

Model Dinamika Sistem untuk Analisis Kebijakan Pengembangan Biodiesel *Jatropha Curcas* di Indonesia*

Yodi Nurdiansyah, Cahyadi Nugraha, Rispianda

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

Email: yodinurdiansyah@gmail.com

ABSTRAK

*Kebutuhan terhadap sumber energi terbarukan bahan bakar nabati mendasari pengembangan biodiesel berbasis minyak *Jatropha* di Indonesia. Pemerintah menargetkan penggunaan biodiesel sebanyak 20% dari penggunaan solar (51 milyar liter) yaitu sebesar 10,22 juta kilo liter pada tahun 2025. Penelitian ini berisi pengembangan suatu model dinamika sistem untuk menganalisis kebijakan pengembangan industri biodiesel *Jatropha*. Struktur dan perilaku dari sistem yang kompleks dapat disimulasikan sehingga pengaruh kebijakan pemerintah berupa subsidi, pajak dan kewajiban pencampuran solar-biodiesel dapat diketahui. Artikel penelitian ini menyajikan alternatif kebijakan yang dapat dilakukan untuk mencapai target penggunaan biodiesel tersebut berdasarkan model dinamika sistem yang dikembangkan.*

Kata kunci: *biodiesel, minyak jarak pagar, dinamika sistem*

ABSTRACT

*The need for renewable energy sources of biofuel is underlying the development of biodiesel based on *Jatropha* oil in Indonesia. The Government is targeting the use of biodiesel as much as 20% of the use of petrodiesel (51 billion liters), amounting to 10.22 million kiloliters in 2025. This research contains the development of a system dynamics model to analyze the biodiesel industry *Jatropha* development policy. The structure and behavior of complex systems can be simulated in order to understand the effect of government policies such as subsidies, taxes and mandate of diesel-biodiesel blending. This paper presents a study of alternative policies that can be done to achieve the target usage of biodiesel based on the developed system dynamics model.*

Keywords: *biodiesel, jatropha oil, system dynamics*

* 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

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia (ESDM, 2006) cadangan minyak bumi Indonesia hanya sekitar 9 milyar barrel, dengan tingkat produksi minyak mentah 500 juta barrel per tahun, maka diperkirakan cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu dua puluh tiga tahun (Hambali, 2008).

Sebelum terjadi *doomsday* – krisis energi yang sangat parah, Pemerintah Indonesia telah mengantisipasi dengan berupaya menggalakkan program konservasi dan difusi energi terbarukan Bahan Bakar Nabati. Melalui payung hukum Inpres No.6 Tahun 2006 dan Perpres No.1 Tahun 2006, dibentuk Timnas Pengembangan BBN yang membuat *roadmap* dan *blueprint* pengembangan bahan bakar nabati (BBN) sampai tahun 2025.

Minyak solar mendominasi 40% penggunaan BBM di Indonesia (ESDM, 2011) ternyata dapat disubstitusi/di difusikan dengan BBN biodiesel. Di Indonesia sumber bahan baku biodiesel berasal dari biji jarak pagar (*Jatropha curcas*) dan kelapa sawit, namun karena kelapa sawit merupakan komoditas pangan untuk minyak goreng, pemilihan bahan baku biodiesel dari jarak pagar lebih prospektif karena dapat difokuskan penggunaannya untuk biodiesel.

Sebagai industri baru yang akan bersaing dengan bahan bakar minyak bumi (BBM), industri biodiesel sangat memerlukan dukungan pemerintah Indonesia dalam bentuk kebijakan proaktif yang bisa menjamin keberlangsungan dan keberhasilan pencapaian target Biodiesel sebagaimana tertulis didalam *roadmap* BBN.

Dalam paper tentang studi kebijakan insentif terhadap sektor privat geothermal di Indonesia, *Japan International Cooperation Agency* (JICA, 2009) menyebutkan tentang pengaruh subsidi, pajak, konservasi dan difusi energi terbarukan terhadap kesetimbangan harga dalam kurva permintaan-penawaran. Kebijakan yang sama akan menjadi faktor utama dalam keberhasilan Industri Biodiesel *Jatropha curcas*.

1.2 Identifikasi Masalah

Untuk merancang dan mengetahui pengaruh umpan balik antar komponen – komponen sistem dalam sistem industri biodiesel *Jatropha curcas* yang kompleks diperlukan sebuah model simulasi dinamika sistem. Model simulasi dinamika sistem dapat digunakan oleh perancang kebijakan sebagai alat analisis yang menyeluruh dan jangka panjang dengan melibatkan berbagai unsur dalam sistem yang saling terkait dan berumpan balik.

2. STUDI LITERATUR

2.1. *System Thinking*

Persoalan yang menjadi semakin kompleks menyebabkan pergeseran paradigma berfikir dan konsep penyelesaian masalah dengan menggunakan konsep holistik (menyeluruh) dan kreativitas (Jackson, 2003). Perubahan yang terjadi pada paradigma berfikir reaktif, snapshot, linear, parsial, hirarkial dan struktur menjadi antisipatif, dinamis, kausalitas, kontekstual, network dan berbasis proses (Wirjatmi, 2010)

2.2. Dinamika sistem

Dinamika sistem adalah suatu metodologi untuk mempelajari dan mengelola sistem umpan balik yang kompleks dan telah diaplikasikan ke semua jenis situasi, Umpan balik menyatakan suatu situasi X mempengaruhi Y dan pada gilirannya Y mempengaruhi X melalui sejumlah

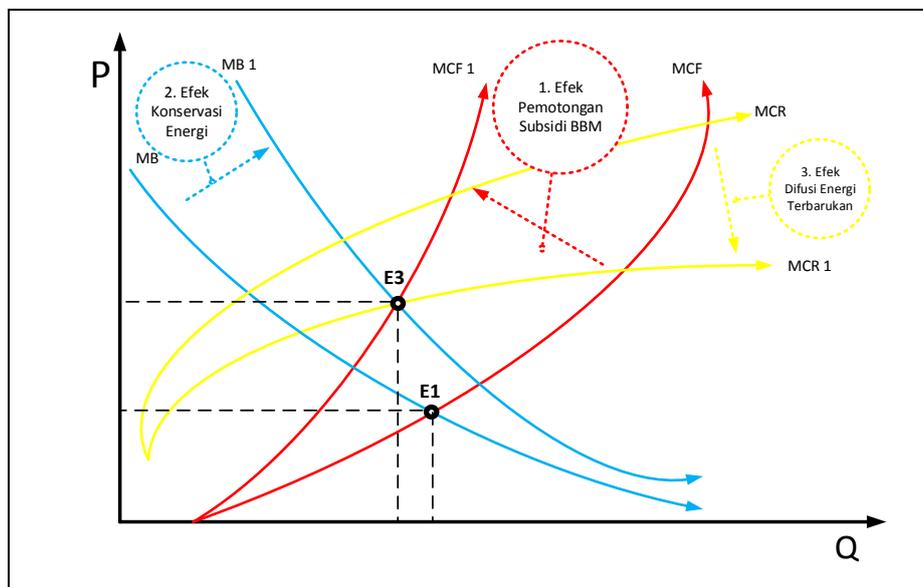
hubungan sebab akibat yang terintegrasi untuk bisa memprediksi perilaku sistem. (Sterman, 2000)

Dalam dinamika sistem, sebuah sistem selalu terkait dengan dua aspek, yaitu (i) Struktur (*structure*) merupakan unsur pembentuk fenomena dan pola keterkaitan antar unsur tersebut, dan (ii) Perilaku (*behavior*) adalah perubahan suatu besaran/variabel dalam suatu kurun waktu tertentu, baik kuantitatif maupun kualitatif.

Beberapa penelitian tentang kebijakan pengembangan industri biodiesel yang dibuat dengan model dinamika sistem diantaranya dibuat oleh Handoko (2012) dan Hidayatno et.al (2011). Fokus bahan baku biodiesel yang digunakan pada kedua penelitian diatas adalah kelapa sawit, berbeda dalam penelitian ini yang menggunakan jarak pagar sebagai bahan baku utamanya.

2.3. Kebijakan Subsidi dan Energi Terbarukan

Pengaruh kebijakan subsidi dan intervensi pemerintah terhadap biofuel dijelaskan oleh JICA (2009) dalam kurva penawaran-pemintaan terhadap harga dan stok pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Insentif dan Bauran Energi Terbarukan (Sumber: JICA, 2009)

Dari model JICA diatas dapat dibuat 3(tiga) skenario kebijakan dari uraian diatas, yaitu; (1) kurangi subsidi terhadap solar, kondisi ini akan menyebabkan harga naik, sementara kuantitas permintaan berkurang. Kurva MCF akan bergeser ke MCF1. (2) mendorong konservasi energi pada sisi permintaan. Kuantitas produksi biodiesel akan naik dan kurva MB akan bergeser ke MB1, (3) mendorong difusi energi terbarukan ke pasar dan memberi insentif untuk produk biodiesel agar harganya menjadi lebih terjangkau. Sehingga kurva MCR bergeser ke MCR1. Kombinasi kebijakan ini akan mendorong alokasi sumber daya yang optimal pada titik E3.

2.4. Biodiesel

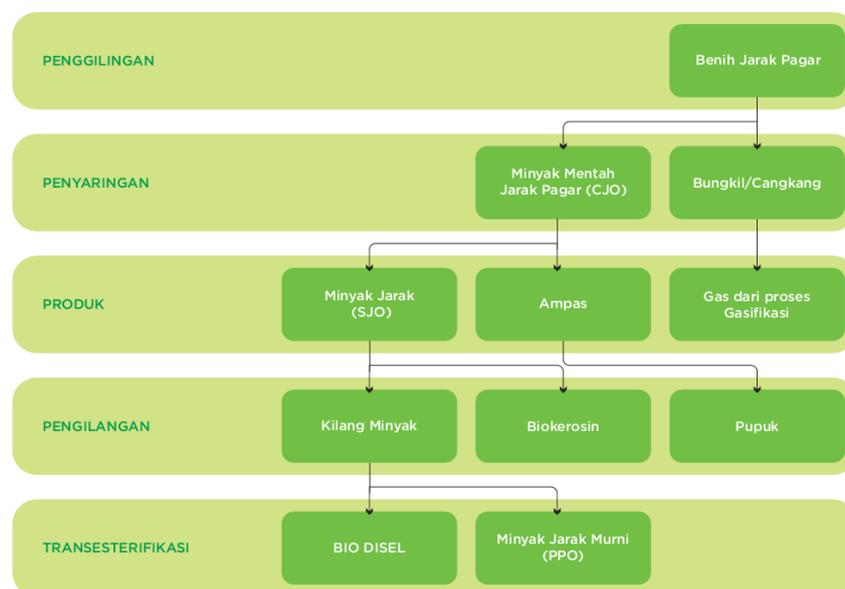
Biodiesel didefinisikan sebagai metil/etil ester yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau hewan dan memenuhi kualitas untuk digunakan sebagai bahan bakar di dalam mesin diesel (Wijaya, 2011). Campuran 20% biodiesel di dalam petroleum diesel atau dikenal sebagai minyak diesel B-20 adalah bahan bakar yang dapat digunakan secara langsung oleh mesin diesel tanpa mengubah konstruksi mesin (Raharjo, 2007). Konsep

penggunaan biodiesel sudah dimulai pada tahun 1895 saat Dr. Rudolf Christian Karl Diesel mengembangkan mesin diesel. Pada saat itu, bahan bakar yang dipakai berasal dari perasan biji kacang dan *hemp*s (Syarief,2004).

2.5. JARAK PAGAR

Jarak pagar (*Jatropha curcas.L*) adalah salah satu tanaman perdu yang tidak dimanfaatkan untuk pangan. Tanaman ini telah dikenal di Indonesia sejak sekitar tahun 1942 ketika Jepang masuk ke Indonesia. Tanaman jarak memiliki keistimewaan karena tidak memerlukan banyak perawatan dan mampu hidup di lahan yang kritis. Tanaman jarak mulai berbuah pada usia 8 bulan dan produksi maksimum bijinya sebesar 7 ton/ha/tahun didapat ketika berumur 5 tahun (Tim Nasional Pengembangan BBN, 2006).

Proses pengolahan biji jarak menjadi biodiesel dijelaskan pada Gambar 2



Gambar 2. Proses Pengolahan Biji Jarak Menjadi Biodiesel (Sumber: PNPM Mandiri, 2011)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini terbagi kedalam empat bagian utama yaitu: tahapan pendahuluan dan studi literatur, tahapan pengembangan model, tahap pengujian dan analisis model serta kesimpulan dan saran. Penjelasan setiap tahapan adalah sebagai berikut:

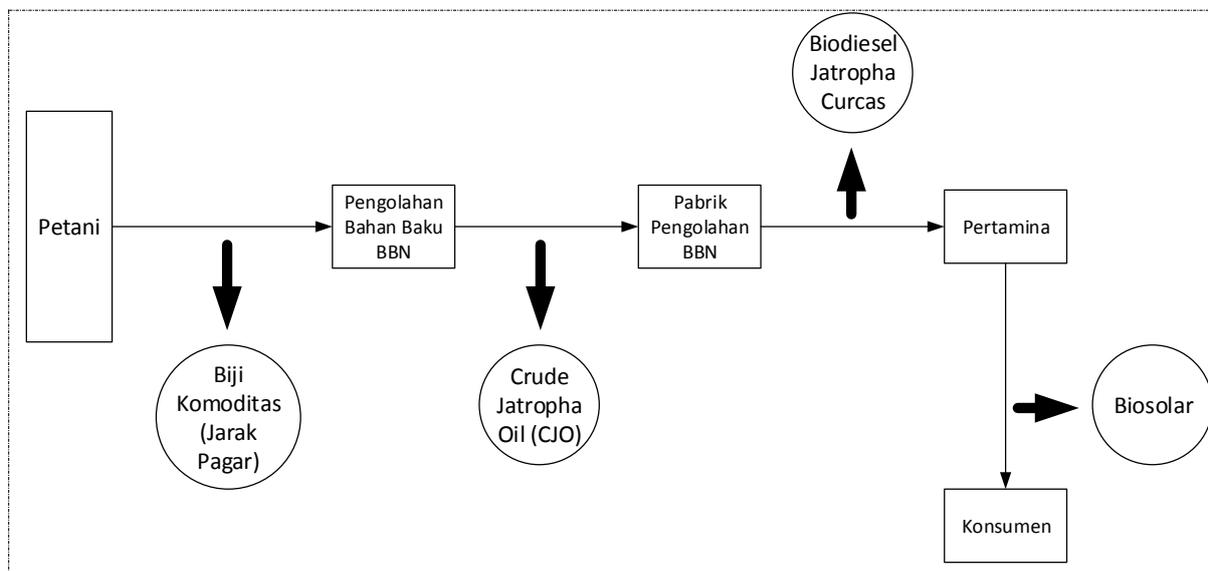
- I. **Tahapan Pendahuluan:** Pada tahapan ini dilakukan identifikasi permasalahan industri biodiesel *Jatropha Curcas* Indonesia, dan identifikasi variabel-variabel yang berpengaruh pada industri Biodiesel ini. Kemudian tahap selanjutnya adalah studi literatur, yaitu melakukan pendalaman materi dan teori teori berkaitan dengan Industri Biodiesel *Jatropha Curcas* ini.
- II. **Tahapan Pengembangan Model:** Pada tahapan ini dilakukan perancangan pengembangan model dari referensi model biodiesel (Handoko, 2012). Langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi sistem yang berupa alur proses bisnis biodiesel Indonesia, kemudian dibuat model konseptual yang bersifat modular. Tahapan selanjutnya adalah membuat *Causal Loop Diagrams*. Pada tahap

ini hubungan antar variabel sistem tampak dengan jelas. Langkah selanjutnya adalah mengembangkan *Stock Flow Diagrams* dengan menggunakan software Powersim Studio 2005, melakukan penurunan rumus matematika dan verifikasi dimensi. Tahap terakhir dari pengembangan model adalah parameterisasi model.

- III. **Tahapan Pengujian Model:** Pada tahap ini, model diuji kesesuaian perilakunya dengan mental model (logika). Uji yang dilakukan meliputi *Behavior Reproduction*, *Behavior Anomaly*, *Extreme Conditions* (Sterman, 2000).
- IV. **Tahapan Penggunaan Model dan Analisis:** Tahap analisis diawali dengan pengembangan alternatif kebijakan yang melibatkan variabel kebijakan subsidi, pajak dan mandat campuran solar-biodiesel. Setelah didapatkan alternatif terbaik, model dianalisis dengan analisis sensitivitas untuk melihat perubahan nilai *output* terhadap perubahan nilai parameter tertentu.
- V. **Tahapan Perumusan Kesimpulan dan Saran:** Pada tahapan ini, dipaparkan beberapa kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan beserta beberapa saran yang dapat digunakan pada penelitian-penelitian selanjutnya.

4. PENGEMBANGAN MODEL

Pengembangan model diawali dengan menganalisis alur proses bisnis biodiesel (Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati, 2006) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

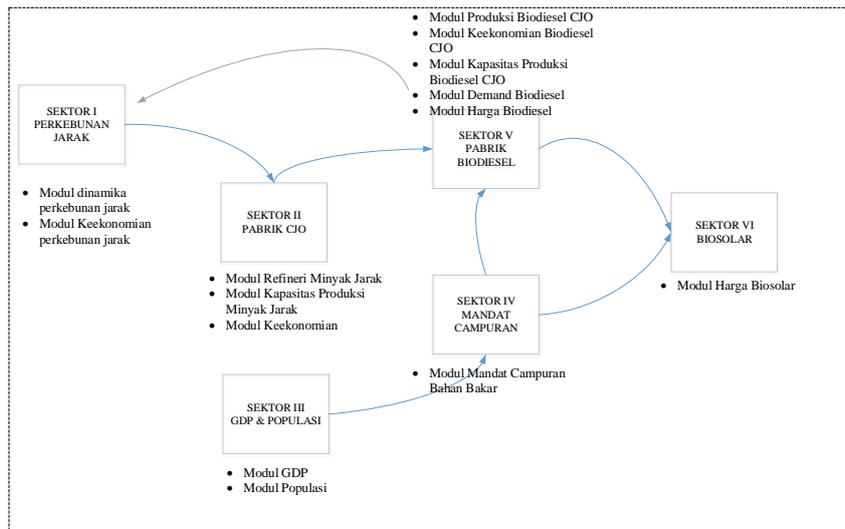


Gambar 3. Alur Proses Bisnis Biodiesel (Sumber: Timnas BBN, 2006)

Alur proses bisnis biodiesel diawali dari sektor perkebunan yang menghasilkan biji jarak untuk dikirim ke pabrik *refinery*, diolah menjadi CJO untuk dikirim ke Pabrik Biodiesel. Di pabrik biodiesel, CJO dikonversi menjadi Biodiesel melalui proses trans-esterifikasi.

4.1. Pengembangan Model Konseptual

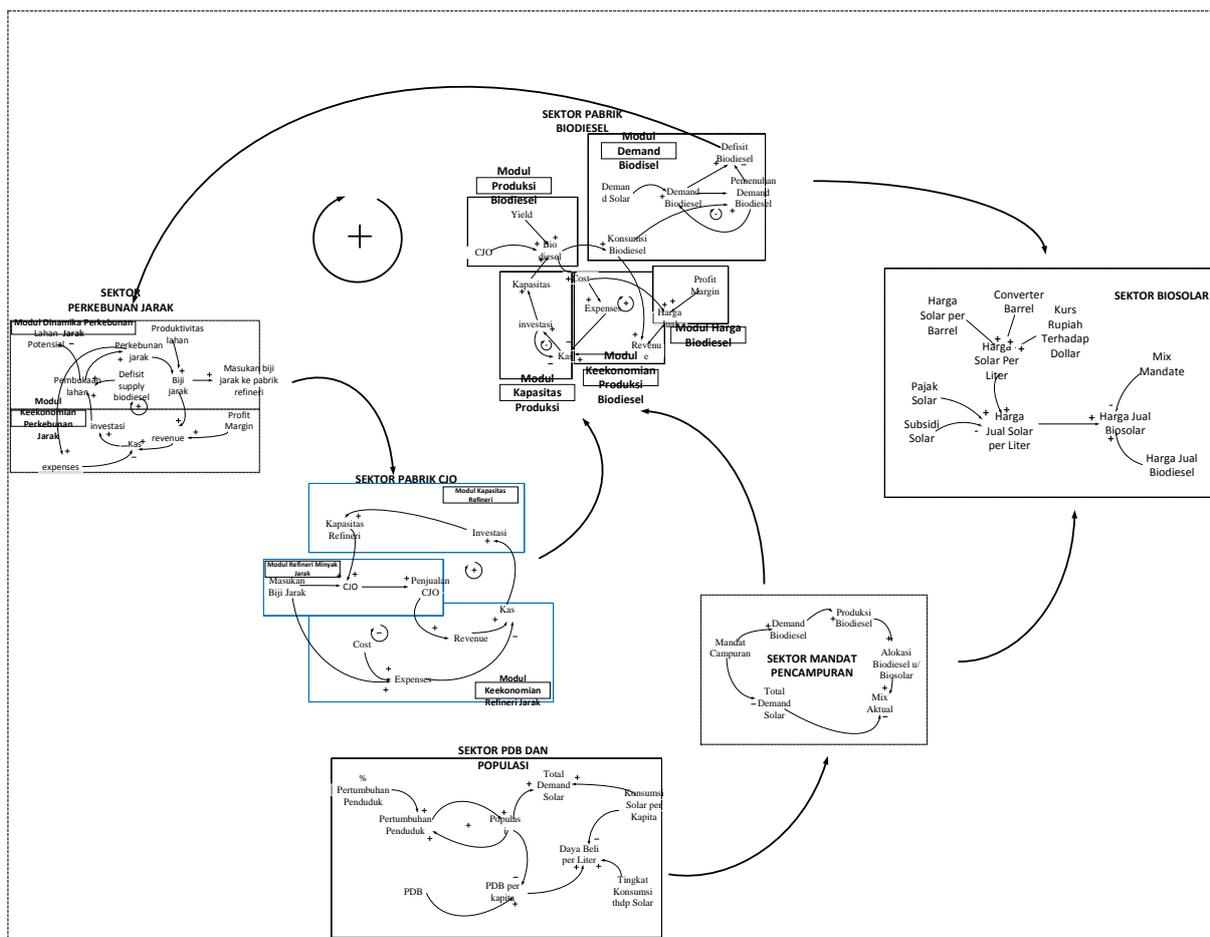
Model konseptual diadopsi dari model biodiesel dalam penelitian Handoko (2012) dengan membuat beberapa modifikasi, diantaranya adalah *feedback loop* dari modul demand biodiesel pada sektor pabrik biodiesel ke modul dinamika perkebunan jarak. Model ini terdiri atas 6 sektor dan 13 modul. Model konseptual ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Konseptual Sistem

4.2. Causal Loop Diagrams

Causal Loop yang dikembangkan terdiri dari 6 Causal Loop sektoral dan 13 Causal Loop modular. Causal Loop sektoral yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5. Causal loop sektoral menggambarkan hubungan antar aktivitas/ variabel utama pada sistem. Causal Loop lebih detail terdapat pada Causal Loop modular yang tidak ditampilkan dalam jurnal ini.



Gambar 5. Causal Loop Sektoral dalam Sistem

4.4 Parameterisasi Model

Langkah terakhir pada Tahap Pengembangan model adalah parameterisasi, yaitu me-*list* nilai nilai parameter yang ada dalam sistem. Terdapat 57 parameter dalam model simulasi. Contoh parameterisasi model ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh Parameterisasi Model

No	Parameter	Nilai Awal	Satuan	Keterangan
1	Fraksi investasi produksi biodiesel JC	0.3	-	Handoko, 2012
2	Fraksi investasi refinering minyak jarak	0.45	-	Estimasi
3	Harga area jarak	10,900,000.00	rupiah/ha	Timnas BBN
4	Harga biji jarak per ton untuk benih	450,000.00	rupiah/ton	Nurcholis, 2007

5. PENGUJIAN, PENGGUNAAN DAN ANALISIS MODEL

Pengujian model dilakukan untuk memastikan ke-*robust*-an model simulasi. Model yang baik adalah model dan "*benar*" dan "*sesuai*" dalam merepresentasikan sistem nyatanya. Meskipun melakukan validasi dan verifikasi yang 100% mungkin, tapi proses ini diperlukan untuk meningkatkan keyakinan kita terhadap model yang "*benar*" dan "*sesuai*". Penggunaan model untuk simulasi kebijakan dilakukan untuk mencari alternatif kebijakan terbaik. Dalam model simulasi, Ukuran performansi yang dianalisis adalah; (i) Campuran aktual solar-biodiesel, (ii) Laju Produksi dan Konsumsi biodiesel tiap tahun, (iii) Harga Jual Biosolar, solar dan biodiesel *Jatropha curcas*, dan (iv) tingkat keuntungan dalam bentuk *Earning Before Interest, Tax, Depreciation and Amortization* (EBITDA).

5.1 Pengujian Model

Terdapat 11 metode pengujian model Dinamika sistem (Sternan, 2000). Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi *Behavior Reproduction*, *Behavior Anomaly* dan *Extreme Conditions*.

5.1.1 Behavior Reproduction

Uji ini dilakukan untuk melihat kemampuan model dalam menghasilkan *output* parameter yang telah memiliki data historis. Hasil *output* yang dibandingkan adalah populasi penduduk dengan rata-rata % *error* sebesar 0.71% ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Populasi Penduduk Indonesia Tahun 2006-2011 (Sumber: BPS, 2012)

Tahun	Data Real (ribu jiwa)	Hasil Simulasi (ribu jiwa)	Selisih (ribu jiwa)	% Error
2006	222,192	221,952	240	0.108%
2007	225,642	225,080	562	0.249%
2008	228,523	228,251	272	0.119%
2009	234,432	231,467	2,965	1.265%
2010	237,641	234,729	2,912	1.225%
2011	241,134	238,036	3,098	1.285%
Rata-rata % Error				0.709%

Nilai rata-rata % *error* yang cukup kecil menunjukkan bahwa model simulasi mampu mereproduksi *output* yang mendekati data real.

5.1.2 Behavior Anomaly

Uji ini dilakukan untuk melihat anomali (keanehan) perilaku *output* model ketika asumsi yang digunakan diubah nilai atau struktur nya. Contoh hasil *output* yaitu perubahan EBITDA sektor pabrik Biodiesel Jarak Pagar ketika asumsi utilitas pabrik diubah dari konstan 100% menjadi random 27-70%. Keuntungan sektor pabrik biodiesel yang semula 85 trilyun di akhir periode simulasi turun menjadi minus 0.15 trilyun rupiah. Hal ini diakibatkan oleh ketidakmampuan pabrik biodiesel dalam memenuhi target mandat pencampuran biodiesel sehingga berimbas pada kecilnya pemasukan sektor pabrik biodiesel dan nilai investasi untuk peningkatan kapasitas pabrik.

Model simulasi menghasilkan *output* yang sesuai dengan model mental. Oleh karena itu, dengan dilakukannya pengujian *Behavior Anomaly* ini, model simulasi telah valid menurut logika.

5.1.3 Extreme Conditions

Uji ini dilakukan untuk melihat perilaku *output* model ketika parameter tertentu memiliki nilai ekstrim. Pada uji ekstrim ini dibuat skenario seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Skenario Uji Ekstrim

No	Skenario	Tujuan	PARAMETER		
			Ketersediaan Lahan	Harga Solar	Nilai Investasi
0	Kondisi nyata saat ini	Untuk mengetahui kesesuaian mental model dengan kondisi riil di lapangan	14.277.000 Ha	Sesuai nilai Forecast pada model	25 Trilyun Rupiah
1.a	Harga solar ekstrim tinggi	Untuk mengetahui penurunan konsumsi solar dan berpindahnya pola konsumsi ke biodiesel	14.277.000 Ha	10 x nilai Forecast pada model	25 Trilyun Rupiah
1.b	Harga solar ekstrim rendah	Untuk mengetahui pola konsumsi solar tetap tinggi	14.277.000 Ha	0.1 x nilai Forecast pada model	25 Trilyun Rupiah
2	Lahan Potensial Jarak ekstrim kecil	Untuk mengetahui keterbatasan jumlah produk yang dihasilkan	1.427.700 Ha	Sesuai nilai Forecast pada model	25 Trilyun Rupiah
3	Nilai Investasi Lahan Ekstrim Kecil	Untuk mengetahui keterbatasan jumlah lahan yang dibebaskan	14.277.000 Ha	Sesuai nilai Forecast pada model	2,5 Trilyun Rupiah

Pada skenario 1.a, target campuran biodiesel terhadap solar hanya 3%. Konsumsi biodiesel hanya 1,3 juta kiloliter. Berkebalikan dengan skenario 1.b, target campuran 20% tercapai. Sementara ketika lahan yang tersedia hanya 10%, produksi biodiesel menurun dari kondisi awal dan target campuran mencapai 17% dengan konsumsi biodiesel 8.6 juta kiloliter. Pada skenario 3, dimana investasi lahan sangat kecil, lahan yang dikonversi menjadi perkebunan jarak hanya 1.9 juta hektar yang memberikan produksi 3.3 juta kiloliter biodiesel dan campuran solar biodiesel hanya 5%.

Hasil pengujian *Extreme Conditions* telah sesuai dengan model mental. Oleh karena itu model simulasi dinyatakan valid menurut logika.

5.2 Penggunaan Model untuk Simulasi Kebijakan

Setelah model simulasi dinyatakan valid, model simulasi digunakan untuk mengembangkan alternatif kebijakan yang dapat memberikan *output* terbaik. Pengembangan alternatif kebijakan yang dilakukan terdiri dari 4 alternatif kebijakan yang meliputi perubahan variabel kebijakan subsidi, pajak dan mandat campuran. Kondisi kebijakan ideal yang diharapkan ketika mandat campuran bernilai maksimal, subsidi solar minimal, dan pajak solar minimal untuk bisa meningkatkan daya saing biodiesel terhadap produk solar.

Alternatif kebijakan yang dikembangkan ditunjukkan pada Tabel 4

Tabel 4. Alternatif Kebijakan yang Dikembangkan

No	Var.Kebijakan	Alternatif Kebijakan			
		1	2	3	4
A	Mandat Campuran (%)	5%	10%	15%	20%
B	Subsidi Solar (Rp/Liter)	2500	1500	500	-
C	Pajak Solar (% Harga Solar)	15%	20%	25%	30%

Output yang dihasilkan pada akhir periode simulasi (tahun 2026) ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan *Output* Masing-Masing Alternatif Kebijakan

No	Output Model pada Akhir Simulasi	Alternatif Kebijakan			
		1	2	3	4
1	Mix Aktual (%)	4%	8%	12%	20%
2	Produksi Biodiesel (milyar liter)	2.26	4.28	6.39	10.23
3	Harga Biosolar (Rp/Liter)	9122	10458	11639	12272
4	Keuntungan Pabrik Biodiesel (trilyun Rupiah/tahun)	20.66	38.35	56.67	87.66

Kebijakan 4 memberikan *output* yang terbaik untuk pencampuran solar-biosolar serta tingkat keuntungan yang didapat pada industri biodiesel. Sementara untuk keterjangkauan harga, meskipun kebijakan 4 menghasilkan harga yang paling mahal, namun tetap masih dalam kemampuan daya beli masyarakat untuk bahan bakar solar yaitu sebesar 13 ribu rupiah. Maka dari itu, kebijakan 4 dijadikan usulan kebijakan yang akan diimplementasikan.

5.3 Analisis Model

Analisis untuk model terdiri dari analisis sensitivitas dan analisis pemilihan kebijakan.

5.3.1 Analisis Sensitivitas

Kebijakan yang baik dan berhasil adalah kebijakan yang memiliki resistensi terhadap perubahan nilai-nilai parameter sistem yang ada. Untuk itu perlu dilakukan analisis sensitivitas terhadap kebijakan 4 untuk melihat perubahan *output* nya ketika beberapa nilai beberapa parameter diubah. Analisis sensitivitas dilakukan pada parameter; (i) subsidi biodiesel, (ii) fraksi investasi pabrik biodiesel, (iii) ketersediaan lahan dan (iv) harga solar.

Pada analisis sensitivitas terhadap subsidi biodiesel, besar subsidi biodiesel akan diubah pada tingkat 0, 10, 20 dan 30%. Parameter subsidi biodiesel tidak berpengaruh secara signifikan terhadap ukuran kinerja model. Mix aktual biodiesel solar tetap pada 20%, produksi sesuai target, dan keuntungan terjaga pada nilai lebih besar dari 80 trilyun. Pengaruh subsidi nampak jelas pada harga biosolar, pada subsidi 0%, harga biosolar 13.3 ribu/liter dan pada subsidi 30% sebesar 12.27 ribu/liter

Pada analisis sensitivitas terhadap fraksi investasi Industri Biodiesel, besar fraksi investasi akan dilihat pada tingkat 0.27, 0.28, 0.29 dan 0.3 besar EBITDA. Parameter fraksi investasi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap *output* model simulasi. Perubahan 1% pada besar investasi dapat menyebabkan 4% perubahan pada *output* mandat pencampuran biodiesel – solar.

Pada analisis sensitivitas ketersediaan lahan, akan dilihat perubahan variabel kinerja sistem ketika lahan tersedia berkurang menjadi 40%, 60%, 80%. Perubahan parameter ketersediaan lahan potensial ternyata tidak signifikan. Pengurangan lahan sampai 40% hanya merubah *output* pencampuran biodiesel-solar menjadi 19%.

Pada analisis sensitivitas perubahan harga solar, perubahan nilai variabel kinerja sistem akan dilihat ketika harga solar berubah dari 70% sampai 130%. Ketika harga solar naik sampai ke 130%, memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap *output* model, yaitu turunnya target pencampuran solar-biodiesel menjadi 16%.

5.3.2 Analisis Pemilihan Kebijakan

Kebijakan 4, dengan nilai variabel kebijakan mandat pencampuran biodiesel solar 20%, subsidi solar 0 rupiah/liter, pajak solar 30% dan subsidi solar 30% telah memberikan *output* yang terbaik pada periode akhir simulasi. Yaitu, target pencampuran biodiesel-solar yang mencapai 20%, produksi dan konsumsi biodiesel yang sesuai yang diharapkan (10,22 juta kilo liter), dan keuntungan sektor pabrik biodiesel yang terbesar (87,66 trilyun rupiah). Adapun alasan kebijakan 4 terpilih meski *output* harga solar yang paling tinggi, yaitu karena harga biosolar pada kebijakan 4 masih berada dalam *range* daya beli masyarakat untuk bahan bakar solar.

Kebijakan 4 tetap memberikan kinerja yang baik meskipun beberapa parameter sistemnya berubah. Terdapat parameter sistem yang harus diperhatikan pada kebijakan ini, yaitu fraksi investasi pabrik biodiesel dan harga solar karena kedua parameter tersebut sangat sensitif terhadap *output*.

6. KESIMPULAN

6.1 Ringkasan

Artikel ini menyajikan hasil penelitian yang menghasilkan model simulasi dinamika sistem yang terdiri dari enam sektor dan tiga belas modul yang mampu digunakan sebagai alat analisis untuk dinamika industri dan kebijakan pengembangan biodiesel *Jatropha curcas*. Kinerja variabel-variabel produksi biodiesel dan keuntungan industri biodiesel selama periode simulasi 2006-2026 menunjukkan respon yang positif terhadap kombinasi intervensi kebijakan berupa kenaikan mandat campuran, penurunan subsidi solar dan kenaikan pajak solar. Pada alternatif kebijakan yang terbaik, target kontribusi biodiesel dalam bauran energi Indonesia 2025 sebesar 10,22 juta kilo liter dapat dicapai. Terdapat parameter yang sangat berpengaruh terhadap *output* yaitu investasi di sektor pabrik Biodiesel dan subsidi biodiesel. Untuk itu, parameter ini perlu diperhatikan dan dipersiapkan antisipasi untuk *good and bad scenario*-nya. Sebagai produk industri yang baru dan energi terbarukan, industri biodiesel *Jatropha curcas* memerlukan dukungan kebijakan pemerintah yang kuat.

6.2 Saran

Pengembangan model dalam detail dan lingkup masih sangat mungkin dilakukan. Struktur umpan balik dari sektor *demand* terhadap ketersediaan dan keuntungan sektor biodiesel dan sebaliknya bisa dikembangkan lebih lanjut seperti pengaruh umpan balik industri biodiesel *Jatropha* terhadap pertumbuhan ekonomi, populasi dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Saran selanjutnya adalah penggunaan parameter dengan data real. Penelitian selanjutnya lebih melibatkan *stakeholder* kebijakan Industri Biodiesel yaitu pemerintah khususnya kementerian ESDM, Pertamina, pengusaha dan pengembang Biodiesel serta Masyarakat Petani Perkebunan Jarak Pagar.

REFERENSI

- Hambali, E. (2007). *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- JICA. (2009). *Study on Fiscal and Non Fiscal Incentives to Accelerate Private Sector Geothermal Energy Development in The Republic of Indonesia*. Ministry of Finance, The Republic of Indonesia.
- Handoko, H. (2012). *Pemodelan Sistem Dinamik Ketercapaian Kontribusi Biodiesel dalam Bauran Energi Indonesia 2025*. Disertasi - Program Studi Manajemen Bisnis, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hidayatno, A., Sutrisno, A., & Purwanto, W.W., 2011. System Dynamics Sustainability Model of Palm-Oil Based Biodiesel Production Chain in Indonesia. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* Vol: 11 No. 03
- Jackson, M.C. (2003). *Systems Thinking – Creative Holism for Managers*. John Wiley & Sons.
- ESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia). (2006). *Handbook of Energy & Economic Statistics Indonesia*.
- ESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia). (2011). *Handbook of Energy & Economic Statistics Indonesia*.
- PNPM Mandiri, (2011). *Buku Panduan Energi Terbarukan*. Contained Energy Indonesia. Jakarta
- Raharjo, S. (2007). *Analisa Performa Mesin Diesel Dengan Bahan Bakar Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar*. Seminar Nasional Teknologi 2007. Yogyakarta
- Sterman, J. D., (2000), *Business Dynamics, System Thinking and Modelling for a Complex World*, United States of America: Irwin McGraw-Hill
- Syarief, (2004). *Melawan Ketergantungan Pada Minyak Bumi : Minyak Nabati_ Biodiesel Sebagai Alternatif Gerakan*. Insist Press. Jogjakarta.
- Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati. (2006). *Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran*. Jakarta.
- Wijaya, K., (2011). *Revitalisasi Bahan Bakar Nabati (BBN) Sebagai Upaya Mengatasi Ketergantungan Akan BBM*. *Jurnal Dialog Kebijakan Publik*. Ed.1 pp25-34
- Wirjatmi, E.T. (2010). *System Thinking*. Diklatpim. Jakarta