

Pemodelan Dan Simulasi Berbasis Agen Untuk Sistem Ketahanan Pangan Pada Sektor Pertanian Jagung*

NINDITA PUSTHIKA AYU, CAHYADI NUGRAHA, KHURIA AMILA

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: ditapusthika@gmail.com

ABSTRAK

Komoditi jagung merupakan satu dari komoditi penting bagi bangsa Indonesia karena kegunaannya sebagai bahan pangan dan pakan ternak. Sistem ketahanan pangan untuk komoditi jagung merupakan sistem yang kompleks, ditandai dengan adanya interdependensi antar komponen sistem, dinamika dalam komponen sistem dan unsur ketidakpastian untuk beberapa hal seperti cuaca, kualitas tanah untuk tiap wilayah, dinamika harga jual jagung dan pengaruh alih fungsi lahan. Maka dari itu dibutuhkan teknik pemodelan dan simulasi untuk membantu melakukan analisis kebijakan yang terkait sistem ketahanan pangan jagung. Makalah ini menyajikan proses pengembangan model simulasi berbasis agen untuk sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung di Indonesia. Model yang disajikan bersifat generik. Model tersebut dapat digunakan untuk melakukan analisis kebijakan jika diterapkan pada suatu kondisi nyata atau data sesungguhnya.

Kata kunci: Ketahanan Pangan, Jagung, Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen

ABSTRACT

Commodity corn is one of the important commodities for Indonesia because of its use as food and animal feed. Food security system for commodity corn is a complex system, characterized by the interdependence between the components of the system, the dynamics of the system components and elements of uncertainty to a few things such as weather, soil quality for each region, the dynamics of the selling price of corn and the effect of land use change. Thus the modeling and simulation techniques are needed to help conduct policy analysis related to food security system of maize. This paper presents the development process of an agent-based simulation model for the system of food security in the maize agriculture sector in Indonesia. The model presented is generic. The model can be used to perform policy analysis when applied to a real condition or real data.

Keywords: Food Security, Corn, Agent-Based Modeling and Simulation

* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional.

1. PENDAHULUAN

1.1 Pengantar

Pangan merupakan komoditas strategis dan sangat penting bagi Indonesia. Selain sebagai kebutuhan dasar hidup, pangan juga merupakan sektor penting yang berperan dalam pembangunan negara. Berdasarkan paparan tersebut, ketahanan pangan merupakan hal krusial bagi negara Indonesia. Mengacu pada Undang-Undang Pangan No. 7 Tahun 1996, ketahanan pangan dapat didefinisikan sebagai kondisi terpenuhinya kebutuhan pangan bagi rumah tangga yang tercermin dari tersedianya pangan secara cukup, baik dari jumlah maupun mutunya, aman, merata dan terjangkau. Ketahanan pangan sendiri merupakan satu dari Agenda Riset Nasional 2010-2014.

Manfaat utama komoditi jagung hingga saat ini adalah sebagai pakan ternak terutama pada ternak unggas. Selain itu jagung juga merupakan salah satu alternatif pangan pokok di Indonesia. Jagung juga digunakan sebagai bahan baku industri makanan yang diolah menjadi kudapan atau tepung-tepungan. Melihat pentingnya komoditi jagung maka perlu diwujudkan ketahanan pangan untuk sektor pertanian jagung.

Sistem ketahanan pangan untuk sektor pertanian jagung merupakan sistem yang kompleks. Kompleksitas sistem ditandai dengan adanya interdependensi antar komponen sistem, adanya dinamika dalam komponen sistem dan adanya unsur probabilitas/ketidaktentuan untuk beberapa hal seperti cuaca, kualitas tanah untuk tiap wilayah, dinamika harga jual jagung dan pengaruh alih fungsi lahan.

Maka dari itu digunakan teknik pemodelan dan simulasi untuk membantu melakukan analisis dalam mengambil keputusan saat menghadapi masalah yang kompleks (North & Macal, 2007). Metode pemodelan simulasi yang digunakan adalah *Agent Based Modeling And Simulation* (ABMS) karena dibutuhkan analisis yang bersifat menyeluruh terhadap seluruh entitas penyusun sistem.

1.2 Identifikasi Masalah

Kebijakan yang tepat akan sangat mempengaruhi performansi sistem ketahanan pangan untuk sektor pertanian jagung. Diperlukan kebijakan yang tepat dalam menghadapi kondisi ini agar dihasilkan performansi sistem ketahanan pangan untuk komoditi jagung yang baik. Upaya untuk menghasilkan kebijakan yang tepat memerlukan alat bantu analisis dalam prosesnya. Maka karena kompleksitas sistem yang telah dijelaskan, teknik pemodelan dan simulasi merupakan sebuah alat bantu yang tepat untuk membantu melakukan analisis dalam mengambil keputusan.

Makalah ini membahas pengembangan model simulasi ABMS yang valid dan dapat menggambarkan sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung di Indonesia. Model yang dihasilkan bersifat generik dan bukan studi kasus sehingga model tersebut dapat digunakan untuk melakukan analisis kebijakan jika diterapkan pada suatu kondisi nyata atau data sesungguhnya.

2. STUDI LITERATUR

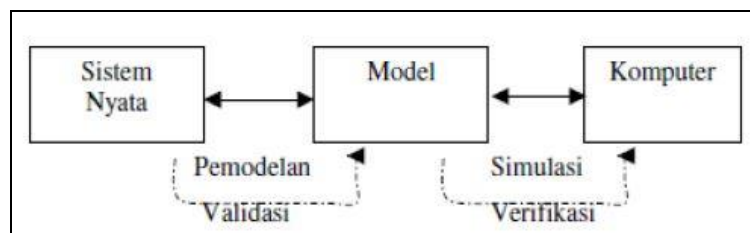
2.1 Budidaya Tanaman Jagung

Jagung termasuk tanaman yang tidak memerlukan persyaratan tanah yang khusus dalam penanamannya. Jagung dikenal sebagai tanaman yang dapat tumbuh di lahan kering, sawah

dan pasang surut asalkan syarat tumbuh yang diperlukan terpenuhi. Beberapa syarat tumbuh tanaman jagung antara lain tanah jenis Andosol, Latosol dan Gumosol dengan keasaman tanah antara 5.6–7,5, kebutuhan air sebanyak ± 2 liter per-hari, serta iklim tropis dengan suhu antara 27 – 32^o C (Purwono & Hartono, 2007)

2.2 Model dan Simulasi

Model adalah peta masalah atau prototipe dari sistem nyata. Simulasi adalah proses "eksekusi" model dengan perubahan dari waktu ke waktu. Model simulasi adalah seperangkat aturan seperti persamaan atau *flowchart* yang mendefinisikan bagaimana sistem yang dimodelkan akan berubah di masa depan berdasarkan kondisi saat ini (Borshev & Fillipov, 2004). Hubungan simulasi dan pemodelan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Simulasi dan Pemodelan

Terdapat beberapa pendekatan yang umum digunakan dalam pemodelan simulasi seperti *System Dynamics* (SD), *Discrete Event* (DE) dan *Agent Based* (AB). Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan *Agent Based*.

2.3 Agent Based Modeling and Simulation

ABMS adalah metode pemodelan simulasi dimana perilaku sistem ditentukan melalui perilaku individu-individu atau entitas-entitas penyusun sistem. Perilaku sistem global muncul sebagai hasil dari perilaku individual-individual yang memiliki aturan masing-masing (Borshchev & Fillipov, 2004). Beberapa cara memodelkan ABMS adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi para agen dan teori perilaku dari para agen.
2. Mengidentifikasi hubungan antar agen dan mencari teori tentang interaksi antar agen.
3. Mencari kebutuhan data antar agen yang berhubungan.
4. Memvalidasi model perilaku agen sebagai tambahan model keseluruhan.
5. Menjalankan model dan menganalisis *Output* dari model yang telah dibuat.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan metodologi sebagai berikut:

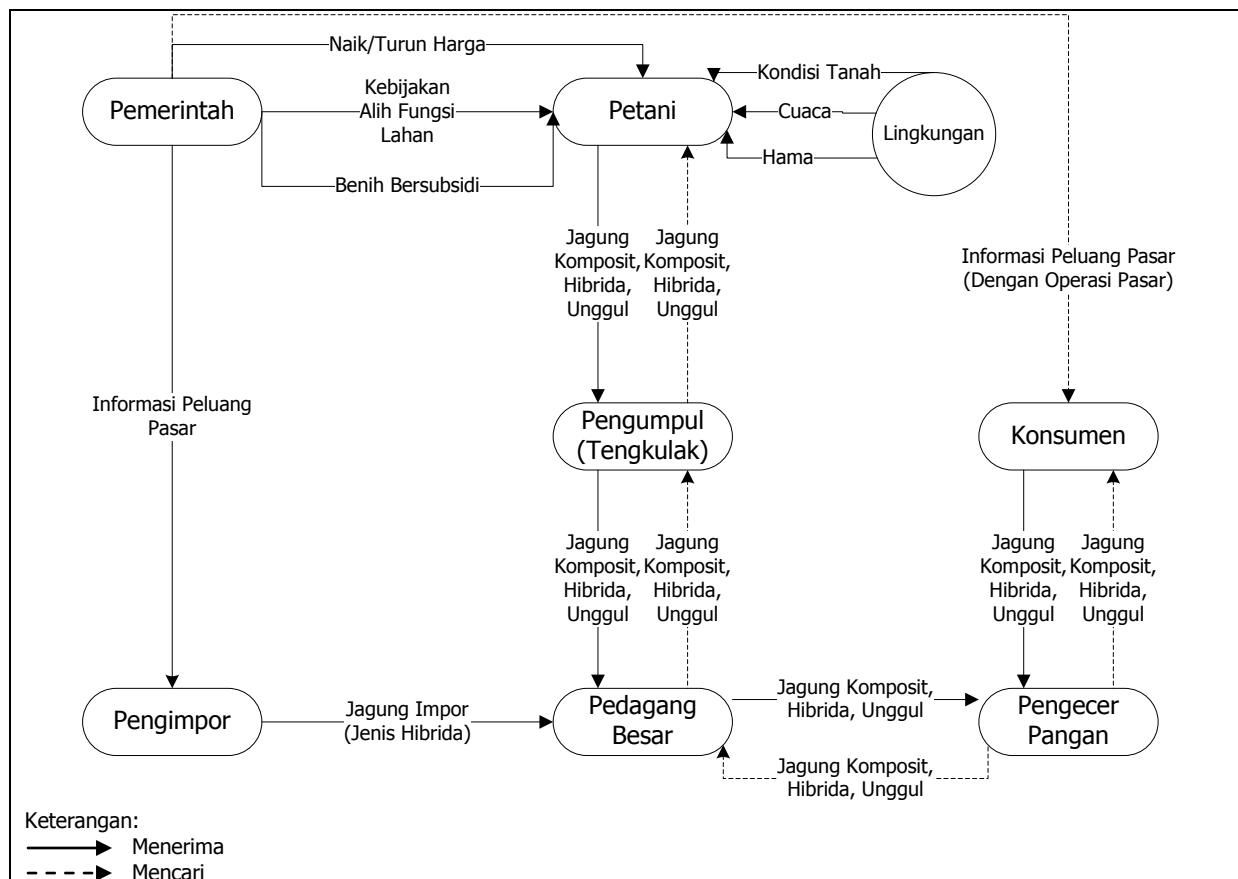
1. Tahapan Identifikasi Masalah
Pada tahap ini dilakukan identifikasi masalah yang ada pada sistem yang akan dimodelkan. Bahwa kebijakan yang tepat akan menghasilkan performansi sistem yang baik. Terdapat kebutuhan solusi terhadap permasalahan tersebut, maka digunakan teknik pemodelan simulasi sebagai alat bantu untuk melakukan analisis dalam upaya menghasilkan kebijakan yang tepat terkait sistem ketahanan pangan untuk sektor pertanian jagung.
2. Tahapan Studi Literatur
Studi literatur menghasilkan kumpulan materi mengenai tata cara serta urutan proses penanaman jagung, model dan simulasi, ABMS.

3. Tahapan Identifikasi Sistem
Tahap identifikasi sistem menghasilkan sejumlah perilaku antar pelaku sistem ketahanan pangan di sektor pertanian jagung. Bagaimana perilaku tersebut akan mempengaruhi satu sama lain dan mempengaruhi sistem ketahanan pangan di sektor pertanian jagung secara global.
4. Tahapan Penentuan *Output* Model dan Variabel-Variabel *Input Dalam Model*
Penentuan *Output* model dan variabel-variabel *input* bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan analisis dan menarik kesimpulan. Nilai yang digunakan sebagai *input* akan mempengaruhi jalannya simulasi. Setelah simulasi selesai, maka akan terdapat beberapa nilai *Output* yang menjadi bahan kajian analisis.
5. Tahapan Identifikasi Agen
Pada tahap ini dilakukan penentuan agen-agen manakah yang menjadi pelaku krusial dalam sistem yang disimulasikan. Perilaku dan interaksi tersebut akan digambarkan pada activity diagram untuk masing-masing agen. Beberapa agen yang menjadi pelaku pada sistem perekonomian jagung ini adalah agen petani, agen pengumpul (tengkulak), agen pemerintah, agen pedagang, agen pengecer, agen pengimpor dan agen konsumen.
6. Tahapan Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen
Pada tahap ini dilakukan penentuan atribut untuk masing-masing agen. Selain atribut setiap agen memiliki perilakunya masing-masing yang akan berpengaruh terhadap sistem.
7. Tahapan Penentuan Parameter Model
Penentuan parameter model adalah penentuan *input* beberapa nilai yang digunakan untuk menjalankan program seperti; waktu mulai dan waktu selesai. Nilai-nilai ini akan mempengaruhi jalannya model. Nilai yang digunakan pada penentuan parameter model sebagian didapatkan dari hasil wawancara, data hipotesis (asumsi) serta estimasi.
8. Tahapan Perancangan dan Implementasi Model
Pada tahap ini program simulasi dibuat dan diimplementasikan dalam bentuk program. Pemrograman dibuat menggunakan *software Microsoft Visual Basic 2008 (Vb .Net)* yang berikutnya diintegrasikan pada *Microsoft Excel 2010*.
9. Tahapan Pengujian Model dan Analisis
Validasi yang dilakukan terhadap model adalah validasi internal, yaitu dengan melihat perilaku dari setiap agen dan bagaimana interaksi tersebut berpengaruh pada dinamika sistem yang disimulasikan bukan dari ketepatan nilai yang dihasilkan. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan *extreme condition test*. Pengujian ini akan dinyatakan valid apabila model berperilaku sebagaimana mestinya walaupun nilai *input* yang diberikan bersifat ekstrim. Berikutnya, nilai *Output* model akan dikaji untuk dilakukan analisis model.
10. Tahapan Penarikan Kesimpulan dan Saran
Setelah dilakukan pengujian model dan analisis, selanjutnya didapatkan kesimpulan dari hasil simulasi model. Dari proses berjalannya simulasi, didapatkan saran-saran yang dapat diimplementasikan oleh pihak-pihak yang terkait.

4. PENGEMBANGAN MODEL

4.1 Identifikasi Sistem

Sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung memiliki banyak faktor-faktor yang saling mempengaruhi satu sama lain. Beberapa faktor yang memegang peranan penting pada sistem ini adalah petani, pengumpul, pedagang besar, pengecer, pengimpor, pemerintah dan konsumen. Interaksi antar komponen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Interaksi Antar Komponen Sistem

4.2 Penentuan *Output Model* dan Variabel-Variabel *Input* dalam Model

Variabel-variabel *input* merupakan variabel yang terkait dengan kebijakan pemerintah. Variabel-variabel *input* untuk model simulasi sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel *Input*

No	Variabel <i>Input</i>	Keterangan
1	Jumlah Benih Komposit Bersubsidi	Jumlah benih jenis komposit yang disubsidi oleh pemerintah
2	Jumlah Benih Hibrida Bersubsidi	Jumlah benih jenis hibrida yang disubsidi oleh pemerintah
3	Jumlah Maksimal Peralihan Fungsi Lahan Pertanian Jagung	Jumlah maksimal lahan pertanian jagung beralih menjadi fungsi lahan lain
4	Kapasitas Jumlah Impor per-Tahun	Jumlah maksimal jagung yang diimpor setiap tahun

Sedangkan *Output* model pada sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Output Model*

No	<i>Output Model</i>	Satuan
1	Jumlah Jagung Benih Komposit di Pasaran	Kg
2	Jumlah Jagung Benih Hibrida di Pasaran	Kg
3	Jumlah Jagung Benih Unggul di Pasaran	Kg
4	Harga Jual Jagung Benih Komposit di Pasaran	Rp/Kg
5	Harga Jual Jagung Benih Hibrida di Pasaran	Rp/Kg
6	Harga Jual Jagung Benih Unggul di Pasaran	Rp/Kg

4.3 Identifikasi Agen

Seperti telah dijelaskan pada tahap identifikasi sistem mengenai komponen-komponen sistem, maka agen-agen yang terlibat dalam sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung adalah agen petani, agen pengumpul, agen pedagang besar, agen pengecer, agen pengimpor, agen pemerintah dan agen konsumen. Agen konsumen merupakan agen agregat dimana sejumlah konsumen di satu wilayah diwakili oleh satu agen konsumen dengan atribut jumlah konsumen.

4.4 Identifikasi Atribut dan Perilaku Agen

Setiap agen memiliki atribut dan perilakunya masing-masing. Rekap atribut dan perilaku yang teridentifikasi untuk setiap agen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekap Atribut dan Perilaku untuk Setiap Agen

Agen	Petani	Pengumpul (Tengkulak)	Pedagang Besar	Pengecer Pangan	Pengimpor	Pemerintah	Konsumen
Jumlah Atribut	25	32	37	31	6	17	26
Jumlah Perilaku	8	4	5	4	1	3	8

Contoh identifikasi atribut dan perilaku agen pengimpor dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

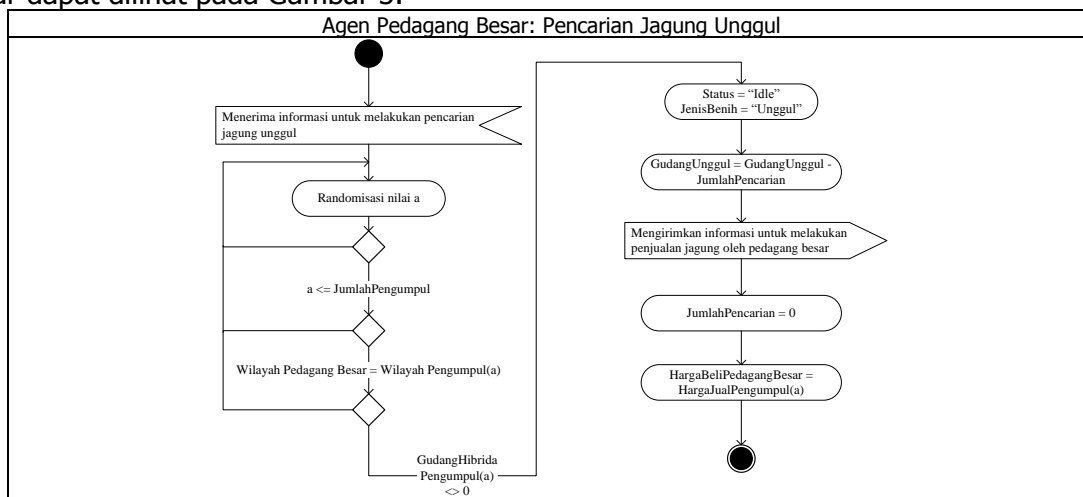
Tabel 4. Contoh Atribut untuk Agen Pengimpor

Atribut	Keterangan
Impor	Status apakah pengimpor akan melakukan impor atau tidak di periode tersebut
Jumlah Impor	Jumlah jagung yang diimpor dalam satu kali kegiatan impor
Kapasitas Impor	Kapasitas maksimal jumlah jagung yang diimpor dalam satu tahun
Akumulasi Impor	Akumulasi total jumlah jagung yang telah diimpor hingga periode waktu tertentu
Peluang	Besar peluang jumlah jagung yang dapat diimpor oleh pengimpor

Tabel 5. Contoh Perilaku untuk Agen Pemerintah

Perilaku	Keterangan
Operasi pasar	Operasi pasar dilakukan secara berkala dalam satuan periode tertentu. Setelah itu dapat ditentukan tindakan apa yang diambil pemerintah sebagai <i>feedback</i> hasil pengamatan pasar.
Penentuan Alih Fungsi Lahan	Lahan di suatu wilayah dapat beralih fungsi sewaktu-waktu berdasarkan keputusan pemerintah. Hal ini akan mempengaruhi jumlah produksi jagung pada periode simulasi tersebut.

Perilaku tersebut kemudian diterjemahkan kedalam *activity diagram*. Terdapat total 33 *activity diagram* untuk sistem ini. Contoh *activity diagram* untuk perilaku agen pedagang besar dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Activity Diagram Perilaku Pencarian Jagung Unggul

4.5 Penentuan Parameter Model

Parameter yang digunakan dalam model biasanya bersifat tetap (konstan). Contoh parameter dalam model dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Contoh Parameter Untuk Agen Petani

Keterangan	Komposit	Hibrida	Unggul	Satuan
Kebutuhan Benih	30	20	15	Kg/Ha
Kebutuhan Pupuk Urea	200	300	250	Kg/Ha
Kebutuhan Pupuk NPK	100	200	100	Kg/Ha
Kebutuhan Fungisida	60	20	0	Lt/Ha
Hasil Panen	5000	13000	15000	Kg/Ha
Biaya Oleh Tanah	5000000			Rp/Ha
Jumlah Benih Unggul	20000			Kg

Atribut dan perilaku agen serta parameter model secara lengkap dapat dilihat pada Ayu (2013).

4.6 Perancangan dan Implementasi Model

Setelah tahap identifikasi, selanjutnya dilakukan implementasi rancangan model dalam program simulasi. *Software* program yang digunakan adalah *Visual Basic .Net*. Proses pemrograman menggunakan konsep *object (class)*, walaupun belum sepenuhnya menggunakan konsep *Object Oriented Programming*. Seluruh agen yang teridentifikasi akan membentuk *class* masing-masing. Didalam *class* akan terdapat *sub-sub* yang merupakan perilaku agen pada *class* tersebut. Lalu variabel yang dideklarasikan merupakan atribut untuk agen pada *class* tersebut.

5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

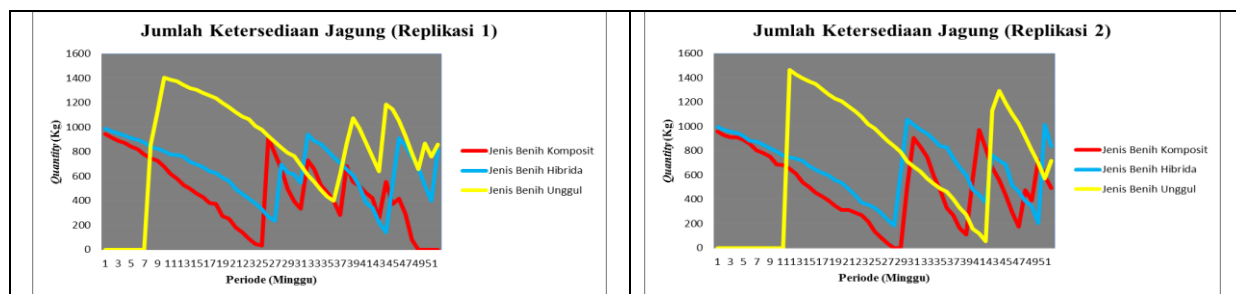
5.1 Pengujian Model

Pengujian model bertujuan untuk mengetahui apakah model tersebut valid atau tidak. Model akan dinyatakan valid apabila memiliki perilaku dan *Output* model yang logis. Pengujian model akan dilakukan dengan merubah variabel-variabel *input*. Perubahan variabel *input* ini akan dilakukan dalam beberapa skenario pengujian berbeda.

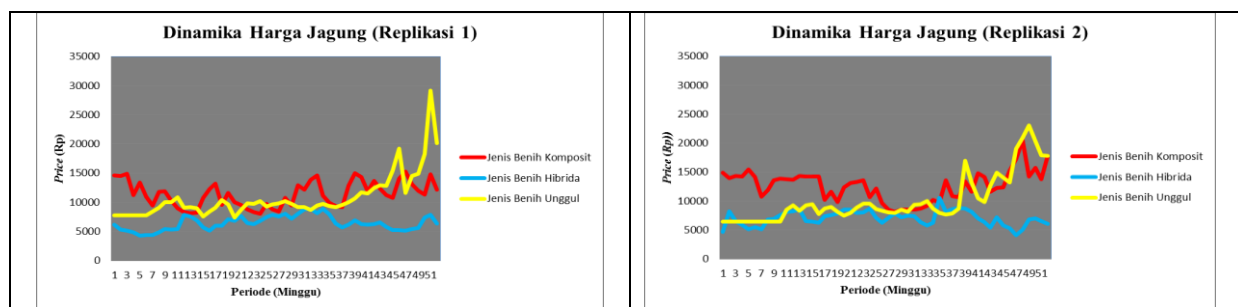
5.1.1 Pengujian Sensitivitas Model

Skenario pertama adalah pengujian model berdasarkan kondisi normal. Pengujian dengan skenario ini dilakukan dengan merubah *input random seed* yang menjadi acuan saat membangkitkan bilangan acak. Pengujian ini berulang hingga 5 replikasi, agar dapat terlihat perilaku model pada kondisi ketidakpastian yang berbeda.

Setelah diberi *input* maka akan dijalankan simulasi. Waktu simulasi untuk kedua replikasi tersebut adalah 365 hari dengan *time step* 1 (satu) hari. *Output* grafik jumlah ketersediaan jagung yang dihasilkan dari kedua replikasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Grafik Jumlah Ketersediaan Untuk Replikasi 1 dan Replikasi 2

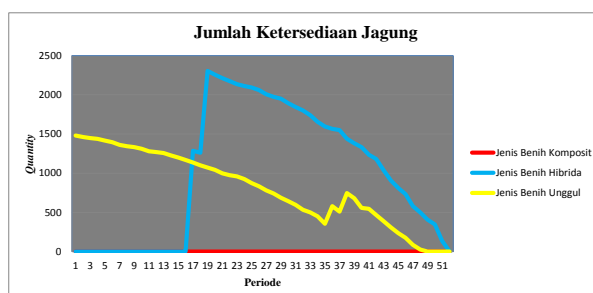


Gambar 7. Grafik Dinamika Harga Untuk Replikasi 1 dan Replikasi 2

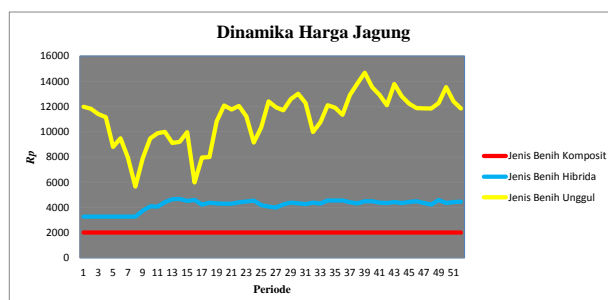
Berdasarkan *output* grafik untuk kedua replikasi diatas, dapat terlihat bahwa pola grafik adalah sama (tidak terpaut jauh antara satu sama lain). Selain itu, jika *output* simulasi untuk kedua replikasi tersebut dibandingkan dengan *output* tiga replikasi lain yang terdapat pada Lampiran-A dapat terlihat bahwa grafik-grafik tersebut memiliki pola data yang cenderung sama. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa model tidak sensitif terhadap perubahan nilai *random seed* yang di-*inputkan*.

5.1.2 Pengujian Model Berdasarkan Kondisi Tidak Terdapat Benih Bersubsidi

Pada skenario ini pengujian akan dilakukan dengan menghilangkan subsidi benih untuk kedua jenis benih. Perilaku petani yang akan diuji adalah penentuan jenis benih. Setelah diberi *input* dan dijalankan maka *output* grafik jumlah ketersediaan jagung yang dihasilkan dari kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Grafik Jumlah Ketersediaan Untuk Kondisi Tidak Terdapat Benih Bersubsidi



Gambar 9. Grafik Dinamika Harga Untuk Kondisi Tidak Terdapat Benih Bersubsidi

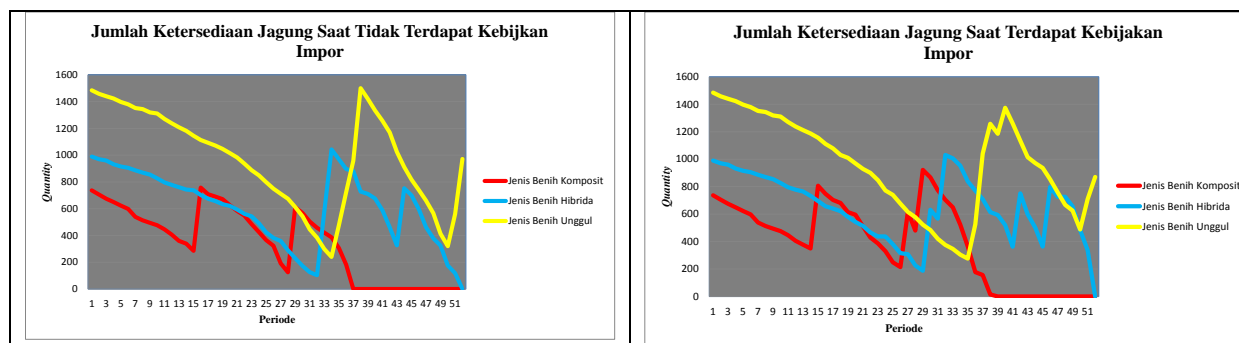
Berdasarkan hasil *output* grafik di atas, dapat terlihat bahwa jagung jenis benih komposit (ditunjukkan oleh garis berwarna merah) sama sekali tidak ada di pasaran. Hal ini terjadi karena tidak tersedianya benih jenis komposit bersubsidi. Jagung jenis benih hibrida masih beredar di pasaran karena jagung impor yang masuk adalah jagung jenis benih hibrida. Sehingga jagung tersebut masih tersedia di pasar namun dengan harga impor. Sedangkan jagung jenis benih unggul masih dapat ditanam oleh petani karena jenis benih tersebut tidak

termasuk ke dalam jenis benih yang disubsidi oleh Pemerintah. Karena *Output* model menghasilkan pola yang sesuai dan logis maka model dapat dikatakan valid.

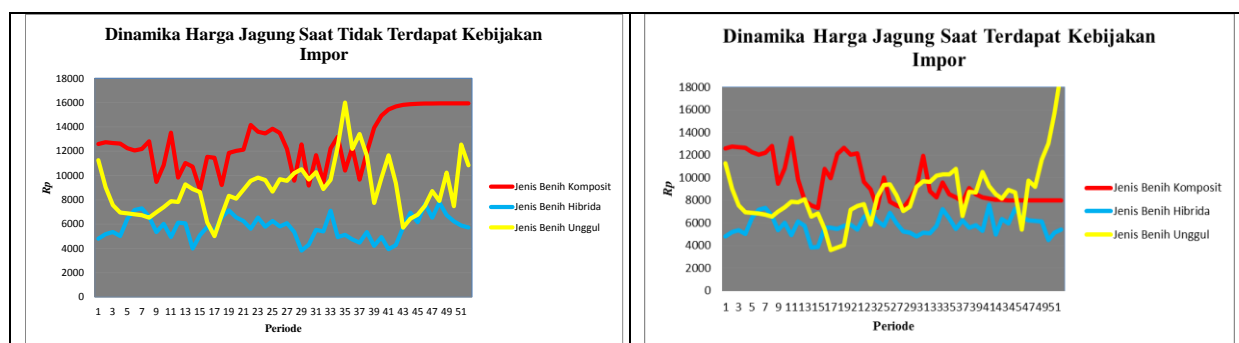
5.2 Analisis

Analisis yang dilakukan terhadap program akan dilakukan pada contoh penggunaan program simulasi ini. Contoh penggunaan dilakukan dengan mengubah variabel-variabel *input* model (variabel keputusan), yaitu variabel yang berpengaruh cukup besar terhadap jalannya simulasi.

Skenario contoh penggunaan yang dilakukan adalah dengan membandingkan dua alternatif yaitu alternatif terdapat kebijakan impor dan tidak terdapat kebijakan impor. Berdasarkan hasil contoh penggunaan model dengan membandingkan dua alternatif maka dapat dianalisis bahwa model dapat digunakan untuk mengambil sebuah keputusan dengan terlebih dahulu melihat akibat yang ditimbulkan dari hasil simulasi. Alternatif keputusan adalah alternatif-alternatif nilai *input* yang akan diberikan pada program simulasi. Setelah melakukan beberapa percobaan simulasi, maka hasil simulasi tersebut dapat dibandingkan dan dicari alternatif mana yang terbaik untuk dipilih. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Grafik Jumlah Ketersediaan Untuk Kondisi 1 dan 2



Gambar 11. Grafik Dinamika Harga Untuk Kondisi 1 dan 2

Dari *output* grafik hasil simulasi, dapat dilihat bahwa harga jual jagung komposit (garis berwarna merah) dan hibrida (garis berwarna merah) saat terdapat kebijakan impor lebih stabil dibandingkan harga jual jagung komposit dan hibrida saat tidak terdapat kebijakan impor. Berdasarkan perbandingan tersebut maka terpilih alternatif mengadakan kebijakan impor karena menghasilkan hasil yang lebih baik dari segi dinamika harga jual jagung di pasaran.

6. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengembangan model dan analisis, maka terdapat beberapa hasil kesimpulan yaitu telah dihasilkan suatu model simulasi berbasis agen yang valid dan dapat menggambarkan sistem ketahanan pangan untuk sektor pertanian jagung. Model dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pembuatan kebijakan atau keputusan oleh perancang kebijakan jika disertakan dengan kondisi nyata (data nyata).

6.2 Saran

Saran yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya mengenai pengembangan model berbasis agen untuk sistem ketahanan pangan pada sektor pertanian jagung adalah melakukan penerapan dan pengujian menggunakan data nyata agar dapat dihasilkan *Output* yang mewakili kondisi sesungguhnya, mengurangi asumsi-asumsi yang digunakan pada model ini seperti belum terlibatnya faktor ekonomi seperti suku bunga dan degradasi tanah agar model dapat menghasilkan *Output* yang lebih akurat jika dijalankan dengan periode waktu simulasi yang panjang.

REFERENSI

- Ayu, N. P., 2013, *Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen untuk Sistem Ketahanan Pangan Pada Sektor Pertanian Jagung*, Tugas Sarjana, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Borshev, A. dan Filippov, A., 2004, *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling*, Oxford, England.
- North, M. J. dan Macal, C. M., 2007, *Managing Business Complexity*, Oxford University Press, New York.
- Purwono dan Hartono, R., 2007, *Bertanam Jagung Unggul*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sterman, J., 2000, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World*, McGraw Hill, USA.