunakan adalah variabel "*level*", variabel "*rate*", dan variabel "*auxiliary*" (Powersim, 2005). Pada *Tabel 4.2* akan menjelaskan simbol dari *Stock and Flow Diagram* pada sistem dinamik.

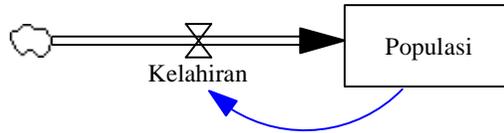
Tabel 4.2 Simbol Stock and Flow

No	Simbol	Keterangan
1		" <i>Level</i> " merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda (<i>nouns</i>) seperti orang, uang, inventori, dan lain-lain, terhadap waktu. " <i>Level</i> " dipengaruhi oleh variabel " <i>rate</i> " dan dinyatakan dengan simbol persegi panjang. Pada bagian bawah simbol variabel " <i>level</i> " menunjukkan nama variabel.
2		" <i>Rate</i> " merupakan suatu aktivitas, pergerakan (<i>movement</i>), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel " <i>level</i> ". " <i>Rate</i> " merupakan satu-satunya variabel yang mempengaruhi variabel " <i>level</i> " (Tasrif, 2004). Dalam Powersim simbol " <i>rate</i> " dinyatakan dengan kombinasi antara " <i>flow</i> " dan " <i>auxiliary</i> ". Simbol ini harus terhubung dengan sebuah variabel " <i>level</i> ".
3		" <i>Auxiliary</i> " merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan informasi antara " <i>level</i> " dan " <i>rate</i> " (Shintasari, 1988). Seperti variabel " <i>level</i> ", variabel " <i>auxiliary</i> " juga dapat digunakan untuk menyatakan sejumlah benda (<i>nouns</i>). Simbol " <i>auxiliary</i> " dinyatakan dengan sebuah lingkaran.

Sumber: (Powersim, 2005)

Contoh *Stock and Flow Diagram* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Melalui struktur sistem kelahiran tersebut, dapat diketahui bahwa setiap kelahiran akan berpengaruh terhadap jumlah populasi penduduk sehingga apabila kelahiran meningkat maka populasi pun meningkat. Sedangkan apabila tingkat kelahiran menurun maka populasi menurun. Populasi sendiri dapat mempengaruhi variabel kelahiran. Tanda panah (*information link*) tersebut menunjukkan bahwa populasi mempengaruhi kelahiran. Artinya, semakin tinggi tingkat populasi maka tidak menutup kemungkinan akan mempengaruhi tingkat kelahiran.

Hal ini dimungkinkan karena dengan meningkatnya populasi maka akan membuka peluang proses perkawinan.



Gambar 4.3 Contoh Stock and Flow Diagram

4.3.4. Testing

Tahapan ini dilakukan pengujian dimulai setelah melengkapi persamaan dan parameter pada setiap bagian. Pengujian bertujuan untuk membandingkan perilaku yang disimulasikan dari model dengan perilaku aktual dari sistem yang sebenarnya. Setiap persamaan harus diperiksa untuk konsistensi dimensi. Tingkat sensitif perilaku model dan rekomendasi kebijakan harus dinilai berdasarkan ketidakpastian dalam asumsi maupun *structural*. Langkah ini penting dilakukan untuk melakukan perbandingan antara nilai luaran yang dihasilkan simulasi dari model dibandingkan dengan nilai luaran dari sistem nyata. Sebelum dapat melakukan langkah ini harus dilakukan verifikasi dan validasi terhadap model. Verifikasi adalah proses untuk memastikan bagaimana cara yang digunakan dalam melakukan ataupun membuat sesuatu dalam kasus ini adalah sebuah model sudah benar. Sementara validasi adalah proses untuk memastikan model yang dibuat sudah sesuai dan benar. Proses verifikasi dan validasi selayaknya harus dilakukan pada setiap tahapan pembuatan model.

Menurut (Daalen & W, 2001; Barlas, 1989; Forrester & Senge, 1980; Martis, 2006), validasi dalam pemodelan sistem dinamik dapat dilakukan dengan beberapa cara meliputi uji struktur secara langsung (*direct structure tests*) tanpa *me-running* model, uji struktur tingkah laku model (*structure oriented behaviour test*) dengan *me-running* model, dan perbandingan tingkah laku model dengan sistem nyata (*quantitative behaviour pattern comparison*).

Menurut (Barlas, 1989) proses validasi sistem dilakukan dengan dua cara pengujian, yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan (4.1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan (4.2).

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

$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \tag{4.1}$$

Keterangan:

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

\bar{A} = Nilai rata-rata data

Di mana model dianggap valid apabila $E1 \leq 5 \%$

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

$$E_2 = \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \times 100 \% \quad (4.2)$$

Keterangan:

S_s = Standar Deviasi Model

S_a = Standar Deviasi Data

Di mana model dianggap valid apabila $E2 \leq 30 \%$

4.3.5. Policy Design and Evaluation

Pada tahap desain kebijakan lebih dari sekadar mengubah nilai parameter. Desain kebijakan mencakup pembuatan strategi, struktur, dan aturan keputusan yang sepenuhnya baru. Dalam struktur umpan balik dari suatu sistem menentukan dinamika, sebagian besar waktu kebijakan akan melibatkan umpan balik dominan dengan mendesain ulang struktur stok dan aliran, menghilangkan penundaan waktu, menyalurkan aliran dan kualitas informasi yang tersedia di titik keputusan utama, atau secara fundamental menciptakan kembali proses pengambilan keputusan aktor dalam sistem. Pada tahap ini model yang telah dibuat dapat dijadikan acuan untuk membuat ataupun melakukan evaluasi dari kebijakan yang sudah ada terkait sistem yang dimodelkan.

4.4. Implementasi Sistem Dinamik

Sistem dinamik dapat diimplementasikan pada hampir seluruh level keputusan, baik level operasional, taktikal, maupun strategis. Untuk lebih jelasnya, sistem dinamik dapat diimplementasikan pada beberapa studi kasus berikut.

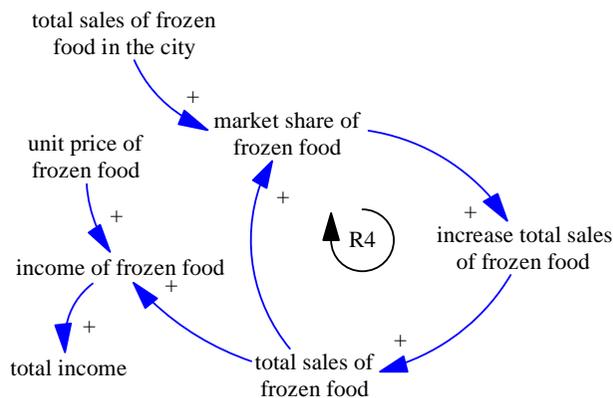
- a) Strategy and corporate planning
- b) Public management and policy
- c) Business process development
- d) Biological and medical modeling
- e) Energy and the environment
- f) Theory development in the natural & social sciences
- g) Dynamic decision making
- h) Complex nonlinear dynamics
- i) Software engineering

j) Supply chain management

4.5. Contoh Model Sistem Dinamik

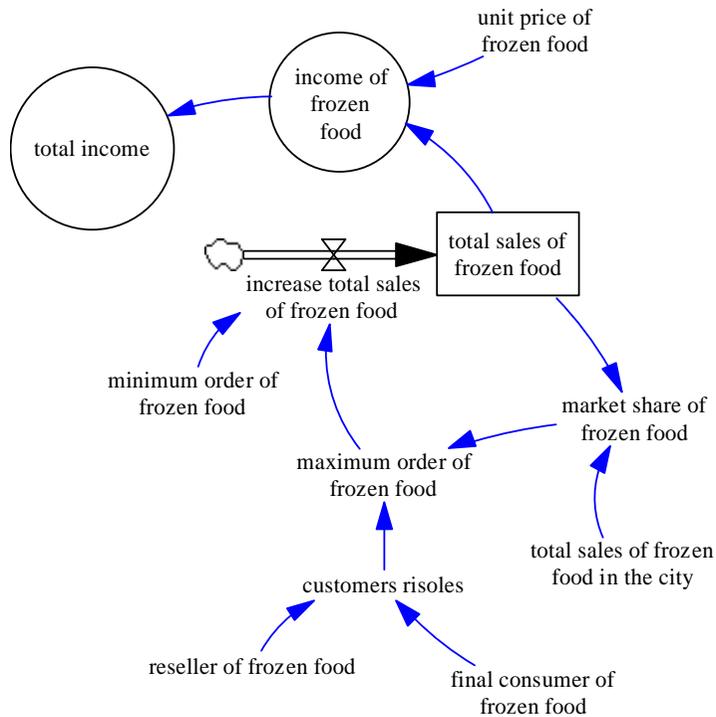
Contoh implementasi model sistem dinamik adalah pada salah satu UMKM yang bergerak di bidang produksi *frozen food*. Tujuan dari implementasi sistem dinamik pada sektor UMKM *frozen food* tersebut adalah untuk mengembangkan model yang dapat membantu mengidentifikasi dan meningkatkan pangsa pasar serta profitabilitas UMKM.

Gambar 4.4 menyajikan struktur generik terkait total penjualan dan pemasukan dari produk yang dijual oleh UMKM, yakni total penjualan dan pemasukan dari semua produk *frozen*. Total penjualan produk dipengaruhi oleh *market share* atau pangsa pasar. Yang mana besarnya *market share* sendiri dipengaruhi oleh total penjualan produk *frozen food*. Sedangkan total penjualan produk berpengaruh pada besarnya pemasukan, selain total penjualan, pemasukan juga dipengaruhi oleh harga jual produk *frozen food*.



Gambar 4.4 Contoh CLD penjualan dan pendapatan pada UMKM frozen food

Untuk menentukan model sistem dinamik, *Causal Loop Diagram* kemudian diubah menjadi *Stock and Flow Diagram*. Setelah itu, deskripsi sistem harus diterjemahkan ke dalam level, *rates*, dan *auxiliary* kemudian membuat persamaan untuk memperkirakan sejumlah parameter, hubungan perilaku, dan kondisi awal. Membuat persamaan akan mengungkapkan kesenjangan dan inkonsistensi yang harus diperbaiki pada uraian sebelumnya. *Stock and Flow Diagram* penjualan dan pendapatan pada UMKM *frozen food* seperti terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Contoh SFD penjualan dan pendapatan pada UMKM *frozen food*

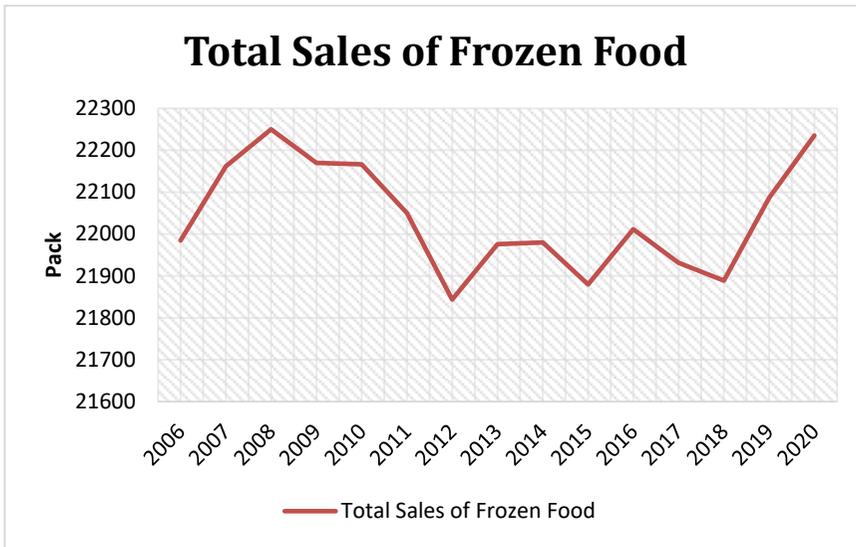
Formulasi *Stock and Flow Diagram* tersebut dapat dilihat pada persamaan (4.3) - (4.5):

$$Total\ sales\ of\ frozen\ food\ (t+1) = Initial\ Total\ sales\ of\ frozen\ food\ (t_0) + \int_{t_0}^t (Increase\ total\ sales\ of\ frozen\ food\ (t))\ dt \quad (4.3)$$

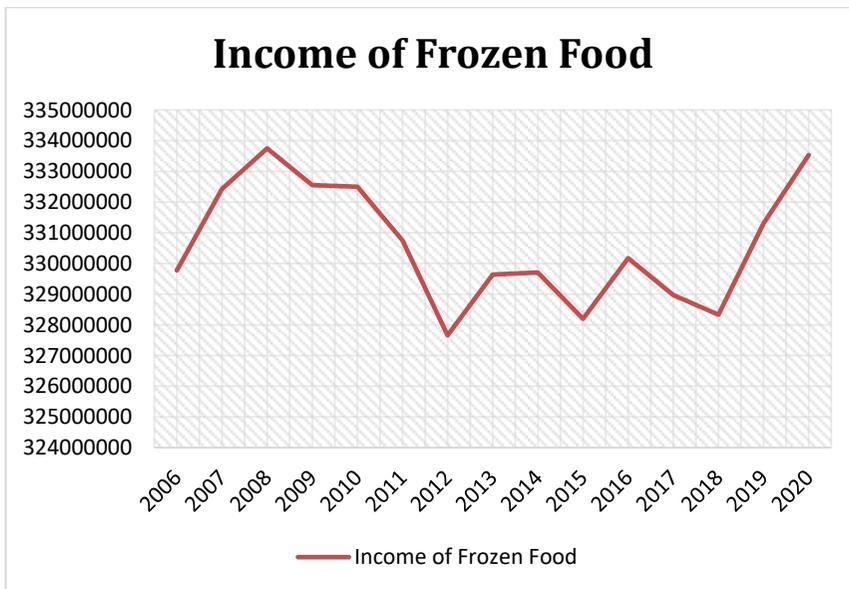
$$Market\ share\ of\ frozen\ food\ (t) = Total\ sales\ of\ frozen\ food\ (t) / Total\ sales\ of\ frozen\ food \quad (4.4)$$

$$Income\ of\ frozen\ food\ (t) = Total\ sales\ of\ frozen\ food\ (t) + Unit\ price\ of\ frozen\ food\ (t) \quad (4.5)$$

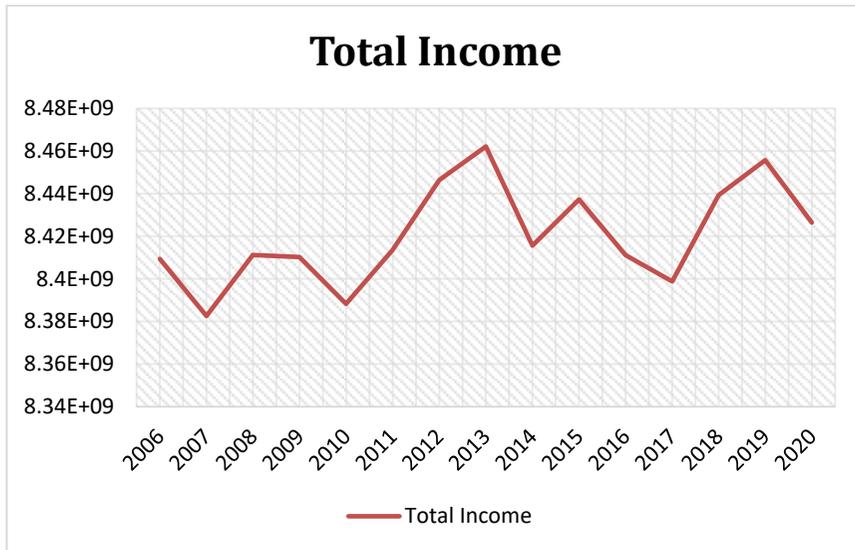
Hasil simulasi dari *Stock and Flow Diagram* ditunjukkan pada Gambar 4.6 - Gambar 4.8, yang merupakan hasil simulasi dari variabel *total sales of frozen food*, *income of frozen food*, dan *total income*.



Gambar 4.6 Grafik hasil simulasi total sales of frozen food



Gambar 4.7 Grafik hasil simulasi income of frozen food



Gambar 4.8 Grafik hasil simulasi total income

4.6. Kelebihan Model Sistem Dinamik

Terdapat beberapa kelebihan dari model sistem dinamik adalah sebagai berikut.

- a) Model sistem dinamik dapat dengan mudah diperluas atau direvisi untuk menjawab pertanyaan tambahan yang muncul.
- b) Model sistem dinamik adalah alat yang sangat baik untuk mempelajari masalah yang muncul dalam *closed-loop systems*, sistem di mana kondisi diubah menjadi informasi yang dapat diamati dan ditindaklanjuti untuk mengubah kondisi awal.
- c) Simulasi memungkinkan kita untuk melihat bagaimana interaksi kompleks dalam model bekerja pada waktu yang sama.
- d) Dapat menguji berbagai kebijakan dengan cepat untuk melihat bagaimana penerapannya dalam jangka panjang. Maksudnya bahwa model akan mewakili teori tentang apa yang menyebabkan masalah dan apa yang dapat dilakukan untuk memecahkan masalah.

4.7. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

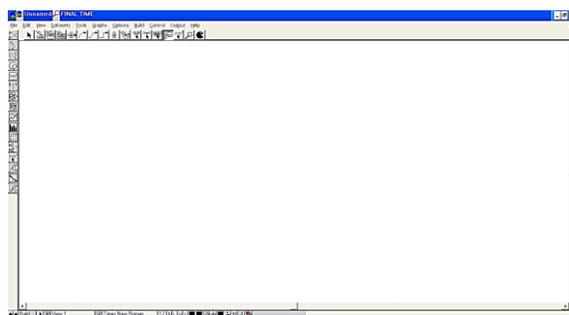
1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem dinamik!
2. Jelaskan beberapa karakteristik sistem dinamik!
3. Jelaskan tahapan pengembangan model sistem dinamik!
4. Jelaskan implementasi sistem dinamik di berbagai bidang!
5. Berikan contoh model sistem dinamik!
6. Jelaskan kelebihan sistem dinamik!

VENTANA SIMULATION SEBAGAI TOOL UNTUK PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK

Bab ini membahas tentang pengantar Ventana Simulation (Vensim), fasilitas-fasilitas di dalam Vensim, fungsi-fungsi di dalam Vensim, serta contoh model dengan menggunakan Vensim.

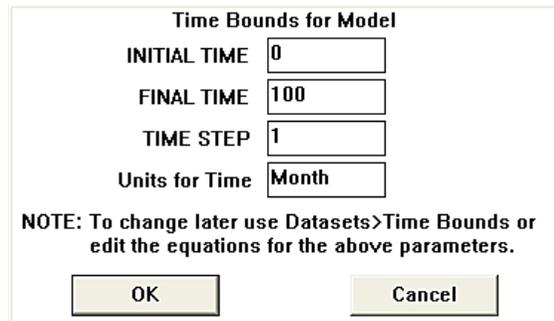
5.1. Pengantar *Ventana Simulation* (Vensim)

Vensim adalah alat pemodelan visual yang memungkinkan untuk melakukan pembuatan konsep, mendokumentasikan, menyimulasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan cara mudah dan sederhana untuk membangun model simulasi baik itu *Causal Loop Diagram* (CLD) atau *Stock and Flow Diagram* (SFD). Ketika pertama kali membuka Vensim, maka tampilan *screen* yang akan muncul adalah seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Antarmuka Vensim

Ketika akan membangun sebuah model, maka dipilih menu *file* kemudian dipilih *new*, setelah itu antarmuka Vensim akan menampilkan *model setting* yang terdiri atas *initial time* yang dapat diisi dengan waktu awal simulasi, *final time* yang dapat diisi dengan waktu akhir simulasi, dan *time step* yang data dipilih berdasarkan interval waktu yang diinginkan. Untuk memperjelas paparan mengenai *model setting* seperti terlihat pada Gambar 5.2.

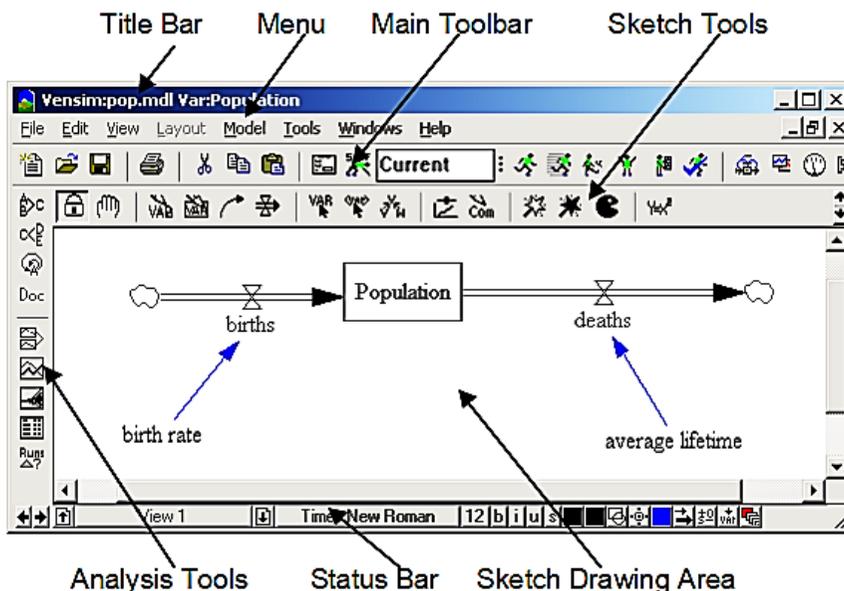


Gambar 5.2 Antarmuka model setting pada Vensim

Pada Gambar 5.2 *initial time* diisi dengan nol (0) dan *final time* diisi dengan 100, dengan *time step* dipilih *month* (bulan) yang artinya simulasi yang akan dibuat mulai dari bulan ke-0 hingga bulan ke-100. Selain itu model juga dapat dibuat dengan *time step year* (tahun) dengan *initial time* 2001 hingga *final time* 2021, tergantung kebutuhan.

5.2. Fasilitas-Fasilitas di dalam Vensim

Vensim menggunakan antarmuka yang dapat dianggap sebagai *workbench* atau seperangkat *tools* untuk membuat model. Jendela utama Vensim adalah *Workbench*, yang selalu menyertakan *Title Bar*, *Menu*, *Toolbar*, dan *Analysis tools*. Ketika Vensim membuka model (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3), *sketch tools* dan *status bar* juga muncul.



Gambar 5.3 Jendela utama Vensim

5.2.1. Title Bar

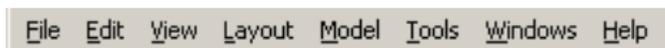
Title Bar menunjukkan dua item penting: model yang terbuka (misalnya, Sales.mdl) dan *Workbench Variable* (misalnya, sales force productivity).



Workbench Variable adalah variabel apapun dalam model yang telah dipilih dan yang diinginkan untuk diketahui informasi lebih lanjutnya, seperti perilaku dinamis variabel tersebut. *Workbench Variable* dipilih dengan mengklik variabel atau dengan menggunakan *Variable Selection Control* di *Control Panel* ("*Control Panel*" pada bab ini).

5.2.2. Menu

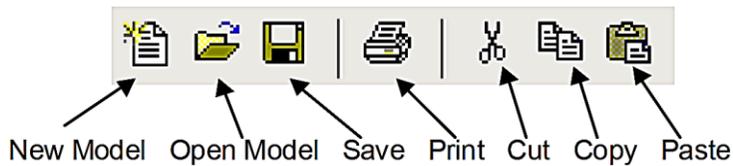
Banyak *operation* di Vensim yang dapat dilakukan di menu.



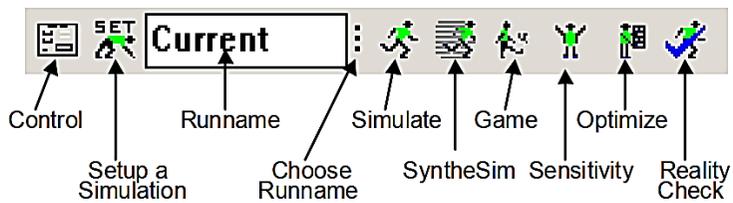
- Menu **File** berisi fungsi-fungsi umum seperti *Open Model*, *Save*, *Print*, dan lain-lain.
- Menu **Edit** memungkinkan untuk menyalin dan menempelkan bagian tertentu dari model. Dapat mencari variabel dalam model yang dibuat.
- Menu **View** memiliki pilihan untuk memanipulasi sketsa model dan untuk melihat model sebagai teks saja (hanya tersedia di Vensim Professional dan DSS).
- Menu **Layout** memungkinkan untuk memanipulasi posisi dan ukuran elemen dalam sketsa.
- Menu **Model** menyediakan akses ke Simulasi Control dan kotak dialog *Time Bounds*, tombol fitur pemeriksaan model, serta mengimpor dan mengekspor kumpulan data.
- Menu **Tools** mengatur opsi global di dalam Vensim, memungkinkan untuk memanipulasi *analysis tools* dan *sketch tools* serta mengatur opsi global. Di Vensim PLE dan PLE Plus terdapat menu **Options** bukan menu **Tools**.
- Menu **Windows** memungkinkan untuk beralih di antara berbagai jendela yang terbuka.
- Menu **Help** menyediakan akses ke sistem bantuan *online*.

5.2.3. Toolbar

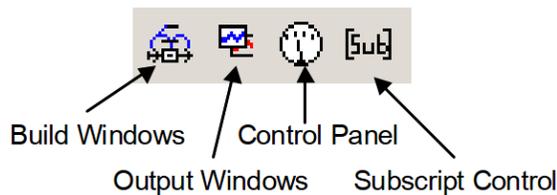
Fitur *toolbar* menyediakan tombol untuk beberapa item menu dan simulasi yang paling umum digunakan. Satu set tombol pertama dalam mengakses beberapa item menu *File* dan *Edit*.



Beberapa tombol berikutnya dan kotak edit **Runname** digunakan untuk menyimulasikan model.



Beberapa tombol terakhir digunakan untuk mengakses *window classes*. Klik tombol untuk menampilkan jenis dari jendela tersebut.



Tampilan *toolbar* yang tepat tergantung pada konfigurasi Vensim tersebut. Beberapa konfigurasi memiliki entri lebih sedikit daripada yang ditunjukkan di atas. Misalnya *toolbar* Vensim PLE muncul sebagai berikut:



5.2.4. The Window Classes

Vensim berisi beberapa jenis atau *class* dari *window*:

1. **Build Windows** digunakan untuk membuat model baru, atau untuk memodifikasi, menavigasi, dan menyimulasikan model yang ada. Dalam Vensim Standard, Professional dan DSS beberapa model dapat terbuka secara bersamaan, masing-masing di *Build Window*-nya sendiri.
2. **Output Windows** dibuat oleh *Vensim's analysis tools*, dan menyertakan grafik, tabel, dan daftar.

3. **Control Windows** termasuk *Control Panel*, kotak dialog tab yang digunakan untuk mengontrol pengaturan internal Vensim dan *Subscript Control*, yang digunakan untuk menentukan dan memilih *subscript* di Vensim Profesional dan DSS.

Ketika sebuah jendela pertama kali dipilih atau dibuat, jendela itu bergerak ke atas dan aktif sementara yang lainnya jendela menjadi tidak aktif. Hanya dapat bekerja di jendela aktif. Empat metode yang memungkinkan untuk berpindah di antara jendela *class*:

1. Klik tombol jendela yang sesuai pada *toolbar*.
2. Tekan Ctrl + Shift + Tab untuk menggilir antar jendela *class*.
3. Dari menu *Windows*, pilih *Pop Build Forward*, *Pop Output Forward*, *Control Panel*, atau *Subscript Control*.
4. Gunakan *mouse* dan klik pada jendela yang sesuai (ini hanya berfungsi jika jendela terlihat).

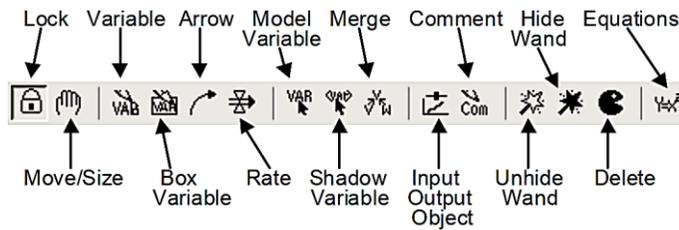
Mungkin ada beberapa jendela yang terbuka. Empat metode yang memungkinkan untuk menelusuri jendela yang terbuka di dalam *class*:

1. Klik tombol kelas jendela.
2. Tekan Ctrl + Tab (atau Shift + Tab untuk bergerak ke arah yang berlawanan).
3. Dari menu *Windows*, pilih *Output Window List* untuk *output windows*, atau klik tombol *Build Windows* yang ingin ditampilkan di bagian bawah menu *Windows*.
4. Gunakan *mouse* dan klik pada jendela yang sesuai (ini hanya berfungsi jika jendela terlihat).

Build Windows digunakan untuk membuat model di Vensim. Secara *default*, terbuka dengan *Sketch tools* untuk membuat sketsa struktur model dan untuk menulis persamaan. Status Bar menyediakan tombol untuk memodifikasi sketsa. Kecuali dalam model PLE dapat dibangun dari beberapa sketsa atau dari sketsa di *view* yang berbeda. Setiap tampilan sketsa menunjukkan bagian dari model, seperti halnya setiap halaman dalam buku yang menceritakan bagian dari sebuah cerita. Di Vensim Profesional dan DSS, *Build Window* dapat dialihkan ke *Text Editor* untuk membangun dan mengedit model berbasis teks. Status Bar kemudian beralih ke versi pengeditan teks.

5.2.5. Sketch Tools

Sketch tools dikelompokkan ke dalam *Sketch toolset*. Vensim PLE dan PLE Plus hanya memiliki *Sketch toolset* bawaan, tetapi konfigurasi lainnya memungkinkan untuk memilih dan memodifikasi *Sketch toolset* tersebut dengan menambahkan, memindahkan serta mengubah tindakan dari *tools* yang berbeda. Kumpulan *tools* yang disesuaikan dapat disimpan ke *file* dan dibuka kembali untuk digunakan nanti. *Sketch toolset* bawaan (*default.sts*) berisi sebagian besar *Sketch tools* yang dibutuhkan untuk membangun model.



Vensim PLE dan PLE Plus tidak mengandung *Model Variable*, *Merge*, *Unhide Wand* atau *Hide Wand tools* dan Vensim PLE tidak berisi *Input Output Object tools*.

Untuk konfigurasi lain, *Sketch tools* dapat dikonfigurasi dengan mengklik kanan pada *tools* dan mengubah opsinya. Jika mengubah konfigurasi *tools*, akan ditanya apakah ingin menyimpan perangkat *Sketch* saat keluar dari Vensim. Mengklik **Yes** akan menimpa *toolset* yang lama. Mengklik **No** maka akan tetap menyimpan perangkat lama (akan kehilangan perubahan tersebut). Mengklik **Cancel** memungkinkan untuk menggunakan menu *tools* untuk menyimpan *toolset* dengan nama baru sebelum keluar. Tidak ada batasan jumlah *toolset* yang di simpan, tetapi sebagian besar pengguna merasa paling mudah menggunakan satu kumpulan *sketch toolset* yang dikonfigurasi sesuai kebutuhan mereka. *Sketch tools* di *Sketch toolset* bawaan adalah:

- **Lock** — sketsa dikunci. *Pointer* dapat memilih *sketch objects* dan *Workbench Variable* tetapi tidak dapat memindahkan *sketch objects*.
- **Move/Size** — memindahkan, mengubah ukuran, dan memilih *sketch objects*: *variable*, *arrow*, dan lain-lain.
- **Variable** — membuat variabel (konstanta, *auxiliary* dan data).
- **Box Variable** — membuat variabel dengan bentuk kotak (digunakan untuk Level atau *Stock*).
- **Arrow** — membuat panah lurus atau melengkung.
- **Rate** — membuat *rate* (atau *flow*), terdiri dari panah tegak lurus, katup dan jika diperlukan, *source* dan *sink* (awan).
- **Model Variable** — menambahkan variabel model dan penyebab variabel tersebut ke dalam *sketch view*.
- **Shadow Variable** — menambahkan variabel model yang ada ke *sketch view* sebagai *shadow variable* (tanpa menambahkan penyebabnya).
- **Merge** — menggabungkan dua variabel menjadi satu variabel, menggabungkan Level ke awan yang ada, menggabungkan *arrow* ke variabel, dan melakukan operasi lain.
- **Input Output Object** — menambahkan input sliders dan grafik/tabel *output* ke *sketch*.
- **Sketch Comment** — menambahkan komentar dan gambar ke *sketch*.
- **Unhide Wand** — menampilkan (membuat terlihat) variabel dalam tampilan *sketch*.
- **Hide Wand** — menyembunyikan variabel dalam tampilan *sketch*.

- **Delete** — menghapus struktur, variabel dalam model, dan komentar dalam *sketch*.
- **Equation** — membuat dan mengedit persamaan model menggunakan *Equation Editor*.

5.2.6. Status Bar

Status Bar menunjukkan keadaan sketsa dan objek dalam *sketch*. Status Bar berisi tombol untuk mengubah keadaan objek yang dipilih, dan berpindah ke *view* lain.



Sejumlah atribut sketsa dapat dikontrol dari Status Bar, termasuk:

- Perubahan karakteristik pada variabel yang dipilih; *font type, size, bold, italic, underline, strikethrough*.
- *Variable color, box color, surround shape, text position, arrow color, arrow width, arrow polarity*, dll.

5.2.7. Output Windows

Output Windows muncul dengan mengklik *Analysis tool*. *Analysis tool* mengumpulkan informasi dari model dan menampilkan informasi di *window* sebagai diagram, grafik, atau teks. beberapa *window* ini dapat dibuka secara bersamaan, dan *window* tertentu dapat ditutup satu per satu dengan mengklik tombol **Close** di pojok kiri atas atau kanan atas, atau semua jendela bisa ditutup sekaligus menggunakan item menu **Windows>Close All Output**.

5.2.8. Analysis Tools

Analysis tools digunakan untuk menampilkan informasi tentang *Workbench Variable*, baik tempatnya atau nilai dalam model, atau perilakunya dari *dataset* simulasi. *Analysis tools* dikelompokkan ke dalam *toolset*. Di Vensim PLE dan PLE Plus hanya dapat menggunakan *toolset* bawaan. Dalam konfigurasi lain *analysis toolset* dapat dimodifikasi (disebut juga *default1.vts*) dan yang lebih lengkap *toolset default2.vts* berisi banyak *analysis tools* yang diperlukan untuk menyelidiki model.

Kecuali di Vensim PLE dan PLE Plus, *analysis tools* dapat dikonfigurasi untuk menunjukkan hal yang berbeda mengenai *Workbench Variable*. Untuk mengonfigurasi *tools*, pilih *tool* dengan klik kanan pada mouse dan mengubah pilihannya. *Tools* juga dapat ditambahkan ke *toolset*. Seperti halnya *sketch toolset*, jika membuat perubahan akan diminta untuk menyimpan *toolset* saat keluar dari Vensim. Beberapa *analysis toolset* yang berbeda adalah disediakan oleh Vensim dan dapat dibuka dari menu **Tools>Analysis Toolset>Open**. *Toolset* bawaan dalam Vensim adalah seperti pada Gambar 5.4.

PLE Other Configurations



Gambar 5.4 Analysis toolset

Uraian tentang fungsi *tools* adalah seperti di bawah ini. *Tools* yang ditunjukkan di bawah ini berasal dari *toolset default2.vts* yang berisi lebih banyak *tool* daripada *toolset* bawaan. Di Vensim PLE dan PLE Plus hanya tersedia *tool* bawaan seperti ditunjukkan di atas. *Statistics tool* dan *Text Editor tool* tidak tersedia di Vensim Standard dan *Venapp Editor tool* hanya tersedia di Vensim DSS.

a. Structural Analysis Tools

-  **Causes Tree** — membuat representasi grafis tipe pohon yang menunjukkan penyebab *Workbench Variable*.
-  **Uses Tree** — membuat representasi grafis tipe pohon yang menunjukkan kegunaan *Workbench Variable*.
-  **Loops** — menampilkan daftar semua *loop* umpan balik yang melewati *Workbench Variable*.
-  **Document** — meninjau persamaan, definisi, satuan ukuran, dan nilai yang dipilih untuk *Workbench Variable*.

b. Dataset Analysis Tools

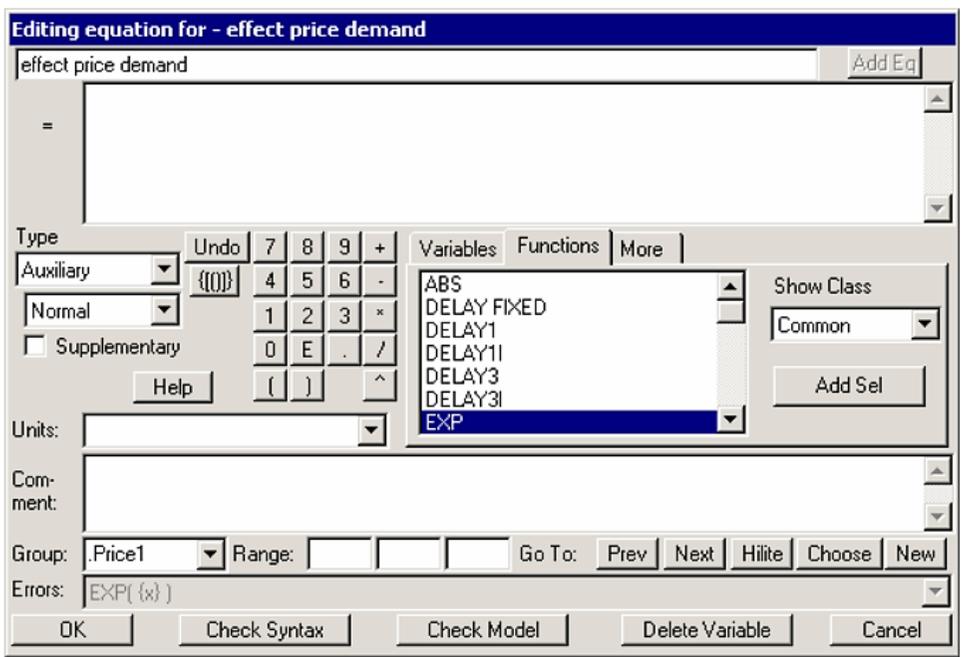
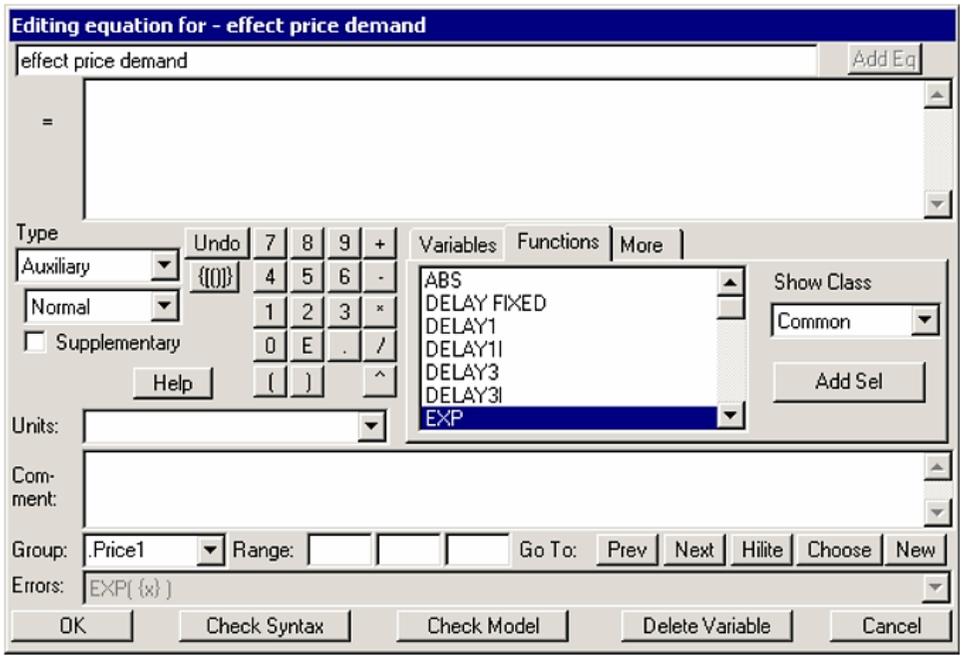
-  **Causes Strip Graph** — menampilkan grafik sederhana dalam strip, memungkinkan untuk melacak kausalitas dengan menunjukkan penyebab langsung (seperti yang ditunjukkan) dari *Workbench Variable*.

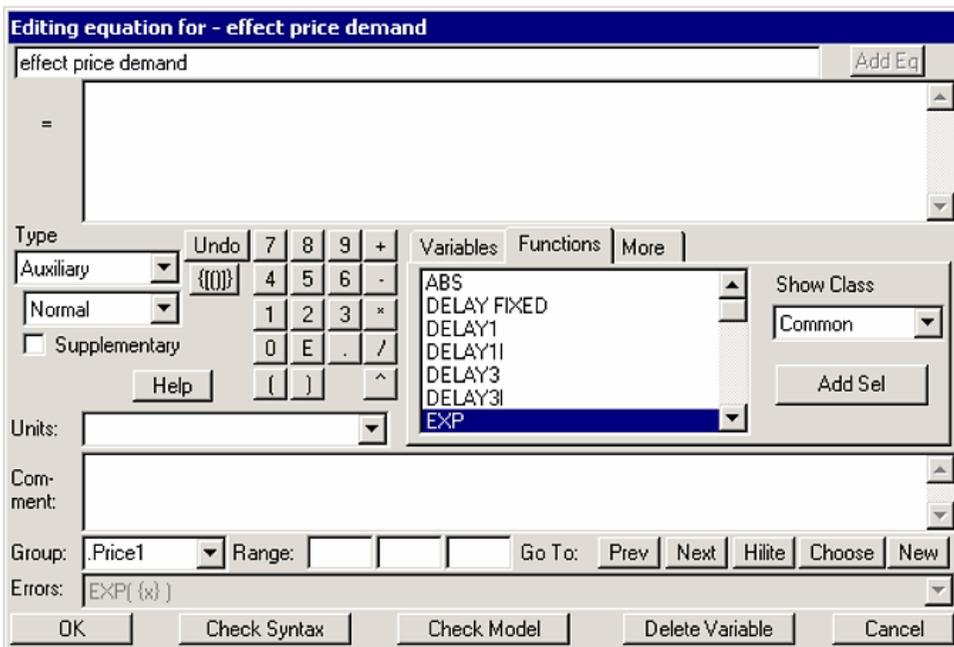
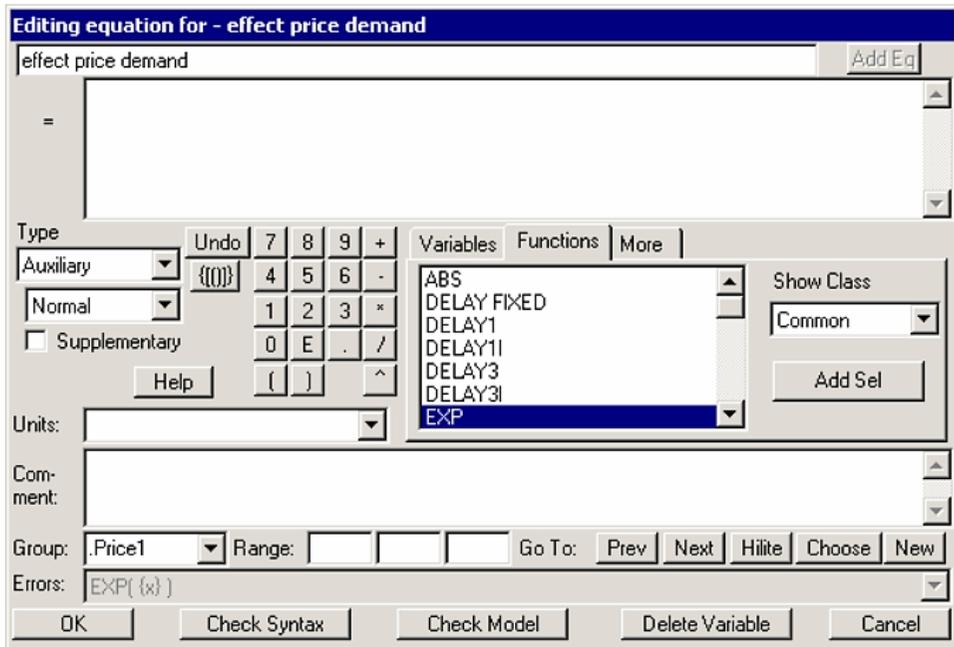
-  **Graph** — menampilkan perilaku dalam grafik yang lebih besar dari Grafik Strip, dan berisi perbedaan pilihan untuk *output* dari **Strip Graph**.
 -  **Sensitivity Graph** — membuat grafik sensitivitas dari satu variabel dan rentang ketidakpastian yang dihasilkan dari uji sensitivitas.
 -  **Bar Graph** — membuat grafik batang dari suatu variabel pada waktu tertentu, atau menampilkan histogram dari variabel sepanjang waktu atau di seluruh simulasi sensitivitas pada suatu waktu.
 -  **Table** — menghasilkan tabel nilai untuk *Workbench Variable*.
 -  **Runs Compare** — membandingkan semua *Lookups* dan Konstanta dalam kumpulan data pertama yang dimuat dengan yang ada di kumpulan data kedua yang dimuat.
 -  **Statistics** — memberikan ringkasan statistik tentang *Workbench Variable* dan penyebab atau kegunaannya.
- c. **Other Tools**
-  **Unit Check** — menyediakan cara alternatif untuk mengakses fitur pemeriksaan unit.
 -  **Equation Editor**— menyediakan cara alternatif untuk mengakses persamaan untuk *Workbench Variable*.
 -  **Venapp Editor** — mendukung pengeditan visual Venapps.
 -  **Text Editor**— editor teks dengan tujuan umum. Seperti yang ditunjukkan, dikonfigurasi untuk mengedit *file .vgd*).

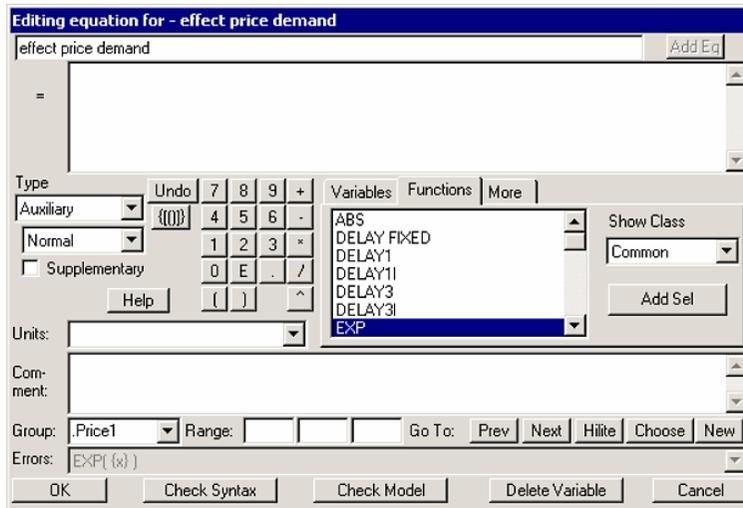
Tree Diagram, Strip Graph, Sensitivity Graph, Table, dan Statistics tool semuanya dapat dikonfigurasi untuk menunjukkan penyebab atau penggunaan *Workbench Variable*.

5.3. Fungsi-Fungsi di dalam Vensim

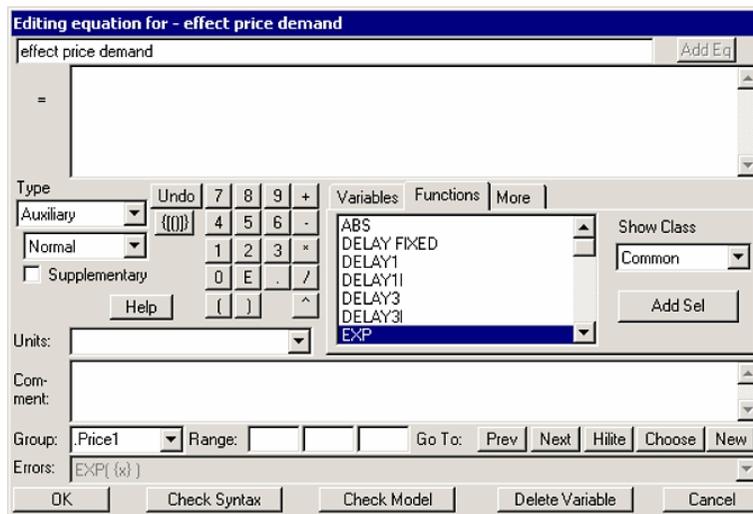
Untuk memasukkan fungsi persamaan dalam Vensim, berikut langkah-langkah sederhananya (Gambar 5.5):







- Pilih *equation edit tool*.
- Klik pada variabel yang akan dimasukkan persamaannya (contoh: *effect price demand*).
- Klik pada tab **Function** di sebelah kanan.



Gambar 5.5 Memasukkan fungsi

5.3.1. IF THEN ELSE

Digunakan untuk dapat beralih di antara formulasi alternatif berdasarkan beberapa kondisi. Fungsi IF THEN ELSE memungkinkan melakukan ini. Ini diimplementasikan sebagai fungsi dalam Vensim karena dua alasan. Pertama, seperti fungsi lainnya, mengembalikan nilai. Kedua pernyataan: $d = \text{IF } a \text{ THEN } b \text{ ELSE } c$, sebenarnya memberikan variabel "IF a

THEN b ELSE c" ke variabel d. Agar Vensim dapat membedakan variabel dari pernyataan sesuatu seperti :IF: a :THEN: b :ELSE: c perlu digunakan dan ini tampaknya menciptakan lebih banyak gangguan daripada yang diselesaikan. Di Vensim tugas ini untuk mengambil d = IF THEN ELSE (a, b, c).

Contoh persamaan IF THEN ELSE terlihat seperti ini:

$$\begin{aligned} \text{change in price} = & \\ & \text{IF THEN ELSE (price > target price,} \\ & \text{(target price-price)/time to adjust price up,} \\ & \text{(target price-price)/time to adjust price down)} \end{aligned}$$

5.3.2. SMOOTH

Fungsi SMOOTH biasanya digunakan untuk mengambil rata-rata waktu dan merepresentasikan ekspektasi. Ini berbeda dari LN, EXP dan IF THEN ELSE karena memiliki perilaku waktu yang tertanam di dalamnya. Artinya, jika mengetahui nilai x yang diambil maka dapat menghitung EXP(x), tetapi jika hanya mengetahui x tidak memberi tahu nilai SMOOTH(x,4), perlu juga mengetahui nilai SMOOTH sebelumnya. Ini karena fungsi SMOOTH memiliki level yang dibangun secara implisit ke dalamnya. Maka ditulislah persamaan:

$$\text{expected demand} = \text{SMOOTH}(\text{demand, time to form expectations})$$

Persamaan ini persis dengan:

$$\begin{aligned} \text{expected demand} = & \text{INTEG}((\text{demand} - \text{expected demand}) / \\ & \text{time to form expectations,} \\ & \text{demand}) \end{aligned}$$

Saat menggunakan fungsi SMOOTH, Vensim sebenarnya membuat dua variabel. Satu, *expected demand*, diperlakukan sebagai *Auxiliary* yang setara dengan Level yang dibuat oleh Vensim yang disebut *#SMOOTH(demand, timetoformexpectations)#*. Biasanya Vensim akan menyembunyikan variabel seperti itu secara internal, tetapi pemodel dapat menampilkannya dengan mencentang **Macro Variables: Show** di tab **Settings** pada *Global Option* dialog (menggunakan item menu **Tools> Options**). Ini tidak tersedia di Vensim PLE atau PLE Plus.

Ada sejumlah fungsi seperti *smooth*, ini termasuk DELAY1, DELAY1I, DELAY3, DELAY3I, FORECAST, SMOOTH3, SMOOTH3I, SMOOTHI dan TREND.

5.3.3. STEP

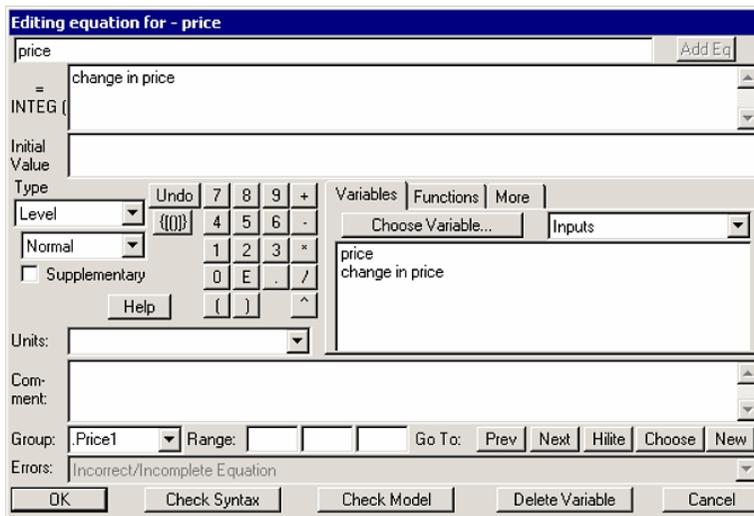
Salah satu contoh formula STEP adalah seperti persamaan: $\text{target revenue} = 10000 + \text{STEP}(5000, 10)$

Fungsi STEP adalah fungsi input yang paling umum digunakan. Fungsi ini mengembalikan 0 hingga *time* mencapai {stime} dan kemudian mengembalikan {sheight}. Dalam contoh di atas akan mengembalikan 0 hingga waktu 10 maka akan mengembalikan 5000 sehingga *target revenue* akan mulai dari 10000, tetap konstan hingga waktu 10 dan kemudian lompat ke 15000. Fungsi STEP penting karena perubahan langkah adalah cara yang sangat baik untuk mendapatkan model untuk menunjukkan mode perilaku yang dapat dihasilkannya. Misalnya dalam model rantai pasokan, dapat menggunakan langkah perubahan permintaan untuk mengambil penawaran.

Ada sejumlah fungsi terkait dengan fungsi STEP. PULSE, PULSE TRAIN, RAMP dan RANDOM. Semua fungsi ini mengembalikan nilai yang berbeda pada waktu yang berbeda. Fungsi RANDOM mengembalikan nilai yang berubah secara acak dari waktu ke waktu.

5.3.4. Initial Conditions

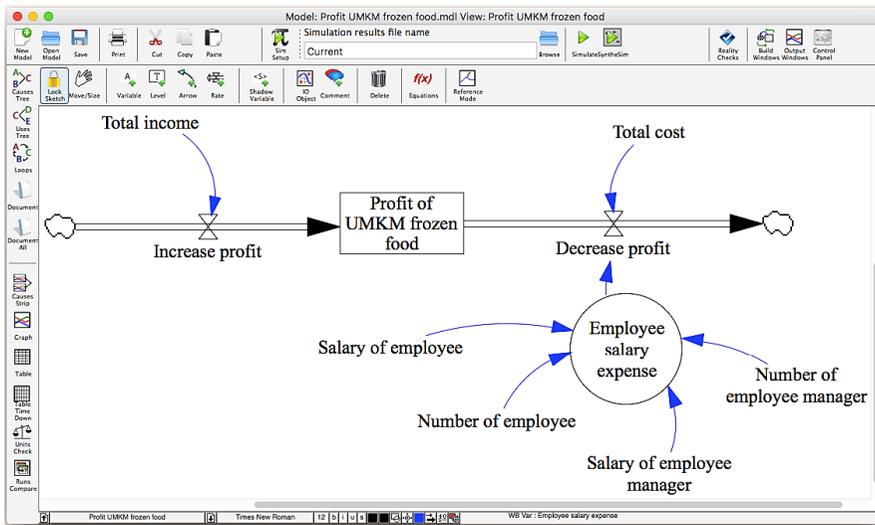
Nilai awal untuk *price* diberikan oleh *initial price* tetapi tidak ada panah dari *initial price* menjadi *price*. Saat membuka *equation editor* di *price*, tidak akan terlihat *initial price* tercantum seperti di input (Gambar 5.6). Perhatikan, jika telah menggambar panah dari *initial price* ke *price* maka *initial price* akan muncul di daftar input.



Gambar 5.6 Initial condition pada equation editor

5.4. Contoh Model dengan Menggunakan Vensim

Contoh model yang akan dibangun menggunakan Vensim, yaitu model profit UMKM *frozen food*. Langkah pertama yang harus dilakukan di dalam Vensim adalah menggambar *Stock and Flow Diagram* dari model profit UMKM *frozen food* seperti terlihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Membangun model profit UMKM frozen food

Untuk membangun model profit UMKM frozen food, memerlukan satu variabel *level*, yakni *profit of UMKM frozen food* dan dua variabel *rate* berupa *inflow (increase profit)* dan *outflow (decrease profit)*. Kemudian selain memerlukan 2 *rate (increase profit dan decrease profit)*, juga memerlukan 1 *auxiliary*, dalam hal ini adalah *employee salary expense* yang dilambangkan dengan bentuk lingkaran. Pada *auxiliary* ini dipengaruhi oleh 4 konstanta, yakni *salary of employee, number of employee, salary of employee manager, dan number of employee manager*. Keempat konstanta ini berpengaruh pada *auxiliary* kemudian *auxiliary* berpengaruh pada *rate*, dan *rate* berpengaruh pada *level*. Konstanta lain yang berpengaruh pada *rate* berupa *total income dan total cost*. Kedua konstanta ini berpengaruh pada *rate*, dan *rate* berpengaruh pada *level*.

Untuk memulai membuat model, pertama adalah dimulai dari membuat *level*, dengan cara klik ikon yang bergambar (var) atau klik ikon ini (📦), setelah di klik akan muncul gambar kotak pada area kerja Vensim, kemudian dituliskan nama variabelnya di dalam kotak tersebut, contohnya diberi nama *profit of UMKM frozen food*.

Kemudian untuk membuat variabel *rate*, dapat dengan cara memilih ikon yang bergambar katup (🔗), kemudian diatur *arrow head*-nya sesuai dengan kebutuhan, lalu diberi nama *rate*-nya, contohnya diberi nama *increase profit dan decrease profit*.

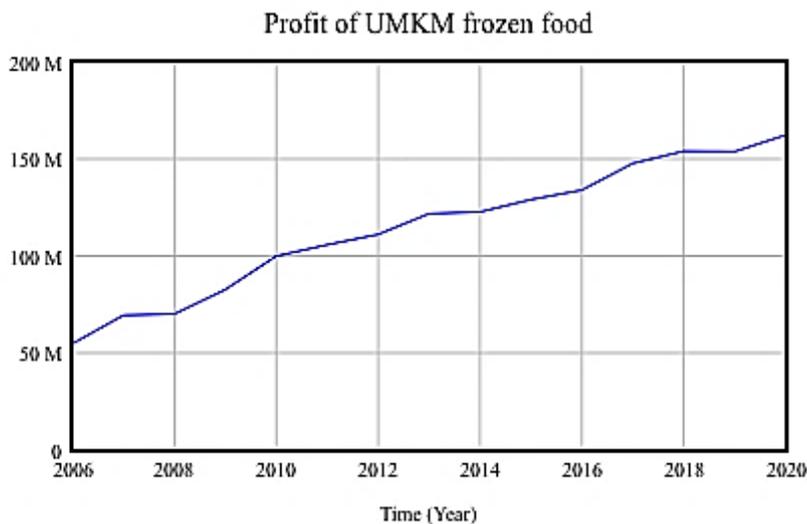
Setelah membuat konstruksi modelnya, berikutnya adalah membuat persamaan model dengan klik fitur yang ada tulisan $f(x)$ atau klik icon (f(x)). Kemudian masukkan persamaan pada setiap variabel.

Dari gambar konstruksi model profit UMKM *frozen food* pada Gambar 5.7 dapat dimasukkan persamaan seperti berikut:

- Profit of UMKM frozen food = INTEG(increase profit-decrease profit, 54766100)

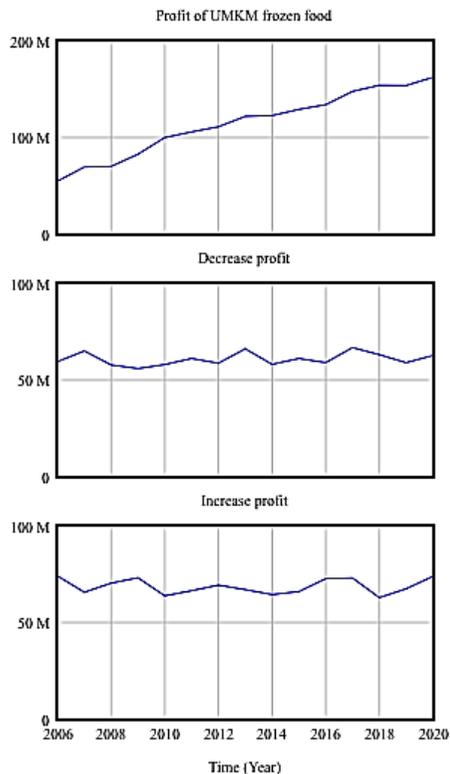
- Increase profit = Total income
- Decrease profit = Total cost+Employee salary expense
- Total income = RANDOM UNIFORM(62825900, 74557000, 0)
- Total cost = RANDOM UNIFORM(35045800, 46142400, 0)
- Employee salary expense = (Number of employee*Salary of employee)+(Number of employee manager*Salary of employee manager)
- Number of employee = 12
- Salary of employee = RANDOM UNIFORM(1400000, 1500000, 0)
- Number of employee manager = 2
- Salary of employee manager = RANDOM UNIFORM(1900000, 2000000, 0)

Setelah memasukkan persamaan, maka selanjutnya di-*running* dengan klik icon (). Setelah di-*running*, untuk menampilkan grafik hasil simulasi maka klik icon *graph* () dan akan tampil grafik seperti pada Gambar 5.8. Pada grafik tersebut terlihat bahwa periode simulasi adalah dari 2006 hingga 2020, nama variabel yang dipilih adalah *profit of UMKM frozen food*.



Gambar 5.8 Grafik hasil simulasi profit of UMKM frozen food

Selain dapat menampilkan hasil simulasi dalam bentuk grafik, apabila diperlukan analisis grafik untuk menulis *report* maka dapat membuat *strip graph* dari model *profit of UMKM frozen food* yang telah dibangun tersebut. *Strip graph* memudahkan dalam menganalisis hubungan kausatik di antara beberapa variabel model secara grafis hanya dengan klik icon (). Hasil *causal strip* dari model *profit of UMKM frozen food* adalah seperti pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Causes strip profit of UMKM frozen food

5.5. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

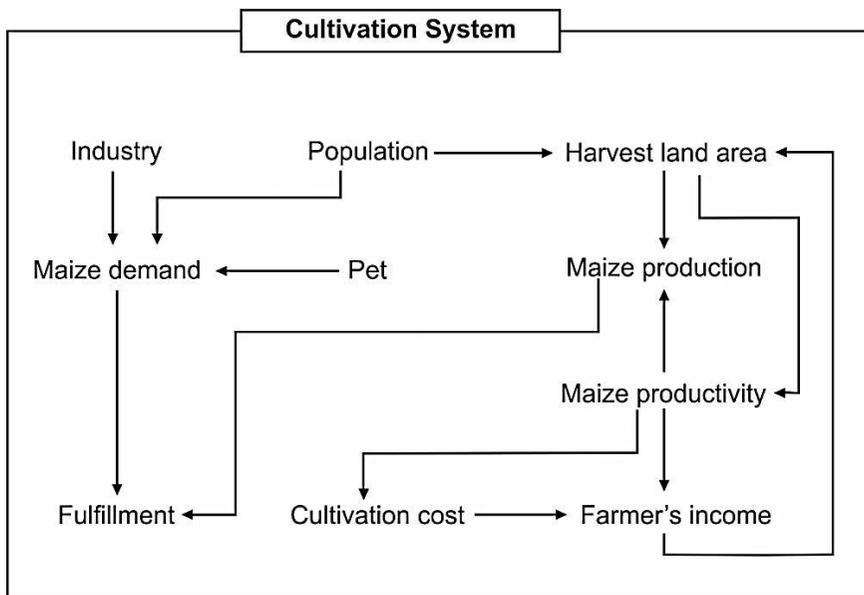
1. Jelaskan peran Ventana Simulation dalam pengembangan model sistem dinamik!
2. Jelaskan beberapa Langkah yang diperlukan untuk membangun model dengan menggunakan Vensim!
3. Jelaskan beberapa fasilitas yang terdapat di dalam Vensim!
4. Jelaskan fungsi *Title Bar*!
5. Jelaskan beberapa fasilitas yang terdapat di dalam *Toolbar*!
6. Jelaskan beberapa fungsi di dalam Vensim!

IMPLEMENTASI MODEL SISTEM DINAMIK DALAM MENINGKATKAN PRODUKSI DAN PENDAPATAN PETANI JAGUNG

Bab ini membahas tentang implementasi model sistem dinamik di bidang pertanian untuk meningkatkan produksi dan pendapatan petani jagung. Implementasi ini meliputi pemahaman sistem (*problem articulation*), hipotesis dinamis (*dynamics hypothesis*), formulasi model, validasi model, analisis hasil, dan skenario model (*policy formulation*).

6.1. Pemahaman Sistem (*Problem Articulation*)

Permintaan jagung meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan industri, hal ini mengakibatkan permintaan akan jagung semakin meningkat (Purwanto, 2007). Sentra produksi jagung di Indonesia selama 2014-2018 terdistribusi di sepuluh provinsi dengan total kontribusi sebesar 85,36% terhadap total produksi dengan kontribusi terbesar produksi jagung nasional berasal dari Provinsi Jawa Timur, yaitu 25,60% (Kariyasa, *et al.*, 2018). Pertumbuhan produksi jagung di Jawa Timur lebih mengandalkan peningkatan luas areal panen, kontribusi terbesar luas panen jagung nasional berasal dari Provinsi Jawa Timur, yaitu sebesar 26,52% (Kariyasa, *et al.*, 2018). Produksi pertanian komoditas jagung mengalami perubahan karena peningkatan permintaan konsumen, peningkatan biaya *input*, kekhawatiran akan ketahanan pangan dan dampak lingkungan (Walters, *et al.*, 2016). Berikut merupakan gambaran dari blok diagram pada sistem budi daya jagung ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Blok diagram budi daya jagung

Data terkait luas panen, produksi dan produktivitas jagung di Jawa Timur mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2007 hingga 2020. Luas panen komoditas jagung pada tahun 2012 sebesar 1.232.523 Ha, mengalami penurunan pada tahun 2013 menjadi 1.199.544 Ha. Hal itu berpengaruh pada jumlah produksi yang juga turun dari 6.295.301 ton menjadi 5.760.959 ton. Begitu juga produktivitasnya mengalami penurunan dari 5,108 ton/ha menjadi 4,803 ton/ha. Sedangkan untuk rata-rata luas panen jagung dalam kurun waktu dari tahun 2007 hingga 2020 sebesar 1.233.772 ha, rata-rata produktivitas jagung sebesar 4,711 ton/ha, dan rata-rata produksi jagung sebesar 5.649.214 ton (Kementan & BPS, 2017).

Permasalahan yang dijumpai dalam pengembangan produksi jagung antara lain: 1) Kondisi perubahan iklim mengakibatkan meningkatnya areal lahan marginal (kekeringan) yang berdampak pada produksi jagung karena gagal panen serta memiliki konsekuensi yang mengerikan bagi keamanan pangan dan gizi bagi kesehatan manusia sehingga mengakibatkan kerugian besar di masa mendatang (Lewi, et al., 2019; Aqil, et al., 2013; Craft, et al., 2013; Aslam, et al., 2015; Dimkpa, et al., 2020). 2) Pemakaian pupuk kimia anorganik yang terus menerus mengakibatkan penurunan jumlah produksi pertanian (Simanjuntak, et al., 2013; Wang, et al., 2019) dan menimbulkan dampak negatif terhadap produktivitas tanah dan lingkungan (Sulaeman, et al., 2017; Hartati, et al., 2014; Agnesia, 2014). 3) Penggunaan teknik budi daya jagung yang masih konvensional membutuhkan banyak tenaga kerja (Li, et al., 2020; Nababan, 2009; Slamet, 2003). Beberapa permasalahan dalam budi daya jagung di lahan kering yang menyebabkan produktivitas

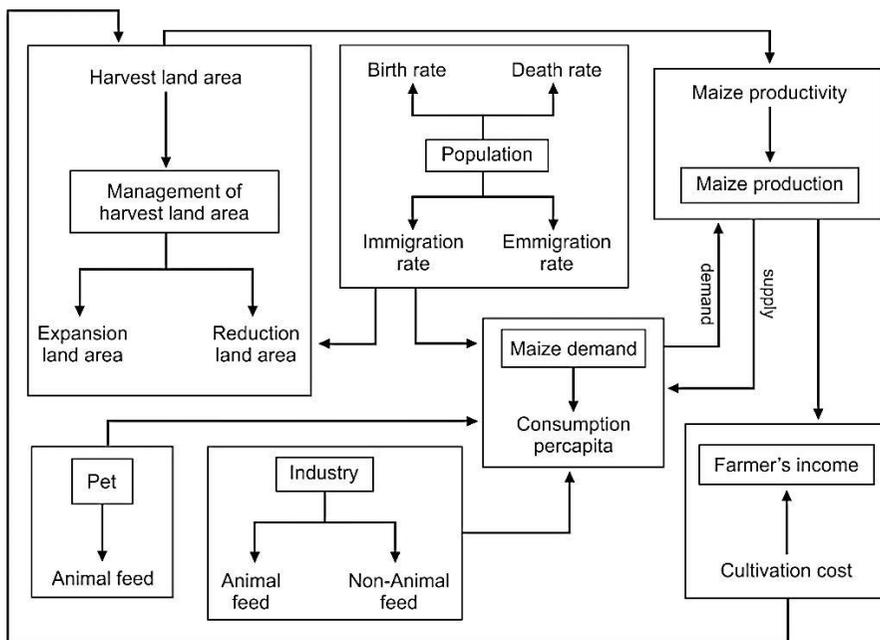
rendah, selain karena faktor abiotik dan biotik, juga disebabkan karena teknik budi daya masih tradisional, menggunakan varietas potensi hasil rendah, populasi tanaman rendah, dan penggunaan pupuk yang belum optimal (Balitsereal, 2006). Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan adanya kebijakan maupun strategi yang tepat dan dapat diaplikasikan untuk pertanian berkelanjutan khususnya komoditas tanaman pangan jagung.

6.2. Hipotesis Dinamis (*Dynamics Hypothesis*)

Setelah melakukan *problem articulation*, maka selanjutnya mulai mengembangkan teori yang disebut "*dynamics hypothesis*" untuk memperhitungkan perilaku yang bermasalah. Hipotesis ini bersifat dinamis karena harus memberikan penjelasan mengenai dinamika *characterising* masalah dalam hal yang mendasari umpan balik dan struktur *stock and flow* sistem. Itu merupakan hipotesis karena selalu bersifat sementara.

6.2.1. Subsystem Diagram Model

Blok diagram model menggambarkan perilaku internal dari masing-masing sub-sistem dan hubungan antara faktor-faktor dengan subsistem lainnya ditunjukkan sebagai bahan-bahan tambahan. Gambaran sub-sistem dalam budi daya jagung ditunjukkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Subsystem diagram budi daya jagung

Adapun deskripsi dari subsistem diagram budi daya jagung dapat dijelaskan sebagai berikut:

a) Luas Area Lahan Panen (*Harvest Land Area*)

Luas panen adalah luasan tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur (BPS, 2020). Luas area panen jagung dipengaruhi oleh tingkat pembukaan lahan dan tingkat konversi lahan panen jagung. Sejalan dengan meningkatnya populasi di Jawa Timur menjadikan sumber daya lahan untuk budi daya jagung menjadi terbatas. Ketika terjadi konversi di area lahan jagung, hal ini akan mempengaruhi jumlah ketersediaan luas panen jagung. Konversi lahan jagung dikarenakan adanya perubahan lahan menjadi perumahan penduduk, industri dan fasilitas umum lainnya. Namun, jika ada pembukaan lahan baru sebagai area lahan budi daya jagung, maka hal ini akan meningkatkan ketersediaan luas area panen jagung serta akan mempengaruhi besaran produksi jagung yang dihasilkan. Pembukaan lahan baru untuk budi daya jagung juga dipengaruhi oleh pendapatan petani (Wang, et al., 2018).

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa luas lahan panen jagung (*harvest land area*) pada periode 2007 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung pertumbuhan ekspansi lahan dan alih fungsi lahan setiap tahunnya.

b) Produktivitas dan Produksi Jagung (*Maize Productivity and Production*)

Faktor produksi dikenal pula dengan istilah input dan korbanan produksi (Soekartawi, 1999). Perencanaan dan peningkatan produksi jagung adalah sebuah tantangan untuk mendukung ketahanan pangan. Produksi jagung dipengaruhi luas panen dan produktivitas jagung per hektare. Selanjutnya, *fulfillment ratio* dipengaruhi oleh produksi jagung dan total permintaan jagung dari berbagai elemen. Sementara produktivitas jagung per hektare merupakan besaran produktivitas lahan yang dipengaruhi oleh luas panen, penggunaan bibit, pupuk, irigasi, tenaga kerja, dampak perubahan cuaca dan iklim meliputi curah hujan, suhu, kelembapan, tinggi permukaan tanah di atas permukaan air laut, dan adanya hama serta penyakit pada tanaman jagung.

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa produktivitas dan produksi jagung pada periode 2007 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung produksi jagung setiap tahunnya yang dengan mengalikan luas panen dengan produktivitas jagung per hektare. Sedangkan untuk menghitung produktivitas jagung dengan menghitung kenaikan yang disebabkan oleh variabel-variabel pendukungnya.

c) Pendapatan Petani (*Farmers' Income*)

Pendapatan petani utamanya dari penjualan produksi pertanian (Wang, et al., 2015). Indikator pendapatan adalah laba per kilogram dan harga per kilogram (Soullier & Moustier, 2018). Hasil yang diperoleh akan berbentuk uang yang akan diperhitungkan dari nilai produksi setelah dikurangi dengan biaya yang telah dikeluarkan. Maka pendapatan

kotor petani dipengaruhi oleh produktivitas jagung per hektare dan harga jagung per kg di tingkat produsen. Kemudian pendapatan bersih petani dipengaruhi oleh pendapatan kotor yang dikurangi dengan biaya budi daya. Sedangkan biaya budi daya didapatkan dari biaya *input* yang dikeluarkan untuk pembelian benih, pupuk, gaji tenaga kerja dan pengeluaran tambahan lainnya.

d) Populasi (*Population*)

Populasi penduduk dipengaruhi oleh laju kelahiran, laju kematian, laju imigrasi, laju emigrasi penduduk dan efek dari *fulfillment ratio*. Laju kelahiran dan laju imigrasi berpengaruh dalam peningkatan jumlah penduduk, sementara laju kematian dan laju emigrasi penduduk berpengaruh dalam pengurangan jumlah penduduk, sedangkan efek dari total *fulfillment ratio* berpengaruh dalam peningkatan jumlah penduduk dengan mengalami *delay* waktu. Semakin bertambahnya populasi penduduk maka akan mempengaruhi jumlah ketersediaan lahan terutama lahan panen jagung. Semakin banyak populasi juga akan menambah banyak adanya industri serta ternak. Permintaan jagung meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan industri, hal ini mengakibatkan permintaan akan jagung semakin meningkat (Purwanto, 2007).

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data jumlah populasi di Jawa Timur pada periode 2007 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung peningkatan dan pengurangan populasi setiap tahunnya.

e) Permintaan Jagung (*Maize Demand*)

Permintaan jagung/*demand* yang dimaksud di sini adalah jumlah dari penggunaan jagung untuk pakan ternak, industri dan konsumsi (Kariyasa, et al., 2018). Permintaan jagung semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya ternak dan industri yang memerlukan *supply* jagung, hal ini dipengaruhi oleh semakin meningkatnya populasi. Sedangkan permintaan jagung untuk konsumsi juga dipengaruhi oleh besaran konsumsi per kapita. Selanjutnya, *fulfillment ratio* dipengaruhi oleh permintaan jagung dari berbagai elemen dan total produksi jagung.

Dalam memasukkan data ke dalam model, maka dibutuhkan data berupa permintaan jagung untuk industri baik industri pakan ternak maupun industri non pakan ternak, data permintaan jagung untuk pakan ternak, dan konsumsi per kapita. Masing-masing data tersebut merupakan data pada periode 2007 hingga 2020. Selanjutnya adalah menghitung permintaan jagung setiap tahunnya dari berbagai elemen dengan menambahkan permintaan jagung untuk industri pakan ternak dan non pakan ternak, kemudian menambahkan dengan permintaan jagung untuk pakan ternak. Sedangkan untuk menghitung permintaan jagung untuk konsumsi, yakni dengan mengalikan populasi dengan konsumsi per kapita.

6.2.2. Boundary Adequacy Model

Boundary Adequacy Model merupakan penentuan Batasan sistem untuk memudahkan dalam menentukan variabel yang signifikan dalam produktivitas jagung, luas panen, permintaan jagung, serta produksi jagung dan penghasilan petani.

a) Submodel produktivitas jagung

Beberapa variabel internal/endogen dan eksternal/eksogen yang mempengaruhi produktivitas jagung menurut beberapa referensi dijelaskan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Boundary adequacy submodel maize productivity

Submodel	Endogen	Eksogen
Maize productivity	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Maize seed effect</i> (Putra, et al., 2018; Sadeghi, et al., 2018; Kariyasa, et al., 2018; Badan Ketahanan Pangan, 2009). • <i>Irrigation effect</i> (Putra, et al., 2018; Li, et al., 2020; Wang, et al., 2020). • <i>Fertilizer effect</i> (Putra, et al., 2018; Seran, 2005; Wang, et al., 2019; Wang, et al., 2018). • <i>Labor effect</i> (Hafidh, 2009; Nababan, 2009; Sayifullah & Emmalian, 2018). • <i>Harvest land area</i> (Kariyasa, et al., 2018; Kementan, 2020; Ambarita & Kartika, 2015). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Rainfall effect</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Muslim, 2013; Lewi, et al., 2019; Tanure, et al., 2020). • <i>Pest and disease effect</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Hafidh, 2009). • <i>Humidity effect</i> (Putra, et al., 2018; Li, et al., 2020). • <i>Temperature effect</i> (Putra, et al., 2018; Tanure, et al., 2020; Muslim, 2013; Bora & Murdolelono, 2006). • <i>Sea Surface high effect</i> (Putra, et al., 2018; Muslim, 2013; Utami & Hardyastuti, 2011).
Maize seed effect	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Hibrida 647 seed</i> (Sadeghi, et al., 2018; Li, et al., 2009). 	

b) Submodel luas area panen

Beberapa variabel internal/endogen dan eksternal/eksogen yang mempengaruhi produktivitas jagung menurut beberapa referensi dijelaskan pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Boundary adequacy submodel harvest land area

Submodel	Endogen	Eksogen
Harvest land area	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Expansion plant area</i> (Putra, et al., 2018; Rai, et al., 2019; Ambarita & Kartika, 2015). • <i>Gross income</i> (Gervantes-Godoy, et al., 2013; Wang, et al., 2015; Reardon, et al., 2009; Wang, et al., 2018). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reduce plant area</i> (Putra, et al., 2018; Rai, et al., 2019; Ambarita & Kartika, 2015). • <i>Population</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Li, et al., 2020).
Expansion plant area		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Expansion rate</i> (Putra, et al., 2018; Rai, et al., 2019; Ambarita & Kartika, 2015).
Reduce plant area		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reduce rate</i> (Putra, et al., 2018; Rai, et al., 2019).

c) Submodel permintaan jagung

Beberapa variabel internal/endogen dan eksternal/eksogen yang mempengaruhi produktivitas jagung menurut beberapa referensi dijelaskan pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Boundary adequacy submodel maize demand

Submodel	Endogen	Eksogen
Maize Demand		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Industry demand</i> (Kariyasa, et al., 2018; Eckhoff, et al., 2003; Britannica, 2020). • <i>Animal feed demand</i> (Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016; Purwanto, 2007). • <i>Consumption demand</i> (Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016).
Consumption demand		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Consumption per capita</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016); • <i>Population</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Li, et al., 2020).
Industry demand		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Animal feed industry</i> (Purwanto, 2007; Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016); • <i>Non-animal feed industry</i> (Suwandi, et al., 2016; Kariyasa, et al., 2018).
Population		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Birth rate</i> (Putra, et al., 2017; Li, et al., 2020); • <i>Death rate</i> (Putra, et al., 2017; Li, et al., 2020); • <i>Immigration rate</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Li, et al., 2020); • <i>Emmigration rate</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Li, et al., 2020). • <i>Fulfillment ratio</i> (Kariyasa, et al., 2018; Soekartawi, 1999; Suwandi, et al., 2016)

d) Submodel produksi dan pendapatan petani jagung

Beberapa variabel internal/endogen dan eksternal/eksogen yang mempengaruhi produktivitas jagung menurut beberapa referensi dijelaskan pada Tabel 6.4.

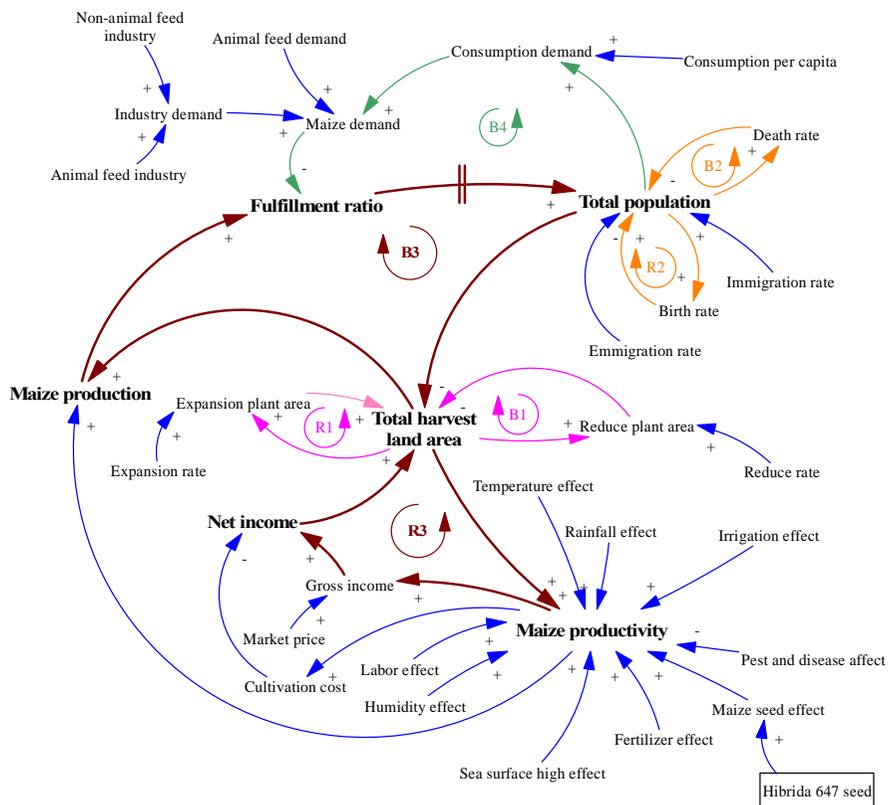
Tabel 6.4 Boundary adequacy submodel maize production dan farmers' income

Submodel	Endogen	Eksogen
Maize production	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Maize productivity</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Hernanto, 1996; Badan Ketahanan Pangan, 2009); • <i>Harvest land area</i> (Kariyasa, et al., 2018; Kementan, 2020; Ambarita & Kartika, 2015). 	
Gross income	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Maize productivity</i> (Sadeghi, et al., 2018; Kariyasa, et al., 2018; Lewi, et al., 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Market price</i> (Soullier & Moustier, 2018; Kariyasa, et al., 2018).
Net Income	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Gross income</i> (Gervantes-Godoy, et al., 2013; Wang, et al., 2015; Reardon, et al., 2009; Wang, et al., 2018); • <i>Cultivation cost</i> (Chen, et al., 2018; Walters, et al., 2016; Xu, et al., 2020). 	
Fulfillment ratio	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Maize production</i> (Kariyasa, et al., 2018; Soekartawi, 1999; Sadeghi, et al., 2018; Dimkpa, et al., 2020). 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Maize demand</i> (Hariwibowo, et al., 2015; Walters, et al., 2016; Kariyasa, et al., 2018).

6.2.3. Causal Loop Diagram Model

Pembuatan model sistem dimulai dari konseptualisasi sistem yang dilakukan melalui pembuatan model konseptual yang digambarkan melalui diagram *Causal Loop Diagram* dengan menggunakan notasi-notasi pada Tabel 4.1. Konseptualisasi sistem yang digunakan untuk menggambarkan secara umum mengenai simulasi sistem dinamik yang akan dilakukan dari komponen atau variabel-variabel endogen dan eksogen, baik variabel yang signifikan maupun variabel pembantu yang saling mempengaruhi perilaku sistem.

Hasil dari tahapan ini akan didapatkan beberapa diagram sebab akibat yang nantinya akan digabung menjadi sebuah sistem utuh. Berikut merupakan perumusan hubungan dan keterkaitan antar variabel dalam peningkatan produksi dan penghasilan petani jagung seperti pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3 Causal Loop Diagram produksi dan pendapatan petani jagung

Permintaan jagung dipengaruhi oleh kebutuhan konsumsi, industri pakan ternak dan non pakan ternak, dan pakan ternak mandiri (Suwandi, et al., 2016). Rasio pemenuhan dipengaruhi oleh produksi jagung dan keseluruhan permintaan akan jagung. Semakin besar

jumlah permintaan jagung, maka semakin kecil rasio pemenuhannya, begitu sebaliknya, semakin besar jumlah produksi jagung maka semakin besar rasio pemenuhannya. Permintaan jagung untuk konsumsi dipengaruhi oleh konsumsi jagung per kapita. Populasi adalah salah satu variabel yang mempengaruhi permintaan konsumsi jagung. Populasi itu sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah imigrasi, jumlah emigrasi, tingkat kelahiran (R2) dan tingkat kematian (B2) serta besarnya *fulfillment ratio* pada tahun sebelumnya. Semakin besar konsumsi per kapita dan populasi menunjukkan polaritas positif (+) yang berarti menambah permintaan akan jagung. Luas panen jagung dipengaruhi oleh perluasan lahan/ekspansi lahan (R1) dan konversi lahan (B1). Ekspansi lahan akan meningkatkan ketersediaan lahan jagung, hal ini juga dipengaruhi oleh besarnya pendapatan yang diperoleh petani. Konversi lahan akan mengurangi jumlah ketersediaan lahan jagung, hal ini juga dipengaruhi oleh banyaknya populasi. Semakin luas lahan jagung maka semakin besar juga intensitas konversi lahan. Konversi lahan jagung karena perubahan penggunaan lahan menjadi perumahan, industri dan fasilitas umum lainnya. Luas panen mempengaruhi jumlah keseluruhan produksi jagung dan besarnya produktivitas jagung.

Terdapat beberapa faktor baik internal maupun eksternal yang mempengaruhi produktivitas jagung. Variabel yang mempengaruhi besarnya produktivitas jagung terdiri dari: (1) penggunaan varietas benih, ini memiliki pengaruh cukup besar pada produktivitas jagung. Penggunaan benih merupakan salah satu variabel yang dapat dijadikan skenario peningkatan produktivitas jagung ramah lingkungan dengan penggunaan benih unggul hibrida. (2) Penggunaan pupuk untuk memenuhi kekurangan nutrisi dalam tanah, hal ini penting dalam peningkatan produktivitas jagung. (3) Saluran irigasi yang berfungsi untuk mendukung pengairan dalam budi daya jagung. (4) Tenaga kerja adalah tenaga kerja yang diperlukan dalam proses budi daya meliputi hampir seluruh proses produksi berlangsung. (5) Perubahan iklim dan cuaca, termasuk suhu, kelembapan, ketinggian tanah di atas permukaan air laut dan curah hujan. Sektor pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim karena berpengaruh terhadap jumlah produksi dan kualitas hasil. (6) Luas panen adalah luasan tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur. (7) Serangan hama, hal ini akan mengurangi produktivitas jagung.

Pendapatan bersih petani dipengaruhi oleh pendapatan kotor dan biaya budi daya jagung. Pendapatan kotor yang semakin besar dapat meningkatkan pendapatan bersih petani, biaya budi daya yang besar akan menurunkan pendapatan bersih petani. Pendapatan kotor petani dipengaruhi oleh harga jagung tingkat produsen dan jumlah produktivitas jagung per hektare. Sedangkan biaya budi daya dipengaruhi oleh biaya *input* keseluruhan pada produktivitas jagung.

6.2.4. Stock and Flow Diagram Model

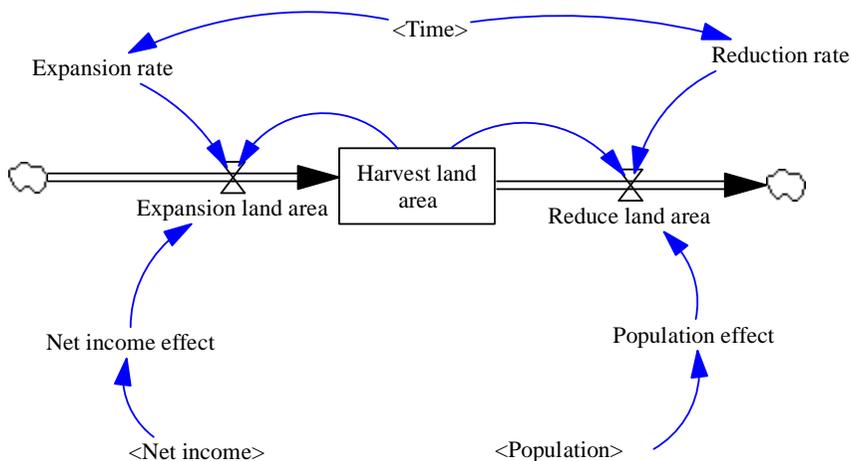
Setelah didapatkan hubungan antar variabel, selanjutnya dilakukan pembuatan *Stock and Flow Diagram* dari masing-masing submodel. Diagram tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam merancang skenario yang akan dijalankan pada model tersebut serta melakukan analisis dari hasil *output* model. Tahap formulasi model dilakukan melalui proses memasukkan data dan informasi ke dalam notasi-notasi *Stock and Flow Diagram* sesuai pada Tabel 4.2, yakni *level*, *rate*, *auxiliary*, dan konstanta. Hubungan antar variabel dalam diagram dinyatakan dalam integral dan persamaan matematis sehingga persamaan tersebut diproses secara numerik untuk mensimulasikan perilaku sistem yang dinamis (Stermen, 2000).

6.2.4.1. Submodel Luas Area Lahan Panen (*Harvest Land Area*)

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

Ketika terjadi konversi di area lahan jagung, maka akan mempengaruhi jumlah ketersediaan luas panen jagung. Konversi lahan dikarenakan adanya perubahan lahan menjadi perumahan penduduk, industri dan fasilitas umum lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat pertumbuhan penduduk di Jawa Timur. Laju konversi lahan pada tahun 2007-2012 adalah sekitar 3,71%, pada tahun 2013 konversi lahan sebesar 2,75%, dan mulai tahun 2014 konversi lahan diprediksi sebesar 0,82%. Pertumbuhan penduduk di Jawa Timur berpengaruh dalam pengurangan area lahan panen sekitar 1,3% (Marhaeni & Yuliarini, 2018; Hidayat, 2008).

Namun, jika ada pembukaan lahan baru sebagai area lahan budi daya jagung, maka hal ini akan meningkatkan ketersediaan luas area panen jagung serta akan mempengaruhi besaran produksi jagung yang dihasilkan. Laju ekspansi lahan pada tahun 2007-2009 adalah sekitar 5,97%, dan mulai tahun 2014 ekspansi lahan diprediksi sebesar 2,06%. Besarnya pendapatan petani berpengaruh dalam pembukaan area lahan budi daya jagung sekitar 1,4% (Hidayat, 2009; Chairunnisa, et al., 2019). Berikut adalah submodel *harvest land area* seperti terlihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Submodel harvest land área

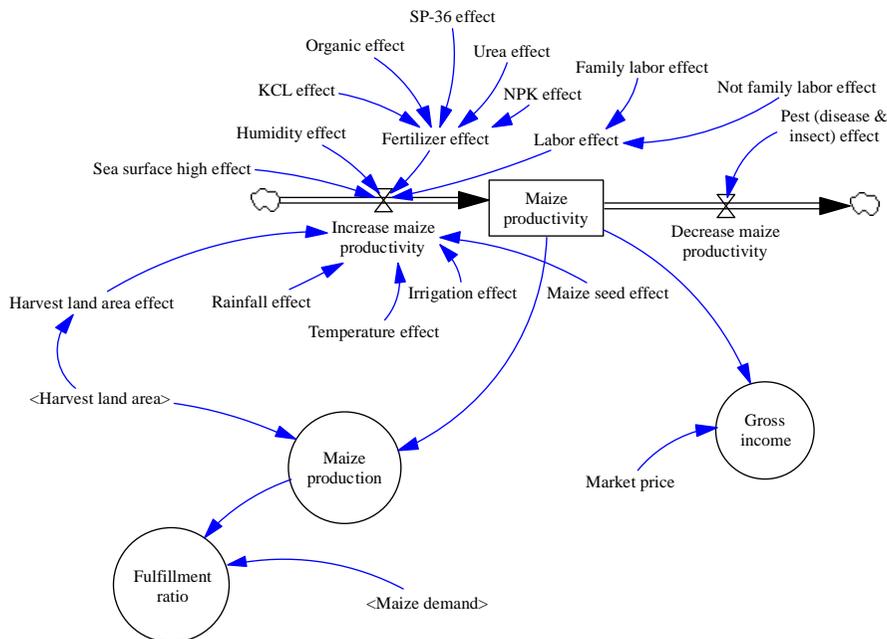
6.2.4.2. Submodel Produktivitas dan Produksi Jagung (*Maize Productivity and Production*)

Terdapat beberapa faktor baik internal maupun eksternal yang mempengaruhi produktivitas jagung untuk mencapai peningkatan produktivitas jagung sebesar sekitar 13% ton/ha (Kariyasa, et al., 2018; Purwanto, 2007). Variabel yang mempengaruhi besarnya produktivitas jagung terdiri dari:

- 1) Penggunaan varietas benih (Badan Ketahanan Pangan, 2009; Kariyasa, et al., 2018; Ardiani, 2009; Guo, et al., 2017). Ini memiliki pengaruh cukup besar pada produktivitas jagung (Suwandi, et al., 2016). Volume benih yang dibutuhkan untuk setiap hektare sekitar 12-16 kg/ha untuk mendapatkan pengaruh pada produktivitas jagung sebesar 12% hingga 20% (Purwanto, 2007; Lewi, et al., 2019; Badan Ketahanan Pangan, 2009; Sirappa & Razak, 2010). Penggunaan benih merupakan salah satu variabel yang dapat dijadikan skenario peningkatan produktivitas jagung ramah lingkungan dengan penggunaan benih unggul hibrida.
- 2) Penggunaan pupuk untuk memenuhi kekurangan nutrisi dalam tanah (Li, et al., 2020; Lewi, et al., 2019). Pupuk merupakan salah satu variabel penting dalam peningkatan produktivitas jagung (Ambarita & Kartika, 2015; Suwandi, et al., 2016). Takaran pupuk berimbang yang harus diberikan pada setiap hektare lahan jagung, yakni KCL 50-150 kg/ha, SP-36 100-200 kg/ha, Organik 2-3,5 ton/ha, Urea 250-350 kg/ha, NPK 200-400 kg/ha, hal ini berguna untuk mendapatkan pengaruh pada produktivitas jagung sebesar 24% hingga 30% (Lewi, et al., 2019; Badan Ketahanan Pangan, 2009; Bora & Murdolelono, 2006; Pusparini, et al., 2018; Syafruddin, 2015; Sirappa & Razak, 2010). Penggunaan pupuk merupakan salah satu variabel yang dapat dijadikan skenario peningkatan produktivitas jagung ramah lingkungan dengan penggunaan pupuk organik.

- 3) Saluran irigasi yang berfungsi untuk mendukung pengairan dalam budi daya jagung (Sirappa & Razak, 2010; Li, et al., 2020; Kariyasa, et al., 2018). Irigasi berdampak pada produktivitas jagung sebesar 12% hingga 15% (Aqil, et al., 2007; Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, 2015; Lewi, et al., 2019).
- 4) Tenaga kerja adalah tenaga kerja yang diperlukan dalam proses budi daya meliputi hampir seluruh proses produksi berlangsung (Hafidh, 2009; Suryani, et al., 2019; Mohammadi & Tavakolan, 2019; Sayifullah & Emmalian, 2018). Tenaga kerja berdampak pada produktivitas jagung sebesar 1% hingga 5% (Tiammee & Likasiri, 2020).
- 5) Perubahan iklim dan cuaca (Tanure, et al., 2020), termasuk suhu optimum berkisar antara 21-34⁰C, kelembapan berkisar antara 80-90%, ketinggian tanah di atas permukaan air laut antara 50-600 mdpl dan curah hujan berkisar 85-200 mm/bulan dengan dampaknya pada produktivitas jagung masing-masing sebesar 1% hingga 5% (Badan Ketahanan Pangan, 2009; Bora & Murdolelono, 2006; Li, et al., 2020; Lewi, et al., 2019). Sektor pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim karena berpengaruh terhadap jumlah produksi dan kualitas hasil (Nurdin, 2011).
- 6) Luas panen adalah luasan tanaman yang dipungut hasilnya setelah tanaman tersebut cukup umur (BPS, 2020). Banyak sedikitnya hasil produksi dari usaha tani sangat dipengaruhi oleh luas sempitnya lahan yang digunakan (Ambarita & Kartika, 2015). Luas panen berdampak pada produktivitas jagung sebesar 5% hingga 10% (Andrias, et al., 2017).
- 7) Serangan hama dan penyakit, hal ini akan mengurangi produktivitas jagung. Menurut hasil olahan data dari **Error! Reference source not found.** mengenai produktivitas jagung di Jawa Timur, pengurangan produktivitas jagung pada kurun waktu 2007-2020 adalah sekitar -4,4% hingga 6,4% atau 2%, sedangkan setelah tahun 2020, serangan hama dan penyakit diprediksi masih akan berpengaruh pada produktivitas jagung sebesar sekitar 3,3% (Badan Ketahanan Pangan, 2009; Seran, 2005; Lewi, et al., 2019).

Faktor produksi dikenal pula dengan istilah input dan korbanan produksi (Soekartawi, 1999). Produksi merupakan perkalian luas area panen dan produktivitas per hektare (Kariyasa, et al., 2018). Selanjutnya, *fulfillment ratio* dipengaruhi oleh produksi jagung dan total permintaan jagung dari berbagai elemen. Semakin besar jumlah permintaan jagung, maka semakin kecil rasio pemenuhannya, begitu sebaliknya, semakin besar jumlah produksi jagung maka semakin besar rasio pemenuhannya. Pendapatan kotor petani diperoleh dari perkalian antara produktivitas per hektare dengan harga jual jagung per kg pada tingkat produsen (Soullier & Moustier, 2018). Harga jagung tingkat produsen, yakni antara Rp2.238,43 hingga Rp4.914,18 (Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016). Berikut adalah submodel *maize productivity and production* seperti terlihat pada Gambar 6.5.



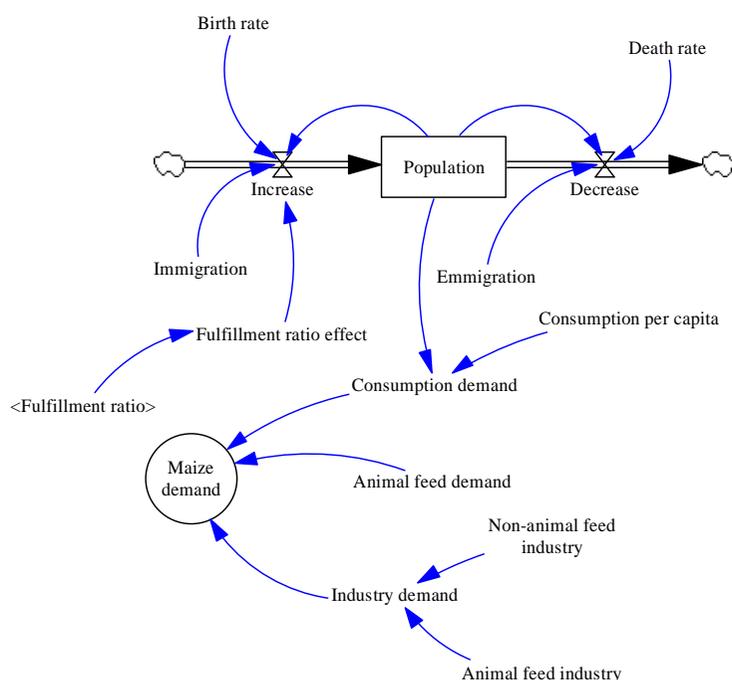
Gambar 6.5 Submodel maize productivity and production

6.2.4.3. Submodel Populasi dan Permintaan Jagung (*Population and Maize Demand*)

Populasi penduduk dipengaruhi oleh laju kelahiran, laju kematian, laju imigrasi, laju emigrasi dan efek dari rasio pemenuhan permintaan akan jagung pada tahun sebelumnya. Laju kelahiran dan laju imigrasi berpengaruh dalam peningkatan jumlah penduduk, sementara laju kematian dan laju emigrasi penduduk berpengaruh dalam pengurangan jumlah penduduk, sedangkan efek dari rasio pemenuhan permintaan akan jagung pada tahun sebelumnya berpengaruh dalam peningkatan jumlah penduduk. Pemenuhan akan permintaan komoditas pangan termasuk jagung erat kaitannya dengan pertumbuhan jumlah populasi. Keterkaitan tersebut menyebabkan kenaikan jumlah populasi sebesar

0,5% hingga 1% apabila rasio pemenuhan mencapai 55% (Khairati & Syahni, 2016). Tercatat angka *crude birth rate* (CBR) populasi di Jawa Timur pada hasil proyeksi penduduk tahun 2010 hingga 2035 antara 14,1% hingga 16,4%, sedangkan angka *crude death rate* (CDR) populasi di Jawa Timur pada kurun waktu tersebut tercatat antara 8,1% hingga 8,6% (Badan Pusat Statistik, 2018). Di Jawa Timur laju imigrasi tercatat sekitar 18% dan emigrasi tercatat sekitar 24% (BPS & BAPPENAS, 2013).

Permintaan jagung meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan industri, hal ini mengakibatkan permintaan akan jagung semakin meningkat (Purwanto, 2007). Permintaan jagung dipengaruhi oleh kebutuhan konsumsi dengan konsumsi per kapita antara 1,443 hingga 4,064 kg/kapita/tahun, industri pakan ternak antara 8.181.850 hingga 9.797.102 ton/tahun dan industri non pakan ternak antara 2.713.000 hingga 5.727.297 ton/tahun, serta untuk pakan ternak mandiri sekitar 992.680 hingga 5.500.051 ton/tahun (Suwandi, et al., 2016). Berikut adalah submodel *population and maize demand* seperti terlihat pada Gambar 6.6.

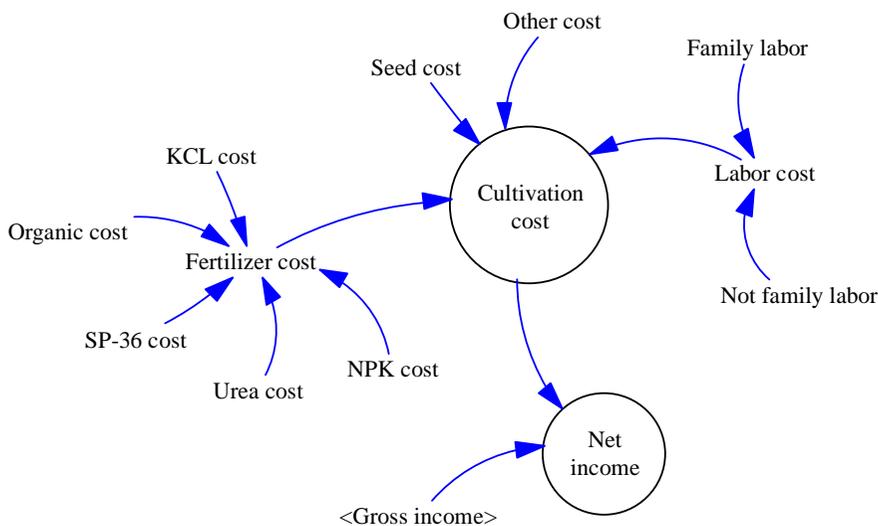


Gambar 6.6 Submodel population and maize demand

6.2.4.4. Submodel Pendapatan Petani dan Biaya Budi daya (*Farmers' Income and Cultivation Cost*)

Indikator pendapatan adalah laba per kilogram dan harga per kilogram (Soullier & Moustier, 2018). Pendapatan bersih petani dipengaruhi oleh pendapatan kotor yang

dikurangi dengan biaya budi daya. Sedangkan biaya budi daya didapatkan dari akumulasi biaya *input* yang dikeluarkan untuk: (1) pembelian benih sekitar Rp34.000,- hingga Rp43.000,- per kg. (2) pupuk untuk budi daya jagung meliputi pupuk KCL sekitar Rp2.800,- per kg, NPK sekitar Rp2.300,- per kg, Urea sekitar Rp1.350,- hingga Rp1.819,- per kg, SP-36 sekitar Rp1.700,- hingga Rp1.819,- per kg, Organik sekitar Rp400.000,- hingga Rp750.000,- per ton. (3) gaji tenaga kerja yang dibedakan antara tenaga kerja dari kalangan keluarga sekitar Rp50.000,- hingga Rp55.000,- per tenaga kerja dan tenaga kerja dari kalangan bukan keluarga sekitar Rp45.000,- hingga Rp50.000,- per tenaga kerja. (4) pengeluaran tambahan lainnya yang dianggarkan sekitar Rp24.000,- hingga Rp26.000,- per ha (Badan Ketahanan Pangan, 2009; Ojo & Baiyegunhi, 2019; Kariyasa, et al., 2018; Suwandi, et al., 2016). Berikut adalah submodel *farmers' income and cultivation cost* seperti terlihat pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Submodel farmers' income and cultivation cost

6.3. Formulasi Model

Setelah pendefinisian variabel dan komponen pada tahap *boundary adequacy*, maka selanjutnya model akan mulai dibangun dengan penetapan variabel-variabel terkait produksi, produktivitas, luas lahan panen, dinamika lingkungan, permintaan, pemenuhan, dan harga komoditas jagung.

Simulasi merupakan cara untuk mengevaluasi suatu model secara numerik, dan data dikumpulkan untuk memperkirakan karakteristik sebenarnya dari model tersebut (Law & Kelton, 1991). Simulasi sebagai suatu model sistem di mana komponennya dipresentasikan oleh aritmetika dan logika yang dijalankan komputer untuk memperkirakan sifat-sifat dinamis sistem tersebut (Emshoff & Simon, 1970). Tujuan dari membuat model simulasi

adalah untuk memahami fenomena atau proses, menganalisis, dan mengoptimalkan perilaku proses serta gejala atau perilaku untuk memprediksi masa depan.

Beberapa formulasi model untuk luas area panen, produktivitas dan produksi jagung, populasi dan permintaan jagung, serta pendapatan petani dan biaya budi daya dapat dilihat pada persamaan berikut.

a) Persamaan dari variabel pada submodel luas area panen ditunjukkan dalam Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Persamaan submodel harvest land area

Variabel	Persamaan
Harvest land area	Initial Harvest land area + (Expansion plant area - Reduce plant area) Initial value: 1153496
Expansion plant area	(Expansion rate+Net income effect)* Harvest land area
Reduce plant area	(Reduction rate+Population effect)* Harvest land area
Expansion rate	IF THEN ELSE(Time<=2009, 0.0597, IF THEN ELSE(Time>2013, RANDOM UNIFORM(0.002, 0.0206, 0), 0.0092))
Reduction rate	IF THEN ELSE(Time>2009:AND:Time<2012, 0.0371, IF THEN ELSE(Time<2014:AND:Time>2012, 0.0275, 0.0082))
Net income effect	IF THEN ELSE(Net income>=6806970:AND:Net income <=14492300, RANDOM UNIFORM(0.012, 0.014, 0), 0.009)
Population effect	IF THEN ELSE(Population>=36506003:AND: Population <=39698900, RANDOM UNIFORM(0.01, 0.013, 0), 0.005)

b) Persamaan dari variabel pada submodel produktivitas dan produksi jagung ditunjukkan dalam Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Persamaan submodel maize productivity and production

Variabel	Persamaan
Maize production	Maize productivity * Harvest land area
Fulfillment ratio	(Maize production / Maize demand) * 100
Maize productivity	Initial maize productivity + (Increase maize productivity-Decrease maize productivity) Initial value: 3.686
Increase maize productivity	((Fertilizer effect+Maize seed effect+Humidity effect+Irrigation effect+Rainfall effect+Sea surface high effect+Labor effect+Temperature effect+Harvest land area effect)/9)+RANDOM UNIFORM(0, 0.13, 0)
Decrease maize productivity	"Pest (disease & insect) effect"
Gross income	(Maize productivity * 1000) * Market price

c) Persamaan dari variabel pada submodel populasi dan permintaan jagung ditunjukkan dalam Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Persamaan submodel population and maize demand

Variabel	Persamaan
Population	Initial Population + (Increase-Decrease) Initial value: 36506003
Increase	(Birth rate+Immigration+Fulfillment ratio effect)* Population
Decrease	(Death rate+Emmigration)* Population
Maize demand	(Consumption demand/1000)+Animal feed demand+Industry demand
Industry demand	Animal feed industry + "Non-animal feed industry"
Consumption demand	Population * Consumption per capita

d) Persamaan dari variabel pendapatan petani dan biaya budi daya ditunjukkan dalam Tabel 6.8.

Tabel 6.8 Persamaan submodel farmers' income and cultivation cost

Variabel	Persamaan
Net income	Gross income - Cultivation cost
Cultivation cost	Fertilizer cost + Labor cost + Seed cost + Other cost

6.4. Validasi Model

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

6.4.1. Validasi Struktural Model (*Structural Validation*)

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

Causal Loop Diagram pada Gambar 6.8 merepresentasikan enam hubungan variabel utama dalam sistem budi daya jagung. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut:

- 1) *Harvest land area*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi perluasan dan pengurangan luas area panen.

- 2) *Maize productivity*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi peningkatan dan penurunan produktivitas jagung per hektare baik oleh faktor iklim dan cuaca, pupuk, benih, tenaga kerja, pengairan, maupun serangan hama dan penyakit.
- 3) *Maize production*: menjelaskan dinamika total produksi jagung yang ditentukan oleh luas area panen dan besarnya produktivitas jagung per hektare.
- 4) *Net income*: memberikan informasi tentang besaran pendapatan petani yang didapatkan dari budi daya jagung per hektare dan dipengaruhi oleh pendapatan kotor dan biaya budi daya.
- 5) *Fulfillment ratio*: memberikan informasi mengenai persentase rasio pemenuhan yang dipengaruhi oleh seluruh permintaan dari berbagai elemen dan total produksi jagung.
- 6) *Population*: menjelaskan variabel-variabel yang mempengaruhi populasi manusia di Jawa Timur.

Setelah mengidentifikasi variabel-variabel utama dalam sistem budi daya jagung yang menjadi dasar pengembangan *Causal Loop Diagram*, proses selanjutnya adalah validasi struktural. Beberapa pengujian dilakukan untuk membuat model lebih relevan dan kredibel (Quadrat-Ullah, 2012).

6.4.1.1. Boundary Adequacy (Structure) Test

Boundary adequacy test bertujuan untuk menetapkan apakah agregasi model sesuai dan mencakup semua struktur relevan yang berisi variabel yang diperlukan untuk mengatasi masalah. Dalam pengujian ini ditetapkan batas-batas (*boundaries*) variabel sebagai variabel endogen dan variabel eksogen. Struktur model budi daya jagung telah konsisten dan relevan dengan pengetahuan pada sistem nyata berdasarkan studi pada beberapa literatur berupa artikel atau jurnal, penelitian sebelumnya, BPS (Badan Pusat Statistik), Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan), dan Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) serta website media massa untuk mendapatkan perkembangan saat ini mengenai budi daya jagung. Hasil dari klasifikasi dan penentuan *boundaries* pada model berdasarkan sistem nyata beserta sumbernya terdokumentasi pada Tabel 6.1 hingga Tabel 6.4 dan seluruh variabel endogen serta variabel eksogen telah dimasukkan pada *Causal Loop Diagram* pada Gambar 6.3. Pengembangan *Causal Loop Diagram* dengan menggunakan hasil klasifikasi variabel endogen dan eksogen telah selaras untuk mengembangkan model produktivitas dan produksi jagung berdasarkan faktor eksternal dan internal pada kondisi nyata saat ini sebagai acuan pembuatan skenario peningkatan produksi dan pendapatan petani jagung.

6.4.1.2. Structure Verification Test

Structure verification test bertujuan untuk menetapkan apakah struktur model tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan apakah struktur

yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan. Untuk mendukung pengujian ini, telah ditetapkan beberapa *feedback loop* dari *Causal Loop Diagram* pada Gambar 6.3 yang terdiri dari empat *balancing feedback loop* atau B-Loop (B1, B2, B3, dan B4) serta tiga *reinforcing feedback loop* atau R-Loop (R1, R2, dan R3), yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

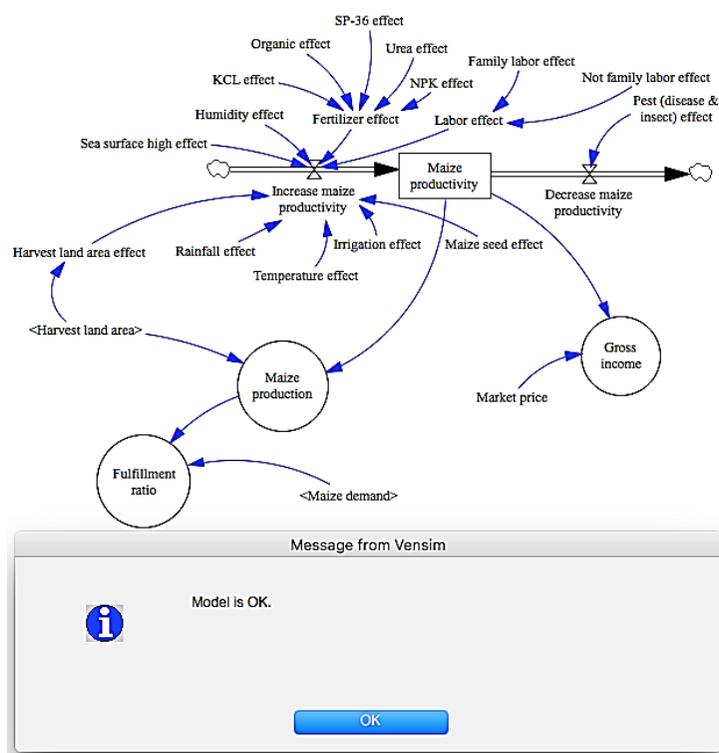
- B1-Loop: meningkatnya laju konversi lahan menyebabkan berkurangnya luas area panen jagung
- B2-Loop: meningkatnya laju kematian menyebabkan berkurangnya jumlah populasi di Jawa Timur
- B3-Loop: meningkatnya populasi di Jawa Timur mempengaruhi berkurangnya luas area panen, sedangkan meningkatnya luas area panen menyebabkan meningkat pula jumlah produksi jagung, produksi jagung yang semakin meningkat akan menyebabkan rasio pemenuhan/*fulfillment ratio* juga akan meningkat, dan ketika *fulfillment ratio* semakin besar maka secara tidak langsung akan menyebabkan peningkatan populasi di Jawa Timur.
- B4-Loop: *fulfillment ratio* yang semakin besar menyebabkan peningkatan populasi di Jawa Timur, populasi yang semakin meningkat menyebabkan peningkatan pada permintaan jagung untuk konsumsi, permintaan jagung untuk konsumsi adalah salah satu elemen yang dapat meningkatkan jumlah permintaan jagung, dan semakin besar permintaan jagung maka akan memperkecil rasio pemenuhan/*fulfillment ratio*.
- R1-Loop: meningkatnya laju ekspansi lahan menyebabkan bertambah pula luas area panen jagung.
- R2-Loop: meningkatnya laju kelahiran menyebabkan bertambah pula jumlah populasi di Jawa Timur.
- R3-Loop: meningkatnya luas area panen jagung menyebabkan meningkat pula jumlah produktivitas jagung, produktivitas jagung yang semakin meningkat juga akan menyebabkan peningkatan pada pendapatan petani, dan peningkatan pada pendapatan petani adalah salah satu elemen yang menyebabkan perluasan/penambahan luas area panen jagung.

Hasil *structure verification test* memperlihatkan bahwa struktur model budi daya jagung tidak bertentangan dengan pengetahuan tentang struktur sistem nyata, dan struktur yang paling relevan dari sistem nyata telah dimodelkan, dengan beberapa *feedback loop* atau hubungan keterkaitan yang sesuai dengan sistem nyata yang telah diidentifikasi sebelumnya pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.

Berdasarkan formulasi model (Gambar 6.4, Gambar 6.5, Gambar 6.6, dan Gambar 6.7), model terdiri dari variabel-variabel yang saling berpengaruh dan signifikan dalam membentuk model sistem budi daya jagung di Jawa Timur. Variabel ini terdiri dari *level*,

auxiliary, dan *rate*. Variabel level dalam model sistem pertanian padi meliputi *population*, *maize productivity*, dan *harvest land area*. Variabel *auxiliary* dalam model sistem budi daya jagung meliputi *maize production*, *maize demand*, *fulfillment ratio*, *gross income*, *net income*, dan *cultivation cost*.

Structure verification test juga dilakukan dengan cara memeriksa *error* pada hasil formulasi model yang telah dibuat. Jika tidak terdapat kesalahan pada model, ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan “Model is OK” maka dapat dinyatakan bahwa model sudah benar. Tampilan model yang telah terverifikasi ditunjukkan pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Hasil check model

Ketika dilakukan simulasi dan dilakukan *check model*, hasil menyatakan bahwa model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “Model is OK” seperti pada Gambar 6.8 sehingga dapat dinyatakan bahwa model sudah benar dan bebas dari *error*.

6.4.1.3. Dimensional Consistency Test

Dimensional consistency test bertujuan untuk menetapkan apakah setiap persamaan secara dimensional sesuai dengan sistem nyata. Lebih detailnya, *dimensional consistency test* dilakukan untuk memeriksa apakah persamaan matematika dalam model memiliki

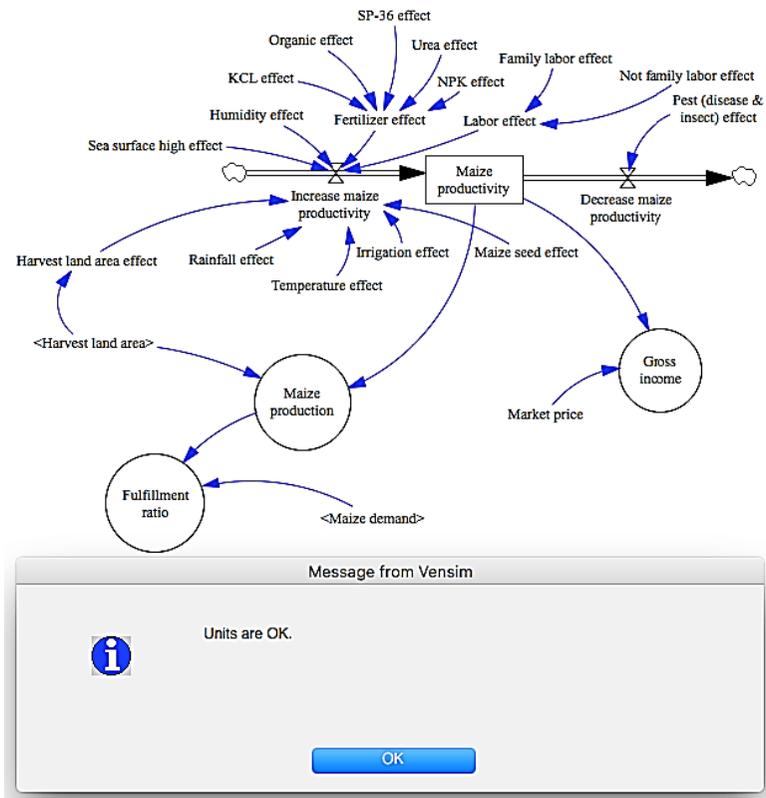
konsistensi dalam hal dimensi. Hasil pengujian persamaan matematika dalam model yang berdasarkan sistem nyata / hasil pengumpulan data adalah pada kenaikan produktivitas jagung sebagai berikut:

$$\text{Increase maize productivity} = \text{RANDOM UNIFORM}(0, 0.13, 0)$$

Unit: dmnl

Hasil implementasi dari pengumpulan data dan studi literatur, peningkatan produktivitas jagung adalah antara minimal 0 persen dan maksimal 13 persen (Kariyasa, et al., 2018; Purwanto, 2007) menyatakan kesesuaian angka dan unit antara sistem nyata dan sistem nyata.

Dimensional consistency test juga dilakukan pengecekan unit untuk mengetahui semua variabel dalam model memiliki unit yang sesuai. Jika tidak terdapat kesalahan unit pada model, ketika disimulasikan, model berjalan dengan benar dan muncul pemberitahuan “Units are OK” maka dapat dinyatakan bahwa unit yang digunakan dalam model sudah benar. Tampilan hasil *check unit* dari model yang telah memiliki satuan dengan benar ditunjukkan pada Gambar 6.9.



Gambar 6.9 Hasil check units

Ketika dilakukan simulasi dan dilakukan *check units*, hasil menyatakan bahwa model berjalan benar dan muncul pemberitahuan “Units are OK” seperti pada Gambar 6.9 sehingga dapat dinyatakan bahwa model sudah benar dan bebas dari *error*.

6.4.1.4. Parameter Verification Test

Parameter verification test bertujuan untuk menetapkan apakah parameter-parameter model konsisten dengan pengetahuan yang relevan tentang sistem nyata. Penentuan nilai parameter model mengenai peningkatan produksi jagung dalam upaya peningkatan pendapatan petani didasarkan pada pengetahuan yang ada dan data numerik yang diperoleh dari BPS (Badan Pusat Statistik) dan Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan). Parameter model, nilai parameter, dan sumber data dapat dijelaskan pada Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Parameter model, nilai parameter, dan sumber

Parameter Model	Nilai Parameter	Referensi
<i>Expansion rate</i>	0,0206-0,0597/year	(Kementan & BPS, 2017)
<i>Reduce rate</i>	0,0082-0,0371/year	(Kementan & BPS, 2017)
<i>Increase maize productivity</i>	0-13%	(Kementan & BPS, 2017)
<i>Decrease maize productivity</i>	2-3,3%	(Kementan & BPS, 2017)

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

6.4.1.5. Extreme Conditions Test

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

Pengujian *extreme conditions* dilakukan karena perilaku sistem pada kondisi ekstrem lebih mudah diduga secara model mental. Skenario pengujian dan parameter uji yang digunakan dalam melakukan *extreme conditions test* dapat dilihat pada Tabel 6.10.

Tabel 6.10 Skenario pengujian dan parameter uji extreme conditions test

No	Skenario Pengujian	Luas Area Panen (Ha)	Parameter	
			Produktivitas Jagung (Ton/Ha)	Produksi Jagung (Ton)
0	Kondisi acuan	1.254.000	5,6057	7.029.540
1	<i>Expansion rate</i> lahan rendah	957.119	5,36288	5.132.920

No	Skenario Pengujian	Luas Area Panen (Ha)	Parameter		
			Produktivitas Jagung (Ton/Ha)	Produksi Jagung (Ton)	
2	<i>Expansion rate</i> lahan tinggi	2.685.650	5,69834	14.766.600	
3	<i>Increase productivity</i> rendah <i>maize</i>	1.222.630	4,6351	5.667.030	
4	<i>Increase productivity</i> tinggi <i>maize</i>	1.278.150	7,37062	9.420.790	

Hasil pengujian model budi daya jagung pada kondisi awal menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 1.254.000 Ha, produktivitas jagung sebesar 5,6057 Ton/Ha, dan produksi jagung sebesar 7.029.540 Ton. Kemudian dilakukan skenario pengujian *extreme conditions*. Skenario pengujian pertama, yakni *expansion rate* lahan rendah, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *expansion rate* yang ditetapkan sebesar 0,0206-0,0597 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0-0,001. Hasil pengujian dengan skenario pertama menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 957.119 Ha, produktivitas jagung sebesar 5,36288 Ton/Ha, dan produksi jagung sebesar 5.132.920 Ton.

Skenario pengujian *extreme conditions* yang kedua, yakni *expansion rate* lahan tinggi, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *expansion rate* yang ditetapkan sebesar 0,0206-0,0597 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0,06-0,2. Hasil pengujian dengan skenario kedua menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 2.685.650 Ha, produktivitas jagung sebesar 5,69834 Ton/Ha, dan produksi jagung sebesar 14.766.600 Ton.

Skenario pengujian *extreme conditions* yang ketiga, yakni *increase maize productivity* rendah, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *increase maize productivity* yang ditetapkan sebesar 0-0,13 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0-0,013. Hasil pengujian dengan skenario ketiga menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 1.222.630 Ha, produktivitas jagung sebesar 4,6351 Ton/Ha, dan produksi jagung sebesar 5.667.030 Ton.

Skenario pengujian *extreme conditions* yang keempat, yakni *increase maize productivity* tinggi, dalam hal ini kondisi awal pada parameter model *increase maize productivity* yang ditetapkan sebesar 0-0,13 diubah pada kondisi ekstrem menjadi 0,2-0,3. Hasil pengujian dengan skenario keempat menyatakan bahwa pada tahun terakhir simulasi luas area panen sebesar 1.278.150 Ha, produktivitas jagung sebesar 7,37062 Ton/Ha, dan produksi jagung sebesar 9.420.790 Ton.

Dari Tabel 6.10 dapat disimpulkan bahwa luas area panen, produktivitas dan produksi jagung mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi ekstrem yang artinya perilaku model sejalan dengan perilaku sistem yang sebenarnya. Hasil *output* dari keempat skenario

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

6.4.2. Uji Validitas Perilaku Model (*Behavior Validity Test*)

Behavior validity tests digunakan untuk memeriksa apakah model memberikan perilaku keluaran yang dapat diterima. *Behavior validity tests* dapat dilakukan dengan membandingkan rata-rata atau *mean comparison* dan variasi amplitudo atau *% error variance* (Barlas, 1989). Untuk pengujian ini, dibutuhkan data historis selama jangka waktu dari tahun 2007 hingga 2020 dengan mempertimbangkan *range* waktu dan data yang tersedia serta perilaku sistem.

6.4.2.1. Behavior Reproduction Test

Hasil formulasi model berupa *Stock and Flow Diagram* yang sudah dibuat selanjutnya akan dilakukan proses validasi untuk menguji apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Validasi model tersebut dilakukan dengan dua cara menurut (Barlas, 1989), yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* pada persamaan (4.1) dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada persamaan (4.2). Model dikatakan valid apabila dalam uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5 \%$ dan dalam uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30 \%$.

Submodel pertama yang divalidasi, yakni submodel *harvest land area* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *harvest land area*.

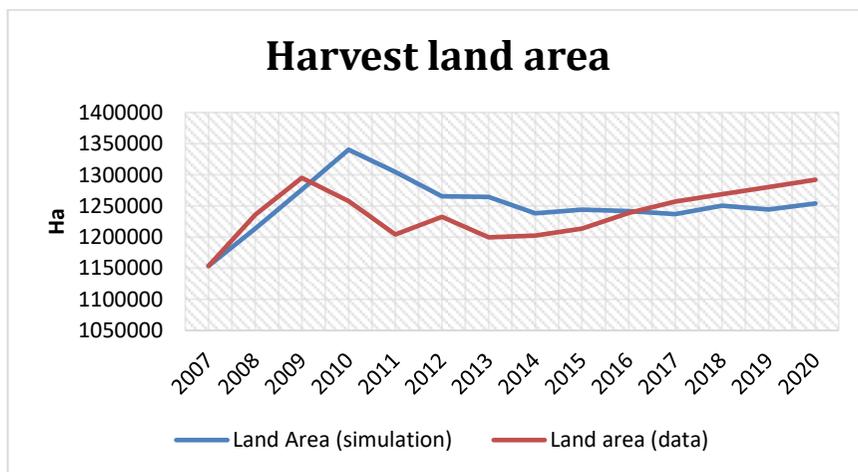
$$\begin{aligned}
 E_1 &= \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{1251945,714 - 1237938}{1237938} \right| \times 100 \% \\
 &= 1,13154057 \% \\
 &= 1,13 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 &= \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{42361,04682 - 40519,54701}{40519,54701} \right| \times 100 \% \\
 &= 4,544719655 \% \\
 &= 4,54 \%
 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata data luas area panen sebesar 1.237.938 dan standar deviasi untuk data luas area panen sebesar 40.519,54701 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 1.251.945,714 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 42.361,04682. Perhitungan E1 adalah nilai rata-rata dari hasil simulasi dikurangi dengan rata-rata dari data kemudian dibagi dengan rata-rata dari data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E1 untuk submodel *harvest land area* adalah 1,13%, jadi untuk E1 dinyatakan valid.

Sedangkan perhitungan E2 adalah nilai standar deviasi hasil simulasi dikurangi dengan nilai standar deviasi data kemudian dibagi dengan nilai standar deviasi data lalu hasilnya dikalikan 100%. Nilai E2 untuk submodel *harvest land area* adalah 4,54%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *harvest land area* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari luas area panen jagung di Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Grafik validasi submodel harvest land area

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

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{4,595905 - 4,77141524}{4,77141524} \right| \times 100 \% \\
 &= 3,678368607 \%
 \end{aligned}$$

$$= 3,68 \%$$

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

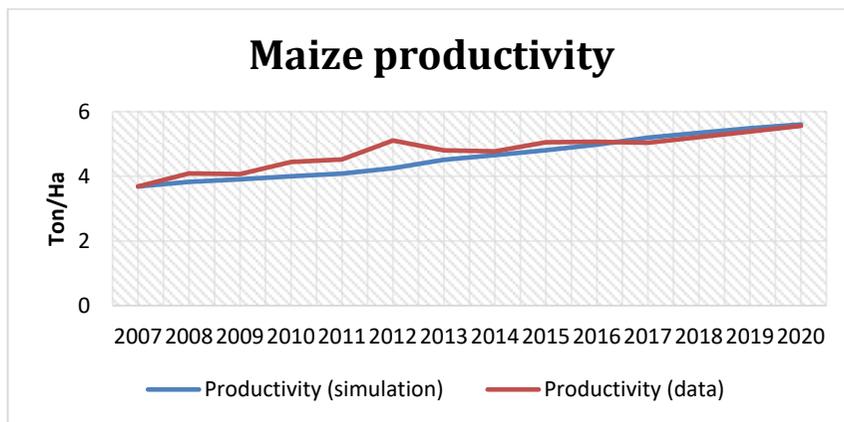
$$= \left| \frac{0,654441771 - 0,544515618}{0,544515618} \right| \times 100 \%$$

$$= 20,18787872 \%$$

$$= 20,19 \%$$

Nilai rata-rata data produktivitas jagung sebesar 4,77141524 dan standar deviasi untuk data produktivitas jagung sebesar 0,544515618 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 4,595905 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 0,654441771. Nilai E1 untuk submodel *maize productivity* adalah 3,68%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *maize productivity* adalah 20,19%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E_1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E_2 \leq 30\%$, maka submodel *maize productivity* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari produktivitas jagung di Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11 Grafik validasi submodel *maize productivity*

Berikutnya, yakni validasi submodel *maize production* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* pada submodel *maize production*.

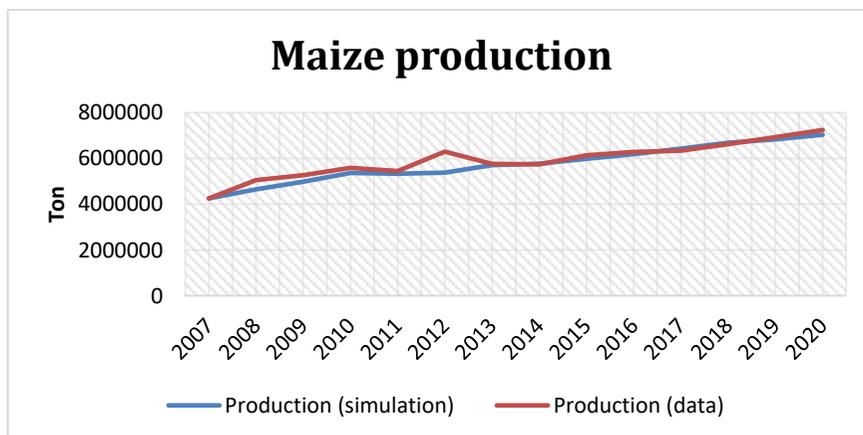
$$E_1 = \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \%$$

$$\begin{aligned}
&= \left| \frac{5655346,923 - 5923477}{5923477} \right| \times 100 \% \\
&= 4,526559923 \% \\
&= 4,53 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_2 &= \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \times 100 \% \\
&= \left| \frac{826763,3128 - 788710,3951}{788710,3951} \right| \times 100 \% \\
&= 4,824700917 \% \\
&= 4,82 \%
\end{aligned}$$

Nilai rata-rata data produksi jagung sebesar 5.923.477 dan standar deviasi untuk data produksi jagung sebesar 788.710,3951 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 5.655.346,923 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 826.763,3128. Nilai E1 untuk submodel *maize production* adalah 4,53%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *maize production* adalah 4,82%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E2 \leq 30\%$, maka submodel *maize production* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari produksi jagung seperti terlihat pada Gambar 6.12.



Gambar 6.12 Grafik validasi submodel maize production

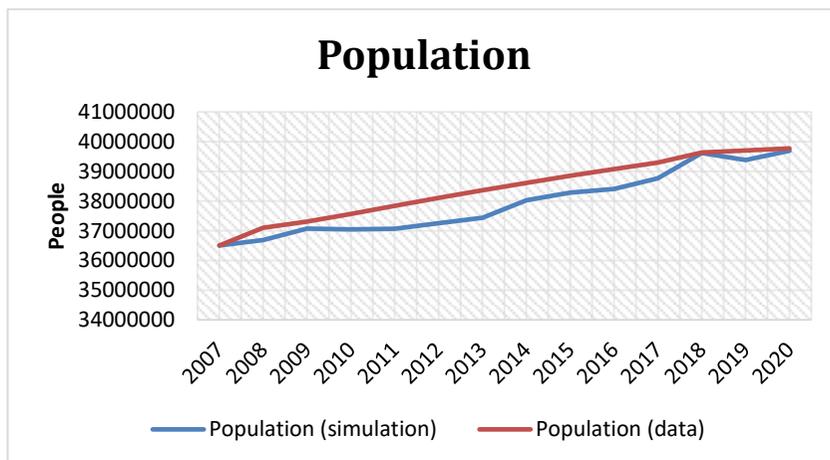
Submodel terakhir yang harus divalidasi, yakni submodel *population* dengan melakukan perbandingan data dengan hasil simulasi. Berikut detail dari perhitungan uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* dan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* submodel *population*.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \left| \frac{\bar{S} - \bar{A}}{\bar{A}} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{37945350 - 38408289}{38408289} \right| \times 100 \% \\
 &= 1,205310686 \% \\
 &= 1,21 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 &= \left| \frac{S_s - S_a}{S_a} \right| \times 100 \% \\
 &= \left| \frac{1096555,036 - 1042446,787}{1042446,787} \right| \times 100 \% \\
 &= 5,190504644 \% \\
 &= 5,19 \%
 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata data populasi penduduk sebesar 38.408.289 dan standar deviasi untuk data populasi sebesar 1.042.446,787 sedangkan untuk rata-rata hasil simulasi adalah 37.945.350 dan standar deviasi hasil simulasi sebesar 1.096.555,036. Nilai E1 untuk submodel *population* adalah 1,21%, jadi untuk E1 dinyatakan valid. Sedangkan nilai E2 untuk submodel *population* adalah 5,19%, jadi nilai E2 dinyatakan valid.

Hasil uji perbandingan rata-rata atau *mean comparison* $E_1 \leq 5\%$ dan hasil uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance* $E_2 \leq 30\%$, maka submodel *population* dapat dikatakan valid. Grafik perbandingan hasil simulasi dengan data dari populasi penduduk di Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 6.13.



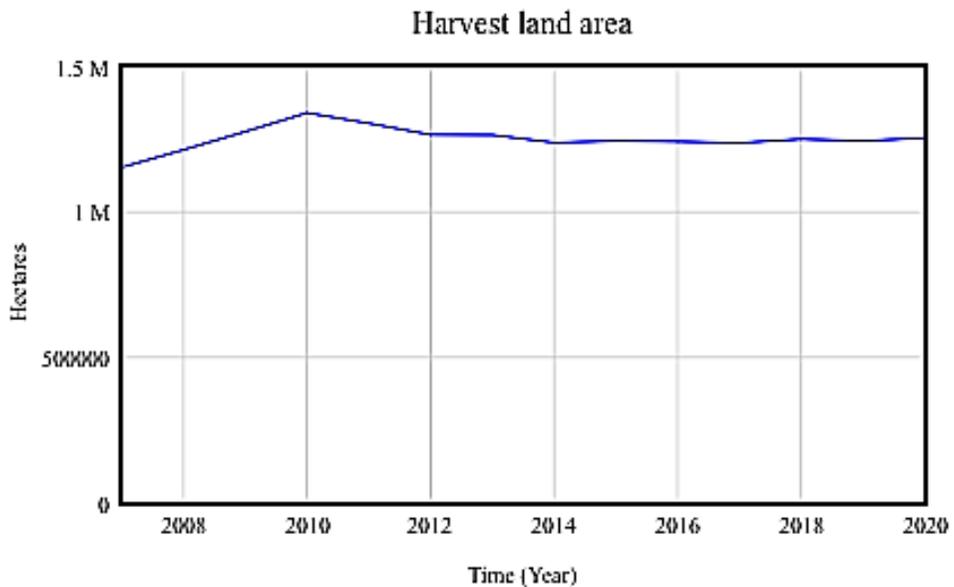
Gambar 6.13 Grafik validasi submodel population

6.5. Analisis Hasil Simulasi Model

Beberapa analisis hasil simulasi model untuk luas area panen, produktivitas dan produksi jagung, populasi dan permintaan jagung, serta pendapatan petani dan biaya budi daya adalah sebagai berikut.

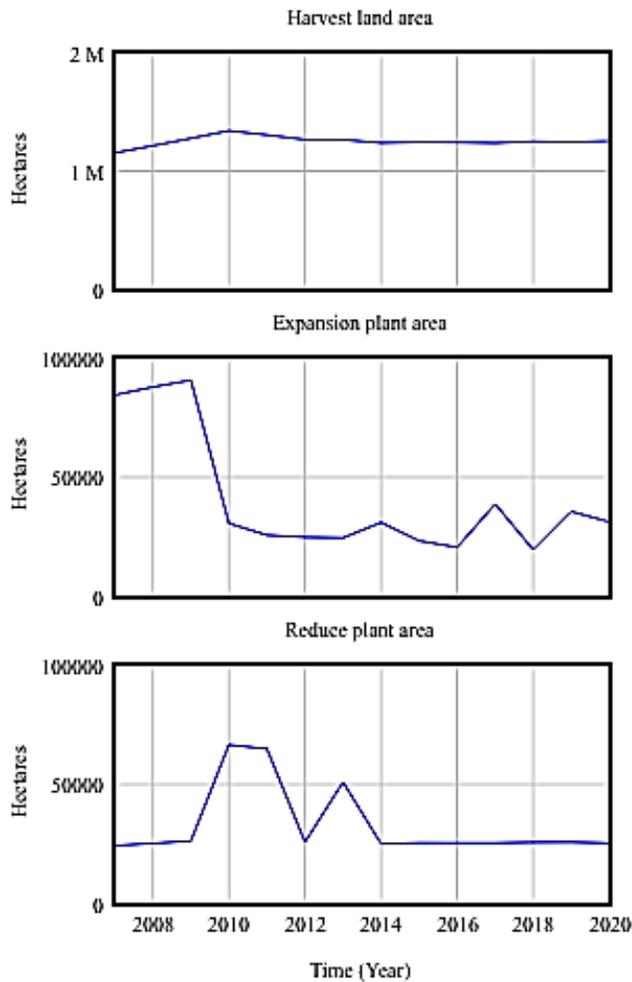
a) Hasil simulasi submodel luas area panen

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *harvest land area* pada tahun 2007 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *harvest land area* ditunjukkan pada Gambar 6.14.



Gambar 6.14 Grafik hasil simulasi harvest land area

Luas area lahan panen jagung (*harvest land area*) mengalami peningkatan dan penurunan pada kurun waktu 2007 hingga 2020. Kenaikan luas lahan panen jagung dipengaruhi oleh *expansion plant area* sedangkan pengurangan luas lahan panen jagung dipengaruhi oleh *reduce plant area*. *Causes strip* hasil simulasi pada luas area panen jagung ditunjukkan pada Gambar 6.15.

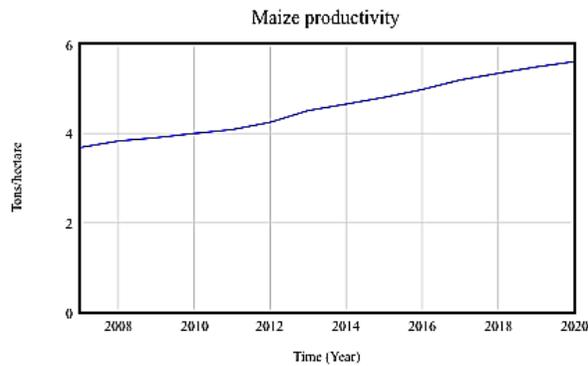


Gambar 6.15 Causes strip hasil simulasi harvest land area

Dari *causes strip* pada Gambar 6.15 dapat diketahui bahwa luas area panen jagung yang mengalami kenaikan dan penurunan selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya *expansion plant area* yang mengalami penurunan pada tahun 2010, serta *reduce plant area* yang mengalami kenaikan dan penurunan pada tahun 2009 hingga 2014 dan cenderung konstan pada tahun 2015 hingga 2020.

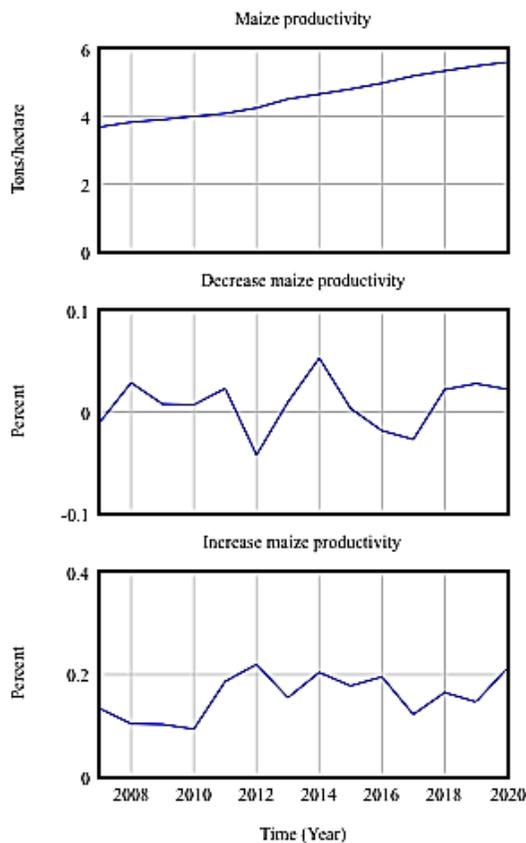
b) Hasil simulasi submodel produktivitas dan produksi jagung

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *maize productivity* pada tahun 2007 hingga 2020. Hasil simulasi cenderung naik dan pada 2 tahun terakhir produktivitas jagung mengalami kenaikan. Hasil simulasi tersebut seperti tren data yang diperoleh. Grafik hasil simulasi pada *maize productivity* ditunjukkan pada Gambar 6..



Gambar 6.16 Grafik hasil simulasi maize productivity

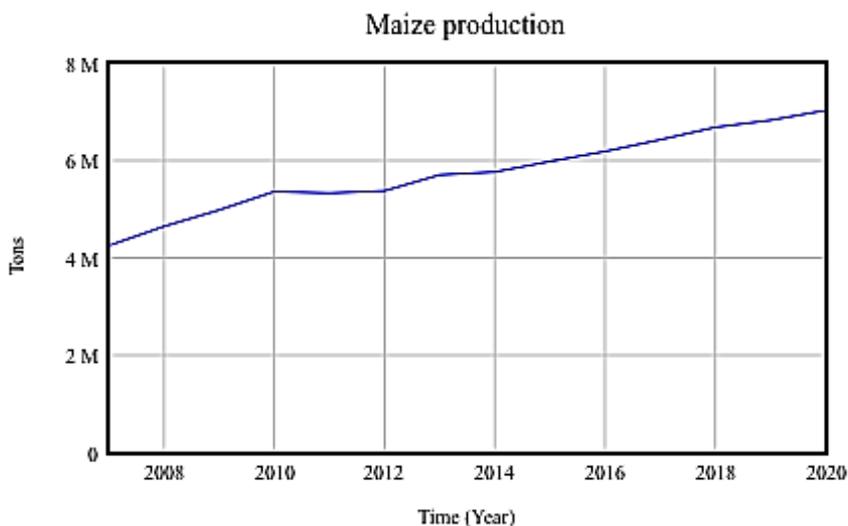
Produktivitas jagung cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2007 hingga 2020. Hal ini dipengaruhi oleh persentase kenaikan dan penurunan produktivitas jagung per hektare. *Causes strip* hasil simulasi pada produktivitas jagung ditunjukkan pada Gambar 6.16.



Gambar 6.17 Causes strip hasil simulasi maize productivity

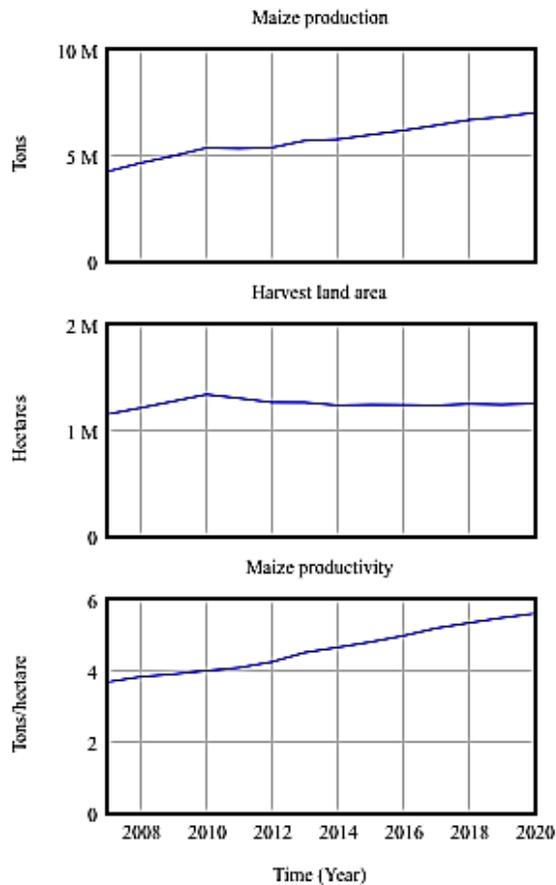
Dari *causes strip* pada Gambar 6.17 dapat diketahui bahwa produktivitas jagung yang cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh persentase kenaikan dan penurunan produktivitas jagung per hektare yang berfluktuasi.

Selanjutnya dibutuhkan data berupa produksi jagung pada periode 2007 hingga 2020. Kemudian menghitung produksi jagung setiap tahunnya dengan mengalikan produktivitas jagung dengan luas area panen jagung. Persamaan dari variabel pada submodel *maize production* ditunjukkan dalam Tabel 6.6. Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *maize production* pada tahun 2007 hingga 2020. Hasil simulasi cenderung naik dan pada 2 tahun terakhir produksi jagung mengalami kenaikan. Hasil simulasi tersebut seperti tren data yang diperoleh. Grafik hasil simulasi pada *maize production* ditunjukkan pada Gambar 6.18.



Gambar 6.18 Grafik hasil simulasi maize production

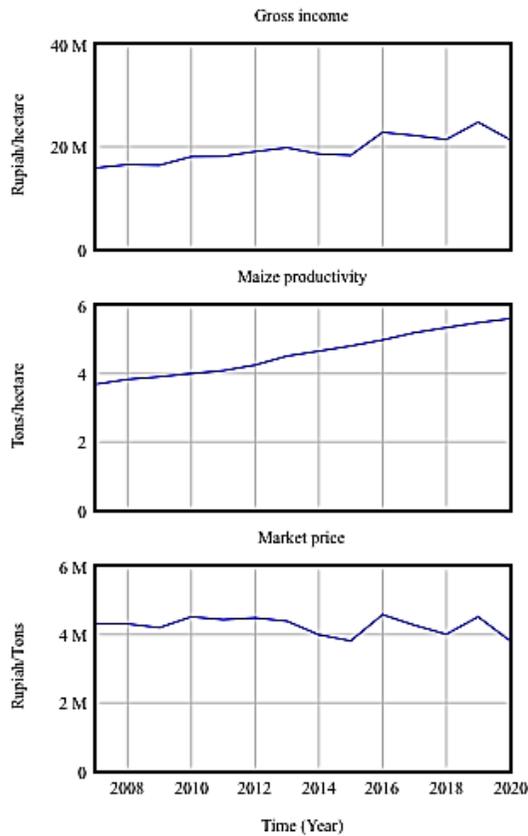
Produksi jagung cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2007 hingga 2020. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya produktivitas jagung per hektare serta luas area panen jagung. Semakin tinggi suatu produktivitas dan luas area panen maka akan menambah jumlah produksi jagung yang dihasilkan. *Causes strip* hasil simulasi pada produksi jagung ditunjukkan pada Gambar 6.19.



Gambar 6.19 Causes strip hasil simulasi maize production

Dari *causes strip* pada Gambar 6.19 dapat diketahui bahwa produksi jagung yang cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh produktivitas jagung yang juga cenderung meningkat pada kurun waktu tersebut dan luas area panen jagung yang hanya sedikit mengalami fluktuasi.

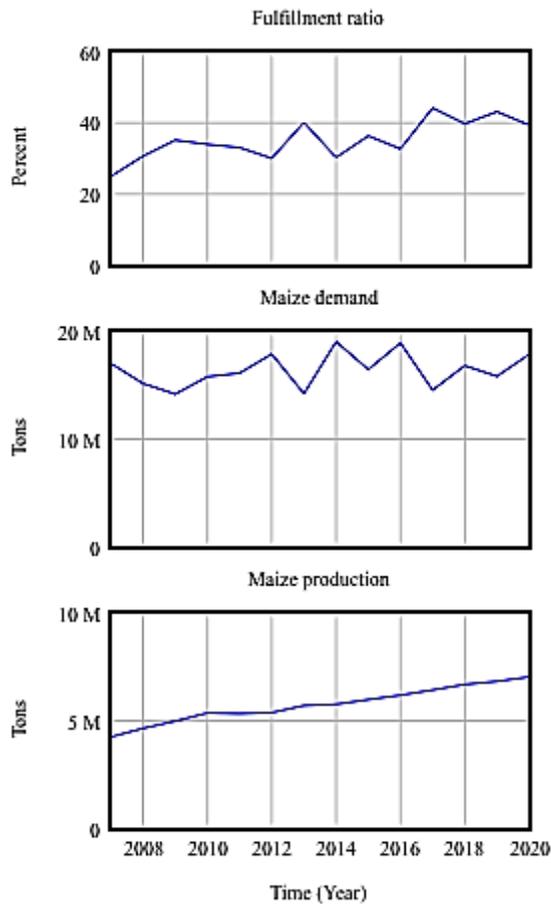
Tingkat produktivitas dan harga jagung akan mempengaruhi penghasilan kotor (*gross income*) petani. Semakin tinggi suatu produktivitas maka akan menambah pendapatan kotor yang dihasilkan oleh petani. Persamaan dari variabel *gross income* ditunjukkan dalam Tabel 6.6. Hasil simulasi berfluktuasi namun cenderung naik dan pada 2 tahun terakhir pendapatan kotor petani mengalami kenaikan. Hal ini merupakan tren simulasi yang positif. *Causes strip* hasil simulasi pada pendapatan kotor petani ditunjukkan pada Gambar 6.20.



Gambar 6.20 Causes strip hasil simulasi gross income

Dari *causes strip* pada Gambar 6.20 dapat diketahui bahwa penghasilan kotor petani yang berfluktuasi namun cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya produktivitas jagung per hektare yang cenderung meningkat dan besaran harga jagung di tingkat produsen yang berfluktuasi.

Besarnya produksi dan permintaan jagung (*maize demand*) akan mempengaruhi besarnya rasio pemenuhan (*fulfillment ratio*). Semakin tinggi produksi jagung maka akan memperbesar *fulfillment ratio*. Persamaan dari variabel pada submodel *fulfillment ratio* ditunjukkan dalam Tabel 6.6. Hasil simulasi berfluktuasi namun cenderung naik dan pada 2 tahun terakhir *fulfillment ratio* mengalami kenaikan. Hal ini merupakan tren simulasi yang baik. *Causes strip* hasil simulasi pada *fulfillment ratio* ditunjukkan pada Gambar 6.21.

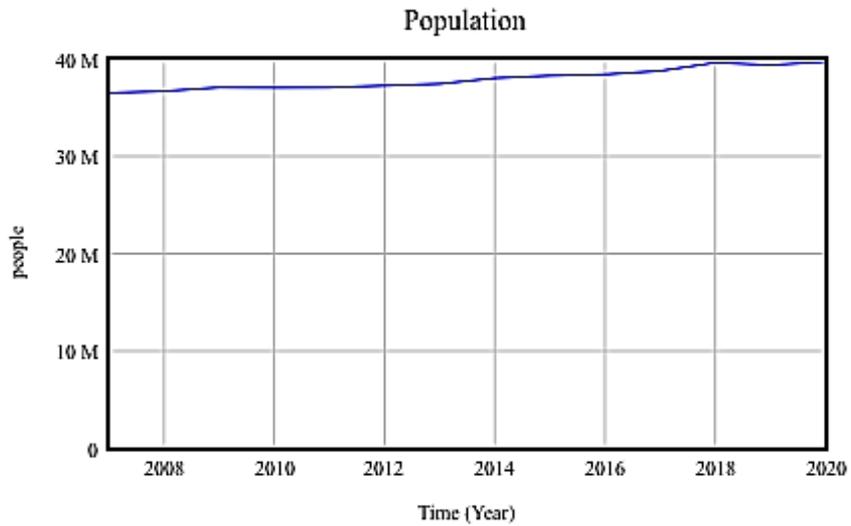


Gambar 6.21 Causes strip hasil simulasi fulfillment ratio

Dari *causes strip* pada Gambar 6.21 dapat diketahui bahwa rasio pemenuhan (*fulfillment ratio*) yang berfluktuasi tetapi cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya produksi jagung yang stabil dan cenderung meningkat serta dipengaruhi oleh besarnya permintaan jagung yang berfluktuasi setiap tahunnya.

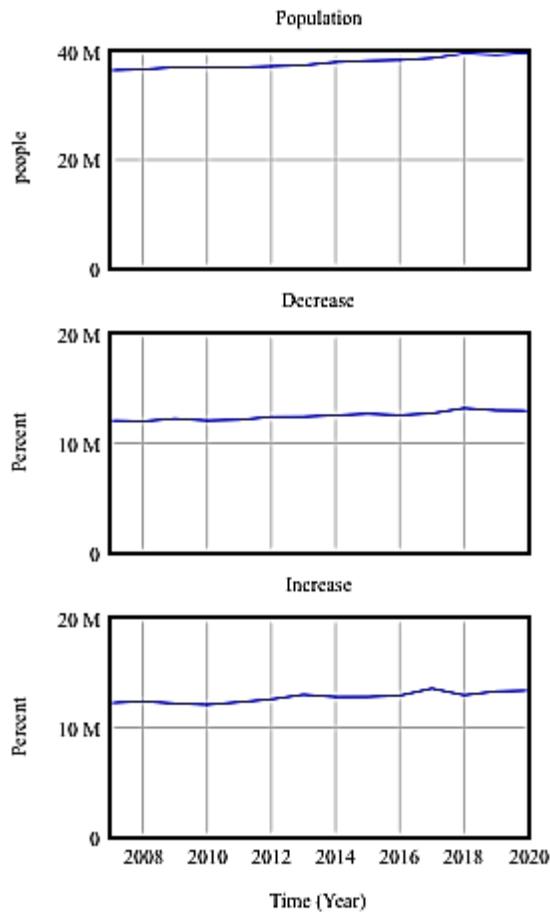
c) Hasil simulasi submodel populasi dan permintaan jagung

Berikut ini merupakan hasil simulasi dari submodel *population* pada tahun 2007 hingga 2020. Grafik hasil simulasi pada *population* ditunjukkan pada Gambar 6.22.



Gambar 6.22 Grafik hasil simulasi population

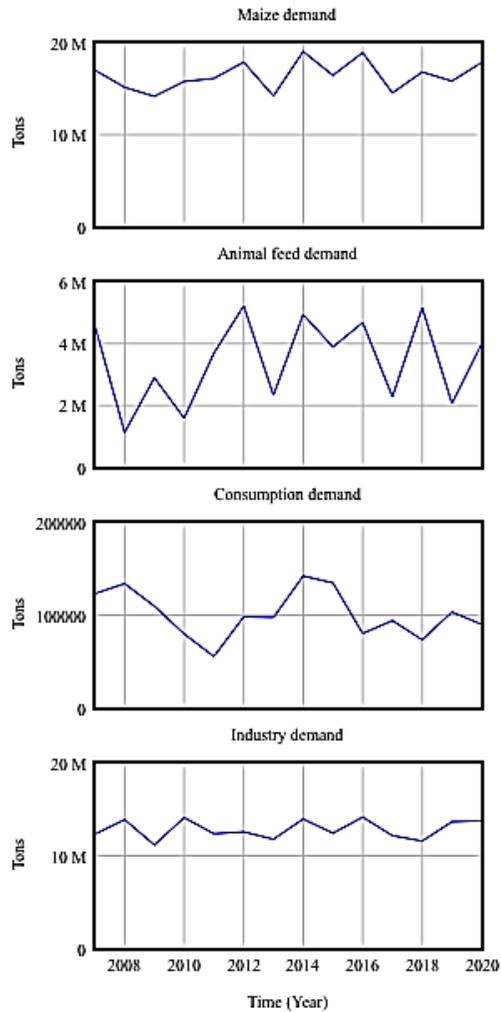
Populasi manusia di Jawa Timur cenderung mengalami peningkatan pada kurun waktu 2007 hingga 2020. Hal ini dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung konstan (tidak mengalami banyak kenaikan atau penurunan). *Causes strip* hasil simulasi pada populasi ditunjukkan pada Gambar 6.23.



Gambar 6.23 Causes strip hasil simulasi population

Dari *causes strip* pada Gambar 6.23 dapat diketahui bahwa populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh kenaikan dan penurunan populasi manusia di Jawa Timur yang cenderung konstan (tidak mengalami banyak kenaikan atau penurunan).

Permintaan jagung (*maize demand*) dipengaruhi oleh permintaan untuk konsumsi, permintaan industri dan permintaan untuk pakan ternak mandiri. Persamaan dari variabel *maize demand* ditunjukkan dalam Tabel 6.7. Hasil simulasi berfluktuasi, *causes strip* hasil simulasi pada *maize demand* ditunjukkan pada Gambar 6.21.

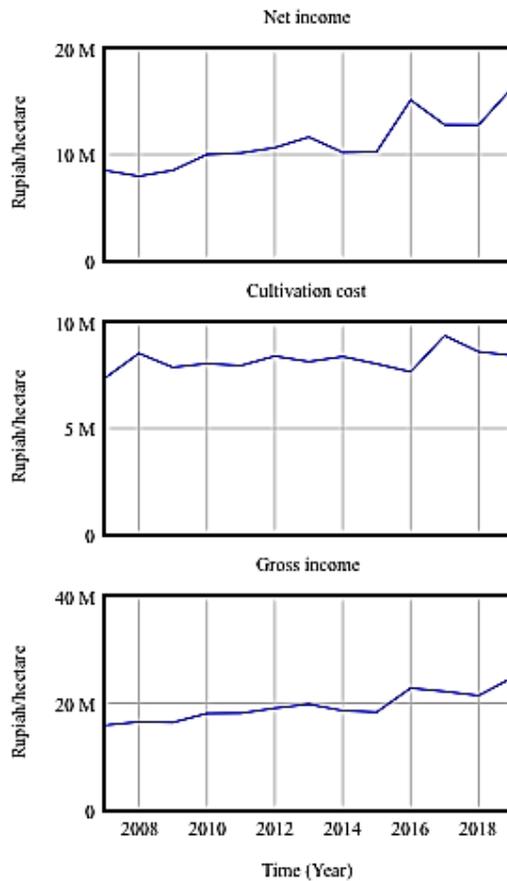


Gambar 6.24 Causes strip hasil simulasi maize demand

Dari *causes strip* pada Gambar 6.24 dapat diketahui bahwa permintaan jagung (*maize demand*) yang berfluktuasi selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya permintaan jagung dari berbagai elemen, yakni permintaan untuk konsumsi, permintaan industri dan permintaan untuk pakan ternak mandiri setiap tahunnya.

d) Hasil simulasi submodel pendapatan petani dan biaya budi daya

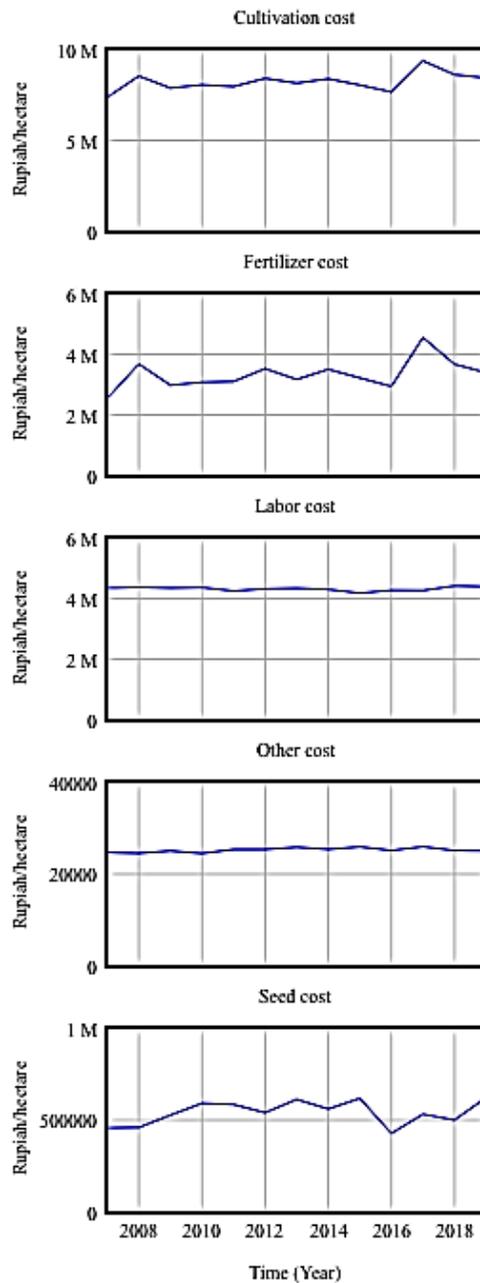
Hasil simulasi submodel *net income* berfluktuasi namun cenderung meningkat dan pada 2 tahun terakhir hasil simulasi *net income* mengalami kenaikan yang menandakan hasil simulasi yang positif. *Causes strip* hasil simulasi pada *net income* ditunjukkan pada Gambar 6.25.



Gambar 6.25 Causes strip hasil simulasi net income

Dari *causes strip* pada Gambar 6.25 dapat diketahui bahwa pendapatan bersih petani (*net income*) yang berfluktuasi namun cenderung meningkat selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh besarnya biaya budi daya dan pendapatan kotor petani yang juga berfluktuasi.

Biaya budi daya jagung (*cultivation cost*) dipengaruhi oleh biaya pengadaan atau pembelian pupuk, benih, tenaga kerja serta biaya lain-lain. Persamaan dari variabel *cultivation cost* ditunjukkan dalam Tabel 6.8. Hasil simulasi berfluktuasi namun cenderung konstan. *Causes strip* hasil simulasi pada *cultivation cost* ditunjukkan pada Gambar 6.26.



Gambar 6.26 Causes strip hasil simulasi cultivation cost

Dari *causes strip* pada Gambar 6.26 dapat diketahui bahwa biaya budi daya jagung (*cultivation cost*) yang berfluktuasi namun cenderung konstan selama tahun 2007 hingga 2020 dipengaruhi oleh biaya pengadaan atau pembelian pupuk, benih, tenaga kerja serta biaya lain-lain yang juga berfluktuasi.

6.6. Skenario Model (Policy Formulation)

Skenario model adalah metode prognosis yang dikembangkan dari model yang sudah valid untuk memprediksi beberapa kejadian di masa mendatang. Pada tahap ini akan dilakukan simulasi kebijakan untuk mengetahui perilaku yang akan dihasilkan, simulasi ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kebijakan yang ingin diambil dan memastikan kebijakan mana yang memiliki skenario terbaik. Terdapat alternatif skenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik, yaitu skenario parameter dan skenario struktur (Suryani, 2005) berikut penjelasan masing-masing skenario:

a) Skenario Parameter

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

b) Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga 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.

Pengembangan skenario dilakukan untuk memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara penambahan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Dalam studi ini akan diprediksi beberapa variabel seperti produktivitas, produksi, biaya usaha tani jagung, dan pendapatan petani jagung yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

Perubahan cuaca dan iklim diindikasikan menjadi salah satu penyebab gagal panen dan rendahnya produktivitas tanaman jagung (Lewi, et al., 2019). Dengan kondisi perubahan iklim yang dapat meningkat maupun menurun frekuensi dan intensitasnya, kerugian yang dapat ditimbulkannya akan semakin besar di masa mendatang (Aqil, et al., 2013). Beberapa permasalahan dalam budi daya jagung di lahan kering yang menyebabkan produktivitas rendah, selain karena faktor abiotik dan biotik, juga disebabkan karena penggunaan varietas potensi hasil rendah (Balitsereal, 2006). Masih terbatasnya benih hibrida di tingkat petani merupakan salah satu masalah dalam upaya percepatan peningkatan produksi (Purwanto, 2007).

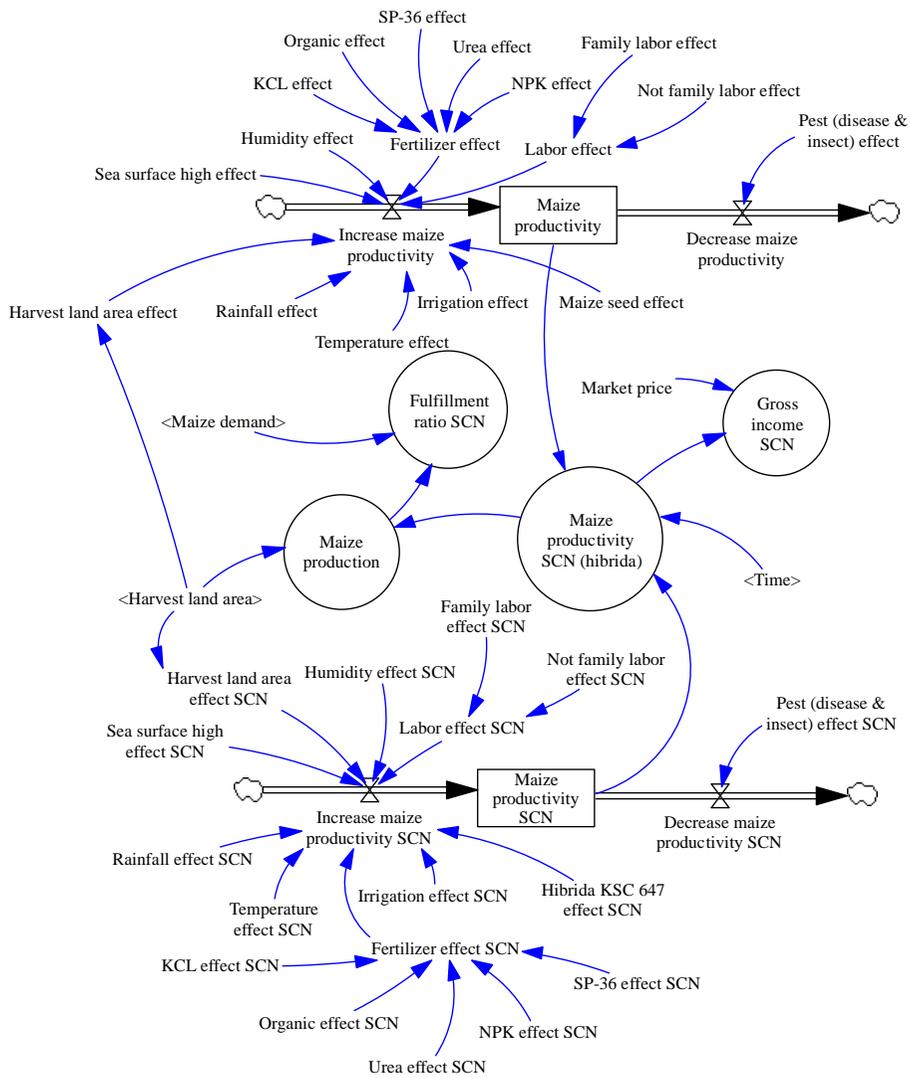
Dalam upaya pengembangan jagung yang lebih kompetitif, diperlukan upaya efisiensi usaha tani, baik ekonomi, mutu maupun produktivitas melalui penggunaan varietas benih bermutu (Badan Ketahanan Pangan, 2009). Pemilihan genotipe unggul (hibrida KSC 647) dalam hal hasil gabah dapat menunjukkan kerusakan lingkungan yang lebih rendah, meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan dari produksi (Sadeghi, et al., 2018). Penelitian yang dilakukan oleh (Li, et al., 2009) menunjukkan bahwa jagung

hibrida dengan resistensi kekeringan tidak hanya memiliki konduktivitas yang lebih tinggi tetapi juga memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap kavitas. Kelompok jagung hibrida ini memiliki produktivitas per hektare lebih tinggi dari pada jagung komposit ataupun jagung lokal (Kariyasa, et al., 2018). Peningkatan dalam hasil biji-bijian dengan peningkatan tingkat N dari 300 menjadi 400 kg/ha-1 dan 300 kg/ha-1 urea (Sadeghi, et al., 2018).

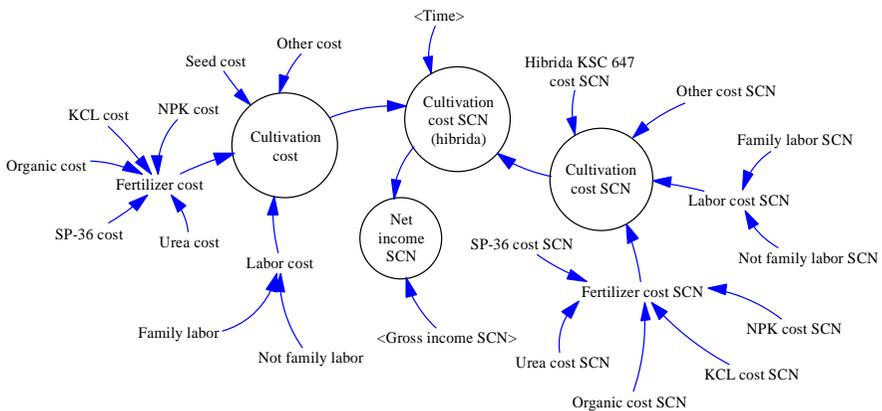
Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah varietas benih jagung telah meningkat pesat karena aplikasi teknologi benih hibrida, keragaman varietas benih jagung membuat klasifikasi benih lebih sulit setelah panen, dan pada akhirnya mempengaruhi hasil panen, pemuliaan tanaman dan program perbaikan tanaman (Guo, et al., 2017). Permintaan jagung hibrida untuk pakan ternak terus mengalami peningkatan, khususnya karena adanya pertumbuhan industri pakan ternak yang membutuhkan pasokan jagung hibrida sebagai bahan baku produksinya (Lewi, et al., 2019).

Di Jawa Timur, produksi jagung diarahkan untuk memenuhi permintaan pasar dengan varietas yang ditanam sebagian besar adalah jenis hibrida yang berdaya hasil tinggi dan sesuai dengan permintaan pasar, terutama industri pakan. Meskipun harga benih jagung hibrida relatif lebih mahal (Pusat Pengkajian Perdagangan Dalam Negeri, 2016), namun setiap tahun diharapkan adanya peningkatan penggunaan benih hibrida 30% (Purwanto, 2007). Peningkatan produktivitas jagung dilakukan melalui peningkatan penggunaan benih varietas spesifik lokasi unggul bermutu dengan produktivitas tertinggi termasuk benih jagung hibrida (Kariyasa, et al., 2018). Strategi utama untuk meningkatkan produktivitas jagung adalah mengintroduksi benih unggul khususnya jagung hibrida (Ardiani, 2009). Peningkatan produktivitas jagung juga dapat dicapai melalui perbaikan mutu benih (penggantian varietas komposit ke hibrida dan komposit unggul) (Purwanto, 2007). Benih hibrida digunakan oleh petani karena terdapat jaminan bahwa benih hibrida dapat menaikkan produktivitas jagung menjadi 8-10 Ton/Ha namun hal tersebut juga tergantung kepada perawatan yang dilakukan oleh petani (Pusat Pengkajian Perdagangan Dalam Negeri, 2016). Produktivitas jagung hibrida berkisar 10-13 Ton/Ha lebih tinggi dibanding varietas komposit atau lokal yang hanya < 3 Ton/Ha (Balai penelitian Tanaman Serealia, 2012).

Dalam upaya peningkatan produksi dan produktivitas jagung dengan menggunakan benih bergenotipe unggul (hibrida KSC 647) maka dilakukan perubahan parameter pada model menggunakan skenario hibrida KSC 647. Berikut merupakan model skenario hibrida KSC 647 seperti terlihat pada Gambar 6.27 dan Gambar 6.28.



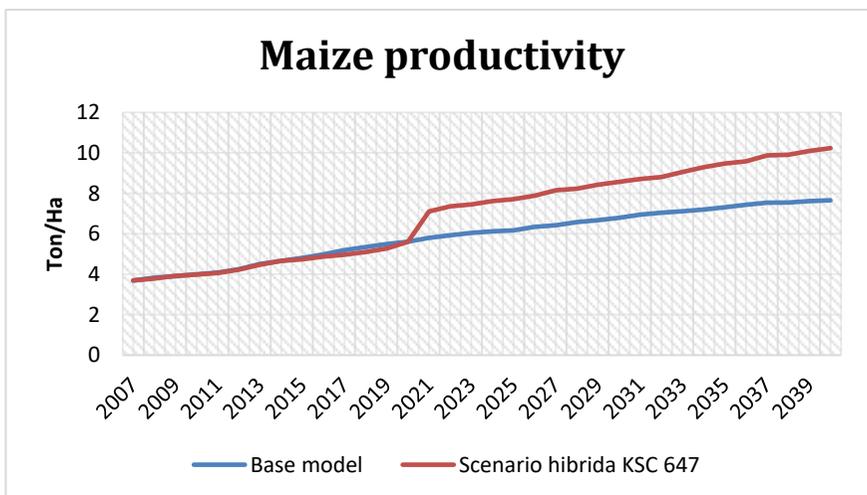
Gambar 6.27 Model skenario hibrida KSC 647 (1)



Gambar 6.28 Model skenario hibrida KSC 647 (2)

Langkah yang dilakukan adalah mengganti benih jagung varietas komposit dengan menggunakan benih bergenotipe unggul (hibrida KSC 647). Kebutuhan benih hibrida per hektare berkisar antara 15-20 kg (Dispertan, 2014; Wulandari & Yeniarta, 2020) dengan harga yang relatif mahal, yakni berkisar antara Rp60.000,- hingga Rp75.000,- per kg (Sejati, 2015) dan benih tidak dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama.

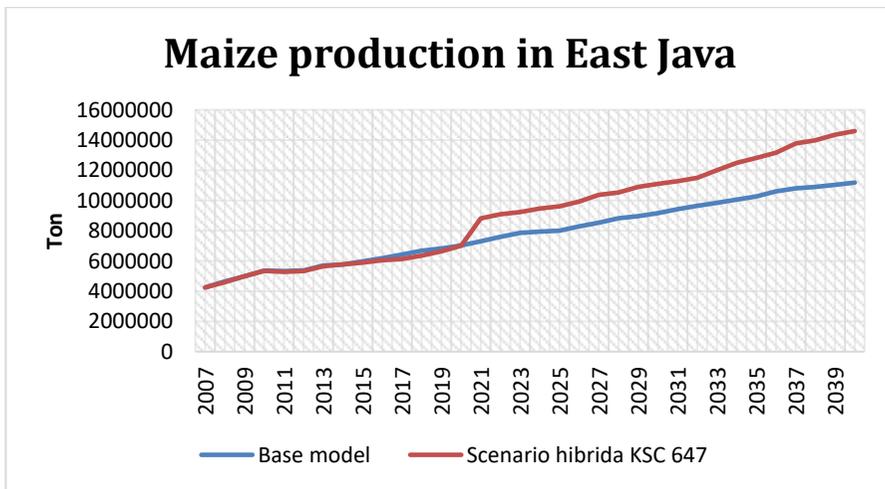
Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, berikut merupakan perbandingan grafik produktivitas jagung antara hasil skenario hibrida KSC 647 dengan *base model* seperti terlihat pada Gambar 6.29.



Gambar 6.29 Grafik perbandingan hasil produktivitas jagung (skenario hibrida KSC 647)

Hasil simulasi skenario menunjukkan bahwa melalui skenario ini, produktivitas jagung meningkat dari rata-rata 5,90 Ton/Ha menjadi rata-rata 6,97 Ton/Ha. Skenario ini mampu meningkatkan produktivitas jagung sekitar 18,07%.

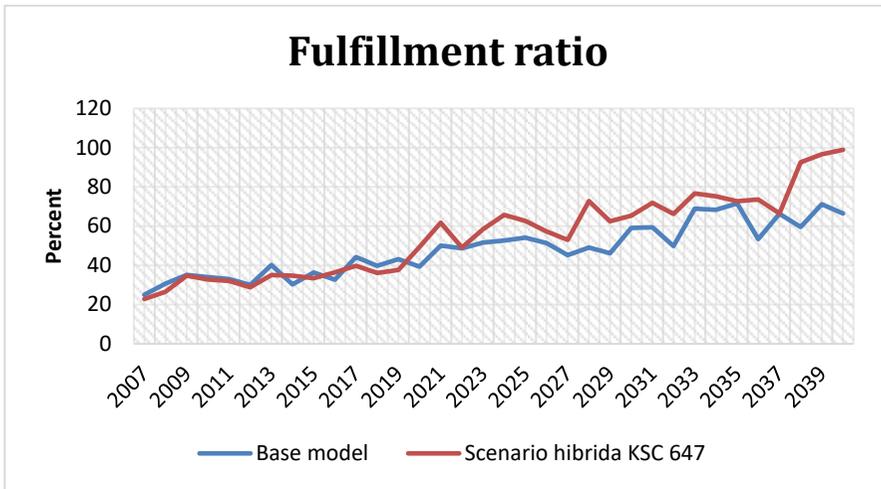
Dengan adanya perubahan produktivitas jagung dengan menggunakan skenario hibrida KSC 647 maka hal ini otomatis mempengaruhi jumlah produksi jagung setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, grafik perbandingan produksi jagung sebelum (*base model*) dan sesudah skenario, dapat dilihat pada Gambar 6.30.



Gambar 6.30 Grafik perbandingan hasil produksi jagung (skenario hibrida KSC 647)

Dengan menggunakan skenario tersebut, produksi jagung diprediksikan juga meningkat dari rata-rata 7.847.972 Ton menjadi rata-rata 9.067.994 Ton. Skenario ini mampu meningkatkan produksi jagung sekitar 15,55%.

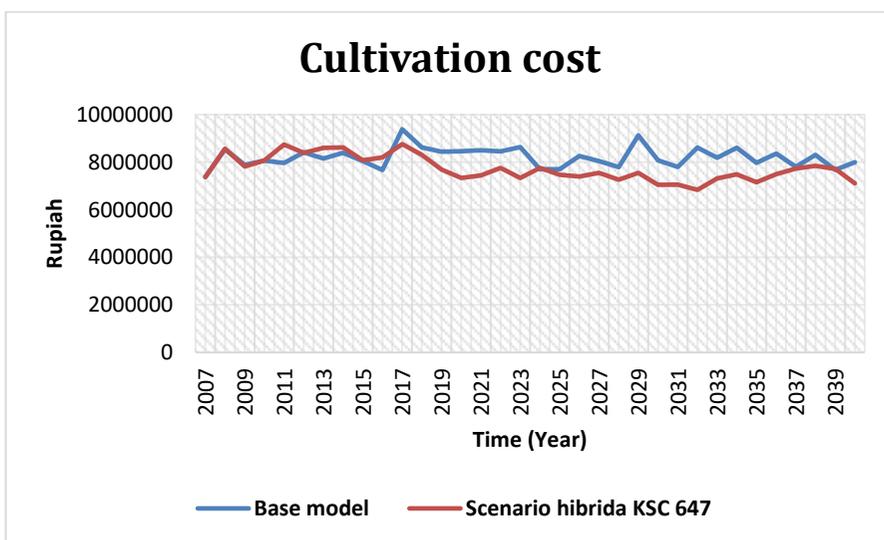
Dengan adanya perubahan pada hasil produksi jagung dengan menggunakan skenario hibrida KSC 647 maka hal ini otomatis mempengaruhi besarnya *fulfillment ratio* atau rasio pemenuhan atas permintaan jagung setiap tahunnya. Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, grafik perbandingan *fulfillment ratio* sebelum (*base model*) dan sesudah skenario, dapat dilihat pada Gambar 6.31.



Gambar 6.31 Grafik perbandingan rasio pemenuhan (skenario hibrida KSC 647)

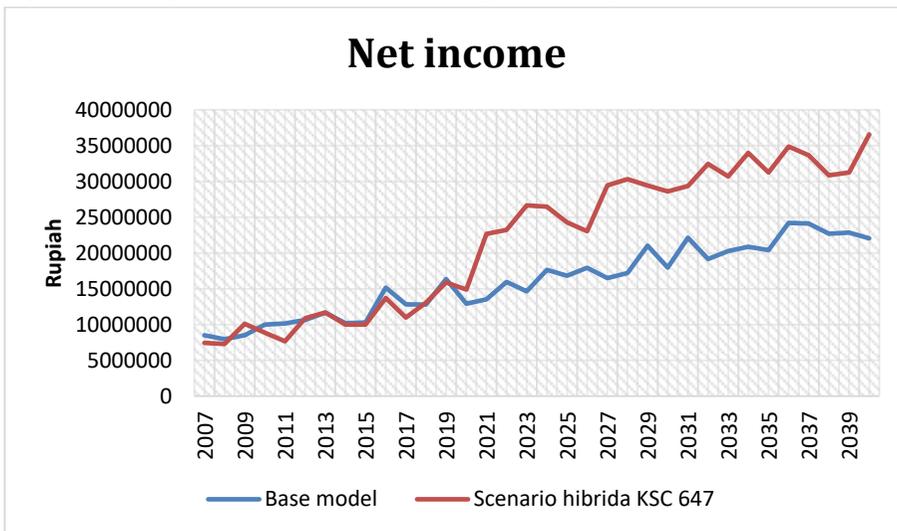
Hasil simulasi skenario menunjukkan bahwa melalui skenario ini, rasio pemenuhan meningkat dari rata-rata 48,13% menjadi rata-rata 55,26%. Skenario ini mampu meningkatkan produktivitas jagung sekitar 14,82%.

Dari hasil simulasi model yang telah dijalankan, terdapat hasil simulasi skenario hibrida KSC 647 pada variabel biaya budi daya jagung atau *cultivation cost* setiap tahunnya. Grafik perbandingan biaya budi daya sebelum (*base model*) dan sesudah skenario, dapat dilihat pada Gambar 6.32.



Gambar 6.32 Grafik biaya budi daya (skenario hibrida KSC 647)

Biaya budi daya jagung mengalami penurunan dari rata-rata Rp8.205.199,- menjadi rata-rata Rp7.761.611,-. Skenario berdampak pada meningkatnya biaya budi daya jagung sekitar 5,41%. Dengan adanya hasil simulasi biaya budi daya dengan menggunakan skenario hibrida KSC 647 maka hal ini otomatis mempengaruhi besarnya pendapatan bersih oleh petani atau *net income*. Pendapatan bersih petani meningkat dari rata-rata Rp16.059.399,- menjadi rata-rata Rp21.811.488,-. Skenario ini mampu meningkatkan pendapatan bersih petani sekitar 35,82%. Grafik perbandingan pendapatan bersih petani sebelum (*base model*) dan sesudah skenario, dapat dilihat pada Gambar 6.33.



Gambar 6.33 Grafik pendapatan bersih petani (skenario hibrida KSC 647)

6.7. Evaluasi

Berikut terdapat latihan soal sebagai evaluasi untuk mengukur pemahaman model simulasi sistem dinamik pada bab ini.

- 1) Apa yang dimaksud dengan skenario?
- 2) Bagaimana cara mengembangkan skenario?
- 3) Kapan bisa dilakukan skenario?

REFERENSI

- Lewi, S. P., Yunatas, A., Habibie, F. & Mustaha, M. A., 2019. *Panduan praktis budi daya jagung cerdas iklim*. Kendari: Tim Sekolah Lapang Iklim Jagung (SLI) dan USAID Adaptasi Perubahan Iklim dan Ketangguhan (APIK).
- Aqil, M., Z, B. & Andayani, N. N., 2013. Inovasi teknologi adaptasi tanaman jagung terhadap perubahan iklim. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian*, pp. 39-48.
- Balitsereal, 2006. *Deliniasi percepatan pengembangan teknologi PTT jagung pada beberapa agroekosistem*. Bogor: Balitsereal Maros.
- Purwanto, S., 2007. Perkembangan Produksi dan Kebijakan dalam Peningkatan Produksi Jagung. *Direktorat Budi Daya Serealia, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan*, pp. 456-461.
- Badan Ketahanan Pangan, 2009. *Budi daya tanaman jagung*, Aceh: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian NAD.
- Sadeghi, S. M., Noorhosseini, S. A. & Damalas, C. A., 2018. Environmental sustainability of corn (*Zea mays* L.) production on the basis of nitrogen fertilizer application: The case of Lahijan, Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 95, pp. 48-55.
- Li, Y., Sperry, J. S. & Shao, M., 2009. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), pp. 341-346.
- Kariyasa, I. K. et al., 2018. *Outlook jagung komoditas pertanian subsektor tanaman pangan*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.
- Guo, D. et al., 2017. Model updating for the classification of different varieties of maize seeds from different years by hyperspectral imaging coupled with a pre-labeling method. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 142, pp. 1-8.
- Pusat Pengkajian Perdagangan Dalam Negeri, 2016. *Analisis rantai pasok jagung sebagai bahan baku pakan ternak*, Jakarta: Badan Pengkajian dan Pengembangan Perdagangan, Kementerian Perdagangan.
- Ardiani, N., 2009. Rantai pasokan jagung di daerah sentra produksi Indonesia. *Pangan*, 18(53), pp. 73-85.

- Balai penelitian Tanaman Serealia, 2012. *Teknologi Produksi benih Jagung Hibrida*, Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Dispertan, 2014. *Budi daya jagung hibrida di lahan sawah tadah hujan*. [Online] Available at: <https://dispertan.bantenprov.go.id/lama/read/artikel/423/Budidaya-Jagung-Hibrida-di-Lahan-Sawah-Tadah-Hujan.html> [Diakses 2 Desember 2020].
- Wulandari, E. & Yeniarta, 2020. *Petani madura mulai tertarik padi hibrida yang hasilkan 12 ton per hektare*. [Online] Available at: [https://bbppketindan.bppsdp.pertanian.go.id/petani-madura-mulai-tertarik-padi-hibrida-yang-hasilkan-12-ton-hektare#:~:text=Hal%20ini%20dikarenakan%20cara%20tanam,hanya%2015%20kilogram%20per%20hektarenya](https://bbppketindan.bppsdp.pertanian.go.id/petani-madura-mulai-tertarik-padi-hibrida-yang-hasilkan-12-ton-hektare#:~:text=Hal%20ini%20dikarenakan%20cara%20tanam,hanya%2015%20kilogram%20per%20hektarenya.). [Diakses 2 Desember 2020].
- Sejati, W. K., 2015. *The role of high yield hybrid corn seed on food production: a case study in Klaten District*. Bandar Lampung, Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan Polinela.
- Sterman, J. D., 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill/Irwin: Jeffrey J. Shelstad.
- Mudjahidin, R. A. H. A. P. A. J. L. B. M. N. Y., 2019. *Testing Methods on System Dynamics: A Model of Reliability, Average Reliability, and Demand of Service*. Surabaya, Procedia Computer Science 161 (2019) 968–975.
- Pidd, M., 2010. Why modelling and model use matter. *Journal of the Operational Research Society*, 61(1), pp. 14-24.
- Forrester, J. W. & Senge, P. M., 1980. Test for building confidence in system dynamics models. Dalam: *Modelling for management: Simulation in support of systems thinking*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, pp. 209-228.
- Martis, M. S., 2006. Validation of simulation based models: a theoretical outlook. *The Electronic Journal of Business Research Methods*, 4(1), pp. 39-46.
- Qudrat-Ullah, H., 2012. On the validation of system dynamics type simulation models. *Telecommunication Systems*, 51(2/3), pp. 159-166.
- Kementan & BPS, 2017. *Basis data statistik pertanian*. [Online] Available at: <https://aplikasi2.pertanian.go.id/bdsp/id/indikator> [Diakses 6 Maret 2020].
- Barlas, Y., 1989. Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *European Journal of Operational Research* 42, pp. 59-87.
- Walters, J. P. et al., 2016. Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecological Modelling*, Volume 333, pp. 51-65.

- Craft, K. E. et al., 2013. Drought and corn in Kentucky. *Applied Geography*, Volume 45, pp. 353-362.
- Aslam, M., Cengiz, R. & Maqbool, M. A., 2015. *Drought stress in maize (Zea mays L.) effects, resistance mechanisms, global achievements and biological strategies for improvement*. New York: SpringerBriefs in Agriculture.
- Dimkpa, C. O. et al., 2020. Interactive effects of drought, organic fertilizer, and zinc oxide nanoscale and bulk particles on wheat performance and grain nutrient accumulation. *Science of the Total Environment*, Volume 722, pp. 1-12.
- Simanjuntak, A., Lahay, R. R. & Purba, E., 2013. Respon pertumbuhan dan produksi bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap pemberian pupuk NPK dan kompos kulit buah kopi. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(3), pp. 362-373.
- Wang, H. et al., 2019. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil & Tillage Research*, Volume 195, pp. 1-9.
- Sulaeman, Y., Maswar & Erfandi, D., 2017. Pengaruh kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap sifat kimia tanah dan hasil tanaman jagung di lahan kering masam. *Balai Penelitian Tanah*, pp. 1-12.
- Hartati, S., Sumani & Hendrata, H. E., 2014. Pengaruh imbalan pupuk organik dan anorganik terhadap serapan dan hasil tanaman padi sawah pada dua sistem budi daya di lahan sawah sukoharjo. *Caraka Tani - Jurnal Ilmu Pertanian*, 26(1), pp. 53-60.
- Agnesia, F., 2014. *Pengaruh pemberian biochar dan kompos terhadap sifat kimia, biologi dan emisi gas karbondioksida pada tanah sawah*, Malang: Universitas Brawijaya.
- Li, W. et al., 2020. A hybrid modelling approach to understanding adoption of precision agriculture technologies in Chinese cropping systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 172, pp. 1-12.
- Nababan, C., 2009. *Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi pendapatan petani padi di kecamatan tiga binaga kabupaten Karo*. Medan: USU Press.
- Slamet, 2003. *Belajar dan faktor-faktor yang mempengaruhinya*. Cetakan IV penyunt. Jakarta: Rieneka Cipta.
- BPS, 2020. *Tanaman pangan*. [Online] Available at: <https://jatim.bps.go.id/subject/53/tanaman-pangan.html#subjekViewTab1> [Diakses 13 Maret 2020].
- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S. & Wang, Y., 2018. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. *Journal of Cleaner Production*, Volume 199, pp. 882-890.
- Soekartawi, 1999. *Agribisnis teori dan aplikasinya*. Jakarta: Raja grafindo Persada.

- Wang, Z., Deng, X. & Chen, J., 2015. Impacts of sparing use of water on farmer income of China. *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 89-90, pp. 18-24.
- Soullier, G. & Moustier, P., 2018. Impacts of contract farming in domestic grain chains on farmer income and food insecurity. Contrasted evidence from Senegal. *Food Policy*, pp. 1-20.
- Putra, A. B., Mukaromah, S. & Kusumantara, P. M., 2018. *Analysis of The Maize Systems to Increase Production with a Dynamic System Approach*. Surabaya, International Conference on Science and Technology (ICST).
- Li, C. et al., 2020. Effect of irrigation and fertilization regimes on grain yield, water and nitrogen productivity of mulching cultivated maize (*Zea mays* L.) in the Hetao Irrigation District of China. *Agricultural Water Management*, Volume 232, pp. 1-12.
- Wang, J. et al., 2020. Joint optimization of irrigation and planting pattern to guarantee seed quality, maximize yield, and save water in hybrid maize seed production. *European Journal of Agronomy*, Volume 113, pp. 1-14.
- Seran, Y. L., 2005. *Pengembangan sistem usaha tani jagung organik dalam upaya peningkatan pendapatan petani di lahan kering*, Kabupaten TTS: BPTP Nusa Tenggara Timur.
- Hafidh, M., 2009. *Pengaruh tenaga kerja, modal, dan luas lahan terhadap produksi usaha tani padi sawah*, Semarang: Departemen Ekonomi Pembangunan Universitas Negeri Semarang.
- Sayifullah & Emmalian, 2018. Pengaruh tenaga kerja sektor pertanian dan pengeluaran pemerintah sektor pertanian terhadap produk domestik bruto sektor pertanian di Indonesia. *JEQu (Jurnal Ilmu Ekonomi)*, 8(1), pp. 66-81.
- Kostic, M. et al., 2018. Corn seeding process fault cause analysis based on a theoretical and experimental approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 151, pp. 207-218.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V. I., 2010. Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), pp. 828-831.
- Kementan, 2020. *Pemerintah daerah agar bijak konversi lahan pertanian produktif*. [Online] Available at: <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=2334> [Diakses 13 Maret 2020].
- Ambarita, J. P. & Kartika, I. N., 2015. Pengaruh luas lahan, penggunaan pestisida, tenaga kerja, pupuk terhadap produksi kopi di kecamatan pekutatan kabupaten jembrana. *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana*, 4(7), pp. 776-793.
- Hariwibowo, P. A., Anindita, R. & Suhartini, 2015. The Evaluation of Indonesia Import Policies of Garlic. *Greener Journal of Business and Management Studies*, 5(1), pp. 16-30.

- Muslim, C., 2013. Climate change mitigation in maintaining land productivity rice rice fields (cases; regency of Indramayu). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 13(3), pp. 211-222.
- Tanure, T. M. d. P. et al., 2020. The impacts of climate change on agricultural production, land use and economy of the legal amazon region between 2030 and 2049. *Economia*, pp. 1-19.
- Bora, C. Y. & Murdolelono, B., 2006. Influence of fertilizing to ahuklean corn cultivation in Besikama, Belu, NTT. *Berita Biologi*, 8(1), pp. 53-59.
- Utami, J. & Hardyastuti, S., 2011. El nino, la nina dan penawaran pangan di Jawa, Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 12(2), pp. 257-271.
- Rai, P. K. et al., 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, Volume 125, pp. 365-385.
- Gervantes-Godoy, D., Kimura, S. & Anton, J., 2013. *Smallholder risk management in developing countries*. 16 penyunt. s.l.:OECD Publishing.
- Reardon, T., Barrett, C., Berdegue, J. & Swinnen, J., 2009. Agrifood industry transformation and small farmers in developing countries. *World Dev*, Volume 37, pp. 1717-1727.
- Eckhoff, S. R., Paulsen, M. R. & Yang, S. C., 2003. Maize. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*, pp. 3647-3653.
- Britannica, E., 2020. *Corn plant*. [Online] Available at: <https://www.britannica.com/plant/corn-plant> [Diakses 13 Maret 2020].
- Suwandi, et al., 2016. *Outlook komoditas pertanian sub sektor tanaman pangan jagung*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.
- Putra, A. B., Mukaromah, S. & Wibowo, N. C., 2017. *Analysis of soybean production to achieve soybean self-sufficiency using system dynamics approach*. Surabaya, Proceeding International Joint Conference on Science and Technology (IJCST).
- Hernanto, F., 1996. *Ilmu Usahatani*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Chen, J. et al., 2018. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, Volume 613-614, pp. 829-839.
- Xu, Z., Yao, L. & Chen, X., 2020. Urban water supply system optimization and planning: Bi-objective optimization and system dynamics methods. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 142, pp. 1-13.
- Law, A. M. & Kelton, W. D., 1991. *Simulation modelling and analysis*. 2nd edition penyunt. McGraw-Hili: s.n.
- Emshoff & Simon, A., 1970. Rancangan Ulang dan Simulasi. *Jurnal social work*.

- Marhaeni, A. I. & Yuliarmi, N. N., 2018. Pertumbuhan penduduk, konversi lahan, dan ketahanan pangan di kabupaten Badung. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 11(1), pp. 61-78.
- Hidayat, S. I., 2008. Analisis konversi lahan sawah di propinsi Jawa Timur. *J-SEP*, 2(3), pp. 48-58.
- Hidayat, A., 2009. Sumberdaya lahan Indonesia: potensi, permasalahan, dan strategi pemanfaatan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 3(2), pp. 107-117.
- Chairunnisa, C., Munibah, K. & Widiatmaka, 2019. Perubahan penggunaan lahan dan potensi perluasan lahan untuk sawah di kabupaten Cianjur. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 19(1), pp. 33-40.
- Sirappa, M. P. & Razak, N., 2010. *Peningkatan produktivitas jagung melalui pemberian pupuk N, P, K dan pupuk kandang pada lahan kering di Maluku*. s.l., Prosiding Pekan Serealia Nasional.
- Pusparini, P. G., Yunus, A. & Harjoko, D., 2018. Dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan hasil jagung hibrida. *Agrosains*, 20(2), pp. 28-33.
- Syafruddin, 2015. Management of nitrogen fertilizer application on maize. *Jurnal Balai Penelitian Tanaman Serealia*, 34(3), pp. 105-116.
- Aqil, M., Firmansyah, I. U. & Akil, M., 2007. *Pengelolaan air tanaman jagung*, s.l.: Balitsereal Litbang Deptan.
- Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian, 2015. *Pelatihan teknis budi daya jagung bagi penyuluh pertanian dan babinsa (pengairan tanaman jagung)*, s.l.: Pusat Pelatihan Pertanian.
- Suryani, E., Dewi, L. P., Junaedi, L. & Hendrawan, R. A., 2019. A model to improve corn productivity and production. *Journal of Modelling in Management*, pp. 1-33.
- Mohammadi, A. & Tavakolan, M., 2019. Modeling the effects of production pressure on safety performance in construction projects using system dynamics. *Journal of Safety Research*, pp. 1-12.
- Tiammee, S. & Likasiri, C., 2020. Sustainability in corn production management: a multi-objective approach. *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-31.
- Nuridin, 2011. *Antisipasi perubahan iklim untuk keberlanjutan ketahanan pangan*, Sulawesi Utara: Universitas Negeri Gorontalo.
- Andrias, A. A., Darusman, Y. & Ramdan, M., 2017. Pengaruh luas lahan terhadap produksi dan pendapatan usahatani padi sawah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh*, 4(1), pp. 521-529.
- Khairati, R. & Syahni, R., 2016. Response of food demand to population increase in west sumatera. *Jurnal Pembangunan Nagari*, 1(2), pp. 19-36.
- Badan Pusat Statistik, 2018. *Parameter hasil proyeksi penduduk di Jawa Timur, 2010-2035*. [Online] Available at: <https://jatim.bps.go.id/>

- statictable/2018/02/05/840/parameter-hasil-proyeksi-penduduk-di-jawa-timur-2010-2035.html
[Diakses 9 Oktober 2020].
- BPS & BAPPENAS, 2013. *Proyeksi penduduk Indonesia 2010-2035*. Jakarta: BPS.
- Ojo, T. O. & Baiyegunhi, L. J. S., 2019. Determinants of climate change adaptation strategies and its impact on the net farm income of rice farmers in south-west Nigeria. *Land Use Policy*, pp. 1-10.
- Suryani, E., 2005. *Pemodelan dan Simulasi*. s.l.:Graha Ilmu.
- Tyoso, J. S. P., 2016. *Sistem informasi manajemen*. 1 penyunt. Yogyakarta: Deepublish.
- Amsyah, Z., 2005. *Manajemen sistem informasi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Muslihudin, M. & Oktafianto, 2016. *Analisis dan perancangan sistem informasi menggunakan model terstruktur dan UML*. 1 penyunt. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Arora, A., 2015. *Pengertian sistem dan contoh sistem*. [Online] Available at: <https://aditya95arora.wordpress.com/2015/10/03/pengertian-sistem-dan-contoh-sistem/>
[Diakses 15 Juni 2021].
- Sitepostone, 2021. *Sistem adalah? Berikut pengertian sistem dan contohnya*. [Online] Available at: <https://bospengertian.com/pengertian-sistem-adalah/>
[Diakses 17 Juni 2021].
- Nexusocean, 2020. *Pengertian sistem*. [Online] Available at: <https://belajargiat.id/sistem/>
[Diakses 18 Juni 2021].
- Arif, M., 2017. *Pemodelan sistem*. 1 penyunt. Yogyakarta: Deepublish.
- Faizarteta, 2020. *Pengertian model, pemodelan dan management science*. [Online] Available at: <https://www.infoteknikindustri.com/2020/05/pengertian-model-pemodelan-dan.html>
[Diakses 18 Juni 2021].
- Noorsaman, S. A. & Wahid, A., 1998. Pemodelan industri minyak bumi dan gas alam Indonesia dengan pendekatan sistem dinamik. *Jurnal Teknologi*, 12(1), pp. 27-29.
- Powersim, 2005. *Powersim studio professional 2005 : user's guide*. AS: Powersim Software AS.
- Tasrif, M., 2004. *Model simulasi untuk analisis kebijakan: pendekatan metodologi sistem dynamics*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Shintasari, I., 1988. *Dinamika persediaan daging sapi: suatu model dinamik untuk DKI Jakarta*, Bogor: Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fateta IPB, Bogor.
- Daalen, V. & W, A. H. T., 2001. *Dynamics systems modelling continuous models*. Technische Universiteit Delf: Faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM).
- Coyle, R. G., 1996. *System dynamics modelling, a practical approach*. United Kingdom: Chapman & Hall.

- Richardson, G. P. & A, L. P., 1986. *Introduction to system dynamics modelling with dynamo*. Cambridge, Massachusete, and London, England: The MIT Press.
- Forrester, J. W., 1999. *System dynamics : the foundation under system thinking*. Cambridge, MA 02139: Sloan School of Management MIT.
- Herrel, C., Ghosh, B. K. & Bowden, R., 2004. *Simulation using promodel*. United States of America: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Chase, R. B. & N, J. A., 1991. *Production and operations management; a life cycle approach 6th edition*. Boston: Irwin.
- Siagian, P., 1987. *Penelitian operasional: teknik dan praktek*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Shanon, R. E., 1975. *System simulation: the art and science*. Eaglewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Banks, J. & Carson, J. S. N., 1990. *Discrete-event system simulation*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Khosnevis, B., 1994. *Discrete system simulation*. New York: McGraww Hill.
- Monte, D., 2020. *Pengertian simulasi, tujuan, jenis, model, langkah penerapannya*. [Online] Available at: <https://artikelsiana.com/pengertian-simulasi-tujuan-jenis-model-langkah-penerapannya/> [Diakses 2021 Juni 25].
- Djati, B. S. L., 2007. *Simulasi teori dan aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sutedja, H., 2019. *Pemodelan sistem pemilihan dan pengembangan model*. [Online] Available at: <https://slideplayer.info/slide/11997129/> [Diakses 26 Juni 2021].

PROFIL PENULIS



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



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



Ulfa Emi Rahmawati, S.Kom., M.Kom. Telah menyelesaikan pendidikan S-1 Sistem Informasi di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur pada tahun 2019 dengan bidang penelitian *Software Development*; S-2 Sistem Informasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2021 dengan topik tesis “Sistem Dinamik pada Sektor Pertanian” serta telah mengikuti Sertifikasi Profesi LSP BNSP skema *Junior Web Programming* pada tahun 2018. Penulis memiliki pengalaman sebagai staf *Enterprise Resource Planning (ERP) Functional Consultant* di PT. Andromedia Indonesia pada tahun 2019. Saat ini penulis sebagai *Project Management* di PT. Piramida Teknologi Informasi. Bidang riset penulis saat ini meliputi Sistem Enterprise, Sistem Dinamik, serta Pemodelan dan Simulasi.

Sistem merupakan sekumpulan elemen yang saling bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan. Sistem dapat diklasifikasikan menjadi sistem abstrak dan fisik, alamiah dan buatan, tertentu dan tidak tertentu, serta tertutup dan terbuka. Model merupakan representasi dari sebuah sistem. Simulasi merupakan proses perancangan model dari sebuah sistem untuk mempelajari perilaku dan karakteristik sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem atau menciptakan sistem sesuai dengan tujuan pembuatan model. Langkah-langkah simulasi meliputi pendefinisian sistem, formulasi model, pengambilan data, pembuatan model, verifikasi model, validasi model, dan skenario (eksperimen) terhadap model.

Dalam buku ini dibahas tentang implementasi model sistem dinamik pada industri jagung. Permintaan jagung meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan industri, hal ini mengakibatkan permintaan akan jagung semakin meningkat. Pertumbuhan produksi jagung di Jawa Timur lebih mengandalkan peningkatan luas areal panen, kontribusi terbesar luas panen jagung nasional berasal dari Provinsi Jawa Timur yaitu sebesar 26,52%. Setelah dilakukan pemahaman sistem maka dapat dikembangkan model simulasi untuk meningkatkan produksi dan pendapatan petani jagung.

Vensim (*Ventana Simulation*) merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai sarana untuk mengembangkan model sistem dinamik. Vensim menyediakan teknik yang sederhana dan fleksibel untuk membangun causal loop diagram (CLD) maupun *stock and flow diagram* (SFD). Vensim juga memiliki beberapa fasilitas seperti *graph*, *causal strip*, dan *table* sebagai media interpretasi hasil simulasi. Untuk mengecek akurasi model yang dikembangkan, maka dilakukan validasi model. Setelah model dinyatakan valid, berikutnya dapat dilakukan pengembangan skenario model guna memprediksi kemungkinan yang akan terjadi di masa depan dengan cara menambahkan parameter baru atau mengubah struktur yang telah ada. Dalam studi ini akan diprediksi beberapa variabel seperti produktivitas, produksi, biaya usaha tani jagung, dan pendapatan petani jagung.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📖 Penerbit Deepublish

📧 @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Simulasi Komputer

ISBN 978-623-02-3479-8 (PDF)



9

786230

234798