

Analisis Kebijakan Menggunakan Pemodelan Matematika untuk Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Bioetanol dari Mikroalga^{*}

HAFIDZ HANDOKO PUTRO, CAHYADI NUGRAHA, HENDANG SETYO R

Jurusan Teknik Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: hafidz.handoko@gmail.com

ABSTRAK

Energi selalu dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), menunjukkan bahwa konsumsi energi primer diproyeksikan naik setiap 5 tahun. Kebutuhan energi di Indonesia didominasi oleh minyak bumi sebesar 52,5% pemakaian energi di Indonesia. Pemerintah Indonesia membuat kebijakan perencanaan energi nasional untuk bahan bakar nabati dengan target 5% dari total kebutuhan energi. Bioetanol adalah bahan bakar minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak premium. Salah satu tanaman yang bisa digunakan sebagai bahan baku bioetanol adalah mikroalga. Pemanfaatan mikroalga akan optimal jika didukung kebijakan yang tepat oleh pemerintah. Perumusan kebijakan dapat dilakukan dengan mengembangkan suatu model kebijakan yang memungkinkan penyusunan alternatif-alternatif skenario kebijakan. Alternatif kebijakan dan skenario yang dibuat sebanyak 3 alternatif kebijakan dan 3 skenario. Model kebijakan dibuat dengan menggunakan pemodelan sistem. Metoda yang digunakan adalah pemodelan matematika. Model matematika lebih mudah untuk dimanipulasi dan dieksplorasi pengaruh perubahan input terhadap fungsi tujuannya dibandingkan sistem nyata.

Kata Kunci: Pemodelan Sistem, Kebijakan, Bioetanol, Mikroalga

ABSTRACT

Energy is always needed in human life. Data from the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM), suggesting that the primary energy consumption is projected to increase every 5 years. Energy demand in Indonesia is dominated by oil at 52.5% of energy consumption in Indonesia. The Indonesian government made a national energy planning policy for biofuels with a target of 5% of its total energy needs. Bioethanol fuel is vegetable oil that has properties

* 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.

like gasoline oil. One of the plants that can be used as raw material for bioethanol is microalgae. Utilization of microalgae is optimal if supported by the right policies. Policy formulation can be done by developing a policy model that allows the preparation of policy alternatives scenarios. Alternative policy scenarios and a total of 3 alternative policy and 3 scenarios. The model policy created using the modeling system. The method used is mathematical modeling. Mathematical models are easier to manipulate and explore the effect of changing the input to the function point than the real system.

Keywords: System Modeling, Policy, Ethanol, Microalga

1. PENDAHULUAN

Energi selalu dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Seiring dengan peningkatan jumlah dan aktifitas penduduk Indonesia, kebutuhan energi juga semakin meningkat. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), menunjukkan bahwa konsumsi energi primer diproyeksikan naik setiap 5 tahun.

Kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi dari berbagai sumber energi. Pada tahun 2006 minyak bumi mendominasi 52,5% pemakaian energi di Indonesia. Untuk mengatasi kelangkaan dan dampak akibat penggunaan energi fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas) pemerintah Indonesia telah membuat kebijakan perencanaan energi nasional. Kebijakan tersebut adalah mengembangkan sumber energi alternatif dan terbarukan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Sasaran Kebijakan Energi Nasional antara lain adalah terwujudnya energi (*printer*) mix yang optimal pada tahun 2025, yaitu peranan masing-masing jenis energi terhadap konsumsi energi nasional. Khusus untuk bahan bakar nabati pemerintah menargetkan kebutuhan energi sekitar 5% dari total kebutuhan energi. Kondisi tersebut memungkinkan untuk dicapai kondisi geografis Indonesia sangat mendukung dalam penyedia sumber bahan baku minyak nabati.

Salah satu minyak bakar nabati adalah bioetanol (C_2H_5OH). Bioetanol adalah bahan bakar dari minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak premium. Bioetanol juga merupakan hasil fermentasi biomassa dari sumber karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme dan ramah lingkungan karena bersih dari emisi bahan pencemar. Penggunaan bioetanol sebagai sumber energi memiliki kelebihan dalam hal kepraktisan karena mudah dikemas dan didistribusikan. Sumber hayati yang saat ini sering digunakan untuk memproduksi bioetanol adalah tanaman yang mengandung nira bergula, bahan berpati, dan selulosa.

Salah satu tanaman yang bisa digunakan sebagai bahan baku bioetanol adalah mikroalga. Keuntungan menggunakan mikroalga sebagai sumber bahan baku bioetanol adalah perkembangbiakannya cepat, 14 hari dapat dipanen setelah masa pemeliharaan. Salah satu spesies mikroalga yang baik digunakan karena berselulosa dengan kadar karbohidrat yang tinggi adalah jenis *Dunaliella salina*.

Saat ini bioetanol yang diperkenalkan sebagai substitusi BBM, keekonomiannya sangat tergantung pada harga minyak mentah. Harga bioetanol per liter dari mikroalga, saat ini jika diexport bisa mencapai \$1,49 atau sekitar 14.000 rupiah, namun untuk biaya produksinya sendiri seharga \$0,716 atau 6.700 rupiah. Harga premium 4.500 rupiah dengan subsidi, namun sebenarnya harga premium itu 98% dari pertamax. Jika harga pertamax saat ini 10.000 rupiah maka harga premium sebenarnya adalah 9.800 rupiah. Harga BBM masih

tetap disubsidi sehingga perbedaan harga bioetanol dan BBM akan semakin besar dan bioetanol tetap tidak ekonomis. Fenomena ini dapat menjelaskan ditutupnya sekitar 17 pabrik biofuel sejak Agustus 2007 lalu.

Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (Aprobi) mengungkapkan bahwa saat ini hanya tersisa lima perusahaan biofuel yang masih sanggup beroperasi. Itupun berasal dari jenis biodiesel, sedangkan untuk bioetanol masih belum ada. Namun semakin tinggi harga minyak mentah akan membuat harga BBM yang merupakan hasil kilang dari minyak mentah ikut meningkat. Pada akhirnya dengan kenaikan harga minyak akan semakin kecilnya perbedaan harga antara bioetanol dengan BBM atau bahkan bioetanol menjadi lebih kompetitif.

Mikroalga sebagai sumber energi bioetanol cukup potensial untuk dimanfaatkan karena di Indonesia tersedia lahan yang bisa ditanami mikroalga seluas 25.700 hektar (Dirjen Kelautan dan Perikanan, 1991). Pemanfaatan mikroalga tersebut akan optimal jika didukung oleh kebijakan yang tepat oleh pemerintah. Perumusan kebijakan dapat dilakukan dengan mengembangkan suatu model kebijakan yang memungkinkan penyusunan alternatif-alternatif skenario kebijakan. Setiap kebijakan yang dibuat akan menghasilkan beberapa dampak yang berbeda. Berdasarkan uraian tersebut maka masalah penelitian ini akan membahas tentang penyusunan kebijakan yang mendukung pemanfaatan mikroalga sebagai sumber energi bioetanol.

Untuk membantu suatu analisis kebijakan, dapat dikembangkan melalui model matematika. Model adalah representasi yang disederhanakan dari suatu realitas kompleks, yang tujuannya adalah pemahaman realitas dan mempunyai seluruh fitur yang diperlukan untuk tugas atau pemecahan masalah yang diperlukan.

Model merupakan representasi dari suatu sistem. Sistem didefinisikan sebagai himpunan atau kombinasi dari bagian-bagian yang membentuk sebuah kesatuan yang kompleks. Suatu himpunan atau gugus bagian bisa disebut sebagai suatu sistem yaitu jika memenuhi syarat adanya kesatuan (*unity*), hubungan fungsional, dan tujuan. Menurut Rumbaugh (1999), pemodelan menangkap bagian esensial dari sistem. Pemodelan merupakan bentuk abstraksi. Model diperlukan jika akan membangun sesuatu. Abstraksi adalah proses memfokuskan pada fitur tertentu yang sangat esensial untuk menyelesaikan tugas dan menghindarkan beberapa fitur yang tidak diperlukan.

Salah satu teknik pemodelan matematika adalah seperti yang dijelaskan dalam Daellebach (1994). Model matematika bertujuan untuk merumuskan keterkaitan antara variabel-variabel keputusan (input-input yang terkendali dan input-input yang tak terkendali), komponen-komponen sistem, sampai dengan ukuran performansi sistem. Salah satu cara untuk menurunkannya adalah dengan bantuan *influence diagram*.

Model yang telah dirancang diharapkan dapat merepresentasikan sistem yang dibuat. Sehingga diharapkan dapat menghasilkan usulan-usulan skenario kebijakan pemanfaatan mikroalga sebagai sumber energi bahan bakar nabati.

2. METODOLOGI PENELITIAN

1. Rumusan masalah: Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merumuskan masalah mengenai mikroalga. Penjelasan rumusan masalah dapat dilihat pada Bab 2.

2. Studi literatur: Pada tahap ini menggunakan hasil penelitian sebelumnya dan teori yang relevan untuk digunakan dalam pemecahan masalah. Teori yang digunakan diambil dari buku, internet, dan laporan penelitian sebelumnya. Teori yang digunakan antara lain bioetanol, tanaman *Dunaliella salina*, dan pemodelan sistem.
3. Identifikasi sistem: Menentukan sistem yang akan diteliti beserta *boundary system*. Setelah berhasil diidentifikasi kemudian ditentukan *output* ukuran kinerja. Kemudian meneliti beberapa aspek sistem yang saling berpengaruh antara komponen sistem, *input*, baik yang *controllable* maupun *uncontrollable*, dan *output* yang diharapkan. Ukuran kinerja yang telah dibuat berupa rancangan skenario untuk *decision maker* dalam pengambilan keputusan.
4. Pengembangan model: Sistem yang telah diidentifikasi digambarkan dalam bentuk model konseptual. Penggambarannya menggunakan *influence diagram*. *Influence diagram* adalah suatu model konseptual yang menyajikan struktur atau rangkaian proses yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Model konseptual yang dibuat kemudian direpresetasikan dalam bentuk formulasi model matematika. Pada pengembangan ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu model sistem secara statis dan model sistem secara dinamis. Perbedaan dari dua model sistem ini adalah model sistem secara statis tidak dipengaruhi oleh waktu sedangkan model sistem secara dinamis dipengaruhi oleh waktu. Batasan model matematika yang dikembangkan memiliki batasan yaitu model matematika yang dibangun tidak memiliki umpan balik.
5. Pengembangan alternatif-alternatif kebijakan dan analisis skenario: Pada tahap ini dikembangkan beberapa alternatif kebijakan dan beberapa skenario. Alternatif kebijakan dirancang dengan mengubah beberapa nilai *input* yang bisa dikendalikan pemerintah sedangkan pengembangan skenario dilakukan dengan mengubah *input*/faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pemerintah. Alternatif kebijakan yang dibuat ada tiga dan kategori skenario yang dibuat dibagi menjadi tiga yaitu skenario optimistik, moderat, dan pesimistik.
6. Pencarian solusi model dan analisis solusi: Tahap selanjutnya adalah dicari solusi model untuk berbagai kondisi (alternatif kebijakan dan pengembangan skenario) yang dirancang sebelumnya. Skenario yang dibuat akan diberikan kepada *decision maker* sebagai langkah pengambilan keputusan.
7. Kesimpulan dan saran: Setelah dilakukan analisis kebijakan skenario, kemudian ditarik kesimpulan penelitian. Kesimpulan tersebut mengacu pada tujuan laporan yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya akan disajikan pula beberapa saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya.

3. PENGEMBANGAN MODEL

3.1 IDENTIFIKASI SISTEM

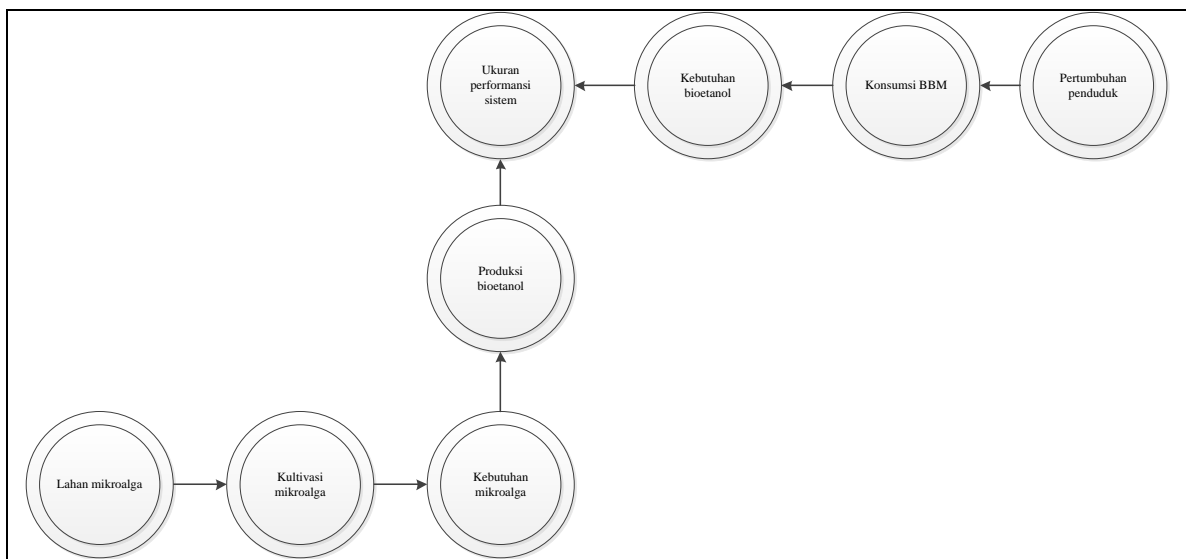
Dalam identifikasi sistem terdapat deskripsi sistem mengenai proses pengolahan dan pendistribusian bioetanol kepada konsumen. *Boundary system* yang akan dibahas yaitu sistem industri skala sedang-besar dan pencampuran bioetanol. *Decisionmaker* sistem yang diamati adalah pemerintah yang diwakili oleh Kementerian Sumber Daya dan Mineral. Ukuran performansi adalah presentase total bioetanol yang mampu dihasilkan dari bahan baku mikroalga.

3.2 PENGEMBANGAN MODEL

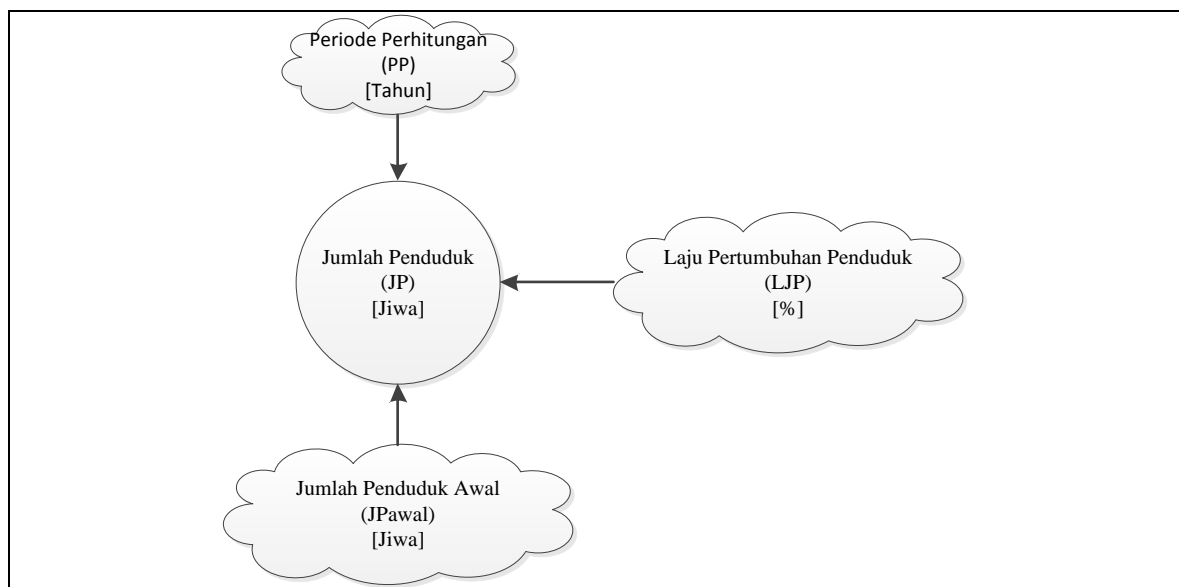
Pengembangan model yang dilakukan dibagi menjadi dua cara. Pengembangan model secara statis dan pengembangan model secara dinamis.

3.2.1 Pengembangan model secara statis

Pada tahap ini dilakukan perancangan model konseptual, melalui *influence diagram*. Pada *influence diagram* ini faktor-faktor yang terkait dalam model disusun agar menjadi suatu sistem *supply* bahan bakar nabati. Gambar 1 merupakan gambar *influence diagram* yang diperkecil menjadi sebuah sub sistem. Gambar 2 merupakan model pertumbuhan penduduk. Gambar 3 merupakan model kebutuhan mikroalga. Gambar 4 merupakan model ukuran performansi sistem. Untuk model sistem yang lain dapat dilihat pada laporan tugas akhirPutro (2012). Tabel 1 Merupakan tabel rumus yang digunakan dalam pemodelan matematika. Tabel 2 merupakan tabel keterangan singkatan dari rumus yang digunakan.



Gambar 1. Influence Diagram



Gambar 2. Pertumbuhan Penduduk

Tabel 2. Keterangan Rumus

Nama Singkatan	Keterangan
LJP	Laju Pertumbuhan Penduduk
JP	Jumlah Penduduk
PP	Periode Perhitungan
Jpawal	Jumlah Penduduk Awal
JKB	Jumlah Kendaraan Bermotor
RP	Rasio Perhitungan
JNF	Jumlah Kendaraan Bermotor Non <i>Flexible Fuel Vehicle</i>
JKF	Jumlah Kendaraan Bermotor <i>Flexible Fuel Vehicle</i>
PFFV	Penggunaan <i>Flexible Fuel Vehicle</i>
KBB	Konsumsi Bahan Bakar
KBE85	Kebutuhan Bioetanol Untuk Bahan Bakar E-85
KBE5	Kebutuhan Bioetanol Untuk Bahan Bakar E-5
KBE10	Kebutuhan Bioetanol Untuk Bahan Bakar E-10
TKB	Total Kebutuhan Bioetanol Untuk Bahan Bakar
PL	Potensi Lahan
LG	Lahan Yang Digunakan
LPL	Laju Pembukaan Lahan
PD	Proporsi Yang Digunakan
JAD	Jumlah Alga Yang Dihasilkan
PJL	Perbandingan Jumlah Alga Dengan Lahan
JID	Jumlah Industri Yang Mampu Dibangun
KAP	Kebutuhan Alga Per Perusahaan
REBA	Rendemen Efektif Bioetanol Dari Alga
KISK	Kapasitas Industri Skala Besar
AB	Alga Untuk Industri Bioetanol
JIB	Jumlah Industri Yang Dibangun
TR	Target Terealisasi
LPPB	Laju Pembangunan Pabrik Bioetanol
KAB	Kebutuhan Alga Untuk Industri Bioetanol
KPPB	Kebijakan Pemerintah Membangun Pabrik Bioetanol
BD	Bioetanol Yang Dihasilkan
TBB	Total Bioetanol Untuk Bahan Bakar
KKB	Konversi Kadar Bioetanol Untuk Bahan Bakar
TSB	Presentase Total Bioetanol Sebagai Substitusi Bahan Bakar

Contoh rumus 1:

Jumlah penduduk (JP)

Jpawal merupakan jumlah penduduk pada awal periode perhitungan. LJP merupakan presentase yang akan menunjukkan angka peningkatan jumlah penduduk untuk interval beberapa tahun. PP merupakan periode perhitungan untuk validasi rumus matematika.

$$\text{Rumus: } JP = (JP_{\text{awal}} \times LJP \times PP) + JP_{\text{awal}} \quad (1)$$

3.2.2 Model Sistem Secara Dinamis

Model sistem secara dinamis merepresentasikan sistem dalam perubahannya terhadap waktu. Model dinamis digunakan untuk melihat gambaran model dengan pertumbuhan tahunan. Pada penelitian ini model sistem dinamis yang dirancang akan ditampilkan dengan menggunakan *spreadsheet* untuk mempermudah melihat perubahan sistem ketika waktunya berubah. Gambar 4 memperlihatkan contoh *spreadsheet* yang dibuat.

Decision variable :										
INPUT DATA										
Skenario 0	Jenis Data	Satuan								
1%	Laju Pertumbuhan Penduduk	% / Tahun								
25700	Potensi Lahan	Hektar								
2%	Laju Pembukaan Lahan	% / 5 tahun								
0%	Proporsi yang digunakan	% / Tahun								
8195,716	Perbandingan jumlah alga dengan luas lahan	Ton Alga / Hektar								
182,925	Kandungan Efektif Bioetanol dari Alga	Liter etanol/ton alga kering								
0,045	Konversi Kadar Bioetanol Untuk Bahan Bakar	Peningkatan kadar etanol dari 95% menjadi 99,5%								
0,00	Kebijakan Pemerintah Memproduksi Jenis Campuran Bioetanol Untuk E5									
0,00	Kebijakan Pemerintah Memproduksi Jenis Campuran Bioetanol Untuk E10									
0,00	Penggunaan <i>Flexible Fuel Car</i>	% dari Total Jumlah Kendaraan Bermotor								
0	Jumlah Industri	Unit								
0%	Laju Pertumbuhan Jumlah Industri	%								
22488000	Kapasitas Industri Bioetanol	Liter/Tahun								
COMPUTATION										
Tahun	Lahan yang digunakan	Jumlah Alga yang dihasilkan	Kebutuhan Alga Untuk Industri Bioetanol	Alga Untuk Industri Bioetanol	Bioethanol yang dihasilkan	Total Bioetanol Untuk Bahan Bakar	Jumlah Penduduk	Jumlah Kendaraan Bermotor	Jumlah Kendaraan Bermotor Yang Non FFC	Jumlah Kendaraan Bermotor FFC
2013	-	-	-	-	-	-	249.992.501	417.337.815	417.337.815	-
2014	-	-	-	-	-	-	253.717.390	423.556.144	423.556.144	-
2015	-	-	-	-	-	-	257.497.779	429.867.125	429.867.125	-
2016	-	-	-	-	-	-	261.334.496	436.272.141	436.272.141	-
2017	-	-	-	-	-	-	265.228.380	442.772.591	442.772.591	-
2018	-	-	-	-	-	-	269.180.283	449.369.897	449.369.897	-

Gambar 5. *Spreadsheet*

4. PENGEMBANGAN ALTERNATIF KEBIJAKAN DAN SKENARIO

Performansi *output* dari sebuah sistem sangat dipengaruhi oleh alternatif kebijakan dan kondisi diluar kontrol yang terjadi. Untuk mengoptimalkan kinerja *output* sistem, maka diperlukan kebijakan-kebijakan tertentu serta kondisi lingkungan tertentu pula. Setiap alternatif kebijakan dan kondisi lingkungan akan memberikan *output* berbeda sehingga harus yang harus dilakukan adalah menentukan kebijakan yang bisa menghasilkan kinerja *output* paling baik itulah yang akan diterapkan.

Pengembangan yang dilakukan dengan cara mengubah variabel-variabel pada *input* model sehingga menghasilkan beberapa kebijakan dan skenario. Kondisi yang berbeda akan mempengaruhi sistem. Kondisi yang bisa memberikan dampak negatif secara signifikan kepada kinerja *output* sistem harus diantisipasi dan diminimasi sekecil mungkin. Kondisi yang memberikan dampak positif harus dipertahankan bahkan ditingkatkan. Antisipasi tersebut dapat dilakukan oleh peraturan pemerintah. Pada pengembangan ini akan dibagi menjadi dua alternatif pengembangan, yaitu pengembangan alternatif kebijakan dan pengembangan alternatif skenario.

Tabel 3 merupakan tabel alternatif kebijakan. Tabel 4 merupakan tabel alternatif skenario. Tabel 5 merupakan maktriks solusi. Tabel 6 merupakan tabel rekapitulasi solusi.

Tabel 3. Pengembangan Alternatif Kebijakan

Nomor	Alternatif Kebijakan	Perubahan Input Sistem
1	Alternatif 0	1. Laju pembukaan lahan 0%. Pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini.

Tabel 2. Pengembangan Alternatif Kebijakan (lanjutan)

Nomor	Alternatif Kebijakan	Perubahan Input Sistem
1	Alternatif 0	2. Proporsi yang digunakan 0%. Pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini.
		3. Kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 0 unit. Pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini.
		4. Laju kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 0%. Pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini.
		5. Penggunaan E-5 dan E-10 0%. Pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini.
		6. Tidak terdapat penggunaan <i>flexible fuel vehicle</i> karena tidak memproduksi bioetanol
2	Alternatif 1	1. Laju pembukaan lahan 20%. Penambahan jumlah lahan untuk menanam alga sebanyak 20% dari potensi lahan dan bertambah menjadi 50% pada tahun 2020 hal ini guna terpenuhinya kebutuhan bahan baku mikroalga.
		2. Proporsi yang digunakan 1,5%. Memberikan proporsi lahan yang digunakan untuk pemanfaatan mikroalga sebanyak 1,5%
		3. Kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 114 unit pada tahun 2025. Jumlah settingan awal industri bioetanol yang diharapkan, mulai dari 2016 sebanyak 19 unit dan dibangun dengan bertahap sesuai milestone bioetanol pada tahun 2018, 2020, 2022, 2023, 2025.
		4. Laju kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 100%. Jumlah penambahan industri bioetanol yang diharapkan dan akan bertambah setiap 1-2 tahun sekali sebanyak 100%.
		5. Kebijakan penggunaan E-5 (bahan bakar nabati sejenis premium) sebesar 90%. penggunaan E-10 (bahan bakar nabati sejenis pertamax) sebesar 10%. Mengikuti proyeksi program pemerintah menaikkan target konsumsi pertamax sebesar 10%.
3	Alternatif 2	1. Laju pembukaan lahan 30%. Penambahan jumlah lahan untuk menanam alga sebanyak 30% dari potensi lahan hal ini guna terpenuhinya kebutuhan bahan baku mikroalga.
		2. Proporsi yang digunakan 3,5%. Memberikan proporsi lahan yang digunakan untuk pemanfaatan mikroalga sebanyak 3%.
		3. Kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 50 unit. Jumlah settingan awal industri bioetanol yang diharapkan, mulai dari 2016 sebanyak 50 unit.

Tabel 2. Pengembangan Alternatif Kebijakan (lanjutan)

Nomor	Alternatif Kebijakan	Perubahan Input Sistem
3	Alternatif 2	4. Laju kebijakan pemerintah membangun pabrik bioetanol 100%. Jumlah penambahan industri bioetanol yang diharapkan dan akan bertambah setiap 2 tahun sekali sebanyak 100%.
		5. Kebijakan penggunaan E-5 (bahan bakar nabati sejenis premium) sebesar 90%. penggunaan E-10 (bahan bakar nabati sejenis pertamax) sebesar 10%. Mengikuti proyeksi program pemerintah menaikkan target konsumsi pertamax sebesar 10%.

Tabel 3. Pengembangan Alternatif Skenario

Nomor	Input Sistem	Identifikasi Skenario
1	Laju Pertumbuhan Penduduk	Optimistik: Pertumbuhan penduduk pada setiap tahun akan meningkat. Data laju pertumbuhan yang digunakan adalah laju pertumbuhan terakhir sebesar 1,4261%. Mengalami penurunan sesuai dengan program BKKK pada tahun 2015 menjadi 1,1% dan mengalami penurunan menjadi 0,9% pada tahun 2020 sesuai dengan harapan pemerintah menurunkan laju pertumbuhan penduduk dibawah 1%.
		Moderat: Pertumbuhan penduduk pada setiap tahun akan meningkat. Data laju pertumbuhan yang digunakan adalah laju pertumbuhan terakhir sebesar 1,4261%. Mengalami penurunan sesuai dengan program BKKK pada tahun 2015 menjadi 1,1%.
		Pesimistik: Pertumbuhan penduduk pada setiap tahun akan meningkat. Data laju pertumbuhan yang digunakan adalah laju pertumbuhan terakhir sebesar 1,4261%.
2	Penggunaan <i>Flexible Fuel Vehicle</i>	Optimistik: Penggunaan <i>flexible fuel vehicle</i> digunakan apabila bioetanol telah tersedia dipasaran maka produksi kendaraan FFV memungkinkan ada di Indonesia untuk menggantikan mobil konvensional. Target sebesar 5.000 unit pada tahun 2025 mengikuti negara Thailand yang memproduksi FFV.
		Moderat: Penggunaan <i>flexible fuel vehicle</i> digunakan apabila bioetanol telah tersedia dipasaran maka produksi kendaraan FFV memungkinkan ada di Indonesia untuk menggantikan mobil konvensional. Target sebesar 2.500 unit pada tahun 2025 mengikuti negara Thailand yang memproduksi FFV.
		Pesimistik: Tidak terdapat kendaraan <i>flexible fuel vehicle</i> .

Tabel 3. Pengembangan Alternatif Skenario (lanjutan)

Nomor	Input Sistem	Identifikasi Skenario
3	Target Yang Terealisasi	Optimistik: Jumlah industri bioetanol yang dibangun sebesar 100% dari target yang ingin dicapai.
		Moderat: Jumlah industri bioetanol yang dibangun sebesar 60% dari target yang ingin dicapai.
		Pesimistik: Jumlah industri bioetanol yang dibangun sebesar 40% dari target yang ingin dicapai.

Tabel 4. Matriks Solusi

Alternatif kebijakan	Skenario		
	Optimistik	Moderat	Pesimistik
Alternatif 0	Solusi 0-O	Solusi 0-M	Solusi 0-P
Alternatif 1	Solusi 1-O	Solusi 1-M	Solusi 1-P
Alternatif 2	Solusi 2-O	Solusi 2-M	Solusi 2-P

Tabel 5. Rekapitulasi Solusi

Alternatif kebijakan	Skenario								
	Optimistik			Moderat			Pesimistik		
	Ketersediaan Bioetanol (liter)	Kebutuhan Bioetanol (liter)	Perbandingan Bioetanol (%)	Ketersediaan Bioetanol (liter)	Kebutuhan Bioetanol (liter)	Perbandingan Bioetanol (%)	Ketersediaan Bioetanol (liter)	Kebutuhan Bioetanol (liter)	Perbandingan Bioetanol (%)
Alternatif 0	-	-	0%	-	-	0%	-	-	0%
Alternatif 1	3.092.549.760	5.180.828.958	59,69%	1.855.529.856	5.248.618.789	35,35%	1.237.019.904	5.402.325.934	22,90%
Alternatif 2	5.369.010.000	5.180.828.958	103,63%	3.221.406.000	5.248.618.789	61,38%	2.147.604.000	5.402.325.934	39,75%

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan *spreadsheet* didapatkan kesimpulan berupa:

- Alternatif 0: Merupakan alternatif kebijakan bahwa pemerintah tidak melakukan perubahan dari apa yang sudah berlangsung saat ini. Hasil yang didapatkan berupa data jumlah kebutuhan bahan bakar per tahun. Jika tidak dilakukan kebijakan maka akan terjadi lonjakan penggunaan bahan bakar minyak.
- Alternatif 1: Merupakan kebijakan dengan mengikuti *milestone* bioetanol, *roadmap* pemerintah membangun 144 pabrik bioetanol pada tahun 2016-2025 dengan kapasitas 60 kilo liter perhari. Kapasitas pabrik bioetanol dengan bahan baku mikroalga yang dibangun dapat menghasilkan 63 kilo liter perhari. Target pemerintah pada tahun 2025 dapat menghasilkan bioetanol sebanyak 4,99 juta kilo liter. Walaupun mengikuti target pemerintah dengan membangun 144 pabrik, namun kebutuhan terhadap bioetanol tetap tidak terpenuhi. Kebutuhan bioetanol yang dapat terpenuhi sekitar 59,69% dari target yang ingin dicapai.
- Alternatif 2: Merupakan kebijakan maksimum yang harus dilakukan pemerintah jika ingin memenuhi semua kebutuhan bioetanol sebesar 4,99 juta kilo liter dari mikroalga. Pada kebijakan ini pemerintah harus membuka lahan pesisir sebesar 3% dari potensi lahan yang ada di Indonesia pada tahun 2016

dengan pembukaan lahan baru sebesar 20% tiap tahunnya. Pada akhirnya luas lahan pesisir yang dibutuhkan pada tahun 2025 sebesar 3.978 hektar atau sekitar 12% dari potensi lahan pesisir yang ada di Indonesia. Jumlah pabrik bioetanol yang harus dibangun pada tahun 2016 sebanyak 50 perusahaan dan laju pertumbuhan industri bioetanol sebesar 100% setiap 2 tahun. Jumlah pabrik bioetanol pada tahun 2025 sebanyak 250 pabrik. Untuk merealisasikan target pemenuhan bioetanol ini pemerintah harus lebih serius dan mengambil tindakan nyata untuk membuka lahan pesisir dan membangun pabrik bioetanol secara bertahap.

5. KESIMPULAN

Penelitian telah berhasil menjawab tujuan penelitian menghasilkan usulan-usulan alternatif kebijakan pemanfaatan mikroalga untuk sumber bahan bakar nabati. Berdasarkan alternatif 0, kebutuhan bahan bakar akan terus meningkat sehingga harus dilakukan substitusi bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan. Berdasarkan alternatif 1, target pemerintah dalam membangun 144 pabrik bioetanol pada tahun 2016-2025 dengan kapasitas 60 kilo liter perhari belum mencukupi target pemerintah memenuhi kebutuhan bioetanol sebesar 4,99 juta kilo liter. Pemenuhan kebutuhan bioetanol hanya sebesar 59,6%. Berdasarkan alternatif 2, untuk memenuhi target pemenuhan bioetanol sebesar 4,99 juta kiloliter, pemerintah harus membangun 250 pabrik bioetanol dengan menggunakan lahan pesisir sebesar 3,978 hektar.

Kebijakan yang dapat dilakukan pemerintah untuk mendukung penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar adalah pembukaan lahan pesisir untuk budidaya mikroalga sebagai pemenuhan bahan baku bioetanol, penggunaan campuran bioetanol sebagai bahan bakar kendaraan, pembangunan pabrik bioetanol, dan pemberian insentif kepada pelaku industri otomotif, dan penggunaan kendaraan berbahan bakar nabati.

REFERENSI

Booch, Rumbaugh, dan Jacobson. (1999). *The Unified Modeling and Language User Guide*. Addison-Wesley. Canada.

Daellebach, H. G. (1994). *System and Decision Making: A Management Science Approach*, John Willey & Sons, Ltd, England.

Direktorat Jendral Perikanan Budidaya Departemen Kelautan dan Perikanan. (2000). *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta.

Kementrian ESDM. (2011). *Handbook of Energy and Economic of Indonesia*. Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources. Jakarta.

Kementrian Negara Riset dan Teknologi. (2006). *Buku Putih*. Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025. Jakarta.

Putro. (2012). *Laporan Analisis Kebijakan Pengembangan Industri Bahan Bakar Nabati Bioetanol dari Mikroalga dengan Menggunakan Pemodelan Matematika*, Institut Teknologi Nasional, Bandung.

*Analisis Kebijakan Menggunakan Pemodelan Matematika Untuk Pengembangan Industri
Bahan Bakar Nabati Bioetanol Dari Mikroalga*

Timnas BBN. (2006). *Blue Print Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran 2006-2025*. Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati.