

# Model Dinamika Sistem Untuk Industrialisasi Bahan Bakar Nabati Bioetanol Berbasis Ubi Kayu\*

GIGIH DWI LIS UTOMO, CAHYADI NUGRAHA, RISPIANDA

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung

Email: gigihutomo@gmail.com

## ABSTRAK

*Kebutuhan bahan bakar terbarukan menjadi alasan pengembangan bioetanol berbasis ubi kayu di Indonesia. Pemerintah menargetkan pada tahun 2025 pemanfaatan sebesar 15% dari konsumsi bensin premium yaitu berkisar 6,28 juta kilo liter. Makalah ini berisi tentang pengembangan model dinamika sistem untuk menganalisis kebijakan dalam industrialisasi bahan bakar bioetanol dari bahan ubi kayu. Struktur dan pengaruh yang terjadi antara supply and demand dapat disimulasikan sehingga harga jual yang diinginkan, besar subsidi serta kebijakan lainnya dapat dievaluasi sehingga industrialisasi bioetanol berbasis ubi kayu dapat dilaksanakan dengan baik. Selanjutnya model tersebut dievaluasi terhadap alternatif-alternatif kebijakan yang mungkin dilakukan untuk mendukung pencapaian target yang direncanakan.*

**Kata kunci:** *Dinamika Sistem, Bioetanol, Ubi kayu*

## ABSTRACT

*The need of renewable fuel has become a reason for cassava-based bioethanol development in Indonesia. The government has a target to increase the use of bioethanol in 2025 in amount of 15% from the use of standard-gasoline (premium), it is about 6,28 million kilo liter. This paper presents the development of system dynamics model to policy analyze of the Industrialization of bioethanol-fuel from cassava. The structures and the influences between the supply and demand can be simulated; therefore, the expected price, the amount of subsidy and the other principles can be evaluated. Therefore, the cassava-based bioethanol Industrialization can be well-implemented. Afterwards, the model is evaluated of feasible policy alternatives to support the achievement of the planned target.*

**Key word:** *System Dinamycs, Bioethanol, Cassava*

---

\* Makalah ini merupakan ringkasan 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

Pemerintah Indonesia mulai gencar melakukan program energi terbarukan dalam menanggapi krisis energi yang terjadi, hal tersebut terbukti dalam peraturan pemerintah No.70/2009 tentang konversi energi. Salah satu energi terbarukan adalah bioetanol ( $C_2H_5OH$ ). Salah satu tanaman penghasil bioetanol adalah ubi kayu (*Manihot esculenta*). Penggunaan ubi kayu sebagai bahan baku pembuatan bioetanol memiliki potensi karena ubi kayu merupakan jenis tanaman yang fleksibel untuk ditanam pada kondisi geografis yang berbeda. Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) mencatat pada tahun 2011 Indonesia memiliki lahan ubi kayu seluas 1.184.696 Ha dengan jumlah produksi sebanyak 24.044.025 Ton, jumlah ini belum termasuk lahan yang berpotensi ditanami ubi kayu namun masih belum diutilisasikan. Pemerintah Indonesia telah membuat *roadmap* pemanfaatan bioetanol skala nasional dengan target pada tahun 2025 pemanfaatan bioetanol sebesar 15% dari konsumsi premium yaitu berkisar 6,28 juta kilo liter (Tim Nasional Bahan Bakar Nabati (Timnas BBN), 2007).

Rhomadoni (2012) melakukan penelitian pembuatan model matematik untuk pengembangan bahan bakar nabati berbasis bioetanol di Indonesia. Pada penelitiannya belum dimasukkan unsur biaya yang ada dan juga umpan balik yang dapat terjadi antara variabel. Seperti pengaruh besarnya kebutuhan ubi kayu terhadap besarnya lahan yang diperlukan untuk menanam ubi kayu. Penelitian ini melakukan pengembangan berdasar model matematik yang dibuat Rhomadoni (2012) dengan penambahan unsur biaya untuk mengetahui perkiraan harga campuran bioetanol dengan bahan bakar bensin setara premium yang akan dijual, dan menambahkan umpan balik dalam komponen sistem yang mungkin memiliki pengaruh positif maupun negatif.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Dalam upaya merancang sistem yang baik dan untuk mengetahui pengaruh umpan balik dalam pengembangan bahan bakar nabati berbasis bioetanol antar komponen-komponen sistem diperlukan sebuah model simulasi. Simulasi dilakukan karena perancangan kebijakan memerlukan sebuah analisis secara menyeluruh dan jangka panjang dengan melibatkan berbagai unsur dalam sistem yang saling terkait dan berumpan balik. Salah satu bentuk model simulasi adalah model dinamika sistem.

Berasal dari penelitian Romadhoni (2012) yang telah diungkapkan sebelumnya, dibutuhkan suatu model yang lebih kompleks untuk memasukan umpan balik yang terjadi antar variabel dalam sistem dan untuk merancang skenario kebijakan yang lebih representatif dengan pendekatan dinamika sistem. Dinamika sistem adalah metode untuk meningkatkan pembelajaran dalam sistem yang kompleks (Sterman, 2000).

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1 Bahan Bakar Alternatif

Status minyak dunia tahun 2000 menunjukkan besarnya produksi dan cadangan produksi minyak bumi yang ada dan jumlah kemungkinan penemuan cadangan baru. Berdasarkan data tersebut Dewan Energi Dunia menyatakan pemakaian energi didunia cenderung naik sampai 50% pada tahun 2020 dan Indonesia memiliki cadangan bahan bakar fosil berupa minyak bumi yang diperkirakan hanya akan mencukupi kebutuhan konsumsi selama 18 tahun, sekitar 50 tahun untuk gas bumi, dan sekitar 150 tahun untuk batu bara tanpa adanya penemuan cadangan baru (Timnas BBN, 2007).

Keterbatasan cadangan minyak bumi yang ada saat ini menjadikan perlunya dilakukan penelitian dan pembuatan sumber energi alternatif untuk menggantikan ketergantungan terhadap minyak bumi. Contoh sumber energi alternatif yang mulai gencar dilakukan adalah energi gas, pembuatan energi batu bara cair, dan penggunaan teknologi nuklir sebagai sumber energi dengan bahaya radiasi yang besar hingga pengembangan kembali energi angin, air, matahari, dan gelombang air laut dan terdapat pula pengembangan bahan bakar nabati yang menggunakan bahan baku hasil dari industri pertanian dan perkebunan contohnya adalah bioetanol (Timnas BBN, 2007).

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dari tanaman yang mengandung pati atau gula seperti ubi kayu, tebu dan jagung yang dilanjutkan dengan proses destilasi untuk mendapatkan bioetanol dengan kemurnian 95-96%. Pada tingkat kemurnian ini belum dapat digunakan sebagai bahan bakar yang dicampur dengan bensin sehingga perlu dilanjutkan proses dehidrasi untuk menghasilkan tingkat bioetanol yang dapat digunakan sebagai campuran bensin sebesar 99,5% yang disebut sebagai *Fuel Grade Ethanol* (FGE) (Prihardana, *et. all* 2007).

## **2.2 Kebijakan Energi Terbarukan**

Pengaruh kebijakan subsidi dan intervensi pemerintah terhadap biofuel dijelaskan oleh JICA dalam Handoko, *et. all* (2012) dimana Pemerintah dapat membuat kebijakan untuk mengoptimalkan energi alternatif yang meliputi: (i) Pengurangan subsidi untuk energi konvensional sehingga energi konvensional menjadi lebih mahal dan permintaan berkurang (ii) Mendorong konservasi energi pada sisi permintaan sehingga permintaan menjadi meningkat (iii) Mendukung difusi energi terbarukan ke pasar sehingga harga energi terbarukan menjadi lebih murah dan permintaan meningkat.

## **2.3 Model Dinamika Sistem**

Dinamika sistem pertama kali diperkenalkan oleh Jay Foresster pada tahun 1950-an. Dalam pembuatan dinamika sistem terdapat umpan balik yang menghubungkan variabel dalam sistem itu sendiri yang menjadikan dinamika sistem disebut kompleks, bukan karena kekomplekan variabel dalam sistem. Jenis umpan balik dalam dinamika sistem terdiri dari umpan balik positif dan umpan balik negatif (Stermann 2000).

Stermann (2000) mengemukakan prinsip-prinsip untuk membuat model dinamika sistem antara lain: (i) keadaan yang diinginkan dan keadaan yang sebenarnya terjadi harus dibedakan di dalam model, (ii) Adanya struktur *stock and flow* dalam kehidupan nyata harus dapat direpresentasikan di dalam model, (iii) Aliran-aliran yang berbeda secara konseptual di dalam model harus dibedakan, (iv) Hanya informasi yang benar-benar tersedia bagi aktor-aktor di dalam sistem yang harus digunakan dalam pemodelan keputusannya, (v) struktur kaidah pembuatan keputusan di dalam model haruslah sesuai dengan praktek-praktek manajerial, (vi) Model haruslah *robust* dalam kondisi-kondisi ekstrim.

## **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi dalam penelitian yang dilakukan terbagi dalam empat tahap yang meliputi: tahap pendahuluan, tahap pengembangan model, tahap pengujian dan analisis model, serta kesimpulan dan saran. Penjelasan setiap tahapan adalah sebagai berikut:

**I. Tahap Pendahuluan:** Pada tahap ini proses awalnya adalah melakukan rumusan masalah dan mengidentifikasi masalah yang ingin diselesaikan. Setelah masalah teridentifikasi selanjutnya adalah studi literatur. Studi literatur merupakan proses

pendalaman teori yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan berkaitan dengan bahan bakar alternatif, model simulasi, dan dinamika sistem.

- II. Tahap Pengembangan Model:** Pada tahap pengembangan model simulasi meliputi tahap pembuatan diagram *causal loop* dan *stock and flow*. Pembuatan diagram *causal loop* perlu dilakukan untuk memberi gambaran pada pembuatan diagram *stock and flow*. Selanjutnya setelah diagram *stock and flow* selesai dibuat dilakukan proses penurunan rumus matematik yang digunakan ke dalam diagram *stock and flow* dan melakukan verifikasi dimensi pada rumus matematik.
- III. Tahap Pengujian dan Analisis Model:** Pada tahap ini melakukan Pengujian model untuk mengetahui apakah model yang dibuat dapat digunakan sebagai representasi sederhana dari dunia nyata. Pada pengujian model menggunakan uji *dimensional consistency*, dan *extreme condition*.
- IV. Tahap Penggunaan Model dan Analisis:** Setelah model dinyatakan valid maka proses selanjutnya adalah menggunakan model untuk dilakukan pengembangan alternatif-alternatif kebijakan dan melakukan analisis untuk menentukan alternatif kebijakan yang menghasilkan solusi terbaik dan selanjutnya adalah melakukan analisis sensitivitas yang diikuti dengan analisis model secara keseluruhan.
- V. Kesimpulan dan Saran:** Pada tahap ini menampilkan beberapa kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan memberikan beberapa saran yang dapat digunakan untuk memperbaiki penelitian pada penelitian selanjutnya.

## 4. PENGEMBANGAN MODEL

### 4.1 Identifikasi Sistem

Sistem yang akan dimodelkan berkaitan dengan pengembangan industri bioetanol berbahan baku ubi kayu untuk dialokasikan sebagai bahan bakar yang dicampurkan dengan bensin premium. Pemanfaatan bioetanol untuk digunakan sebagai bahan campuran premium sudah direncanakan sejak tahun 2005 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

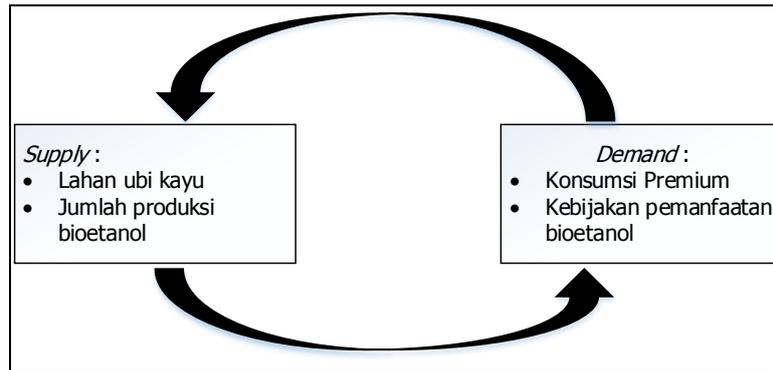
**Tabel 1. Roadmap Pemanfaatan Bioetanol Nasional (Timnas BBN, 2007)**

ROADMAP PEMANFAATAN BIOETANOL NASIONAL		
Tahun 2005-2010	Tahun 2011-2015	Tahun 2016-2025
Pemanfaatan bioetanol sebesar 5% dari konsumsi premium sebesar 1,48 juta kl	Pemanfaatan bioetanol sebesar 10% dari konsumsi premium sebesar 2,78 juta kl	Pemanfaatan bioetanol sebesar 15% dari konsumsi premium sebesar 6,28 juta kl

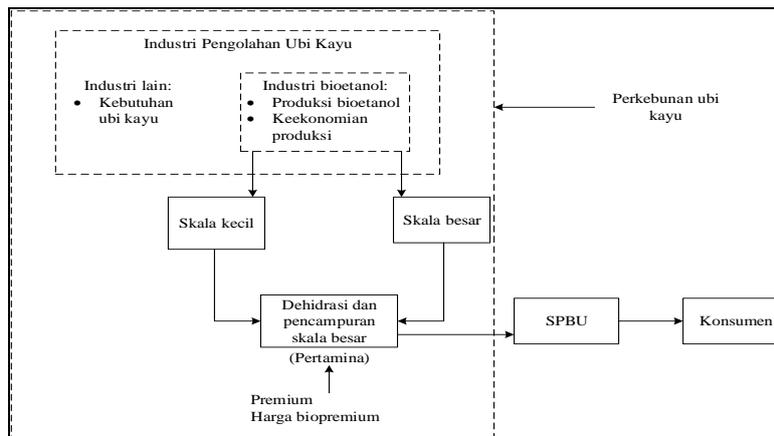
Pemerintah sebenarnya pada tahun 2006 sudah menjual campuran bioetanol jenis FGE sebesar 5% dengan premium 95% (Christina, 2012). Pada tahun 2009 produksi dihentikan dikarenakan mengalami kekurangan *supply* bioetanol.

### 4.2 Pengembangan Model

Konsep model yang dibuat adalah berupa keseimbangan antara permintaan dan penyediaan yang saling memiliki pengaruh antar keduanya seperti pada Gambar 1. Skema konseptual dari model yang akan dibuat meliputi dari ubi kayu, industri pengolahan ubi kayu, dan Pertamina yang diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 1. Konsep Dasar Pembuatan Model**

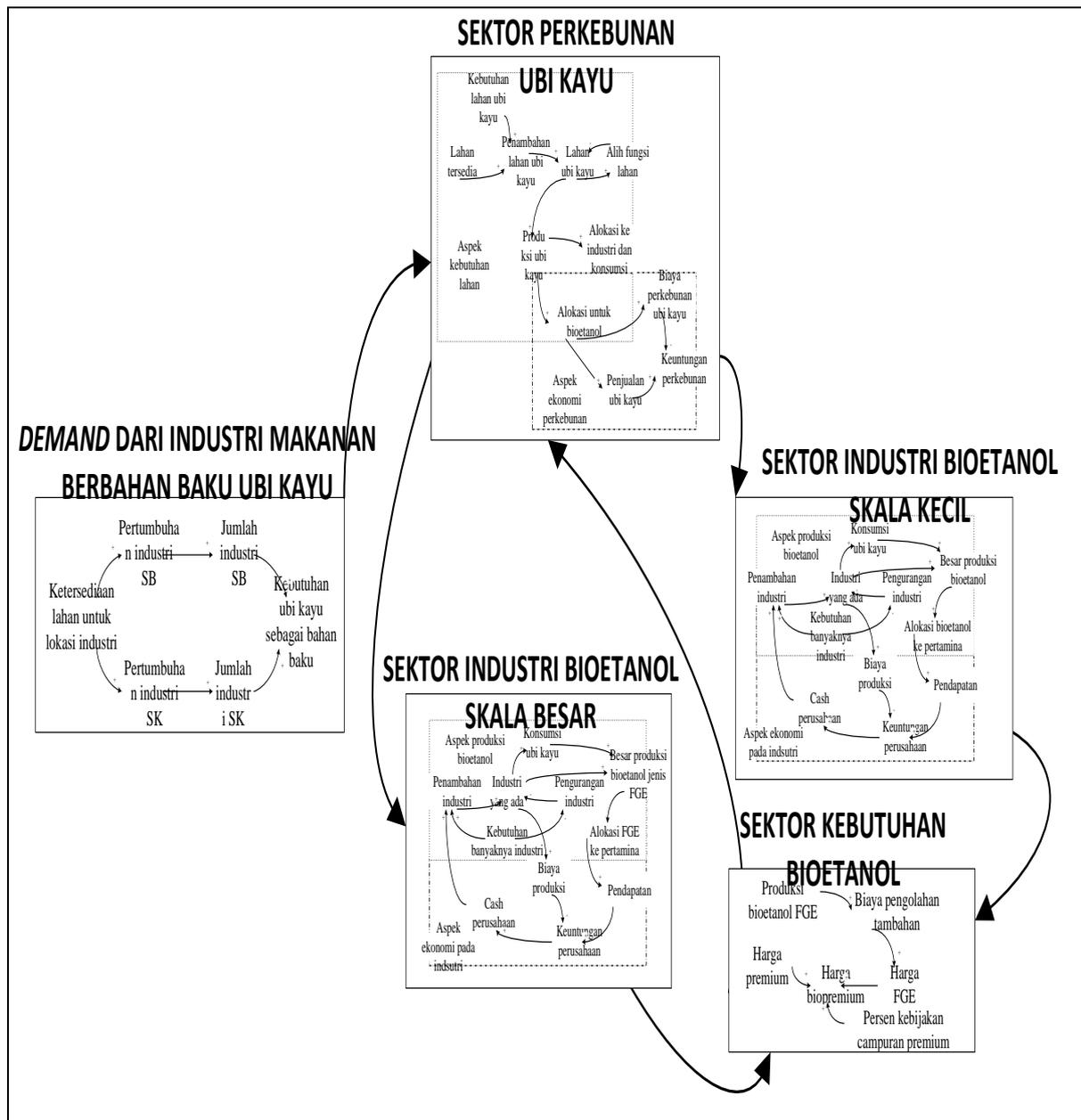


**Gambar 2. Skema Konseptual Sistem**

### 4.3 Pembuatan Diagram *Causal Loop*

Diagram *causal loop* merupakan sebuah alat yang penting dalam mempresentasikan struktur pengaruh dan umpan balik antar komponen-komponen dalam sebuah sistem. Diagram *causal loop* yang dikembangkan terdiri dari 6 diagram antar sektoral dan 11 diagram sektoral. Diagram *causal loop* antar sektoral menggambarkan hubungan yang terjadi antar sektor dalam sistem sedangkan untuk lebih detailnya terdapat pada diagram *causal loop* sektoral yang tidak ditampilkan dalam makalah ini. Diagram *causal loop* antar sektoral dapat dilihat pada Gambar 3. Diagram *causal loop* secara lengkap dapat dilihat pada Utomo (2013).

Model Dinamika Sistem Untuk Pengembangan Bahan Bakar Nabati Bioetanol Berbasis Ubi Kayu



Gambar 3. Diagram Causal Loop Antar Sektoral

4.4 Pembuatan Diagram Stock and Flow

Diagram stock and flow yang dibuat terdiri dari 5 modul yang meliputi modul kebutuhan lahan ubi kayu, modul industri makanan berbahan baku ubi kayu, modul Industri bioetanol skala besar, modul bioetanol skala kecil, dan modul kebutuhan bioetanol. Pembuatan diagram stock and flow dilakukan pada software Powersim Studio 2005. Contoh diagram stock and flow yang ditampilkan dalam makalah ini dapat dilihat pada Gambar 4.



#### 4.5 Parameterisasi Data

*Input* data yang digunakan pada penelitian adalah data yang diambil serta diolah dari Badan Pusat Statistik (BPS), buku literatur, data-data yang dipublikasikan oleh institusi pemerintah, dan penelitian sebelumnya. Contoh dari parameterisasi data dapat dilihat pada tabel 2. Total terdapat 63 parameter yang berada dalam model.

**Tabel 2. Contoh Input Data yang Digunakan**

NAMA KOMPONEN DIAGRAM	JENIS VARIABEL	NILAI	SATUAN	SUMBER DATA
Faktor alih fungsi hutan untuk pengguna lain	Constant	0,001	$\frac{\%}{yr}$	Asumsi dari Rhomadoni (2012)
Faktor alih fungsi lahan untuk pengguna lain	Constant	0,1	$\frac{\%}{yr}$	Asumsi
Luas hutan produksi yang dapat dikonversi	Inisialisasi Level	17.924.534,81	Ha	Kementerian Kehutanan
Luas lahan kritis yang dapat dikonversi	Inisialisasi Level	27.290.000	Ha	Timnas BBN

### 5. PENGUJIAN, PENGGUNAAN, DAN ANALISIS MODEL

Pengujian model dilakukan untuk menguji apakah model yang dihasilkan berdasarkan mental model sesuai dengan keadaan pada dunia nyata atau tidak, meskipun untuk 100% sesuai dengan dunia nyata merupakan hal yang mustahil karena model hanya sebagai representasi sederhana dari sistem nyata. Penggunaan model adalah menggunakan model awal yang telah valid dengan menambahkan alternatif-alternatif kebijakan yang dapat mendukung tujuan pembuatan model dan menentukan alternatif kebijakan dengan *output* terbaik yang selanjutnya dilakukan analisis dari model yang dihasilkan.

#### 5.1 Pengujian Model

Pengujian model dilakukan dengan proses validasi untuk menentukan apakah kondisi dalam sistem dapat mewakili keadaan dalam sistem nyata. Proses validasi yang dilakukan meliputi *dimensional consistency*, dan *extreme conditions test*. *Dimensional consistency* sudah dilakukan pada proses verifikasi dimensi. *Extreme Condition* dilakukan dengan mengubah parameter *input* pada nilai yang ekstrim.

Pengujian *extreme conditions* dilakukan karena perilaku sistem pada kondisi ekstrim lebih mudah diduga secara model mental. Skenario dan parameter yang dibuat dalam melakukan *extreme conditions test* dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Skenario dan Parameter Uji *Extreme Conditions***

No	Skenario	PARAMETER		
		Luas lahan awal (Ha)	Luas lahan berpotensi (Ha)	Produksi ubi kayu (kg/Ha/yr)
0	Kondisi acuan	1.183.047	8.971.946	12.500
1	Produksi ubi kayu ekstrim rendah	1.183.047	8.971.946	1.250
2	Produksi ubi kayu ekstrim tinggi	1.183.047	8.971.946	125.000
3	Lahan awal ubi kayu ekstrim rendah	118.305	8.971.946	12.500
4	Lahan awal ubi kayu ekstrim tinggi	11.830.470	8.971.946	12.500
5	Lahan berpotensi ekstrim rendah	1.183.047	-	12.500

Skenario 1 jumlah produksi FGE pada akhir tahun simulasi 97,83 liter dan luas lahan ubi kayu 1.599.814 hektar dengan presentasi terpenuhi kebutuhan 0%, kondisi ini berbalikan dengan skenario 2 dimana jumlah produksi FGE pada akhir tahun simulasi sebesar 4.004 juta liter dan luas lahan ubi kayu 1.137.796 hektar dengan presentasi terpenuhi kebutuhan 96,66%. Pada skenario 3 jumlah produksi FGE pada akhir tahun simulasi 2.051 juta liter dan luas lahan ubi kayu 1.354.036 hektar dengan presentasi terpenuhi kebutuhan 49,50%, sedangkan pada lahan awal ekstrim tinggi jumlah produksi dan persen terpenuhi sama dengan skenario 2 dengan luas lahan ubi kayu mencapai 11 juta hektar. Pada kondisi tidak ada lahan berpotensi hanya mampu memenuhi kebutuhan 49,40% dan cenderung berkurang tiap tahunnya Karena tidak ada pembukaan lahan ubi kayu baru.

Kondisi acuan sendiri menghasilkan *output* jumlah produksi FGE di akhir tahun simulasi 3.865 juta liter dan luas lahan ubi kayu 2.242.809 dengan presentasi terpenuhi kebutuhan 93,29%. Berdasarkan perbandingan antara kondisi skenario terhadap kondisi acuan, hasil *output* dari kondisi skenario yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perilaku model logis dengan model mental sehingga model sudah valid secara perilaku.

## 5.2 Penggunaan Model Untuk Simulasi Kebijakan

Pengembangan alternatif kebijakan dalam penelitian ini mengubah nilai *input* yang dikendalikan oleh pengambil keputusan, meliputi: kebijakan alokasi pemberian subsidi, kebijakan pembukaan lahan baru oleh pemerintah, dan kebijakan pengembangan pihak swasta. Model dijalankan untuk waktu simulasi awal tahun 2014 sampai awal tahun 2026.

### 1. Kebijakan pemberian subsidi

Kebijakan pemberian subsidi ini dilakukan untuk menentukan alokasi subsidi yang terbaik dengan besar subsidi disesuaikan dengan harga gasohol agar mendekati harga premium saat ini 4.500 rupiah. Hasil *output* model di akhir tahun simulasi dari kebijakan pemberian subsidi dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Hasil Kebijakan Pemberian Subsidi**

Alternatif Kebijakan	Harga Jual Gasohol E-5 (Rupiah)	Harga Jual Gasohol E-10 (Rupiah)	Harga Jual Gasohol E-25 (Rupiah)	Subsidi Yang Dikeluarkan (Juta rupiah)
Tanpa Subsidi	9.383	9.265	8.913	0
Subsidi pada premium 5.000	4.632	4.765	5.163	217.202.057
Subsidi pada gasohol 4.500	4.882	4.765	4.413	212.876.764
Subsidi pada bioetanol 17.700	8.497	7.495	4.488	68.419.988
Subsidi pada gasohol 2.800 dan bioetanol 6.800	6.242	5.785	4.413	158.742.298

Kebijakan subsidi pada gasohol dan bioetanol merupakan kebijakan terbaik dengan rentang harga yang cukup jauh dan subsidi yang dikeluarkan lebih sedikit dibandingkan subsidi pada premium dan gasohol. Sedangkan subsidi pada bioetanol memberikan *output* terbaik tetapi besar subsidi yang dikeluarkan lebih besar dari harga jual bioetanol.

### 2. Kebijakan pembukaan lahan baru oleh pemerintah

Kebijakan ini untuk menentukan apakah pemerintah akan membuka lahan baru dan besarnya atau pembukaan lahan baru hanya berdasarkan *cash* perkebunan. Hasil kebijakan pembukaan lahan baru oleh pemerintah dapat dilihat pada Tabel 5. Kebijakan pembukaan lahan baru ini dilakukan pemerintah diawal tahun terjadi

kekurangan lahan ubi kayu. Besar pembukaan lahan tiap tahunnya oleh pemerintah bergantung dari jumlah kekurangan lahan ubi kayu.

**Tabel 5. Hasil Kebijakan Pembukaan Lahan Baru Oleh Pemerintah**

Alternatif Kebijakan	Luas lahan ubi kayu (Ha)	Persentase bioetanol terpenuhi	Cash perkebunan (Milyar rupiah)
Membuka lahan 350.000 Ha	2.242.809	93,29	77.400
Membuka lahan 800.000 Ha	2.248.996	91,82	92.800
Pemerintah tidak membuka lahan	2.245.967	92,73	56.500

Pada pembukaan lahan 800.000 hektar persen terpenuhinya kebutuhan bioetanol lebih kecil dari 350.000 hektar karena pada awal tahun simulasi pembukaan lahan oleh pemerintah lebih besar yang menjadikan kapasitas diawal tahun simulasi sangat melebihi kebutuhan. Karena kebutuhan sudah terpenuhi, ditahun itu tidak terjadi penambahan kapasitas yang mengakibatkan terjadi gap yang cukup besar ketika kapasitas sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat. Hal sama terjadi pada pembukaan lahan 350.000 hektar tetapi kemampuan pemenuhan kebutuhan lebih konsisten di akhir tahun simulasi karena diawal tahun kapasitas yang ada melebihi kebutuhan tetapi tidak begitu besar sehingga penyesuaian kapasitas pada akhir tahun simulasi lebih baik dan *cash* perkebunan lebih kecil karena kemampuan penambahan kapasitas secara mandiri dengan mengandalkan *cash* perkebunan yang ada lebih baik.

3. Kebijakan pengembangan pihak swasta  
Kebijakan ini dilakukan pemerintah untuk menentukan apakah akan memberi kesempatan kepada pihak swasta untuk ikut memproduksi bioetanol atau tidak. Hasil dari kebijakan pengembangan pihak swasta dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6 . Hasil Kebijakan Pembukaan Lahan Baru Oleh Pemerintah**

Alternatif kebijakan	Jumlah produksi bioetanol (ribu liter)	Harga jual bioetanol FGE (Rupiah)	Persen bioetanol terpenuhi
Mengembangkan pihak swasta	3.865.536	7.153,33	93,92
Tidak mengembangkan pihak swasta	3.865.510	7.153,30	93,29

Berdasarkan *output* yang dihasilkan dari kebijakan tersebut maka alternatif kebijakan mengembangkan pihak swasta merupakan alternatif terbaik karena persentase terpenuhinya kebutuhan bioetanol menjadi lebih besar sedangkan harga jual bioetanol menjadi lebih besar tetapi tidak signifikan.

### 5.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat pengaruh-pengaruh yang terjadi apabila keadaan dari kondisi awal berubah. Pada penelitian ini skenario yang dilakukan dalam menganalisis sensitivitas meliputi perubahan pada penggunaan kendaraan yang sudah didesain khusus, lahan hutan dan lahan kritis tersedia, dan alokasi premium untuk gasohol.

Pada penggunaan kendaraan yang sudah didesain khusus nilai yang akan diubah adalah mengalami kenaikan 5% dan 10% tiap tahunnya dimulai pada tahun 2020. Parameter

penggunaan kendaraan yang sudah didesain khusus memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap *output* model simulasi dimana pada akhir tahun simulasi perubahan parameter sebesar 5% dan 10% menjadikan persen bioethanol terhadap bensin menjadi naik sebesar 4,69% dan 9,26%.

Pada lahan kritis dan lahan hutan yang tersedia nilai yang akan diubah adalah mengalami penurunan 20% dan 40%. Parameter lahan kritis dan lahan hutan tersedia tidak memiliki pengaruh yang signifikan karena produksi bioethanol tidak berubah dan perbedaan lahan berpotensi tersedia pada akhir tahun simulasi hanya mengalami penurunan sebesar 1,25% untuk penurunan 20% dari kondisi awal, sedangkan pada penurunan 40% hanya mengalami penurunan sebesar 1,33% dari kondisi awal.

Pada alokasi premium untuk gasohol nilai parameter yang akan diubah adalah lebih sedikit dan lebih banyak 20%. Parameter alokasi premium untuk gasohol tidak memiliki pengaruh yang signifikan karena perubahan produksi hanya berkisar antara lebih sedikit 0,8% dan lebih banyak 0,8%, sedangkan luas lahan berpotensi pada akhir tahun lebih besar 1,05% pada kondisi alokasi premium lebih sedikit 20%, sedangkan pada alokasi premium lebih banyak 20% perubahan luas lahan berpotensi mengalami penurunan 0,94% dari kondisi awal.

#### **5.4 Analisis Pemilihan Kebijakan**

Kebijakan pemberian subsidi pada bioethanol dan gasohol, kebijakan pembukaan lahan baru ubi kayu oleh pemerintah sebesar 350.000 hektar, kebijakan pihak swasta merupakan kebijakan yang memberikan nilai *output* terbaik di akhir tahun simulasi. Nilai *output* yang dihasilkan yaitu, harga gasohol E-5, E-10, dan E-25 sebesar 6.242, 5.785, dan 4.413 dengan pengeluaran subsidi 158.742.298.000, serta presentase kebutuhan bioethanol terpenuhi sebesar 93,29 persen.

Kebijakan tersebut tetap menjadi kebijakan yang terbaik meskipun beberapa parameter diubah. Terdapat parameter yang perlu diperhatikan dalam kebijakan ini, yaitu penggunaan jumlah kendaraan yang sudah didesain khusus sehingga dapat menggunakan Gasohol E-25 karena parameter tersebut memiliki pengaruh yang sensitiv terhadap *output* model yang dihasilkan.

## **6. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1 Kesimpulan**

Dalam makalah ini disajikan hasil pengembangan model dinamika sistem yang dapat digunakan untuk melakukan analisis kebijakan dalam penerapan bahan bakar nabati bioethanol berbasis ubi kayu. Perilaku model yang dihasilkan dapat merepresentasikan keadaan pada sistem nyata mengenai penerapan bahan bakar nabati bioethanol berbasis ubi kayu. Model yang dihasilkan valid secara perilaku. Kebijakan subsidi dilakukan pada subsidi bioethanol dan gasohol. Pemerintah mengembangkan pihak swasta dalam industri bioethanol. pemerintah merancang kebijakan untuk menyediakan lahan untuk pembukaan lahan baru dan pemerintah membuka lahan baru seluas 350.000 hektar. Berdasar data yang terdapat pada model, pada alternatif kebijakan yang terbaik target pemanfaatan bioethanol pada tahun 2025 sebesar 6,28 juta kilo liter tidak tercapai tetapi mendekati angka tersebut yaitu sebesar 4,69 juta kilo liter.

### **6.2 Saran**

Pengembangan model dengan detail dan lingkup sistem masih mungkin untuk dikembangkan. Struktur pengaruh umpan balik yang terjadi masih mungkin dikembangkan

sebagai contohnya adalah pengaruh pertumbuhan industri bioetanol berbasis ubi kayu dan perkebunan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional, populasi, dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Saran selanjutnya adalah penggunaan data yang real pada setiap parameter. Melibatkan *stakeholders* dalam pembuatan model misalnya adalah melibatkan pemerintah khususnya kementerian ESDM, kementerian perindustrian, kementerian pertanian, serta kementerian kehutanan, Pertamina, pengusaha, pengembang bioetanol, dan petani perkebunan ubi kayu.

## REFERENSI

Christina, B., (2012). *Pengembangan BBN Terkendala Bahan Baku*. [Online]. Tempo online. Available: <http://id.berita.yahoo.com/pengembangan-bbn-terkendala-bahan-baku-145758591--finance.html> [2012, November].

Handoko, H., dkk. (2012). *Pemodelan Sistem Dinamik Ketercapaian Kontribusi Bioediesel Dalam Bauran Energi Indonesia 2025*. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Prihandana, R., dkk. (2007). *Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: Agromedia.

Rhomadoni, D. A., (2012). *Analisis Kebijakan Menggunakan Pemodelan Matematika Untuk Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Bioetanol Dari Ubi Kayu*. Tugas Sarjana. Institut Teknologi Nasional, Bandung.

Sterman, J. D., (2000). *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, United States of America: Irwin McGraw-Hill.

Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati (Timnas BBN)., (2007). *Bahan Bakar Nabati*. Jakarta: Eka Tjipta Foundation.

Utomo, G. D. L., (2013). *Model Dinamika Sistem Untuk Industrialisasi Bahan Bakar Nabati Bioetanol Berbasis Ubi Kayu*. Tugas Sarjana. Institut Teknologi Nasional, Bandung.