



Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia:

Tinjauan Sumber Daya,
Teknologi, Manajemen,
dan Kebijakan



Editor:
Haznan Abimanyu
Sunit Hendrana

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia:

**Tinjauan Sumber Daya,
Teknologi, Manajemen,
dan Kebijakan**



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sanksi Pelanggaran Pasal 72
Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia:

Tinjauan Sumber Daya,
Teknologi, Manajemen,
dan Kebijakan

Editor:

Haznan Abimanyu
Sunit Hendrana



LIPi Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2014 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Penelitian Perkembangan Iptek (Pappiptek)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan/Haznan Abimanyu dan Sunit Hendrana (Ed.). – Jakarta: LIPI Press, 2014.

xx + 224 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-979-799-802-8

1. Biomassa
3. Indonesia

2. Energi Alternatif

333.953 9

Copy editor : Martinus Helmiawan
Proofreader : Prapti Sasiwi
Penata isi : Rahma Hilma Taslima dan Astuti Krisnawati
Desainer Sampul : Rusli Fazi

Cetakan Pertama : Oktober 2014



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Jln. Gondangdia Lama 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp. (021) 314 0228, 314 6942. Faks. (021) 314 4591
E-mail: press@mail.lipi.go.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

Daftar Isi.....	v
Daftar Tabel.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Singkatan.....	xi
Pengantar Penerbit.....	xiii
Kata Pengantar.....	xv
Sambutan Koordinator Subkegiatan: Energi Bersih Terbarukan dan Pasokan Air Bersih.....	xvii
Sambutan Kepala Pusat Penelitian Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi LIPI.....	xix

PROLOG

Biomassa: Potensi untuk Energi Alternatif <i>Haznan Abimanyu</i>	1
---	---

BAGIAN SATU:

POTENSI SUMBER DAYA BIOMASSA UNTUK ENERGI.....	11
Sumber Daya Biomassa untuk Energi Terbarukan di Indonesia: Potensi Biomassa Sektor Pertanian, Perkebunan, dan Sampah Kota <i>Wati Hermawati</i>	13
Sumber Daya Hutan untuk Energi Terbarukan <i>Nanang Roffandi Ahmad</i>	35
Potensi Alga Tropikal untuk <i>Biofuel</i> <i>Dwi Susilaningsih</i>	55

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAGIAN DUA:

KONTRIBUSI SAINS DAN TEKNOLOGI DALAM PENGELOLAAN BIOMASSA UNTUK ENERGI	81
Implementasi Teknologi Energi Biomassa di Tingkat Industri di Indonesia <i>Isbelina Rosaira, Wati Hermawati, Prakoso Bhairawa Putera</i>	83
Produksi Energi Berkelanjutan Berbasis Mikroalga <i>Swastika Praharyawan dan Dwi Susilaningsih</i>	103
Pembangkit Listrik Berbasis Gasifikasi Biomassa Skala Kecil untuk Daerah Terpencil di Indonesia <i>Sunu Herwi Pranolo dan Wusana Agung Wibowo</i>	121
Perkembangan Teknologi Biogas di Indonesia <i>Purnama Alamsyah</i>	141
Analisis Informasi Perkembangan Teknologi Transesterifikasi Produksi Biodiesel Indonesia <i>Mahmudi</i>	159

BAGIAN TIGA:

ASPEK MANAJEMEN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN BIOMASSA UNTUK ENERGI	179
Integrasi Rantai Pasokan untuk Pengembangan Industri Bioetanol Berkelanjutan <i>Saut H. Siabaan</i>	181
<i>Policy Actions</i> Pemerintah terhadap Pengembangan Bioenergi Nasional: Tinjauan Kebijakan PascaPemberlakuan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi <i>Prakoso Bhairawa Putera dan Amelya Gustina</i>	193

EPILOG

Energi Terbarukan Biomassa: Potensi Besar dan Tersebar <i>Sunit Hendrana</i>	209
Tentang Editor	217
Tentang Penulis	219

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Beberapa Peraturan-Peraturan yang Terkait dengan Energi.....	8
Tabel 2.1	Potensi Sumber Daya Energi Fosil Indonesia.....	13
Tabel 2.2	Potensi Energi Terbarukan di Indonesia.....	14
Tabel 2.3	Konsumsi Energi Final (termasuk Biomassa), Tahun 2011	15
Tabel 2.4	Potensi Limbah dari Tanaman Pangan dan Lainnya sebagai Sumber Energi.....	19
Tabel 2.5	Produksi Biomassa Berbagai Jenis Tanaman Perkebunan	21
Tabel 2.6	Produksi Limbah Biomassa Berbagai Jenis Tanaman Perkebunan	22
Tabel 2.7	Rata-Rata Timbulan Sampah Harian Berbagai Kota Besar di Indonesia.....	25
Tabel 2.8	Nilai Kalor/Panas Berbagai Jenis Biomassa.....	27
Tabel 3.1	Konsumsi Kayu Dunia dan Peruntukannya 1994.....	36
Tabel 3.2	Tren Pemakaian Energi Terbarukan di Eropa (dalam MTOE).....	37
Tabel 3.3	Luas Kawasan Hutan dan Jenis Hutan Indonesia	39
Tabel 3.4	Jenis dan Karakteristik Kayu Energi.....	46
Tabel 4.1	Perbandingan Berbagai Bahan Baku Biodiesel.....	59
Tabel 4.2	Asumsi Perbandingan Harga atau Hitungan Ekonomi Masing-Masing Teknik Budi Daya Alga	60
Tabel 4.3	Perbandingan Harga antara Budi Daya Alga dengan Sistem Reaktor Terbuka dan Tertutup.....	62
Tabel 4.4	Perkembangan Alga sebagai Sumber Bahan Bakar Biodiesel dan Aspeknya	66
Tabel 4.5	Perbandingan antara Energi Berbasis Biodiesel dan Biohidrogen.....	74

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 5.1	Konsumsi Energi Final (termasuk Biomassa), Tahun 2011.....	83
Tabel 5.2	Bahan Baku yang Dapat Digunakan untuk Berbagai Jenis Bahan Bakar Biomassa.....	86
Tabel 5.3	Produksi Bioetanol Beberapa Perusahaan di Indonesia.....	93
Tabel 5.4	Produksi Biodiesel Beberapa Perusahaan di Indonesia.....	94
Tabel 5.5	Beberapa Perusahaan Penghasil Listrik dan Energi Lainnya dari Biomassa	97
Tabel 6.1	Kandungan dan Produktivitas Lipid dari Beberapa Spesies Mikroalga	106
Tabel 6.2	<i>Yield</i> Produksi Biogas dari Spesies Mikroalga yang Berbeda	112
Tabel 7.1	Sifat-Sifat Kimia dan Fisika Berbagai Jenis Biomassa.....	123
Tabel 7.2	Komposisi Kimia Tipikal Gas Sintesis Hasil Gasifikasi Beberapa Jenis Biomassa	126
Tabel 7.4	Produktivitas Biomassa Hasil Samping Industri Perkebunan Kelapa Sawit.....	134
Tabel 8.1	Populasi Ternak di Indonesia	153
Tabel 8.2	Produksi Biogas Hewan Ternak di Indonesia Tahun 2010, dalam Ribuan Meter Kubik	153
Tabel 9.1	Daftar Hasil Penelitian di Indonesia Mengenai Pembuatan Biodiesel Menggunakan Teknologi Transesterifikasi.....	167
Tabel 10.1	Realisasi Distribusi <i>Biofuel</i> Pertamina Tahun 2006 s.d 2011 (dalam kL)	187
Tabel 10.2	Penggunaan Bioetanol untuk Bahan Bakar dan Industri Kimia di Indonesia	188
Tabel 11.1	Perubahan Permen ESDM Nomor 32 Tahun 2008.....	203

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Konsumsi bahan bakar fosil cair.....	2
Gambar 1.2	Produksi bahan bakar fosil cair.....	3
Gambar 1.3	Produksi karbon hasil pembakaran bahan bakar fosil.....	4
Gambar 2.1	Produksi energi dari biomassa.....	29
Gambar 4.1	Perkembangan bioenergi dari generasi ke generasi.....	56
Gambar 4.2	Jenis-jenis alga yang dikembangkan menjadi berbagai industri di dunia.....	57
Gambar 4.3	Skema industri energi berbasis alga.....	63
Gambar 4.4	Skema pembuatan biohidrogen dari alga.....	75
Gambar 4.5	<i>Pathway</i> pembuatan etanol pada alga.....	75
Gambar 5.1	Alternatif pengolahan biomassa.....	87
Gambar 5.2	Sebaran produksi bahan bakar nabati di Indonesia.....	99
Gambar 6.1	Reaksi transesterifikasi dari lipid menjadi biodiesel. R_{1-3} adalah gugus hidrokarbon.....	108
Gambar 6.2	Skema pembuatan etanol dari proses fermentasi biomassa alga.....	109
Gambar 6.3	Alur massa dan sistem daur ulang proses produksi energi dari biomassa mikroalga.....	113
Gambar 7.1	Berbagai potensi pemanfaatan gas hasil gasifikasi biomassa.....	127
Gambar 7.2	Konfigurasi reaktor gasifikasi jenis <i>multi-stage fixed-bed</i>	129
Gambar 7.3	Biaya produksi listrik dari berbagai sumber energi.....	130
Gambar 7.4	Alur proses pembangkit listrik tenaga diesel-gasifikasi tongkol jagung (kapasitas 60 kVA) di Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan.....	133

Gambar 7.5. Unit pembangkit listrik tenaga diesel-gasifikasi pelepah sawit 100 kVA di Kabupaten Siak Sri Indrapura.....	135
Gambar 9.1 Skema produksi biodiesel dari minyak nabati (trigliserida) melalui proses transesterifikasi dengan metanol menghasilkan gliserol dan biodiesel (metil ester).....	165
Gambar 10.1 Struktur rantai pasokan (dimodifikasi dari Taylor, 2005)	186
Gambar 10.2 Rantai pasokan industri bioetanol PT RNI-Cirebon (PSA Palimanan)	189
Gambar 10.3 Rantai pasokan industri bioetanol PT Medco Ehtanol	189
Gambar 11.1 Struktur umum kebijakan.....	200
Gambar 11.2 Kebijakan pokok pengembangan dan implementasi bioenergi di Indonesia	201
Gambar 12.1 Skema perkembangan sumber energi selama 100 tahun.....	213

DAFTAR SINGKATAN

AME	: <i>Altfett Methyl Ester</i>
APKASI	: Asosiasi Pemerintah Kabupaten Seluruh Indonesia
APL	: Areal Penggunaan Lain
APROBI	: Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia
BATAMAS	: Biogas Asal Ternak Bersama Masyarakat
BBC	: Bahan Bakar Cair
BBL	: Bahan Bakar Lain
BBN	: Bahan Bakar Nabati
BBM	: Bahan Bakar Minyak
BEP	: Bio-Energi Perdesaan
BIRU	: Biogas Rumah
BOE	: <i>Barrel Oil Equivalent</i>
BORDA	: <i>Bremen Overseas Research and Development Association</i>
BUMP	: Badan Usaha Milik Petani
BPPT	: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
DME	: Desa Mandiri Energi
Ditjen EBTKE	: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi
EBT	: Energi Baru dan Terbarukan
FAME	: <i>Fatty Acids Metil Ester</i>
FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i>
GDP	: <i>Gross Domestic Product</i>
GRK	: Gas Rumah Kaca
HPP	: Harga Pokok Produksi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

HA	: Hutan Alam
HT	: Hutan Tanaman
HTI-E	: Tanaman Tanaman Industri-Energi
HIP	: Harga Indeks Pasar
IOE	: <i>International Energy Outlook</i>
IDBP	: <i>Indonesia Domestic Biogas Program</i>
IRDp	: <i>Integrated Rural Development Project</i>
IUPHHK	: Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu
KEN	: Kebijakan Energi Nasional
KESDM	: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
LPTP	: Lembaga Pengembangan Teknologi Pedesaan
MPOB	: <i>Malaysian Palm Oil Board</i>
MDGs	: <i>Millennium Development Goals</i>
MTOE	: <i>Million Tonnes of Oil Equivalent</i>
PES	: <i>Payment for Environment Services</i>
Perpres	: Peraturan Presiden
PJL	: Pembayaran Jasa Lingkungan
PLTBE	: Pembangkit Listrik Tenaga Bio Energi
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PKS	: Pabrik Kelapa Sawit
Pusdatin	: Pusat Data dan Informasi
POME	: <i>Palm Oil Mill Effluent</i>
SBM	: Setara Barel Minyak

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press memiliki tanggung jawab untuk mencerdaskan kehidupan bangsa melalui penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas. Terbitan dalam bentuk bunga rampai yang berjudul *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan* ini telah melewati mekanisme penjaminan mutu sebagaimana layaknya terbitan ilmiah, termasuk proses penelaahan dan penyuntingan oleh Dewan Editor LIPI Press.

Bunga rampai ini mengulas peran biomassa sebagai energi alternatif yang terbarukan dalam menghadapi krisis energi global. Berbagai macam sudut pandang dan tinjauan dilakukan terhadap pembahasan biomassa, mulai dari segi sumber daya, teknologi, manajemen hingga kebijakan.

Harapan kami, terbitan ini dapat memberikan sumbangan ilmu dan wawasan bagi para pembaca serta dapat memberikan informasi yang jelas mengenai potensi pemanfaatan biomassa sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang mampu menjawab ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan bunga rampai ini.

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah Swt. atas karunia dan hidayah-Nya maka bunga rampai ini dapat diterbitkan. Bunga rampai ini diterbitkan sebagai bentuk kecintaan dan pikiran dari sejumlah peneliti dan akademisi terhadap bidang energi baru dan terbarukan, khususnya biomassa. Bunga rampai ini berisi sejumlah gagasan yang ditulis sesuai dengan bidang dan latar belakang keilmuan dari para penulisnya.

Bunga rampai ini berjudul *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan*. Gagasan yang ditulis dalam bunga rampai ini berisi tinjauan dari sejumlah perspektif seperti sumber daya, teknologi, manajemen, dan kebijakan. Guna memberikan kemudahan dalam memahami isi, bunga rampai ini dibagi dalam tiga bagian utama, yaitu bagian pertama yang mengulas potensi sumber daya biomassa untuk energi, seperti potensi biomassa sektor pertanian, perkebunan, sampah kota, hutan, dan alga tropika. Bagian kedua mengupas kontribusi sains dan teknologi dalam pengelolaan biomassa untuk energi. Bagian ketiga mengulas aspek manajemen dan kebijakan pengelolaan biomassa untuk energi. Bunga rampai ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dalam bidang energi baru dan terbarukan. Multiperspektif yang ditulis oleh para penulis menjadikan bunga rampai ini semakin kaya dan menarik.

Terima kasih atas dukungan dari semua pihak, khususnya kepada pimpinan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kepala Pusat Pene-

litian Perkembangan Iptek LIPI, Kepala Pusat Penelitian Fisika LIPI, LIPI Press, dan sejumlah pihak lainnya atas dukungannya sehingga buku ini dapat diterbitkan sesuai dengan jadwal.

Akhir kata, semoga bunga rampai ini bermanfaat untuk memberikan tambahan pengetahuan dan wawasan khususnya dalam bidang energi baru dan terbarukan.

Jakarta, 27 Januari 2014

Wati Hermawati dkk.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

SAMBUTAN KOORDINATOR SUBKEGIATAN: Energi Bersih Terbarukan dan Pasokan Air Bersih

Indonesia sebagai sebuah negara tropis memiliki sumber energi terbarukan berlimpah berupa biomassa dan tanaman energi. Energi biomassa dapat ditemukan dalam bentuk bahan bakar biogas, *bio-liquid*, dan *bio-solid* serta listrik. Di masa depan diperkirakan bahwa biogas dan *bio-liquid* dapat secara signifikan menggantikan bahan bakar fosil untuk listrik dan transportasi.

Saya menyambut baik dengan diterbitkannya Bunga Rampai, *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan* yang merupakan bentuk penulisan bersama peneliti LIPI dan sejumlah penulis lainnya dengan tema energi terbarukan, khususnya biomassa.

Energi berbasis biomassa berpotensi besar dalam mendukung pasokan energi yang berkelanjutan di masa mendatang. Meskipun demikian, pengembangannya harus dirancang sedemikian rupa sehingga berefek positif terhadap pembangunan sosial ekonomi masyarakat dan di pihak lain juga tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.

Semua teknologi konversi biomassa menjadi energi bisa diterapkan di Indonesia, dengan pengembangan yang disesuaikan dengan besaran ketersediaan biomassa, teknologi yang telah dikuasai, ketersediaan anggaran, dan jenis produk yang dibutuhkan pasar di masing-masing daerah. Alternatif teknologi konversi dalam mengantisipasi kelangkaan BBM antara lain teknologi kombusi, gasifikasi, fermentasi, dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

proses anaerobik serta transesterifikasi. Teknologi tersebut dipilih sebagai alternatif karena lebih efisien dan produknya pun berupa bahan bakar yang dapat digunakan sebagai sumber panas, listrik, dan bahan bakar kendaraan.

Kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi sehingga bunga rampai ini dapat diselesaikan. Semoga bunga rampai ini bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, 27 Januari 2014

Koordinator Subkegiatan Kompetitif LIPI:
Energi Bersih Terbarukan dan Pasokan Air Bersih

Dipl.-Ing. Haznan Abimanyu, Ph.D.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

SAMBUTAN KEPALA

Pusat Penelitian Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi LIPI

Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu isu penting ditengah tantangan krisis energi. Tantangan tersebut wajib dijawab dengan tindak nyata. Tindak nyata dapat dilaksanakan melalui penelitian dan pengembangan yang tentunya menjadi solusi bagi penyediaan dan kebutuhan akan energi di negeri ini. Sejumlah pemikiran, kajian, dan penelitian telah banyak dilakukan oleh para peneliti di Indonesia. Namun, tidak banyak yang mampu menuangkan kembali dalam bentuk terbitan buku. Hal inilah yang membuat saya bergembira dengan terbitnya *Bunga Rampai Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan*. Buku ini menjadi pengobat rindu akan bacaan berkualitas dari para peneliti mengenai bidang energi baru dan terbarukan, khususnya biomassa.

Kumpulan tulisan ini menjadi salah satu bukti bahwa para peneliti tidak hanya asyik di dalam laboratorium atau lapangan saja, tetapi telah mampu menuangkan gagasan dengan bahasa yang lebih mudah dipahami oleh semua kalangan dengan tidak keluar dari koridor penulisan yang telah ada. Apresiasi patut saya berikan kepada Dra. Wati Hermawati, M.B.A. atas gagasan cemerlang untuk membukukan sejumlah tulisan dari para peneliti dan penulis, yang ternyata tidak hanya berasal dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia saja, tetapi menggandeng rekan-rekan peneliti dan penulis dari institusi dan perguruan tinggi lainnya. Keputusan ini sangat tepat karena kolaborasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tidak hanya dapat dilakukan pada penyelenggaraan penelitian bersama saja, tetapi penulisan buku semacam ini pun dapat dilaksanakan.

Harapan saya, penulisan buku seperti ini dapat terus dilanjutkan, tidak hanya untuk bidang energi baru dan terbarukan, khususnya biomassa, tetapi juga bidang-bidang riset lainnya. Dengan demikian, gagasan dan pemikiran dari para peneliti tidak hanya terhenti di laboratorium, ruang diskusi, ataupun ruang seminar saja.

Sekali lagi selamat atas diterbitkannya bunga rampai ini, semoga Allah Swt. senantiasa mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita dan instansi yang kita cintai dan banggakan ini, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Jakarta, 27 Januari 2014

Kepala Pusat Penelitian Perkembangan Iptek-LIPI

Prof. Dr. Ir. Husein Avicenna Akil, M.Sc.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PROLOG

Biomassa: Potensi untuk Energi Alternatif

Haznan Abimanyu

Energi merupakan sesuatu yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Sejak adanya kehidupan di dunia, manusia sudah memerlukan energi. Dalam kehidupan zaman modern saat ini, tidak terbayangkan bila kehidupan tanpa adanya energi. Energi bagi kehidupan adalah hal yang wajib bagi kelangsungan hidup manusia.

Energi memiliki peranan yang sangat penting dan strategis untuk pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan dalam pembangunan berkelanjutan serta pendorong kegiatan ekonomi dan pertambahan jumlah penduduk. Setiap proses kehidupan manusia memerlukan energi yang dibutuhkan untuk memasak makanan/minuman, memanaskan/menyejukkan ruangan, alat penerangan, alat transportasi, alat komunikasi, peralatan dikantor dan pabrik, sampai kepada peralatan medis di rumah sakit. Semua hal tersebut membutuhkan energi dengan berbagai bentuknya, baik berupa panas maupun berupa listrik.

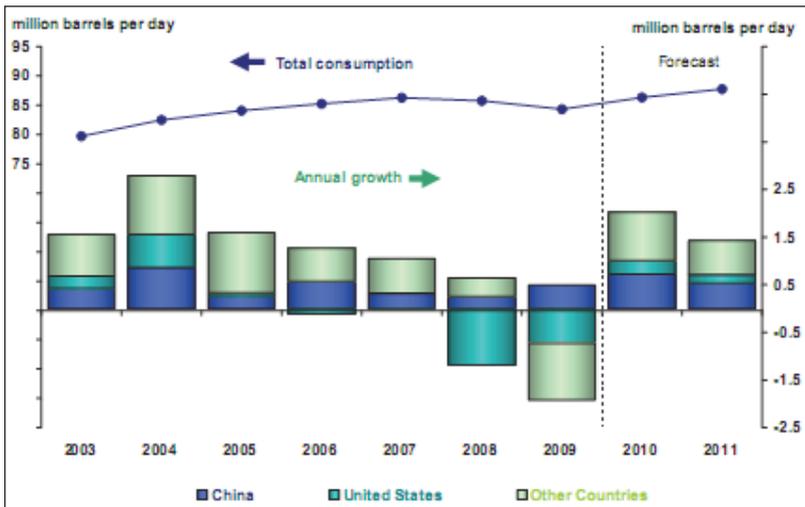
A. Kecenderungan Kebutuhan Energi

Akhir-akhir ini penduduk dunia menghadapi dua masalah besar berkaitan dengan energi. Pertama, meningkatnya kebutuhan akan energi sementara sumber energi yang berasal dari fosil semakin menipis dan diramalkan akan habis dalam beberapa dekade ke depan. Berkurangnya bahan bakar minyak ditandai dengan kelangkaan dan naiknya harga minyak. Menurut International Energy Outlook

Buku ini tidak diperjualbelikan.

2010, konsumsi bahan bakar cair (BBC) dunia bertambah sebanyak 2 juta barel/hari pada tahun 2010 ini (Gambar 1.1) menjadi 84 juta barel/hari, sedangkan supply BBC pada tahun 2010 sebesar 86,35 juta barel/hari dengan kenaikan hanya 1,4 juta barel/hari. Estimasi konsumsi BBC pada tahun 2020 sebesar 92,1 juta barel/hari dan meningkat pada tahun 2035 menjadi 110,6 juta barel/hari, sedangkan produksinya diperkirakan hanya 90 juta barel/hari pada tahun 2020 dan 110 juta barel/hari di tahun 2035 (Gambar 1.2). Dengan konsumsi dan produksi seperti ini diperkirakan cadangan BBC akan habis dalam 40–50 tahun yang akan datang (IEO, 2010).

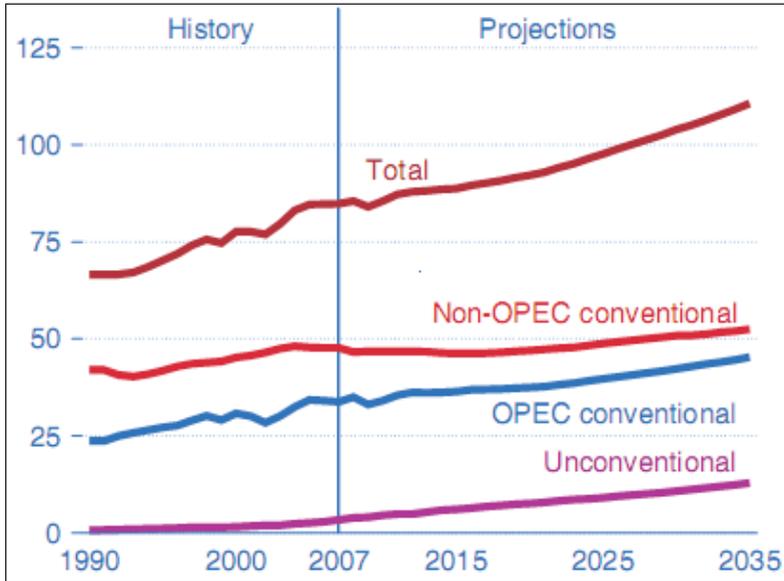
Kedua, penggunaan energi fosil memberikan kontribusi terhadap gangguan lingkungan terutama bertambahnya polusi udara yang pada akhirnya meningkatkan pemanasan global. Menurut laporan US EPA tahun 2000, lebih dari 90% gas rumah kaca dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil tidak hanya menghasilkan gas CO₂, akan tetapi juga menghasilkan gas-gas sebagai polutan lainnya seperti nitrogen oksida, sulfur oksida, dan juga logam



Sumber: IEO (2010)

Gambar 1.1 Konsumsi bahan bakar fosil cair

Buku ini tidak diperjualbelikan.



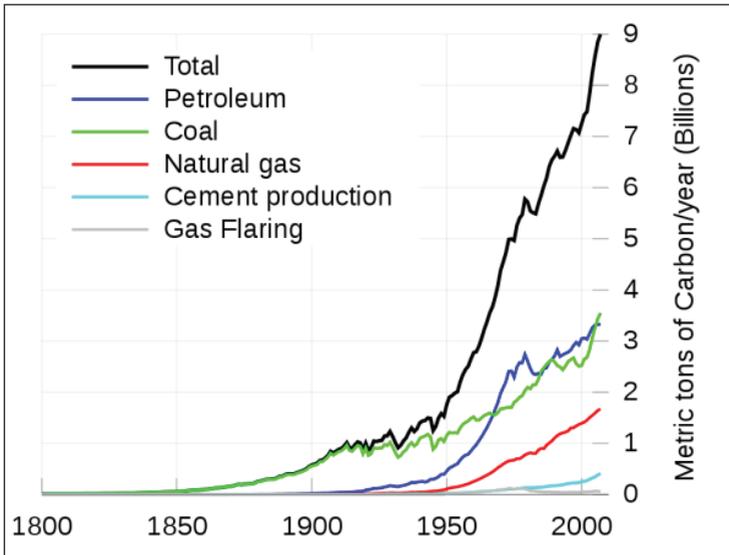
Sumber: IEO (2010)

Gambar 1.2 Produksi bahan bakar fosil cair

berat. Jumlah karbon (karbon hanya merepresentasikan 27% dari total CO₂) yang terbakar dari BBC pada tahun 2007 sebanyak 3,3 milyar Mton dan 9 milyar Mton dihasilkan dari pembakaran seluruh bahan bakar fosil seperti diperlihatkan pada Gambar 1.3 (US EPA, 2000).

Hal serupa juga terjadi di Indonesia, di mana kebutuhan akan energi pada saat ini sebagian besar masih ditopang oleh bahan bakar fosil. Minyak bumi, gas alam, dan batu bara menyumbang masing-masing 51,66%, 28,57%, dan 15,34% kebutuhan energi, sedangkan sisanya adalah tenaga air dan panas bumi. Di sisi lain, persediaan bahan bakar fosil di dunia, khususnya di Indonesia, semakin berkurang. Kondisi ini diperkuat dengan hasil kajian dari Direktorat Riset dan Kajian Strategis IPB Tahun 2008 yang menyebutkan bahwa dari sisi persediaan, cadangan minyak bumi Indonesia (*proven*) pada tahun 2006 hanya 3,4 milyar barel dengan laju produksi 1,071 juta barel per

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: US EPA (2000)

Gambar 1.3 Produksi karbon hasil pembakaran bahan bakar fosil

hari (BP, 2006) dan di tahun 2012 menurun menjadi 918 juta barel per hari (BP, 2013). Kondisi ini diperkirakan akan habis dalam waktu 15 Tahun.

B. Sumber Energi Alternatif

Dua bentuk energi yang sangat penting dan banyak digunakan adalah panas yang digunakan sebagai pemanas dalam ruangan maupun dalam industri, sebagai bahan bakar yang digunakan baik untuk pembakaran kegiatan rumah tangga, industri maupun untuk kendaraan bermotor; serta listrik yang penggunaannya sangat luas, dari peralatan rumah tangga, komunikasi, dan transportasi.

Canton (2006) menyatakan ada 10 tren yang akan mengubah wajah dunia masa depan. Dua di antaranya yang kita rasakan sekarang ini adalah krisis energi dan transformasi ekonomi secara global. Selanjutnya, Canton (2006) menyatakan bahwa pada tahun 2015 akan

terjadi krisis minyak bumi yang semakin memuncak. Jika penggunaan minyak bumi tak bisa dikurangi maka manusia harus mencari sumber energi baru.

Di tengah krisis energi seperti saat ini, istilah “energi baru dan terbarukan” atau *alternative energy* makin sering disebut sebagai solusi dari ketergantungan akan minyak bumi. Energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis, salah satunya adalah biomassa.

Definisi biomassa dalam kaitannya dengan energi terbarukan dikemukakan oleh UK Biomass Strategy (2007) dalam Korhaliller (2010) yang menyatakan biomassa adalah “segala material biologis (termasuk mikroba) yang berasal dari tanaman atau hewan yang bisa digunakan untuk memproduksi panas dan/atau tenaga, bahan bakar termasuk bahan bakar transportasi, atau sebagai pengganti produk dan material berbasis fosil”.

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar akan biomassa sebagai sumber energi alternatif baik dari sektor pertanian, sektor kehutanan, maupun dari sampah biomassa yang merupakan hasil samping dari proses pengolahan makanan maupun perdagangan. Potensi ini akan dibahas lebih mendalam pada bagian satu *Potensi Sumber Daya Biomassa untuk Energi* dalam buku ini.

C. Teknologi Proses Biomassa Menjadi Energi Alternatif

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi telah dilakukan semenjak adanya manusia di muka bumi ini. Pada awalnya biomassa digunakan untuk memanaskan ruangan (gua) atau untuk memasak/membakar makanan. Dengan perkembangan budaya, ilmu, dan teknologi maka penggunaan biomassa sebagai sumber energi semakin beragam, baik bentuk energinya maupun cara pengolahannya (proses).

Dengan ditemukannya sumber energi fosil, biomassa tidak lagi menjadi sumber energi utama baik untuk pemanas ruangan maupun

penggunaan energi lainnya. Pengecualian berlaku di beberapa tempat, terutama di pedesaan atau pedalaman yang jauh dari pengolahan sumber energi fosil. Namun, akhir-akhir ini ketika cadangan sumber energi fosil semakin menipis dan diprediksi akan habis dalam beberapa dekade mendatang maka biomassa kembali dilirik sebagai salah satu sumber energi alternatif dan terbarukan yang dapat diandalkan. Ketersediaan biomassa cukup besar di dunia dan Indonesia merupakan salah satu sumber biomassa yang terbesar.

Proses pengolahan biomassa menjadi energi siap pakai ditempuh dengan berbagai macam cara, dari cara konvensional sampai kepada penggunaan teknologi tinggi. Ada beberapa jenis teknologi yang saat ini dikembangkan untuk mengonversi biomassa menjadi energi yang siap dipakai untuk berbagai keperluan, di antaranya adalah kombusi, karbonisasi, gasifikasi, pirolisis, transesterifikasi, fermentasi, dan *anaerob digestion*. Teknologi-teknologi tersebut digunakan sesuai dengan tujuan akhir penggunaan sumber energi, baik sebagai panas, listrik, bahan bakar cair, gas maupun cadangan energi berupa arang. Beberapa teknologi tersebut akan dikupas dalam buku ini pada bagian dua *Kontribusi Sains dan Teknologi dalam Pengelolaan Biomassa untuk Energi*.

D. Kebijakan Energi Baru dan Terbarukan

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi sumber daya bioenergi yang melimpah. Potensi biomassa sebagai bioenergi diperkirakan mencapai 49,8 GW, namun yang termanfaatkan baru mencapai 3,25%.

Pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan dasar sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan penggunaan bioenergi dan mendorong pertumbuhan industri bahan bakar nabati (BBN). Kebijakan dasar ini antara lain: Perpres 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menetapkan target kontribusi BBN sebesar minimal 5% di tahun 2025, Inpres I/2006 yang mengatur tugas berbagai Kementerian dan Pemerintah Daerah di dalam Mendorong Pemanfaatan

BBN, Kepmen ESDM 32/2008 tentang Mandatori Penggunaan BBN oleh Sektor Transportasi, Pembangunan Listrik maupun Industri, dan Perpres 45/2009 yang menetapkan status BBN yang tadinya diklasifikasikan sebagai bahan bakar lain (BBL) yang tidak disubsidi menjadi bahan bakar tertentu yang boleh disubsidi. Lebih jauh lagi, Pemerintah telah menyediakan anggaran khusus untuk subsidi harga BBN rata-rata sebesar Rp1.000/liter di tahun 2009 dan rata-rata sebesar Rp2.000/liter di tahun 2010 dan 2011 (Soerawidjaja, 2011). Tabel 1.1 memperlihatkan beberapa peraturan yang terkait dengan energi baru terbarukan termasuk biomassa.

Berbagai upaya regulasi tersebut belum mampu mendorong implementasi BBN nasional secara efektif. Saat ini negara kita telah memiliki pabrik biodiesel dengan kapasitas terpasang 3,9 juta kL/tahun dan pabrik bioetanol dengan kapasitas terpasang 516 ribu kL/tahun, namun produksi BBN masih jauh dibandingkan kapasitas tersebut. Perniagaan BBN masih lesu dan tersendat berbagai faktor. Para pengusaha BBN nasional seakan mati suri walaupun telah ada dukungan regulasi dari pemerintah dan dari Pertamina yang telah masuk ke dalam bisnis penjualan campuran bahan bakar fosil dengan BBN (Biosolar, Biopremium, dan Biopertamax).

Meskipun pemerintah telah menetapkan subsidi harga BBN sebesar Rp2.000/liter untuk tahun 2010 dan 2011, ternyata jumlah tersebut masih belum mampu menutupi harga pokok produksi (HPP) BBN. Hal ini menjadikan bisnis *biofuel* menjadi tidak ekonomis. Sebagai contoh, bioetanol dari singkong memiliki HPP yang diperkirakan mencapai Rp6.500/liter. Harga bioetanol *fuel grade* yang diterima oleh Pertamina dengan subsidi yang hanya Rp2.000/liter menjadikan bioetanol tersebut sama dengan HPP-nya, yaitu Rp6.500/liter (harga premium Rp4.500 saat itu). Bagi para pengusaha bioethanol, harga tersebut tentu saja tidak kompetitif, karena tidak ada margin keuntungan dari penjualan bioetanol *fuel grade* yang mereka peroleh. Faktor inilah yang mungkin menjadi penyebab utama kelesuan bisnis *biofuel* di Indonesia. Pabrik bioetanol di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 1.1 Beberapa Peraturan-Peraturan yang Terkait dengan Energi

Peraturan/Kebijakan	Maksud/Tujuan
Peraturan Pemerintah No. 5/2006	Mengorganisasikan peraturan energi Indonesia
Instruksi Presiden No. 1/2006	Suplai dan penggunaan <i>biofuel</i> sebagai sumber bahan bakar alternatif
Instruksi Presiden No. 2/2006	Suplai dan penggunaan batu bara cair sebagai sumber bahan bakar alternatif
Dekrit Menteri Perekonomian No. KEP-11/M.EKON/02/2006	Pembentukan tim untuk suplai dan penggunaan energi alternatif
Dekrit Presiden No. 10/2006	Pembentukan tim nasional untuk pengembangan <i>biofuel</i> untuk mempercepat pengurangan angka kemiskinan dan pengangguran
Dekrit Menteri ESDM No. 051/2006	Persyaratan dan orientasi lisensi perdagangan <i>biofuel</i> sebagai energi alternatif
Undang-Undang No. 27/2003	Pengembangan geotermal
Undang-Undang No. 6/1994, Juni 2002	Peluncuran Program Energi Hijau
Dekrit Kementerian, Kep.Men No.1122/ K/30/MEM/2002	Kewajiban pemain kunci dalam sektor ketenaga listrikan untuk penggunaan tenaga air sebagai bagian dari portofolio
Peraturan Pemerintah No. 3/2005	Peningkatan peran pemerintah lokal, koperasi, perusahaan swasta, organisasi kemasyarakatan, dan individu dalam menyuplai listrik
Undang-Undang No. 22/1999	Pengalihan otoritas pemerintah pusat kepada pemerintah daerah dengan memberikan otonomi dan tanggung jawab yang lebih besar untuk memajukan sistem kelistrikan daerah

kemudian beralih memproduksi bioetanol untuk industri pangan dan farmasi, yang notabene memiliki harga jual yang jauh lebih tinggi (sekitar Rp15.000/liter). Pembahasan mengenai manajemen dan kebijakan akan ditemui pada bagian tiga *Aspek Manajemen dan Kebijakan Pengelolaan Biomassa untuk Energi*.

Daftar Pustaka

- BP. (2006). Quantifying Energy. *Statistical Review of World Energy*. UK
- BP. (2013). *BP Statistical Review of World Energy 2013*. London: BP.
- Canton, J. (2006). *The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World in the Next 20 Years*. USA: Plume.
- Direktorat Riset dan Kajian Strategis-IPB. (2008). Perspektif Baru Pembangunan untuk Menanggulangi Krisis Pangan dan Energi. *Laporan Kajian*. Bogor: Direktorat Riset dan Kajian Strategis-IPB.
- IEO. (2010). *U.S. Energy Information Administration/International Energy Outlook 2010*.
- Korhaliller, S. (2010). *The UK's Biomass Energy Development Path*. International Institute for Environment and Development (IIED).
- Soerawidjaja, T.H. (2011). Rintang-Rintang Percepatan Implementasi Bioenergi. Seminar on *New and Renewable Energy*, Kadin Indonesia with Industrial Community in Indonesia, July 14th, 2011, Jakarta.
- US EPA. (2000). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–1998*, Rep. EPA 236-R-00-01. US EPA, Washington, DC, <http://www.epa.gov/globalwarming>.

BAGIAN SATU

**POTENSI SUMBER DAYA
BIOMASSA UNTUK ENERGI**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

SUMBER DAYA BIOMASSA UNTUK ENERGI TERBARUKAN DI INDONESIA: Potensi Biomassa Sektor Pertanian, Perkebunan, dan Sampah Kota

Wati Hermawati

A. Pendahuluan

Krisis energi yang terjadi di dunia juga melanda Indonesia. Cadangan energi terutama minyak bumi semakin menyusut dengan rasio cadangan per produksi sekitar sebelas tahun (Tabel 2.1). Di sisi lain, kondisi keenergian Indonesia ditandai dengan pertumbuhan konsumsi energi rata-rata 7% per tahun yang belum diimbangi dengan pasokan energi yang cukup. Selain itu, kebutuhan listrik Indonesia sebesar 9,2% per tahun dan elastisitas energi 1,65. Sampai tahun 2012, terdapat sedikitnya 23,44% rumah tangga yang belum berlistrik (Kusdiana, 2013).

Salah satu penyebab krisis energi ini adalah kecenderungan terjadinya peningkatan jumlah penduduk yang berkorelasi positif dengan peningkatan konsumsi energi terutama bahan bakar minyak dan

Tabel 2.1 Potensi Sumber Daya Energi Fosil Indonesia

Energi Fosil	Cadangan	Produksi per Tahun	Rasio Cadangan per Produksi (tahun)
Minyak	4 miliar barel	347 juta barel	11 tahun
Gas	104,71 TSCF	3212 BSCF	32 tahun
Batu Bara	21 miliar ton	329 Juta ton	85 tahun
<i>Coal Bed Methane</i> (CBM)	453 TSCF	-	-
<i>Shale Gas</i>	574 TSCF	-	-

Sumber: Ditjen EBTKE dalam BPPT (2012)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

listrik. Pada beberapa tahun terakhir ini, ketersediaan energi terutama bahan bakar minyak dan listrik pada beberapa provinsi di Indonesia semakin langka bahkan mahal harganya. Krisis pasokan energi yang dihadapi ini telah memaksa pemerintah mendorong para pemangku kepentingan bidang energi untuk melakukan inovasi dan memanfaatkan energi baru dan terbarukan (EBT).

Data potensi sumber daya energi terbarukan Indonesia cukup besar. Ketersediaan sumber daya energi terbarukan ini belum dimanfaatkan secara maksimal, baik oleh pihak pemerintah maupun industri (Tabel 2.2). Selain air (skala besar dan mini/mikrohidro) dan panas bumi, Indonesia memiliki potensi sumber daya biomassa yang besar.

Di Indonesia, potensi biomassa yang dapat digunakan untuk pembangkitan energi saat ini tersedia dalam berbagai bentuk tanaman maupun limbah pertanian, perkebunan, hutan, dan ternak. Biomassa yang berasal dari sektor pertanian dan perkebunan seperti tanaman pangan dan produknya, lebih banyak digunakan untuk penyediaan pangan. Biomassa yang paling sesuai untuk bahan baku energi adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah, yaitu merupakan limbah yang telah diambil produk primernya. Biomassa jenis ini dapat diproses menjadi bahan bakar cair terutama untuk menggantikan penggunaan bahan bakar minyak dari fosil yang ketersediaannya terus menurun.

Tabel 2.2 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Energi Terbarukan	Kapasitas Terpasang (KT)	Sumber Daya (SD)	Rasio KT/SD
Air skala besar	6.654,29 MW	75.670 MW	8,8
Mini-Mikrohidro	228,983 MW	769,69 MW	29,75
Panas bumi	1.226 MW	29.038 MW	4,2
Biomassa	1.618,40 MW	49.810 MW	3,25
Energi surya	22,45 MW	4,80 kWh/m ² /day	-
Energi Angin	1,87 MW	448 at 3-6 m/sec	-
Uranium	30 MW**	3.000 MW*	1

Sumber: Ditjen EBTKE, dalam BPPT (2012)

Keterangan: * hanya di Kalan-Kalimantan Barat

** nonenergi, hanya untuk riset

Saat ini, konsumsi energi terbesar di Indonesia dikelompokkan ke dalam empat kelompok besar pengguna, yaitu industri, rumah tangga, komersial, dan transportasi. Pengguna biomassa terbesar saat ini adalah rumah tangga (Tabel 2.3). Konsumsi biomassa di tingkat rumah tangga banyak dilakukan di daerah pedesaan, yaitu biomassa dalam bentuk bahan bakar untuk kepentingan memasak dengan tungku. Penggunaan biomassa di tingkat rumah tangga dilakukan tanpa melalui proses dan teknologi yang rumit; kegiatannya cenderung merupakan pembakaran langsung dengan menggunakan berbagai tipe tungku, termasuk tungku tradisional dan tungku sehat hemat energi hasil modifikasi atau inovasi lembaga litbang maupun LSM.

Namun demikian, pembahasan pentingnya biomassa untuk energi oleh para pakar dan peneliti di berbagai forum nasional dan internasional, tidak hanya terfokus untuk tingkat rumah tangga, tetapi yang utama menyangkut potensinya untuk memenuhi kebutuhan energi (berupa energi panas, bahan bakar cair, gas bio, dan listrik) suatu negara. Hal ini mengingat biomassa merupakan sumber energi terbesar keempat setelah batu bara, minyak bumi, dan gas alam (Chen *et al.*, 2009; Ladanai & Vinterbäck, 2009). Di tingkat dunia, biomassa

Tabel 2.3 Konsumsi Energi Final (termasuk Biomassa), Tahun 2011

Pengguna	Konsumsi Total (termasuk Biomassa) Unit (BOE)	%	Konsumsi Biomassa (Ribu Ton)	Konsumsi Biomassa (Ribu BOE)
Industri	359.686.797	32,26	19.032	43.733
Rumah Tangga	320.369.268	28,74	102.242	234.943
Komersial	34.077.140	3,07	598	1.374
Transportasi	277.404.656	24,88	-	-
Sektor lainnya	24.861.386	2,23	-	-
<i>Non Energy Utili- zation</i>	98.412.712	8,82	-	-
Total	1.114.766.960	100	121.872	280.050

BOE (Barrel Oil Equivalent)

Sumber: Pusdatin, KESDM (2012)

bahkan berkontribusi sekitar 14% dari konsumsi energi primer dunia dan sebagian besar ada di negara berkembang (Saxena *et al.*, 2009). Pada tahun 2010, di negara maju tercatat 14% dari energi yang ada di Swedia berasal dari biomassa, 21% dari total konsumsi energi Finlandia berasal dari industri sektor kehutanan, dan di Amerika Serikat 9 juta Watt listrik diproduksi dari biomassa (Karhunen *et al.*, 2012). Sementara itu, di Jerman, biomassa berkontribusi sekitar 68,9% dari total konsumsi energi final yang berasal dari energi terbarukan (Konig, 2011)

Di Indonesia, biomassa juga merupakan salah satu alternatif sumber energi terbarukan. Menurut Perpres RI No. 5 Tahun 2006 tentang Energi, disebutkan bahwa biomassa tergolong ke dalam salah satu sumber energi terbarukan, yaitu sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Kebijakan energi ini secara spesifik juga menyatakan bahwa untuk mewujudkan energi *mix* yang optimal pada tahun 2025 maka peranan jenis-jenis energi terhadap konsumsi energi nasional ditingkatkan, di antaranya *biofuel* dan biomassa ditingkatkan menjadi lebih dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa pasar domestik untuk energi dari biomassa semakin terbuka lebar.

Biomassa sendiri merupakan sumber pangan dan sumber energi primer yang sangat potensial di Indonesia. Dengan bantuan teknologi, biomassa dapat diolah menjadi energi panas (*thermal*), bahan bakar cair/minyak, biogas, dan listrik. Indonesia diperkirakan memproduksi biomassa padat sebanyak 14 miliar ton per tahun, atau setara 49.807,43 MW,¹ termasuk energi biogas yang dihasilkan dari limbah kotoran ternak.

Pembahasan biomassa dalam tulisan ini difokuskan pada biomassa dari sektor pertanian, perkebunan, dan sampah kota yang memiliki potensi besar untuk memasok kebutuhan energi di Indonesia, baik dalam bentuk bahan bakar padat, gas, maupun bahan bakar cair

¹ Kementerian ESDM dan FAO dalam Forest Watch Indonesia (2001)

atau bahan bakar nabati (BBN) yang terdiri dari biodiesel, bioetanol, dan biokerosene sebagai pengganti bahan bakar minyak fosil (BBM).

Bahan bakar nabati atau *biofuel* adalah bahan bakar berupa padat, cair, dan gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. *Biofuel* dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman (seperti Jarak Pagar dan Nyamplung) atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik, atau pertanian. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *mono-alkyl ester* dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bahan bakar mesin diesel dan terbuat dari sumber yang terbarukan seperti minyak sayur dan lemak hewani. Pembuatan biodiesel dilakukan melalui proses transesterifikasi. Biodiesel memiliki sifat pembakaran mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi. Bioetanol adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat atau glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi menggunakan bantuan mikroorganisme. Produk bioetanol yang memenuhi standar, hampir bisa dikatakan tidak mempunyai efek samping yang merugikan. Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktivitas anerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik seperti kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida.

Potensi biomassa tanaman dan hasilnya dikaji melalui data statistik yang tersedia pada kementerian terkait. Data potensi biomassa limbah, disajikan berdasarkan hasil perhitungan konversi limbah dari berbagai tanaman dan ternak yang ada di Indonesia (Hermawati *et al.*, 2013).

B. Potensi Biomassa untuk Energi

Ketika energi fosil di ambang krisis dan kebutuhan masyarakat akan energi semakin meningkat, sektor pertanian dan perkebunan mampu menyediakan pasokan biomassa untuk energi terbarukan. Pembahasan lebih rinci tentang ketersediaan biomassa untuk energi ini akan

dikelompokkan menurut sektornya, yaitu biomassa pertanian, perkebunan, dan sampah kota.

1. Biomassa Sektor Pertanian

Potensi biomassa untuk energi di sektor pertanian adalah biomassa yang berasal dari limbah pertanian seperti limbah padi, jagung, dan ubi kayu (singkong), dan beberapa jenis tanaman yang tidak digunakan untuk penyediaan pangan. Produk tanaman dan limbah dari tanaman ini dapat dipergunakan sebagai bahan bakar untuk memasak. Selain itu, melalui konversi teknologi limbah ini dapat menghasilkan listrik dan bahan bakar cair atau gas. Tanaman yang memiliki kadar pati dan gula yang tinggi seperti jagung, padi, pisang, gandum, dan ubi kayu merupakan tanaman yang paling potensial untuk menjadi *biofuel* seperti etanol. Namun, tanaman jenis ini masih diutamakan untuk penyediaan pangan sehingga yang dapat digunakan untuk energi adalah limbahnya. Potensi limbah biomassa sektor pertanian dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Limbah-limbah ini belum seluruhnya dipergunakan untuk memproduksi energi/listrik. Pada beberapa provinsi, limbah tanaman pangan telah dipergunakan oleh petani maupun perusahaan/industri untuk kepentingan pertanian mereka. Misalnya, limbah padi digunakan untuk pakan ternak atau media industri jamur tiram, jamur merang, bahan bangunan, dan mulsa. Sementara itu, sisanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar (Hermawati *et al.*, 2013). Padahal, sekam memiliki nilai energi sekitar 3.000 kkal per kilogramnya. Komponen utama pembentuk sekam adalah selulosa. Pengukuran komposisi kimia sekam oleh Kim & Eom (2009) memberikan hasil berupa air 5%, lignin 21,6%, holoselulosa 60,8%, dan abu 12,6%. Pengubahan sekam secara fisika dilakukan dengan membuat briket sekam dengan maksud untuk memperbesar nilai energi per satuan volumenya. Pengubahan secara kimia dilakukan dengan cara pembuatan arang, pirolisa, dan gasifikasi. Selain itu, secara biokimia, sekam juga bisa diubah menjadi etanol (Sarasuk & Sajjakulnukit, 2011).

Tabel 2.4 Potensi Limbah dari Tanaman Pangan dan Lainnya sebagai Sumber Energi

Jenis Limbah Tumbuhan	Potensi Limbah Per Tahun (Ton)		Pemanfaatan Saat ini	Teknologi yang digunakan	Potensi sebagai Sumber Energi
	2008	2010			
LIMBAH JAGUNG					
Batang, Tongkol, Klobot, Akar Bonggol (1 Ton/ton biji jagung kering)	16.317.252	17.629.748	Bahan bakar tungku, pakan ternak	Gasifikasi, Rekayasa Bioproses, Biokonversi	Bioetanol, Briket, Butanadiol, Biodiesel, Pembangkit listrik
LIMBAH PADI					
Sekam (280 kg/ton Gabah)	16.891.259	18.031.689	18.611.430	Bahan bakar tungku, bahan kemasan, pakan ternak	Pembangkit listrik, Bioetanol, Briket
Jerami (5Ton/ton Gabah Kering)	301.629.625	321.994.450	332.346.970		
LIMBAH PISANG					
Daun, serat, Kulit (250 kg/ton Pisang)	1.501.154	1.593.383	1.438.768	1.438.768	Alkohol Ba-Na Gyzer, Lignoselulosa, Briket, Biogas
LIMBAH UBI KAYU					
Batang Pohon (0,8 per ton)	17.405.593	17.631.316	19.134.494	Kayu bakar Pakan ternak	Bioetanol
Kulit Ubi (0,15/ton)	3.263.549	3.305.872	3.587.718		
ECENG GONDOK (seluruh bagian)					
	-	-	108.000.778,93**)	Biodegradasi, Delignifikasi	Biogas, Listrik, Bioetanol, Briket
ALGAE (Makro and Mikro)					
	-	-	482.400 **)	Pirolysis, Hidrolisis, Fermentasi, <i>Anaerobic digestion</i> , Biogas, Gasifikasi, Ekstraksi, <i>Fluid Extraction</i> , <i>Bio Photo Chemical</i> .	Bioetanol, Biodiesel, Bahan bakar <i>Biojet</i> , Bioetanol, <i>Biofuel</i> , Biogasolin

Catatan: *) Terdapat di Kalimantan Timur dan Rawa Pening, Semarang

**) Dikembangkan di Takalar (Sulsel), Karang Asem (Bali), Sumenep (Jatim), Lombok Barat (NTB), Gorontalo, Jakarta Utara (DKI), Kota Baru (Kalsel), P. Sawu (NTT).

Sumber: Statistik Pertanian 2011, Kementerian Pertanian, dalam Hermawati *et al.* (2013).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Limbah jagung terutama tongkol dan bonggol digunakan sebagai bahan bakar langsung, baik untuk tingkat rumah tangga maupun industri. Di Gorontalo, limbah jagung digunakan sebagai bahan bakar industri batu bata. Hanya eceng gondok yang ketersediannya sangat besar di beberapa tempat, namun belum dimanfaatkan dengan optimal. Sedangkan algae belum dibudidayakan secara besar-besaran. Tanaman lain yang juga memiliki potensi besar, namun belum di budidayakan dalam skala besar di Indonesia antara lain sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan bunga matahari (*Helianthus annuus*).

2. Biomassa Sektor Perkebunan

Potensi biomassa untuk energi di sektor ini sebagian besar berasal dari limbah tanaman atau limbah produksi tanaman perkebunan, seperti kelapa sawit, tebu, dan kelapa. Jarak pagar, aren, nipah, dan kemiri sunan memiliki potensi besar, namun belum dikelola dengan baik termasuk belum ada data statistiknya di kementerian terkait. Sedangkan limbah dari tanaman perkebunan yang saat ini tersedia sebagai sumber energi adalah limbah dari kelapa sawit, seperti cangkang, tandan buah kosong, serat, lindi hitam, dan limbah cair. Limbah dari kelapa antara lain batok dan serat kelapa. Limbah dari tebu antara lain ampas tebu serta limbah cair. Ketersediaan biomassa tanaman perkebunan dan limbahnya dikaji dengan menggunakan data nasional tahun 2011 dari Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian. Perhitungan limbah dilakukan dengan konversi (Hermawati *et al.*, 2013), dengan hasil seperti pada Tabel 2.5 dan 2.6.

Kecuali jarak pagar dan kemiri sunan, hasil produksi tanaman perkebunan sebagian besar sudah terserap pasar, misalnya, CPO dari kelapa sawit selain digunakan untuk memproduksi biodiesel, juga banyak digunakan untuk bahan pangan seperti minyak goreng, mentega, dan produk pangan lainnya. Demikian juga dengan tebu, kelapa, aren, dan nipah yang hasil produksinya lebih banyak digunakan untuk pemenuhan kebutuhan pangan. Karena hasil produksi perkebunan berbenturan dengan kepentingan pangan maka potensi biomassa terbesar untuk energi dari sektor ini adalah limbahnya.

Tabel 2.5 Produksi Biomassa Berbagai Jenis Tanaman Perkebunan

Jenis Tumbuhan	TAHUN			Lokasi Terbanyak	Pemanfaatan saat ini	Potensi sebagai Sumber Energi
	2008	2009	2010 *			
KARET (karet Kering)						
Produksi (Ton)	2.751.286	2.440.347	2.734.854	Perkebunan Rakyat di Sum Sel, Sumut, Riau, Kaisei, Kalteng	Bahan baku industri. Kayu bakar, minyak biji karet	Biodiesel
Luas Areal (Ha)	3.424.217	3.435.270	3.445.415			
Produktivitas (kg/Ha)	994	901	986			
KELAPA SAWIT (CPO)						
Produksi (Ton)	17.539.788	19.324.294	20.783.017	Perkebunan Rakyat dan Swasta di Riau, Sumut, Sumsel, Jambi, Kalbar, Kal. Tengah	CPO / Bahan baku industri pangan dan kosmetik	Biodiesel Bioetanol
Luas Areal (Ha)	7.363.847	8.248.325	9.139.760			
Produktivitas (kg/Ha)	3.424	3.487	3.399			
TEBU (Gula Hablur/Sugar Cane)						
Produksi (Ton)	2.668.428	2.517.374	2.290.116	Perk. Rakyat di Jatim, Jateng, Jabar, Lampung	Bahan pangan, bumbu, Molases	Bioetanol (dari Tetes Tebu) Biodiesel
Luas Areal (Ha)	436.505	441.440	454.112			
Produktivitas - Kg/Ha	6.113	5.952	5.292			
KELAPA (Kopra kering)						
Produksi (Ton)	3.239.673	3.257.702	3.166.666	Perk. Rakyat di Riau, Jatim, Maluku Utara, Lampung, Jateng, Sulut Sulteng	Bahan pangan sabun, dan farmasi/obat	Biooil
Luas Areal (Ha)	3.783.074	3.799.125	3.739.350			
Produktivitas - Kg/Ha	1.169	1.175	1.159			
JARAK PAGAR (Biji Kering)						
Produksi (Ton)	7.197	6.851	14.107	Perk. Rakyat di Jatim, NTB, Lampung, NTT.	Pakan, Obat, Biogas	Biodiesel, Bahan bakar Biogas
Luas Areal (Ha)	53.700	52.722	100.087			
Produktivitas - Kg/Ha	NA	466	536			
KEMIRI SUNAN						
Produksi (Ton)	-	-	4.800	Jabar, Jatim, Bali, NTB	Kayu bakar	Biodiesel
Luas Areal (Ha)						
Produktivitas -Kg/Ha						

Sumber : Statistik Pertanian 2011, Dirjen Perkebunan Kementerian Pertanian, dalam Hermawati *et al.* (2013)
 Statistik Perkebunan 2009-2011 Tanaman Tahunan, Kementerian Pertanian (khusus Jarak Pagar/*Jatropha curcas*)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 2.6 Produksi Limbah Biomassa Berbagai Jenis Tanaman Perkebunan

Nama Tumbuhan	Jenis Limbah	Potensi Limbah Per Tahun (Ton)		Pemanfaatan Saat ini	Teknologi yang Digunakan	Potensi Energi
		2008	2010			
Karet	Minyak Biji karet (150 kg/ha)	513.633	516.812	Minyak biji karet	Transesterifikasi	Biodiesel
Kelapa Sawit	Serat Sawit (15% dari Buah)	10.523.873	13.174.872	Bahan bakar boiler, pulp kertas, papan partikel	Pembakaran langsung	Bahan bakar boiler
	Cangkang Sawit (8% dari 1 Ton Buah)	5.612.732	7.026.598	Arang, karbon aktif, asap cair, bahan bakar, papan partikel	Gasifikasi	Bahan umpan gasifikasi
Tebu	Tandan Kosong (20% dari TBS)	17.539.788	19.324.293	Kompos, mulsa, dan papan partikel	Pembakaran langsung	Bahan bakar boiler
	Limbah Cair (0.6 M3/Ton TBS)	52.619.364 M ³	56.772.879 M ³	Pupuk dan air irigasi	Anaerobic digestion	Gas metana
Tebu	Bagasse (0.28/ton gula tebu)	754.384	704.865	Bahan bakar, pupuk bahan kemasam, papan partikel, batu bata	Hidrolisis selulosa, fermentasi glukosa ket, Bioetanol	Bahan bakar boiler, Bioetanol
	Pucuk Tebu dan daun (0.28/ton)	754.384	704.865	Pakan ternak	Fermentasi	Bioetanol
Kelapa	Sabut kelapa (0.28/ton buah kelapa)	4.535.541	4.561.157	Bahan kemasam dan furnitur	Pirolisis hidrolisis dan fermentasi	Biodiesel, Bahan bakar
	Batok Kelapa (150kg/ton buah kelapa)	2.428.901	2.443.477	Arang aktif, alat RT, dan kerajinan.	Gasifikasi	Gasifikasi briket
Jarak Pagar	Ampas (700 kg/ton biji)	5.038	4.796	--	Pembakaran Lang-sung	Bahan bakar tungku

Sumber : Dirjen Perkebunan, Kementerian Pertanian, 2011 diolah oleh Pappiptek LIPI, 2013 dalam Hermawati *et al.* (2013).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Limbah biomassa perkebunan pada umumnya juga telah digunakan untuk berbagai kepentingan seperti pupuk tanaman sebagai pengganti mulsa dan bahan bakar langsung pada produksi lanjutan dari tanaman tersebut, misalnya bagas tebu telah digunakan sebagai bahan bakar produksi gula. Namun demikian, untuk mengetahui berapa jumlah limbah biomassa tanaman perkebunan di Indonesia yang berpotensi untuk bahan baku energi maka dilakukan perhitungan konversi limbah (Hermawati *et al.*, 2013). Tabel 2.6 memperlihatkan hasil perhitungan konversi tanaman menjadi biomassa limbah yang potensi untuk energi.

Dari berbagai limbah tanaman tersebut, komoditas perkebunan yang paling potensial menghasilkan biomassa limbah untuk energi adalah tanaman kelapa sawit. Biomassa limbah kelapa sawit tersedia dalam bentuk pelepah daun, tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat, cangkang, kayu, limbah cair industri, dan lumpur sawit. Potensi limbah yang banyak digunakan untuk energi, terutama oleh perusahaan/industri pengolahan minyak sawit saat ini adalah TKKS, cangkang, lumpur, dan limbah cair industri kelapa sawit (*POME–Palm Oil Mill Effluent*).

Limbah-limbah tersebut sebagian besar sudah digunakan oleh masyarakat dan industri untuk berbagai kepentingan, seperti pelepah sawit digunakan sebagai mulsa dan penutup tanah agar tidak tergerus air hujan. Cangkang sawit dapat dijual, diekspor, atau digunakan sebagai bahan bakar langsung. Bagas dan ampas tebu lebih banyak digunakan oleh perusahaan gula untuk bahan bakar atau bahan untuk memproduksi listrik bagi kepentingan perusahaan tersebut. Melalui riset dibuktikan juga bahwa tanaman aren dan nipah juga memiliki potensi tinggi untuk bahan bakar nabati, namun sejauh ini belum ada data statistik yang akurat.

3. Biomassa Sampah Kota

Timbulan sampah di kota besar rata-rata terdiri atas 40% sampah organik dan 60% sampah anorganik. Sampah organik atau sampah

basah terdiri atas sampah daun-daunan, kayu, kertas, karton, dan buah. Sampah anorganik terdiri atas sampah dari plastik, logam, kaleng, mika, dan besi. Sampah organik di kota besar merupakan salah satu jenis biomassa yang potensial untuk pembangkitan energi di Indonesia. Sumber utama dari sampah organik di perkotaan antara lain berasal dari rumah tangga atau daerah pemukiman, pasar tradisional dan modern, hotel, dan restoran serta taman kota. Hasil pengumpulan sampah kota ini belum dimanfaatkan secara maksimal untuk bahan baku energi. Sebagian besar sampah dibakar dan sebagian kecil lainnya, terutama sampah organik dibuat kompos atau pupuk organik. Rata-rata timbulan sampah beberapa kota besar dapat dilihat pada Tabel 2.7.

C. Tantangan Biomassa Menjadi Energi Terbarukan

1. Nilai Keunggulan *versus* Keterbatasannya

Menurut Yokoyama (2008); Macqueen & Korhaliller (2011), biomassa untuk energi memiliki beberapa nilai keunggulan karena ia memiliki karakteristik sebagai berikut.

- 1) *Terbarukan dan dapat berkelanjutan.* Terutama jika pengelolannya dilakukan dengan baik, yaitu dengan mempertahankan keseimbangan panen dengan laju pertumbuhan dan perlindungan lingkungan untuk lahan tanaman (pertanian/perkebunan/kehutanan);
- 2) *Dapat disimpan, diganti, dan dipindahkan/diangkut.* Biomassa dapat dibuat dalam berbagai bentuk yang mudah disimpan, seperti biomassa yang diubah menjadi pelet atau bahan bakar cair;
- 3) *Melimpah.* Luasnya wilayah Indonesia menyebabkan ketersediaan biomassa di Indonesia diyakini sangat melimpah. Selain limbah biomassa yang tersedia, biomassa juga dapat diciptakan melalui kegiatan menanam pohon energi. Penanaman pohon energi seperti jarak pagar dapat dilakukan di lahan tidur atau marginal dan dapat mendatangkan tambahan pendapatan masyarakat serta

Tabel 2.7 Rata-Rata Timbulan Sampah Harian Berbagai Kota Besar di Indonesia

No	Kota	Jumlah Penduduk (jiwa)			Rata-Rata Timbulan Sampah (m ³ /hari)		
		2006	2007	2009	2006	2007	2009
1	Medan	2.068.400	2.067.288	2.101.864	4.382	4.985	5.436,00
2	Jakarta Barat	1.573.619	1.565.947	1.726.554	5.500	5.500	6.490,00
3	Jakarta Pusat	893.195	888.419	811.514	Td	5.280	5.497,46
4	Jakarta Timur	2.434.163	2.413.875	2.195.300	5.273	6.593	6.452,00
5	Jakarta Utara	1.182.749	1.257.952	1.173.935	Td	5.161	5.034,00
6	Jakarta Selatan	1.79.024	1.738.248	1.750.357	Td	5.663	5.329,00
7	Palembang	1.520.199	1.369.239	1.748.630	Td	5.100*	3.750,00
8	Makasar	1.179.024	1.223.540	1.371.904	Td	3.662	3.680,00
9	Depok	1.369.461	1.420.480	1.503.677	Td	3.764	4.200,00
10	Bandung	2.453.302	2.520.812	2.520.812	Td	7.500	6.348,33
11	Tangerang	1.914.316	1.537.558	1.537.558	5.000	3.367	3.400,00
12	Bekasi	1.914.316	2.066.913	2.238.717	Td	2.790	7.193,21
13	Surabaya	2.740.490	2.809.679	3.182.351	6.234	9.560**	8.700,00
14	Semarang	1.406.999	1.445.334	1.724.489	3.805	4.500	4.500,00
15	Banjarmasin	572.300	602.725	653.676	900	1.200	1.634,00
16	Bogor	831.671	879.138	932.678	Td	2.210	2.332,00
19	Padang	781.125	832.206	896.575	Td	1.600	2.592,00

Sumber: KLH (2012). Statistik Persampahan, dalam Hermawati *et al.* (2013)

Keterangan:

Td = Tidak ada data

* data hasil konfirmasi (kuesioner persampahan domestik);

** data SLDH Kota Surabaya 2007

- dapat mencegah terjadinya longsor dan banjir. Kegiatan ini lebih bersifat *pro job action* atau menyerap tenaga kerja;
- 4) *Netral karbon*. Biomassa yang berasal dari tanaman dan limbah perkebunan, pertanian, hutan, limbah peternakan ataupun sampah dapat menjadi sumber energi yang ramah lingkungan

karena biomassa berasal dari bahan organik non fosil yang hasil pembakarannya tidak menimbulkan CO₂ yang berbahaya bagi lingkungan (non polutan).

Beberapa pakar meyakini bahwa pengembangan energi dari biomassa tidak akan berdampak buruk bagi atmosfer, karena emisi karbon dioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa, dengan syarat hutan atau perkebunan dikelola dengan baik—atau dikenal juga dengan istilah *reforestasi* (Yokoyama, 2008; Macqueen & Korhaliller, 2011). Kegiatan pemanfaatan biomassa untuk energi juga lebih bersifat ramah lingkungan, seperti pemanfaatan sampah untuk energi. Pembangkit energi berbahan bakar biomassa menghasilkan polusi udara yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil sehingga dapat menghemat biaya pencegahan emisi gas sulfur, NO_x, dan CO₂ (Kong, 2010) .

Di sisi lain, pemanfaatan biomassa untuk energi juga memiliki keterbatasan, antara lain kandungan tingkat kelembapan yang cukup tinggi dan kandungan abu sisa pembakaran juga relatif tinggi. Kandungan energi yang dimilikinya lebih rendah dari bahan bakar fosil. Oleh karena itu, biomassa dapat memiliki biaya *pretreatment*, terutama di awal proses produksi. Oleh karena itu, dalam memilih biomassa perlu dipertimbangkan aspek ketersediaan dan nilai kalorinya. Berbagai jenis biomassa yang tersedia memiliki nilai kalor/panas yang berbeda. ElBassam (2010) dan Agustina (2007), mengidentifikasi nilai kalor/panas berbagai jenis biomassa yang ada di Indonesia (Tabel 2.8).

2. Aspek Rantai Pasok Biomassa

Mengingat aspek kesinambungan sumber daya biomassa sangat penting dalam pembangkitan energi maka kontinuitas pasokan biomassa harus diperhatikan. Jika biomassa yang digunakan dalam pembangkitan energi lebih dari satu jenis, misalnya penggunaan teknologi PLTU biomassa untuk pembangkitan listrik maka penyediaan beberapa jenis biomassa dengan spesifikasi yang berdekatan atau hampir sama

harus dilakukan. Perlu juga dipertimbangkan keunggulan dari harga bahan baku biomassa tersebut. Hal ini dilakukan untuk menghindari kendala kurangnya bahan baku biomassa yang mungkin terjadi. Hasil identifikasi Hermawati *et al.* (2013) menunjukkan bahwa kita belum memiliki kebun atau hutan energi dalam skala masif. Ketersediaan biomassa pada umumnya masih tersebar di berbagai lokasi. Untuk

Tabel 2.8 Nilai Kalor/Panas Berbagai Jenis Biomassa

No	Jenis Biomassa	Nilai Kalor (MJ /kering-kg)
1.	Tempurung kelapa	14,436
2.	Arang tempurung kelapa	6,540
3.	Arang sabut kelapa	6,320
4.	Serbuk gergaji	20,500
5.	Sorgum manis	17,600
6.	Rumput laut coklat raksasa	10,300
7.	Eceng gondok	16,000
8.	Kayu putih	18,700
9.	Kertas	17,600
10.	Jerami	15,200
11.	Kulit Pinus	20,100
12.	Selulosa	17,510
13.	Pinus	21,240
14.	Gambut	20,790
15.	Limbah peternakan	13,370
16.	Briket limbah lumpur sawit	10,896
17.	Briket bonggol jagung	15,455
18.	Briket arang bonggol jagung	20,174
19.	Briket bagasse	17,638
20.	Briket ampas jarak	16,399
21.	Briket arang sekam	13,290
22.	Ampas jarak	17,550
23.	Kayu bakar acasia	17,270

Sumber: ElBassam (2010) dan Agustina (2007).

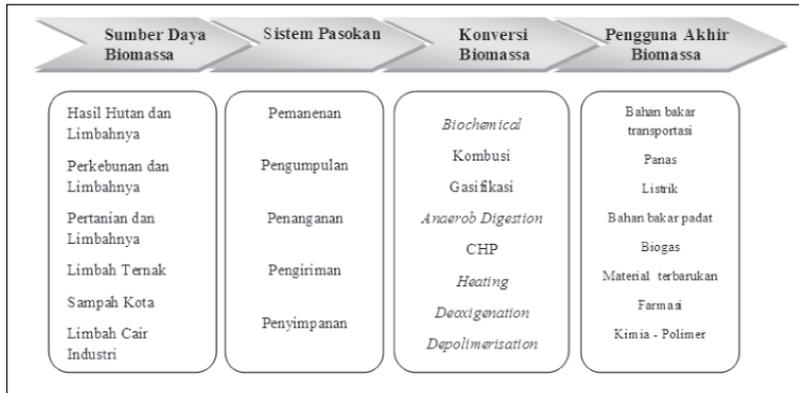
memanfaatkannya menjadi energi (listrik atau bahan bakar nabati), diperlukan transportasi dan teknologi yang tepat agar dapat dikumpulkan di satu tempat. Biomassa yang terkonsentrasi pada umumnya dimiliki oleh perusahaan atau industri.

Agar ancaman biomassa tidak berbenturan dengan pangan maka pengelolaan biomassa untuk energi harus memperhatikan hal-hal berikut (1) penggunaan lahan untuk tanaman energi non pangan harus dilakukan di lahan-lahan marginal atau lahan yang kurang dimanfaatkan; (2) kondisi infrastruktur untuk menuju atau akses ke kebun atau hutan energi perlu dibangun dengan baik; (3) perlu dukungan teknologi dalam memanen kebun/hutan energi; (4) diperlukan transportasi untuk memindahkan biomassa dari sumbernya ke tempat pembangkitan energi, atau pabrik *biofuel*.

Selain ketersediaan biomassa, masalah penyimpanan atau penampungan biomassa yang sesuai dengan jenis dan ukurannya serta dapat dipertahankan kualitasnya harus diperhatikan, karena biomassa—terutama kayu—rawan terhadap kelembapan udara dan mudah ditumbuhi jamur. Selain itu, penyimpanan harus berdekatan dengan pembangkit atau teknologi proses produksi biomassa. Gambar 2.1 memperlihatkan urutan sumber daya, sistem pasokan, teknologi konversi sampai pengguna akhir.

3. Aspek Teknologi

Konversi biomassa menjadi energi terbarukan dilakukan dengan berbagai jenis teknologi yang dapat menghasilkan produk energi (Korhaliller, 2010), mulai dari teknologi dengan konversi *thermochemical* seperti kombusi, gasifikasi, *pyrolysis*, maupun konversi *biochemical* seperti *digestion*, fermentasi, dan ekstraksi. Penguasaan berbagai macam teknologi konversi biomassa menjadi energi dalam skala laboratorium atau *pilot project* dalam skala kecil sudah cukup dikuasai. Namun, untuk skala industri penggunaan teknologi yang sudah umum dilakukan saat ini adalah kombusi dengan skema PLTU biomassa untuk menghasilkan listrik, teknologi transesterifikasi



Sumber: diolah penulis

Gambar 2.1 Produksi energi dari biomassa

untuk menghasilkan biodiesel, dan pembuatan pelet kayu dan arang atau briket. Meskipun teknologi fermentasi, distilasi, dan dehidrasi untuk menghasilkan bioetanol dengan kadar *fuel grade ethanol* telah dikuasai, namun hanya beberapa perusahaan skala besar/industri saja yang telah mengaplikasikannya, dengan bahan baku biomassa generasi pertama (tanaman yang mengandung pati dan gula tinggi, dan generasi kedua yang merupakan limbah tanaman). Teknologi yang lebih canggih seperti penggunaan enzim atau agen mikroba dan penerapan teknologi dengan efisiensi tinggi masih terus dilakukan risetnya, termasuk penggunaan *thermochemical gasification*.

Teknologi pencernaan untuk menghasilkan gas metan (biogas) telah dilakukan dalam skala rumah tangga. Dengan berbagai sumber daya biomassa yang ada di Indonesia, beberapa jenis biomassa sudah diolah menjadi energi seperti panas/termal, *biooil*, biogas, dan listrik. Beberapa lembaga dan perusahaan juga sudah mampu merekayasa pabrik biodiesel dan PLTU biomassa untuk memproduksi listrik. Namun demikian, diketahui bahwa sebagian besar suku cadang teknologi konversi biomassa menjadi energi masih diimpor dari berbagai negara. Hal ini menjadi peluang bisnis untuk perekayasa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dan perusahaan yang memproduksi suku cadang teknologi konversi biomassa di Indonesia.

4. Aspek Kebijakan dan Manajemen

Arah kebijakan energi terbarukan dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri dan mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil yang ketersediannya semakin berkurang dan permintaannya cenderung semakin naik. Namun demikian, program pemerintah dalam bidang energi (terutama biomassa) belum memberikan kepastian serta masih belum menarik bagi pihak swasta dan masyarakat untuk turut mengembangkannya. Selain itu, pembangunan industri manufaktur pendukung teknologi biomassa juga belum tumbuh. Satu pelajaran yang dapat diambil dari negara Cina, yakni pemerintah tidak hanya menghasilkan energi, tetapi juga mengembangkan industri manufaktur untuk peralatan memasak seperti *rice cooker* dengan kompor biogas (Jingjing *et al.*, 2001).

Di Indonesia, mekanisme insentif belum bersifat terbuka. Pemberian insentif kepada pengguna dan produsen energi terbarukan biomassa belum terimplementasikan dengan baik sehingga bahan bakar nabati (BBN) belum dapat bersaing dengan bahan bakar minyak (BBM). Selain itu kebijakan pemerintah belum mengarah pada pembukaan pasar yang lebih besar untuk biomassa. Padahal, pemanfaatan biomassa untuk energi tidak selalu dimulai dengan program energi bisa dimulai dengan dengan program lingkungan, kesehatan, dan kemiskinan. Ditambah lagi dengan kondisi yang belum banyak berubah, seperti para pengambil keputusan dan perumus kebijakan biomassa yang tidak melakukan koordinasi dengan efektif, contohnya program BBN tidak berjalan dengan efektif.

Pemerintah juga telah melakukan penahapan penggunaan bio-energi. Permen ESDM No. 25 Tahun 2013 sangat terkait dengan penyediaan, pemanfaatan, dan tata niaga bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain. Kebijakan ini merupakan langkah regulatif pemerintah untuk meningkatkan pemanfaatan *biofuel* sebagai bahan

bakar lain dalam rangka ketahanan energi nasional. Wujudnya ialah dengan mewajibkan Badan Usaha Pemegang Izin Usaha Niaga BBM, Pengguna Langsung BBM, dan Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik yang masih menggunakan BBM untuk secara bertahap menggunakan *biofuel* sebagai bahan bakar lain.

Namun, untuk menjadikan bioenergi atau pembangkitan energi dari biomassa yang lebih kondusif di dalam negeri, implementasi kebijakan ini memerlukan keseriusan, konsistensi, transparansi, dan koordinasi yang baik dari pemerintah dan berbagai pihak yang terkait. Evaluasi dan koordinasi lintas sektor harus dapat diwujudkan secara berkesinambungan.

Aspek lain yang harus mendapat perhatian adalah (1) pendanaan terkait dengan biomassa, baik pendanaan untuk riset sumber daya biomassa maupun teknologi biomassa dan investasi untuk produksi energi dari biomassa; (2) penciptaan pasar dan pengelolaan biomassa harus terbangun seperti perlakuan energi fosil yang ada sekarang ini sehingga mengurangi risiko berinvestasi di bidang ini; (3) peningkatan kuantitas dan kualitas sumber daya manusia untuk litbang bioenergi Indonesia masih harus dilakukan dan pemerintah perlu memfasilitasi implementasi hasil litbang teknologi biomassa untuk energi di tingkat industri.

D. Penutup

Meskipun potensi biomassa cukup besar di Indonesia, namun pemanfaatannya untuk energi terbarukan belum maksimal dan mengalami berbagai kendala, di antaranya mulai dari permasalahan bagaimana mengelola kesinambungan sumber daya energi (misalnya dengan membangun kebun atau hutan energi), kesiapan sumber daya manusia yang mumpuni, kesiapan teknologi yang efektif dan efisien untuk mengolah biomassa menjadi produk akhir energi terbarukan (listrik, bahan bakar cair, gas), masalah penyediaan dana/pembiayaan untuk energi biomassa, sampai pada kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan yang terkait dengan pembangunan energi. Permasalahan

lain adalah harga bioenergi yang kurang kompetitif di pasar lokal dan konsistensi serta keseriusan kebijakan pemerintah untuk mendukung biomassa sebagai energi terbarukan. Kesemua itu merupakan pekerjaan yang harus dilakukan.

Terbitnya Permen No. 25/2013 tentang keharusan penggunaan biodiesel, bioetanol, dan minyak nabati murni sebagai bahan campuran BBM merupakan langkah baik pemerintah dalam pemanfaatan biomassa di dalam negeri. Kebijakan ini harus terus dikawal pemerintah dan pemangku kepentingan terkait. Sebagai konsekuensinya, pemerintah harus memfasilitasi tumbuhnya produsen *biofuel* di dalam negeri agar pemanfaatan biomassa dapat dioptimalkan.

E. Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini merupakan bagian dari studi yang dibiayai oleh Anggaran Riset Kompetitif LIPI melalui DIPA Pusat Penelitian Fisika LIPI tahun 2012 dan 2013 dengan judul “Kajian Sumber Daya dan Potensi Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi di Indonesia”. Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala LIPI, Kepala Pusat Penelitian Fisika LIPI, dan Kepala Pappiptek LIPI atas dukungannya. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para narasumber penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Agustina, S.E. (2007). Potensi Limbah Produksi Biofuel sebagai Bahan Bakar Alternatif. Makalah pada *Konferensi Nasional 2007-Pemanfaatan Hasil Sampah Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integrated-nya*. Jakarta, 13 Maret 2007.
- BPPT. (2012). *Outlook Energi Indonesia 2012*. Jakarta: BPPT Press.
- Chen, L. *et al.* (2009). Renewable Energy from Agro-Residues in Cina: Solid Biofuels and Biomass Briquetting Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2.689–2.695.
- El Bassam, N. (2010). *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development, and Application*. UK: Earthscan, MPG Books.

- Forest Watch Indonesia. (2001). *Potret Keadaan Hutan Indonesia*. Bogor: Forest Watch Indonesia and Washington DC: Global Forest Watch.
- Hermawati, W. et al. (2013). *Sumber Daya Biomassa: Potensi Energi Indonesia yang Terabaikan*. Jakarta: IPB Press.
- Jingjing, L., Xing, Z., DeLaquil, P., & Larson, E.D. (2001). Biomass Energy in China and Its Potential. *Energy for Sustainable Development*, 5 (4).
- Karhunen, A., Mika, L., & Tapio, R. (2012). Supply and Demand of a Forest Biomass in Application to the Region of South-East Finland. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2012 (3), 34–42.
- Kim, H.J. & Eom, Y.G. (2009). Thermogravimetric Analysis of Rice Husk Flour for A New Raw Material of Lignocellulosic Fiber–Thermoplastic Polymer Composites. *Journal of the Korean Wood Science and Technology, Mokchae Konghak*, 37(3), 59–67.
- Kementerian Pertanian. (2011). *Statistik Pertanian*.
- Kementerian ESDM. (2012). *Handbook of Energy and Economic Statistic Indonesia, 2012*. Pusdatin, KESDM.
- Kementerian Pertanian. (2011). *Statistik Perkebunan Indonesia 2010–2012: Kelapa Sawit*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kementerian Pertanian. (2011). *Statistik Perkebunan Indonesia 2010–2012: Karet*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kementerian Pertanian. (2011). *Statistik Perkebunan Indonesia 2010–2012: Kelapa*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2011). *Statistik Persampahan Indonesia*.
- Kementerian Pertanian. (2011). *Statistik Perkebunan Indonesia 2010–2012: Tebu*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Korhaliller, S. (2010). *The UK's Biomass Energy Development Path*. International Institute for Environment and Development (IIED).
- Kusdiana, D. (2013). Kebijakan Energi Baru Terbarukan Nasional: Pengembangan Bioenergi. Bahan Presentasi pada *Focus Group Discussion*, Pappiptek-LIPI, 17 Oktober 2013 di Hotel Santika Premier, Jakarta.
- Konig, A. (2011). Cost Efficient Utilisation of Biomass in the German Energy System in the Context of Energy and Environmental Policies. *Journal of Energy Policy*, (39), 628–636.
- Kong, G.T. (2010). *Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan*. Jakarta: Elex Media Computing.

- Ladanai, S. & Vinterbäck, J. (2009). *Global Potential of Sustainable Biomass for Energy*. SLU, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology.
- Macqueen, D. & Korhaliller, S. (2011). *Bundles of Energy: The Case of Renewable Biomass Energy*. IIED *Natural Resources Issues*. UK. pp. 15–24.
- Sarasuk, K. and Sajjakulnukit, B. (2011). Design of a Lab–Scale Two–Stage Rice Husk *Gasifier*. *Energy Procedia*, 9, 178–185.
- Saxena, R.C., Adhikari, D.K., & Goyal, H.B. (2009). Biomass-based Energy Fuel Through Biochemical Routes: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 167–178.
- Yokoyama, S. (Ed.). (2008). *Buku Panduan Biomassa Asia*. Japan: The Japan Institute of Energy.
- ZREU (Zentrum für rationell Energieanwendung und Umwelt GmbH). (2000). *Biomass in Indonesia-Business Guide*.

SUMBER DAYA HUTAN UNTUK ENERGI TERBARUKAN

Nanang Roffandi Ahmad

A. Pendahuluan

Sumber daya hutan sebagai salah satu sumber daya alam yang penting serta strategis diciptakan dan dianugerahkan oleh Tuhan Yang Maha Esa kepada umat manusia dengan amanah untuk dimanfaatkan bagi sebesar-besarnya kemaslahatan makhluk hidup secara optimal dan berkelanjutan (lestari). Pengertian lestari dimaksudkan hutan harus tetap ada dan berfungsi secara optimal bagi generasi sekarang maupun generasi mendatang sampai berakhirnya kehidupan di dunia ini.

Hutan, utamanya hutan hujan tropika sangat diandalkan perannya pada era perubahan iklim global dan pembangunan berkelanjutan pasca-Deklarasi Rio di tahun 1992 dan Johannesburg di tahun 2002. Banyak ungkapan yang mengadung harapan dari masyarakat global terhadap peran dan manfaat hutan antara lain ditunjukkan dalam berbagai ungkapan sebagai berikut:

- 1) Hutan sebagai penyangga kehidupan;
- 2) Hutan sebagai inti lingkungan hidup;
- 3) Hutan sebagai paru-paru hijau dunia;
- 4) Hutan sebagai penyeimbang emisi gas rumah kaca (GRK).

Hutan hujan tropika Indonesia yang saat ini sudah diakui secara *de jure* pada akhir Desember 2012, memiliki luas lebih dari 133 juta ha, yang merupakan hutan hujan tropika terluas nomor tiga di dunia setelah Brazil dan Zaire. Peran strategis hutan Indonesia memiliki

Buku ini tidak diperjualbelikan.

nilai lebih, terkait dengan letak geografisnya yang berada di pusat wilayah Asia-Pasifik sebagai pusat pertumbuhan ekonomi dunia saat ini dan masa depan.

Para ahli kehutanan di dunia bersepakat bahwa hutan memiliki manfaat yang sangat luas dan dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok besar sesuai dengan manfaatnya.

- 1) Material (hasil hutan kayu dan hasil hutan bukan kayu termasuk bahan pangan);
- 2) Jasa-jasa lingkungan, utamanya:
 - a. Pengaturan tata air (*water regulation*);
 - b. Penyerapan dan penyimpanan karbon (*carbon sequestration and carbon stock*);
 - c. Penyedia keindahan bentang alam (*scenic beauty*);
 - d. Perlindungan keanekaragaman hayati (*biodiversity conservation*);
- 3) Energi, baik berupa energi padat, gas, maupun cair.

Terkait dengan energi, hutan semenjak dahulu kala telah menjadi penunjang kehidupan umat manusia sebagai sumber energi kayu bakar. Di wilayah negara berkembang, utamanya Asia dan Afrika, peran kayu sebagai sumber energi kayu bakar masih tetap tinggi dan dominan dibanding penggunaan lain seperti Tabel 3.1 (Suntana, 2009).

Peran teknologi telah mendorong pemanfaatan kayu sebagai sumber daya energi berkembang, akan tetapi terhenti pada teknologi gasifikasi generasi pertama sejak penggunaannya dalam perang dunia

Tabel 3.1 Konsumsi Kayu Dunia dan Peruntukannya 1994

Wilayah	Kayu Bakar	Serat untuk kertas	Industri Pengolahan kayu lainnya
Asia	93%	1%	6%
Afrika	81%	6%	13%
Amerika Selatan	50%	31%	19%
Rusia	44%	17%	39%
Amerika Utara / Tengah	21%	27%	41%
Eropa	15%	33%	52%

Sumber: diolah penulis dari Suntana (2009)

kedua. Hambatan pengembangan teknologi tersebut disebabkan melimpahnya sumber energi fosil yang murah. Prof. Kristiina Vogt dari Universitas Washington, Oregon, USA, menyatakan riset bio energi akan menarik lagi apabila harga minyak mentah (*crude oil*) lebih dari US\$80 per barel.

Pada saat krisis energi menerpa dunia dan harga minyak mentah melampaui US\$80 bahkan melampaui US\$100 per barel negara industri maju mendorong kembali pengembangan teknologi bioenergi berbasis biomassa, termasuk biomassa hutan terutama *lignoselulosa*. Perkembangan pemakaian energi terkait energi terbarukan, tertinggi pada biomassa seperti tampak pada Tabel 3.2.

Hasil riset mutakhir adalah inovasi teknologi gasifikasi generasi ketiga, yakni *Thermochemical Gasification*. Teknologi tersebut dapat mengubah lignoselulosa menjadi biometanol dan biohidrogen, baik untuk industri, transportasi, dan listrik.

Penemuan teknologi *Thermochemical Gasification* tersebut seharusnya membawa berkah bagi Indonesia khususnya. Penyebabnya adalah (1) sumber bahan baku terpercaya dan paling ideal adalah sumber daya hutan yang dapat dikelola secara berkelanjutan; (2) negara industri maju tidak dapat memanfaatkan teknologi tersebut, secara luas karena akan kekurangan sumber biomassa dari hutan sebagai sumber daya energinya; (3) Indonesia memiliki sumber daya hutan yang sangat luas dan masih dikuasai Pemerintah. Hal ini mengindikasikan bahwa teknologi untuk bioenergi berbasis biomassa hutan, kini telah tersedia walaupun masih berada di luar dalam bentuk *pilot plan* dan

Tabel 3.2 Tren Pemakaian Energi Terbarukan di Eropa (dalam MTOE)

Jenis Energi	1995	2004	Perubahan
Biomassa	44.8	72.3	+ 27.5
Air	26.4	26.1	- 0.3
Angin	0.4	5.0	+ 4.6
Sinar Matahari	0.3	0.7	+ 0.4
Geothermal	2.5	5.4	+ 2.9

Sumber: diolah penulis dari Suntana (2009)

skala komersial. Kiranya pemerintah perlu proaktif mendatangkan teknologi tersebut ke Indonesia. Variabel kunci ekonomi dalam mendorong produksi energi biomassa hutan kini telah tersedia, yaitu

- 1) Harga minyak mentah dunia lebih dari US\$80 per barel;
- 2) Isu lingkungan dan sosial;
- 3) Ketersediaan teknologi konversi;
- 4) Kebijakan peraturan perundang-undangan yang kondusif.

Pemerintah melalui berbagai aturan telah memberi landasan kebijakan yang kondusif walaupun kebijakan yang khusus membahas biomassa hutan masih perlu dipertegas karena potensinya yang sangat besar untuk menunjang pembangunan ketahanan energi ke depan.

Potensi Sumber Daya Hutan

Potensi ketersediaan sumber daya hutan sebagai penghasil biomassa sumber daya energi terbarukan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Untuk menunjang pembangunan sumber daya energi terbarukan, sesuai Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006, Kementerian Kehutanan dalam kurun waktu 2008–2012 telah melakukan pelepasan kawasan hutan untuk pembangunan pertanian/perkebunan (SK Pelepasan) seluas 5,75 juta ha dan pinjam pakai kawasan hutan untuk pertambangan dan non tambang berupa persetujuan prinsip seluas 362.677,35 ha dan yang sudah dalam bentuk izin pinjam pakai seluas 252.187,29 ha (Statistik Kehutanan Indonesia, 2012).

Dalam *Roadmap* Pembangunan Industri Kehutanan Berbasis Hutan Tanaman yang diterbitkan oleh Kementerian Kehutanan Oktober 2011, terdapat cadangan areal untuk hutan tanaman industri-energi (HTI-E) sampai dengan tahun 2025 seluas 900.000 ha. Walaupun potensi untuk pemanfaatan biomassa hutan bagi sumber energi terbarukan yang sangat besar, tetapi sampai dengan akhir Desember 2012 belum ada yang mengajukan permohonan izin untuk izin usaha pemanfaatan hasil hutan kayu pada hutan tanaman industri-energi (IUPHHK HTI-E).

Dari data sebelumnya terlihat bahwa potensi biomassa hutan yang dapat dipergunakan untuk menghasilkan sumber bioenergi ada pada:

- 1) kawasan hutan produksi yang belum dibebani izin;
- 2) kawasan hutan produksi konversi;
- 3) IUPHHK-hutan tanaman;
- 4) kawasan hutan produksi rusak;
- 5) di luar kawasan hutan yang belum dimanfaatkan untuk pembangunan Non-Kehutanan;
- 6) Limbah *logging* pada IUPHHK-Hutan Alam.

Tabel 3.3 Luas Kawasan Hutan dan Jenis Hutan Indonesia

Jenis Hutan	Luas Hutan (Juta Ha)	Catatan
1. Luas Kawasan Hutan Indonesia	133, 419	Darat 128,22 jt ha Perairan: 5,199 jt ha
2. Hutan Konservasi	27, 453	
3. Hutan Lindung	30, 097	
4. Hutan Produksi	58, 061	Hutan rusak 17,88 jt ha
Telah dibebani izin	35, 787	
Belum dibebani izin	22, 234	
5. Hutan Produksi konversi	17,815	Masih berada dalam kawasan hutan belum dikonversi.
6. Areal Penggunaan Lain (APL)	56, 565	Di luar kawasan hutan (hasil konversi)
Non-hutan	47.989	
Berpenutupan Hutan	8,575	telah dimanfaatkan belum dimanfaatkan untuk pembangunan non kehutanan
7. I U P H H K - HA	23,279	Banyak yang tidak aktif
8. I U P H H K - HT	12,509	Banyak yang tidak aktif

Catatan: Diolah dari statistik Kehutanan Indonesia (2012), Kementerian Kehutanan, Jakarta September 2013.

B. Potensi Jenis Biomassa Hutan untuk Sumber Energi Terbarukan

Biomassa hutan untuk energi terbarukan dapat berasal dari, *pertama* limbah penebangan pada IUPHHK-Hutan Alam. Seperti diatur dalam UU No. 41 tentang Kehutanan dan Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu Dilaksanakan Melalui Perizinan IUPHHK-Hutan Alam, Melalui Sistem Silvikultur Tebang Pilih. Terdapat limbah yang ditinggal di hutan sebesar 20–30%. Limbah penebangan dapat dikonversi menjadi sumber energi tetapi diserap sendiri oleh pemegang izin untuk substitusi BBM karena mahalnya BBM solar di daerah operasi. Menurut wawancara penulis dengan pengurus perusahaan, harga solar di *base camp* mencapai kurang lebih Rp13.000 per liter termasuk pajak dan transportasi. Potensi tersebut saat ini belum dapat diwujudkan karena teknologinya belum tersedia.

Kedua, limbah industri pengolahan hasil hutan kayu. Potensi limbah industri cukup besar berkisar antara 40%–60% dari kayu bulat (*logs*) yang diolah. Di saat krisis energi terjadi, limbah tersebut dipergunakan sendiri untuk menjadi sumber daya energi pengganti BBM, terutama untuk *boiler*. Saat ini, industri pengolahan hasil hutan kayu telah menerapkan kebijakan *zero waste* seperti di pulau Jawa, yang dapat dilihat di industri kayu PT Kayu Lapis Indonesia di Kendal, Jawa Tengah dan PT Kuta Timber Indonesia Probolinggo, Jawa Timur. Begitu pula di luar pulau Jawa, semua industri kayu utamanya *plywood* skala besar telah memanfaatkan limbah kayu untuk sumber daya energinya sendiri.

Ketiga, limbah cair dari industri *pulp* dan *paper* berupa *blackliquor*. Semenjak ditemukannya teknologi gasifikasi generasi terakhir, telah dikonversi menjadi biometanol dan dengan bantuan *fuel cell* diubah menjadi listrik. Sementara itu, di PT Riau Andalan Pulp and Paper dan PT Indah Kiat di Riau, pemanfaatan limbah cair tersebut telah mensubstitusi tenaga listrik batu bara/diesel sebanyak 70% untuk keperluan pabrik sendiri.

Keempat, hutan tanaman energi (HTE). Pentingnya HTE telah direkomendasikan dalam sarasehan pembangunan hutan tanaman di UGM Yogyakarta tahun 1983. Rekomendasi tersebut tenggelam oleh hiruk-pikuknya akselerasi pembangunan ekonomi yang di topang ekonomi kayu dan minyak. IEO 2010 merekomendasikan sumber daya energi terbarukan adalah yang berasal dari hasil budi daya. Budi daya kayu hutan telah diatur dalam UU No. 41 tahun 1999 tentang Kehutanan dan turunannya, baik yang berada di dalam kawasan hutan negara, maupun dalam kawasan hutan adat ataupun lahan milik. Statistik Kehutanan tahun 2012 menginformasikan jenis dan luas hutan tanaman untuk Hutan Tanaman Industri seluas 12,5 juta ha dan Hutan Tanaman Rakyat seluas 0,7 juta ha. Saat ini, kayu dari Hutan Tanaman Industri (HTI) diluar pulau Jawa diperuntukkan untuk menunjang industri *pulp* dan *paper*, dan industri *plywood*. Di Pulau Jawa, kayu hutan dimanfaatkan oleh industri mebel, kerajinan, dan industri *veneer* serta kayu lapis. Sebagian dari IUPHHK Hutan Tanaman ada yang masih bebas dan berpeluang diarahkan untuk menghasilkan sumber daya energi terbarukan. *Roadmap* Pembangunan Industri Kehutanan berbasis Hutan Tanaman 2011, telah mencadangkan HTI seluas 900 ribu ha untuk diusahakan menjadi sumber daya energi terbarukan (HTI-E) sampai dengan tahun 2025. Pengembangan HTI-E ke depan akan terbuka luas apabila memperhatikan luasnya areal hutan negara yang belum dibebani izin, areal hutan yang rusak, dan areal hutan produksi yang dapat di konversi meliputi luasan lebih kurang 58 juta ha.

Kelima, sumber bahan baku kayu lainnya. Ada areal penggunaan lain (APL), yaitu bekas kawasan hutan negara yang telah dialih fungsikan menjadi areal/lahan untuk menunjang pembangunan nonkehutanan, juga punya potensi untuk dikelola sebagai budi daya sumber daya energi termasuk kayu, yang memerlukan kebijakan dari para kepala daerah kabupaten. Potensi tersebut sangat mungkin apabila dikaitkan dengan kewajiban daerah untuk membangun ketahanan energi daerah dan menyusun Rencana Umum Energi Daerah (RUED) seperti diatur dalam UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

serta komitmen Ketua Asosiasi Pemerintah Kabupaten Seluruh Indonesia (APKASI) dalam rapat koordinasi pertahanan nasional di Kementerian Pertahanan tanggal 24 April 2013 (Noor, 2013).

Potensi lainnya adalah adanya program Kementerian Kehutanan untuk menanam pohon satu miliar per tahun yang dikaitkan dengan program Rehabilitasi Hutan dan Lahan, Direktorat Jenderal Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial (PDASPS). Menurut Statistik Kehutanan 2012, jumlah penanaman pohon dalam tahun 2010–2012 telah mencapai 4.747.523.730 pohon. Perlu dilakukan evaluasi berapa banyak dari pohon tersebut yang dapat dikelola masyarakat sebagai hutan/kebun energi. Hutan/kebun energi rakyat hasil program penanaman satu miliar pohon per tahun apabila dikombinasikan dengan teknologi tungku hemat energi akan menjadi alternatif dari program konversi BBM ke gas di pedesaan. Riset *Wood Energy* oleh Balitbang Kehutanan menyimpulkan bahwa kenaikan harga BBM telah meningkatkan permintaan kayu bakar (Ginoga, 2013). Potensi lainnya adalah hasil hutan bukan kayu seperti misalnya sagu, aren, buah nyamplung, dan buah bintaro. Potensi sagu dan aren sebagai sumber energi masih berbenturan dengan perannya memenuhi kebutuhan pangan. Di sisi lain, nyamplung dan bintaro belum dibudidayakan. Oleh karena itu, potensi tersebut hanya bersifat sementara dan untuk keperluan setempat.

Keenam, sumber daya energi berbasis biomassa hutan masa depan. Banyak pakar kehutanan dan nonkehutanan berpendapat sama bahwa masa depan sumber daya energi terpercaya dan ideal adalah biomassa hutan yang dapat dikelola secara berkelanjutan. Dari seluruh alternatif biomassa hutan, kayu (*lignoselulosa*) merupakan andalan masa depan, seperti dikemukakan oleh Prof Kristiina Vogt dari University of Washington, Oregon, USA. Ia menyatakan bahwa sumber daya biomassa hutan merupakan sumber daya energi ideal dan terpercaya untuk masa depan karena dapat dikonversi menjadi biometanol. Dr George Olah, ahli kimia dan pemegang hadiah nobel dari Institut Hidro-Karbon Loker, University of Southern California, USA menyatakan bahwa metanol akan menjadi tonggak utama

Buku ini tidak diperjualbelikan.

setelah energi minyak dan industri kimia. Selain itu, ada juga pendapat dari Metanol Institut menyatakan bahwa pembangunan ekonomi di masa mendatang akan ditunjang oleh energi hidrogen. Energi hidrogen paling baik dibuat dari biometanol. Begitu juga Makinen and Sipille di dalam Suntana (2009) menyatakan bahwa Etanol dan Biodiesel dari tanaman pertanian adalah solusi jangka pendek untuk memproduksi bahan bakar nabati (*biofuel*). Pengurangan emisi gas rumah kaca (GHG) yang signifikan dapat dilakukan dengan menggunakan sistem methanol dan hidrogen. Produksi biometanol saat ini bersaing dengan gas alam metanol karena faktor masalah lingkungan. (QLG 1997; AMI 2003; USFS 2005) di dalam Suntana (2009). Selain itu, ada pendapat dari Zean Zeigler, *UN Specialist Reporter for the Right to Food*, yang mengatakan bahwa produksi masif dari bahan bakar nabati (*biofuel*) merupakan kejahatan terhadap kemanusiaan. Bahkan, menurut Louis Ignatio Lula da Silva, Presiden Brazil, menyatakan bahwa kejahatan terhadap kemanusiaan yang sesungguhnya adalah mendiskreditkan *biofuel* dan mengutuk negara-negara yang kelaparan makanan dan kekurangan energi untuk tujuan ketergantungan dan ketidaknyamanan hidup.

C. Nilai Kemanfaatan Bioenergi Berbasis Biomassa Hutan

Para pakar banyak menyampaikan keuntungan serta kelebihan bioenergi berbasis biomassa hutan (*ligno selulosa*) dan dapat dihimpun sebagai berikut (Ahmad, 2013):

- 1) Sumber bahan baku dapat dibangun dan dikelola secara berkelanjutan dalam bentuk hutan tanaman industri, hutan tanaman rakyat, hutan desa, hutan kemasyarakatan, hutan rakyat, hutan adat, dan hutan/kebun energi.
- 2) Proses pembangunan sumber bahan bakunya dapat meningkatkan penyerapan dan penyimpanan karbon karena ditempatkan pada kawasan hutan/lahan yang kurang/tidak produktif.

- 3) Pemanfaatan limbah *logging* dapat mencegah emisi dan bahaya kebakaran.
- 4) Tidak bertabrakan dengan kepentingan pangan.
- 5) Dapat dibangun dalam skala kecil maupun besar (fleksibel)
- 6) Dapat dibangun secara desentralisasi sampai ke pedesaan.
- 7) Biaya paling murah dibanding dengan EBT lainnya.
- 8) Investasi lebih murah dengan waktu relatif lebih pendek.
- 9) Mampu berkompetisi dengan industri pengolahan kayu lain dalam membayar bahan baku.
- 10) Teknologi yang digunakan hemat bahan baku (efisien) dan dapat menghasilkan produk energi yang memiliki nilai tambah tinggi.
- 11) Tidak perlu infrastruktur khusus dan mahal.
- 12) Limbah abu dan terra preta dapat dipakai untuk memperbaiki tekstur dan kesuburan tanah.
- 13) Bisa diintegrasikan (*co-existence/co-firing*) dengan sumber energi lainnya yang telah ada.
- 14) *Carbon neutral/zero emission*.
- 15) Tidak ada biaya tambahan untuk lingkungan dan perlindungan iklim.
- 16) Menggantikan metanol fosil dalam memproduksi *biofuel* sebagai bahan campuran bahan bakar minyak fosil.
- 17) Dapat mensubstitusi energi primer fosil untuk memenuhi kriteria energi hijau.
- 18) Membantu meningkatkan ketahanan energi, yakni kemandirian, diversifikasi, dan konservasi energi.
- 19) Membantu menjawab tantangan krisis energi nasional dan krisis energi daerah.
- 20) Berperan nyata dalam pelaksanaan komitmen pemerintah untuk menurunkan emisi 26% pada tahun 2020 dan 41% apabila dibantu negara maju.
- 21) Membantu pembangunan desa mandiri.
- 22) Membuka lapangan kerja dan lapangan usaha baru.
- 23) Menghasilkan efek ganda yang besar/luas.

- 24) Dapat membantu menekan defisit neraca perdagangan luar negeri dan beban subsidi APBN.
- 25) Sesuai dengan program pemerintah, yakni *pro growth*, *pro jobs*, *pro poors*, dan *pro environment*.

Sebagai ilustrasi, apabila bioenergi berbasis biomassa hutan diperankan untuk mendukung produksi *biofuel* (biodiesel) sebanyak 3,3 jt kiloliter per tahun yang memerlukan bantuan biometanol 10% maka cukup membangun HTI-E seluas lebih kurang 44 ribu ha saja (efektif). Apabila diperankan untuk mensubstitusi seluruh BBM impor per tahun, misalnya tahun 2013 sebanyak 46 juta kiloliter maka cukup membangun HTI-E seluas kurang lebih 7 jt ha (efektif).

D. Jenis-jenis Tanaman Hutan

Rekomendasi Badan Litbang Kehutanan (Ginoga, 2013) dan hasil wawancara penulis dengan Kepala Pusat Litbang Produktivitas Hutan, dapat diinformasikan delapan jenis tanaman hutan yang berdaur pendek (*fast growing*) seperti pada Tabel 3.4.

E. Contoh Industri Bioenergi Berbasis Biomassa Hutan

Biomassa hutan yang bersumber dari kayu (*ligno selulosa*) merupakan biomassa yang paling besar potensinya. Penggunaan teknologi mekanis dan gasifikasi generasi ketiga dapat menjadikan sumber potensial tersebut dikonversi menjadi sumber energi prioritas yang diarahkan untuk transportasi dan listrik sebagaimana diarahkan di dalam Kebijakan Energi Nasional sebagai berikut.

1. *Pellet* kayu

Konsumsi *pellet* kayu di dunia sangat besar dan dalam beberapa tahun terakhir telah meningkat sebanyak 300–400% terutama di *Annex I countries* dan negara industri baru. Lima negara maju terbesar produksi

Tabel 3.4 Jenis dan Karakteristik Kayu Energi

No.	Jenis Tanaman	Nama Lokal	Riap (m ³ /ha/th)	Density (BJ)	Nilai Kalor (K.kcl/kg)
1	<i>Acacia auriculiformis</i>	Akasia	17,0	0,77	4.907
2	<i>Acacia mangium</i>	Akasia	20,0	0,60	4.800
3	<i>Acacia sp</i>	Akasia hibrid	20,0	0,77	4,900
4	<i>Albizia procera</i>	Weru	25,0	0,67	5.016
5	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Kaliandra*	32,0	0,67	4.617
6	<i>Leucaena leucocephala</i>	Lamtoro gung	21,0	0,82	4.967
7	<i>Gliricidia maculata</i>	Gamal *	-	0.80	4.548
8	<i>Sesbania grandiflora</i>	Turi	-	-	4.825

Catatan :

- Jenis kayu energi tersebut *) berdaur dua tahun dan dapat di kopis.
- Jenis-jenis lain berdaur ekonomis lima tahun
- *Acacia mangium* adalah jenis yang paling maju dalam proses pemuliaan pohon (F3)
- *Acacia sp* adalah jenis akasia hasil persilangan antara *Acacia mangium* dengan *Acacia auriculiformis*
- Kaliandra lebih sesuai dibudidayakan di pulau Jawa
- Gamal lebih sesuai dibudidayakan di luar pulau Jawa

dan konsumsi *pellet* kayu adalah Amerika Serikat, Swedia, Denmark, Rusia, dan Jerman. Di Asia, Korea Selatan adalah negara yang paling agresif. Teknologi *pellet* kayu telah tersedia di pasar. Tetapi yang sudah masuk ke Indonesia umumnya datang dari Cina dan Korea Selatan dengan skala yang kecil/sedang. Pertimbangan para investor Indonesia hanya berdasarkan harga yang murah dan dapat memenuhi kriteria nilai kalor di atas 4.000 K.kcl/kg.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Di luar negeri belum diperoleh informasi adanya PLTU yang 100% menggunakan bahan bakar biomassa hutan karena umumnya menggunakan bahan bakar fosil batu bara. Akan tetapi, dengan adanya *pellet* kayu, *co-firing* mulai dilaksanakan. Korea Selatan adalah salah satu negara industri baru di Asia yang paling agresif untuk mensubstitusi batubara/BBM PLTU-nya dengan limbah sawit (cangkang) dan *pellet* kayu (Gyu-seong, 2013).

3. Biometanol

Di luar negeri, pabrik biometanol berbasis biomassa hutan (kayu) juga belum meluas. Negara yang paling maju dalam membangun pabrik biometanol berbasis biomassa hutan adalah Amerika Serikat dan Swedia. Di Amerika Serikat, negara bagian yang paling besar memproduksi methanol berbasis biomassa hutan di antaranya Montana, Idaho, dan Oregon. Biomethanol tersebut digunakan untuk transportasi dan listrik (Vogt, 2008).

Swedia saat ini sedang membangun pabrik biometanol komersial pertama terbesar di dunia, yaitu dengan kapasitas 100.000 ton per tahun atau 126 juta liter per tahun. Pabrik ini diperkirakan akan siap produksi pada awal tahun 2015 (Gillberg, 2012).

Methanol Institute memprediksi bahwa tahun 2020 metanol akan menjadi rekomendasi standar bahan bakar bagi transportasi (Dolan, 2008). Cina adalah produsen metanol terbesar di dunia, namun bahan baku fosil utamanya adalah gas alam. Diperoleh informasi saat ini Cina sedang mengembangkan hutan tanaman untuk kepentingan biometanol tersebut.

Pabrik pellet yang telah ada di Indonesia:

- 1) **PT Neovis Indonesia** di Cibitung Tangerang, Provinsi Banten
 - Jenis produk : *Pellet* Kayu dalam kemasan (*Bagging*)
 - Standar kualitas: DIN 51731 dan ONOREM M-7135
 - Produksi: 1000 ton per bulan
 - Pasar: dalam negeri dan ekspor
 - Sumber bahan baku: Limbah kayu termasuk *limbah land Clearing*
 - Mitra: modal sendiri

- 2) **PT Inhutani III (Persero)**
 - Lokasi: Kalimantan Selatan
 - Produksi *Pellet* kayu
 - Kapasitas: 30.000 ton per tahun (Tahap pertama)
 - Pasar: Dalam negeri dan Ekspor
 - Kondisi: dalam tahap konstruksi dijadwalkan selesai Juni 2014
 - Sumber bahan baku: HTI yang telah ada yang akan dijadikan HTI-E yang dikelola oleh PT Inhutani III Group
 - Mitra kerja sama: perusahaan energi Korea Selatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Di Indonesia baru ada satu perusahaan pembangkit listrik PLTU berbahan bakar kayu (*chips*), yaitu

Nama perusahaan: PT Kencana Grup

Lokasi: Provinsi Bangka Belitung

Kapasitas: 7,5 MW di pulau Belitung dan 6 MW di pulau Bangka

Pasar: PT PLN (Persero)

Bahan Baku: Limbah kayu

Kondisi: Kesulitan bahan baku karena mengandalkan limbah kayu sehingga terjadi pencampuran antara limbah kayu dan limbah sawit (cangkang)

Upaya: Akan membangun hutan tanaman sendiri.

Untuk Indonesia, Prof. Kristina Vogt dari University of Washington telah mengembangkan *Pilot Plan* skala kecil 10 ton bahan baku kayu per hari dalam bentuk model pabrik yang bergerak/*mobile*, disebut M3X. Model ini yang paling cocok dikembangkan di Indonesia terutama untuk mengatasi kelangkaan energi di daerah pedesaan.

Diperlukan dana kurang lebih US\$2.5 jt untuk mendatangkan M3X ke Indonesia, termasuk patennya. Tingkat efisiensi pabrik M3X tersebut telah mencapai 200 galon per ton kayu kering. Tingkat kemurnian biometanol telah sesuai dengan persyaratan yang ditentukan oleh *fuel-cell* apabila biometanol tersebut akan dikonversikan menjadi tenaga listrik.

4. Biohidrogen

Belum diperoleh informasi adanya pabrik biohidrogen berbasis biomassa hutan dalam skala komersial. Akan tetapi, Jerman Barat adalah negara yang memprogramkan Hydrogen Economy, di mana pada tahun 2030, energi primer dan nuklir 33% akan disubstitusi dengan EBT, dengan rincian 67%-nya berbasis biomassa (Wendel, 2009).

Di Indonesia, belum terdengar adanya riset biohidrogen yang menggunakan biomassa hutan yang menerapkan hasil inovasi teknologi (*Thermo-chemical Gassification*). Dr. Hubertus Rau dari per-

usaha H2 Patent GmbH Jerman sedang menyiapkan *Pilot Plan* (50 MW) senilai €40 juta. Pada tahun 2009 beliau telah bertemu dengan penulis dan beberapa pejabat Kementerian Kehutanan di Jakarta untuk menawarkan *Pilot Plan* tersebut di Indonesia. Monitoring terhadap teknologi tinggi ini perlu terus dilakukan karena hidrogen biomassa ini paling efisien di dalam pemakaian bahan baku kayu serta paling murah biaya listrik yang dihasilkannya. Kemurnian biohidrogen telah mencapai level *free tar gas* (50 mg/m³) (Rau, 2009).

F. Peluang dan Tantangan

Egon Glesinger, pakar kehutanan (*Chief of Forest Products Branch of the Food and Agriculture, United Nations*) pada tahun 1949 telah menulis buku dengan judul *The Coming Age of Wood*. Hampir segalanya dapat dibuat dari kayu yang memiliki empat unsur kimia utama, yakni Karbon, Hidrogen, Oksigen, dan sedikit Nitrogen. Dari kayu dapat dibuat bahan bakar (padat, gas, cair), bahan pangan bagi manusia, pakan ternak, tekstil, rumah/komponen rumah, kertas budaya, bahan industri kimia, obat-obatan, dan kosmetik.

Seperti yang disebutkan dalam Tabel 3.3, hutan hujan tropika Indonesia yang letaknya menyebar di seluruh kabupaten mulai dari Aceh sampai Papua merupakan sumber daya alam bagi energi terbarukan yang strategis bagi pembangunan ketahanan energi nasional dan daerah. Kondisi tersebut harus disosialisasikan ke segenap pemangku kepentingan sehingga dapat membuka paradigma/cara pandang baru terhadap hutan. Paradigma baru tersebut ialah bahwa hutan dan lahan hutan bukan hanya sekedar dapat menyediakan lahan murah bagi kegiatan pembangunan sumber daya energi seperti kebun sawit dan tambang batu bara, akan tetapi hutan dengan biomasnya dapat menjadi sumber daya energi baru dan terbarukan yang besar, murah, ramah lingkungan, dan dapat dikelola secara berkelanjutan.

Menteri Pertahanan RI dalam penyampaian makalahnya di acara Rakor Pertahanan Universitas Pertahanan Indonesia dengan APKASI dan para anggotanya di Jakarta 24 April 2013, mengutip hasil kajian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Benjamin K. Lovacool yang mencatat empat keuntungan mengenai sistem energi terbarukan dan pasarnya yang terus tumbuh. *Pertama*, teknologi energi terbarukan adalah modular dan fleksibel karena dapat dijalankan baik secara terpusat maupun terdesentralisasi. *Kedua*, aman bagi konsumen. *Ketiga*, energi terbarukan melimpah di semua negara. *Keempat*, energi terbarukan lebih murah dibandingkan energi konvensional.

Prof Kristiina Vogt menyatakan bahwa bioenergi berbahan baku kayu dapat mengungguli industri *pulp* dan *paper* dan industri partikel *board*/MDF dalam penggunaan limbah kayu.

Ada lima tantangan dalam melakukan implementasi sumber daya hutan sebagai energi terbarukan dan berkelanjutan, yaitu

- 1) Potensi sumber daya hutan sebagai sumber daya energi terbarukan dan berkelanjutan belum menjadi kesepahaman nasional, berbeda dengan negara-negara lain. Kiranya pemerintah perlu mencanangkan hal tersebut, misalnya dalam bentuk Instruksi Presiden sebagai perwujudan dari *Policy Pronouncement*. Pentingnya sumber daya hutan sebagai sumber daya energi terbarukan dan berkelanjutan, selanjutnya perlu dituangkan dalam peraturan perundang-undangan sebagai perwujudan dari *Policy Instrument*. Dewan Energi Nasional perlu mengusulkan addendum undang-undang tentang energi yang mengatur secara khusus bioenergi berbasis biomassa hutan dalam pasal tersendiri termasuk memasukkan wakil sektor kehutanan ke dalam organisasi Dewan Energi Nasional dan Kelompok Kerja (POKJA)-nya untuk menegaskan mengenai peran bioenergi berbasis biomassa hutan dalam kebijakan energi nasional sebagai perwujudan dari *Policy Measurement*. Dukungan politik (*Political Will*) di atas sangat diperlukan. KEN (PP No. 5 tahun 2006) belum memasukkan bioenergi berbasis biomassa hutan karena belum terukur.
- 2) Inovasi teknologi gasifikasi generasi ketiga (*Thermochemical Gasification*) yang secara utuh memproses biomassa hutan (kayu) belum ada di Indonesia. Teknologi tersebut perlu segera didatangkan

ke Indonesia dalam bentuk *Pilot Plan*. Hal ini juga harus menjadi bagian dari investasi pemerintah. Dalam mendatangkan teknologi tersebut, sebaiknya lengkap dengan patennya karena Prof. Kristiina Vogt yakin bahwa Indonesia akan mampu membuatnya sendiri.

- 3) Untuk melaksanakannya, sejak dari perencanaan, perlu dibangun sinergi kementerian/lembaga berkepentingan yang terkait meliputi: Kementerian Kehutanan, Kementerian ESDM, Pemerintah Daerah (Propinsi dan Kabupaten) terutama dalam mensinkronisasikan lokasi areal kerja, sumber daya energi dengan pabrik sumber energi termasuk areal cadangan HTI-E yang telah dialokasikan dalam *Roadmap* Pembangunan Industri Kehutanan berbasis Hutan Tanaman seluas 900 ribu ha.
- 4) Pemerintah Daerah memberikan kepastian lahan usaha dan keamanan berusaha dengan menuangkannya ke dalam Perda.
- 5) Membangun kebijakan insentif yang kondusif (Ahmad, 2013) yang menyangkut
 - a. Perpajakan dan pungutan pemerintah lain;
 - b. Investasi;
 - c. Belanja negara/daerah;
 - d. Membangun instrumen/mekanisme pembayaran jasa lingkungan (PJJL)/*payment for environment services* (PES).

3.7 Penutup

Sebagai bahan pertimbangan dan penutup maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

- 1) Sumber daya hutan Indonesia berpotensi menjadi gudang energi terbarukan yang dapat dikelola secara berkelanjutan dalam pembangunan ketahanan energi nasional.
- 2) Untuk memantapkan peran sumber daya hutan sebagai sumber daya energi terbarukan diperlukan dukungan politik baik dari pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

- 3) Pemerintah perlu segera secara proaktif untuk mendatangkan teknologi *Thermochemical Gasification* dengan patennya, diawali dengan *Pilot Plan*.
- 4) Mulai sekarang pemerintah (kementerian/lembaga terkait) merancang peran dalam mendukung bio-energi berbasis biomassa hutan dalam rencana kerjanya masing-masing secara sinergis.
- 5) Pemerintah perlu membangun kondisi pemungkin terutama berupa insentif yang kondusif.

Daftar Pustaka

- Ahmad, N.R. (2013). Green Economy & Green Energy. *Bahan Masukan* Asosiasi Pengusaha Hutan Indonesia *kepada Menteri Kehutanan dan Menteri ESDM*, Februari 2013.
- Ahmad, N.R. (2013). Investasi Bio Energi Berbasis Biomassa Hutan, Peluang dan Tantangan. *Paparan Seminar Forum Discussion on Biomass Industry in Indonesia*. Grand Melia Hotel, Jakarta 5 September 2013.
- Dolan, G. (2008). *Methanol Fuel: The Time Has Come*. Methanol Institute, 17th ISF-Taiyuan China.
- Gillberg, B.O. (2012). World's First Commercial Scale Bio Methanol Plant in Hagfors Sweden. *Methanol AB*, Maret 2012.
- Gyu-seong, Han. (2013). Wood Trend of Pellet Market. Chairman of Korean Pellet Association. *Forum Discussion on Biomass Industry in Indonesia*, Jakarta, Grand Melia Hotel, 5 September 2013.
- Ginoga, K. (2013). Riset dan Kebijakan Wood Energy Nasional. Disampaikan dalam diskusi *Wood Biomass Energy*, Hotel Peninsula, Jakarta, 13 Maret 2013.
- Kementerian ESDM. (2010). *Indonesia Energy Outlook 2010*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Kementerian Kehutanan RI. (2011). *Roadmap Pembangunan Industri Kehutanan Berbasis Hutan Tanaman*. Jakarta: Kementerian Kehutanan, Oktober 2011.
- Kementerian Kehutanan RI. (2013). *Statistik Kehutanan Indonesia 2012*. Jakarta: Kementerian Kehutanan, September 2013.
- Mangundikoro, A. (1983). *Strategi dan Program Pengembangan Hutan Tanaman di Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- Menteri Pertahanan RI. (2013). Peranan Pemerintah Daerah dalam Menunjang Ketahanan Energi Nasional. *Rakor Pertahanan Nasional*. Jakarta: Universitas Pertahanan Indonesia, 24 April 2013.
- Noor, I. (2013). Peran Pemerintah Daerah dalam Menunjang Ketahanan Energi Nasional. *Rakor Pertahanan Nasional*. Jakarta: Universitas Pertahanan Indonesia, 24 April 2013.
- Rau, H. (2009). Biomass-based Hydrogen Economy. *Presentation for the Desiders*. Jakarta 2009. *E-mail address*: rau@h2-patent.eu
- Rusli, Y. (2009). Laporan Menghadiri *Major Economy Forum on Energy and Climate*, Washington DC, 17–18 September 2009.
- Suntana, A.S. (2009). Bio-Methanol: Energi Hijau Berbasis Biomassa. *Forum Diskusi Habibie Center*, Jakarta Maret 2009.
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tentang *Kebutuhan*.
Undang-Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2007 tentang *Energi*.
- VarmlandsMetanol AB. (2012). *A BioMass Based Liquid Fuel Company Based on Gasification Technology*. March 2012. *E-mail address*: info@varmlandsmetanol.se
- Vogt, K. (2008). Bio-Methanol: How Energy Choices in the Western United States can Help Mitigate Global Climate Change. *Renewable Energy (Inpress 2008)*. *E-mail address*: kvogt@u.washington.edu,
- Vogt, K. (2008). Why Wood-Based Bio Energy is Climate Friendly and Environmentally. ITTO, *ASIA Pacific Regional Forum on Promoting Wood-Based Bio-Energy Using Wood Residue and Waste*. Jakarta: Peninsula Hotel Indonesia, 2008.
- Wendel, Wolfgang. (2009). Biomass-Based Hydrogen Economy. Hanover Fair 2009, Germany. <http://www.h2-patent.eu>

POTENSI ALGA TROPISAL UNTUK *BIOFUEL*

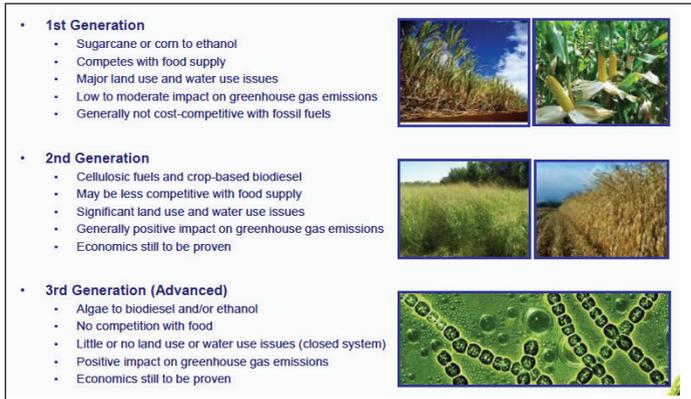
Dwi Susilaningsih

A. Pendahuluan

Penggunaan bahan berbasis bioproduct untuk energi berkembang dari penggunaan tebu dan jagung untuk pembuatan etanol di Brazil yang disebut generasi pertama, menuai kritik karena penggunaan biomassa tersebut akan mengganggu keamanan pangan, isu penggunaan air yang berlebihan, tidak ada kontribusinya dalam pengurangan emisi gas karbon, dan harganya tidak kompetitif dibandingkan energi fosil. Setelah itu, berkembang generasi kedua, yaitu pemanfaatan selulosik untuk biodiesel di berbagai negara seperti Cina, Amerika, dan beberapa negara di Eropa. Namun, kembali fase ini mendapatkan kritik karena tidak ekonomis, menghasilkan karbondioksida, dan membutuhkan lahan serta air yang cukup banyak. Melalui bioenergi generasi kedua inilah kemudian berkembang bioenergi generasi ketiga atau yang paling mutakhir, yaitu berupa sumber energi yang tidak bersaing dengan pangan, menggunakan sedikit air dan lahan serta berkontribusi terhadap penurunan emisi gas karbondioksida, salah satu contohnya adalah pemanfaatan alga (Huntley & Rejalde, 2007). Seluruh perjalanan perkembangan bioenergi dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Alga adalah kelompok polipiletik organisme yang terdiri atas prokariot (tidak berinti sel sebenarnya) hingga eukariot (berinti sel), digolongkan menjadi kelompok yang berukuran makro (dapat dilihat dengan mata telanjang) dan mikro (dapat dilihat dengan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



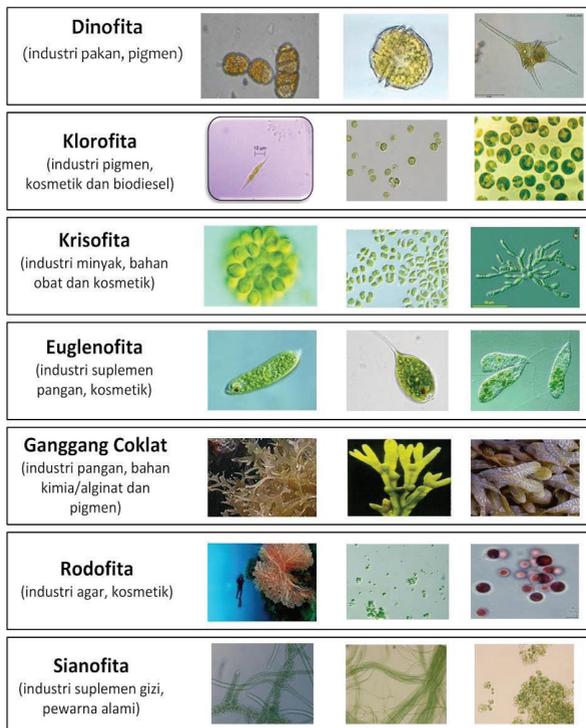
Sumber: Thomas *et al.* (2013)

Gambar 4.1 Perkembangan bioenergi dari generasi ke generasi

menggunakan bantuan alat tertentu seperti mikroskop). Kelompok makroalga mempunyai ukuran di atas 50 milimikron sedangkan yang di bawah ukuran tersebut digolongkan mikro. Alga merupakan organisme fotosintetik yang memanfaatkan CO₂ dan sinar matahari dengan bantuan donor elektron untuk membentuk makanan sendiri dan untuk mensintesis bahan-bahan kimia adi yang dibutuhkan oleh jenis organisme tersebut. Senyawa-senyawa kimia yang disintesis oleh alga ini beragam, seperti karbohidrat, lemak, protein, lipida, tepung spesifik, antibiotik, hormon, dan vitamin yang setelah dipelajari juga bermanfaat bagi kebutuhan manusia. Alga ini mempunyai rentang daya hidup yang sangat luas dari perairan kutub sampai daerah tropikal dan mempunyai jenis-jenis bervariasi sesuai dengan lingkungan tumbuhnya sehingga memungkinkannya untuk dikultur atau dibudidayakan di berbagai daerah berair tawar sampai laut. Bentuk dan karakter masing-masing kelompok atau jenis alga juga sangat beragam, sebagai contoh alga hijau biru yang disebut sianobakteria mempunyai karakter dari yang bulat tunggal hingga berfilamen dan berkoloni, mempunyai kandungan protein yang tinggi dan ada pula yang dapat membentuk racun. Sedangkan alga lainnya, misalnya alga merah juga beragam, mulai dari bulat tunggal yang berukuran mikro

hingga berbentuk seperti tumbuhan atau makroalga. Dengan ragam jenis dan kemampuan menyintesis berbagai senyawa tersebut jenis alga disebut pabrik biologi (Hoek *et al.*, 2002; Susilaningsih *et al.*, 2008, 2009).

Proses fotosintesis secara sederhana digambarkan bahwa air, karbondioksida, mineral, dan cahaya matahari merupakan faktor utama yang apabila prosesnya melalui pemakaian karbondioksida ditambah air dan cahaya matahari menjadi glukosa, oksigen, dan air disebut fotosintesis autotrop, apabila prosesnya melalui kegelapan atau tanpa cahaya dan memanfaatkan gula atau glukosa sebagai



Sumber: Linda *et al.* (1999); Susilaningsih *et al.* (2012)

Gambar 4.2 Jenis-jenis alga yang dikembangkan menjadi berbagai industri di dunia

makanannya maka disebut heterotrofik. Jenis-jenis alga akan mempunyai sifat sendiri-sendiri, namun banyak dari jenis alga yang mampu bertumbuh dan beraktifitas dengan kondisi keduanya yang disebut fakultatif. Jenis alga yang heterofermentatif menjadi tren saat ini untuk dikembangkan menjadi sumber energi karena kemampuannya mensintesis lemak pada kondisi yang tidak memerlukan cahaya dan karbondioksida sehingga mudah diterapkan di daerah dengan habitat yang tidak tergantung pencahayaan dan karbondioksida (Madigan *et al.*, 2003; Yanqun *et al.*, 2008).

Pengembangan budi daya alga telah dilakukan di berbagai negara, baik dengan teknologi sederhana hingga berteknologi tinggi, bahkan masih ditemukan budi daya mikroalga yang bergantung pada kondisi alam, seperti yang ditemukan di danau Chad, Meksiko. Budi daya alga ini sangat beragam tergantung jenis dan tujuan yang diinginkan, sebagai contoh untuk membuat mikroalga berprotein tinggi sebagai suplemen pangan maka akan diperlukan sistem bioreaktor yang terjaga kebersihan dan kesterilannya sehingga biomassa yang diperoleh layak sebagai bahan pangan atau obat. Sedangkan budi daya alga untuk sumber tepung atau energi dapat dilakukan pada sistem terbuka atau bahkan di kolam, danau, dan laut sebagai medianya yang tidak memerlukan pengawasan akan kesterilan dan kebersihannya. Berbagai pilihan akan teknik budi daya alga dan perhitungan ekonomisnya didapatkan informasi bahwa alga dapat dibudidayakan dengan teknologi sederhana dan murah hingga teknologi tinggi dan mahal bergantung pada pilihan, sumber media atau air dan jenis mikroalga serta fungsi dari biomassa yang diinginkan. Sebagai contoh Sazdanoff (2005), menganalisis potensi budi daya alga di Amerika Serikat (California) untuk kebutuhan biodiesel. Informasinya menyebutkan bahwa alga mempunyai potensi yang ekonomis untuk dibudidayakan skala besar dibanding dengan sumber-sumber biodiesel dari sawit, kelapa, bunga matahari, dan sumber-sumber minyak lainnya (Tabel 4.1). Melihat data yang disajikan tersebut, ada suatu optimisme untuk mengembangkan alga atau mikroalga sebagai bahan bakar masa depan pengganti atau penyulih bahan bakar berbasis fosil

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(tradisional). Dalam laporan tersebut, disebutkan pula paling ideal adalah membiakkan alga di daerah yang mempunyai suhu relatif hangat dan sinar matahari yang cukup antara 6–12 jam per hari atau lebih ke arah subtropikal ke area tropikal yang disebut areal potensi sabuk tropikal penanaman alga.

Berdasarkan Tabel 4.1, dominasi mikroalga dari sisi produktivitas biodiesel bila dibandingkan dengan bahan baku yang lain jelas terlihat. Suatu bahan baku yang ditujukan untuk bisa menggantikan penggunaan bahan bakar berbasis fosil setidaknya harus memiliki tiga persyaratan. *Pertama*, ketersediaan bahan baku harus cukup. *Kedua*, biaya yang dibutuhkan untuk produksi bahan bakar terbarukan harus kurang dari biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi bahan bakar fosil. *Ketiga*, bahan bakar yang dihasilkan haruslah memenuhi standar yang telah ditetapkan. Untuk biodiesel, standar yang saat ini banyak digunakan adalah ASTM D 6751 dan EN 14214:2008. Dalam hal mikroalga sebagai bahan baku biodiesel, persyaratan kedua masih

Tabel 4.1 Perbandingan Berbagai Bahan Baku Biodiesel

Bahan Baku	Kandungan Lipid (%/ bobot biomassa)	Minyak (L/ha/tahun)	Lahan yang Digunakan (m ² tahun/kg biodiesel)	Produktivitas Biodiesel (kg biodiesel/ha/tahun)
Jagung	44	172	66	152
Kedelai	18	636	18	562
Jarak	28	741	15	656
Canola	41	974	12	809
Bunga Matahari	40	1.070	11	946
Castor	48	1.307	9	1.156
Kelapa Sawit	36	5.366	2	4.747
Mikroalga (rendah lipid)	30	58.700	0.2	51.927
Mikroalga (medium lipid)	50	97.800	0.1	86.515
Mikroalga (tinggi lipid)	70	136.900	0.1	121.104

Sumber: Mata *et al.* (2010)

Tabel 4.2 Asumsi Perbandingan Harga atau Hitungan Ekonomi Masing-masing Teknik Budidaya Alga

	<i>Capital Cost</i>	<i>Running Cost</i>	<i>Productivity</i>	<i>Reliability</i> ²
<i>Shallow Ponds</i>	• ¹	•	•	••
<i>Raceway Ponds</i>	•••	••	•••	•••
<i>Cascade System</i>	•••	••	••••(•)	•••
<i>Tubular PBR</i>	•••••	••••	••••	•••(•)
<i>Fermenter</i>	•••••	••••• ³	•••••	•••••

Sumber: Borowitzka (2012)

1. bergantung pada harga tanah
2. bergantung ada jenis alganya
3. kemungkinan murah jika tanpa tambahan sinar (bergantung pada matahari saja)

membutuhkan banyak kajian teknoekonomi. Studi teknoekonomi terbaru dari Nagarajan *et al.* (2013) menyatakan bahwa produksi biodiesel berbahan baku mikroalga membutuhkan biaya sekitar USD\$ 0.42–0.97 per liter. Kelayakan produksi biodiesel dari mikroalga masih dapat ditingkatkan dengan memproduksi secara simultan bioetanol dan biogas dari residu biomassa mikroalga yang telah diekstrak lipidnya, seperti yang akan dijelaskan di bagian selanjutnya.

Australia juga sangat aktif mengembangkan alga sebagai bahan farmasi dan energi yang telah dikaji pula berbagai sistem penanaman mikroalga dan perhitungan ekonomisnya (Borowitzka, 2012). Australia mengklaim mempunyai jenis koleksi mikroalga dari areal bersuhu dingin hingga tropis. Informasi terkini Australia mengembangkan pigmen alami dari jenis mikroalga *Haematococcus* untuk sumber prekursor vitamin A dan makroalga sebagai bahan energi etanol.

Lebih lanjut, Borowitzka (2012) juga menganalisis efisiensi antara kolam terbuka dan sistem tertutup dan ditemukan masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti terlihat di Tabel 4.3.

Digambarkan bahwa kolam terbuka mempunyai perhitungan produksi yang ekonomis apabila dibandingkan dengan sistem tertutup, namun membutuhkan areal yang lebih luas dan pemakaian air yang lebih banyak. Isu pemakaian air dalam budi daya alga ini juga menjadi penting seiring dengan isu berkurangnya air tanah untuk kebutuhan air bersih bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Oleh karena itu, budi daya alga di areal lautan lebih diutamakan untuk dilakukan untuk menghindari komplikasi masalah dengan ketersediaan air tanah sebagai kebutuhan pokok makhluk hidup. Secara umum, perbedaan sistem kolam terbuka dengan tertutup dijelaskan di bawah ini.

1. Open ponds (kolam terbuka)

Raceway adalah jenis kolam terbuka. Kolam terbuka sangat rentan terhadap kontaminasi oleh mikroorganisme lain, seperti spesies alga lain atau bakteri. Dengan demikian petani biasanya memilih sistem tertutup untuk monokultur. Sistem terbuka juga biasanya tidak disertai kontrol atas suhu dan pencahayaan. Musim tanam sebagian besar tergantung pada lokasi dan waktu terbatas pada bulan-bulan hangat, kecuali di daerah tropis yang dapat ditanam sepanjang tahun.

Fasilitas sistem kolam terbuka lebih murah, hanya membutuhkan parit atau kolam. Budi daya alga harus disesuaikan dengan syarat hidup masing-masing jenis mikroalga, misalnya *Spirulina* sp. tumbuh subur dalam air dengan konsentrasi tinggi natrium bikarbonat dan *Dunaliella salina* tumbuh dalam air yang sangat asin. Dua jenis alga ini banyak dikembangkan di kolam terbuka karena syarat hidupnya tersebut membuat organisme lain sulit bersaing dengan keduanya.

2. Photobioreactors (sistem tertutup)

Alga dapat ditumbuhkan pada bejana tertentu atau fotobioreaktor (PBR). Sistem PBR atau bioreaktor biasanya dilengkapi dengan sumber cahaya, kontrol suhu, kontrol pH, media, dan gas-gas yang dibutuhkan (CO_2 , N_2 , H_2). Bejana PBR untuk alga adalah transparan atau tembus cahaya yang dapat berupa bejana, polietilen berbentuk silindris, kaca, atau tabung lainnya. Sebuah PBR dapat beroperasi

dalam mode *batch*, yang melibatkan *restocking* reaktor setelah panen, tetapi juga memungkinkan untuk kultivasi dan panen terus menerus. Kultivasi terus-menerus membutuhkan kontrol yang tepat dari semua elemen untuk mencegah kematian kultur yang tiba-tiba. Penjagaan mengenai kandungan air steril, nutrisi, dan karbon dioksida pada tingkat yang benar menyebabkan reaktor beroperasi untuk waktu yang lama.

Pada umumnya budi daya alga sebagai sumber pangan, obat, dan energi di masa depan telah ada kajiannya di berbagai negara melingkupi informasi mengenai teknologi, kajian ekonomi, dan kendala-kendalanya (Sazdanoff, 2005; Chisti, 2007, 2011). Pilihan untuk menggunakan alga sebagai bahan energi alternatif yang terbarukan untuk negara Indonesia merupakan opsi yang baik dengan syarat telah menguasai teknologi untuk penyediaan dan pemilihan bibit, budi daya yang efektif dan efisien, pemanenan yang murah, proses pascapanen yang tepat dan ekonomis serta pemilihan komoditas yang diinginkan. Potensi alga secara komprehensif akan dibahas di bab berikutnya.

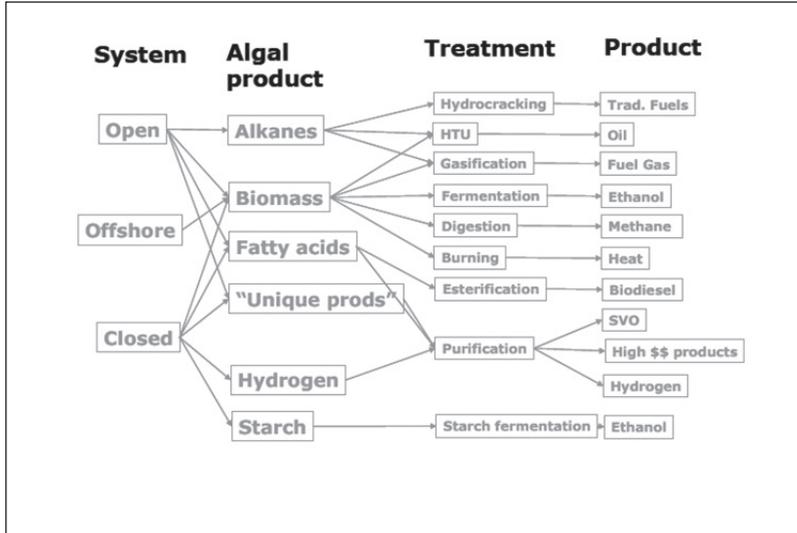
Tabel 4.3 Perbandingan Harga antara Budi Daya Alga dengan Sistem Reaktor Terbuka dan Tertutup

	Open	Closed
Capital Cost	Lower	Higher
Operating Cost	Lower	Much Higher
Operating Energy	Lower	Much Higher
Temperature Control	None	Possible
Salinity Control	Limited	Easy
pH Control	Yes	Yes
O ₂ concentration	High	Higher
Water Requirement	Very High	Less
Cell Density	U _o to ~ 1 g L ⁻¹	Higher
Cell Damage Risk	Low	High
Contamination	Yes	Yes
Productivity (long term)		About 2x 'open'

Sumber: Borowitzka (2012)

3. Potensi alga

Industri berbasis alga meliputi industri pangan, obat, energi dan lingkungan. Industri pangan berbasis alga dikembangkan oleh Jepang, Cina, Meksiko, dan Korea yang kini meluas penyebarannya, yaitu berupa bumbu dan *topping* makanan (nori) hingga produk agar. Industri obat berbasis alga banyak diaplikasikan oleh Israel, Cina, Korea, Malaysia, Timur Tengah, dan Jepang berupa bahan suplemen kurang gizi, antioksidan, dan senyawa kimia untuk membantu proses kelahiran. Industri energi dan lingkungan berbasis alga saat ini menjadi tren dunia dan hampir seluruh negara yang mempunyai area perairan yang luas mencoba mengembangkan industri ini seperti Amerika Serikat, Cina, Korea, Jepang, Rusia, dan Indonesia. Secara ringkas industri energi berbasis alga dikelompokkan berdasarkan tata cara budi daya, produk yang diinginkan, proses yang dipilih, dan produk akhir yang dihasilkan (Gambar 4.3).



Sumber: FAO (2009)

Gambar 4.3 Skema industri energi berbasis alga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jenis ragam alga dibedakan berdasarkan pigmen atau penciri warna yang dibentuk oleh selnya, evolusi dinding dan inti selnya, reproduksi atau cara berkembang biak, dan arsitek serta karakter selnya. Nama jenis-jenis alga dikelompokkan dalam keluarga sianobakteria, klorofita, dinoflagelata, euglenofita, okrofit, rodofita, kriptomonad, dan haptofita. Jenis sianofita atau ganggang biru hijau dikenal dengan kemampuan mensintesis protein, hormon, dan vitamin yang cukup aktif. Karakter selnya yang sebagian besar protein memungkinkannya untuk dimanfaatkan sebagai bahan farmasi, suplemen pakan, dan pakan. Sedangkan klorofita adalah jenis mikroalga hijau yang sangat aktif untuk mendeposit karbohidrat dan lemak sehingga cocok sebagai bahan makanan dan jenis-jenis hidrokarbon atau bahan energi. Jenis dinoflagelata sangat banyak ragamnya dan merupakan depositor lemak, kalsium, dan zat-zat kimia yang kadang mempunyai daya tumbuh tinggi sehingga menyebabkan perairan mengalami “*blooming*” dan biasanya disertai pelepasan racun, namun alga ini banyak yang mempunyai kandungan lipida tinggi sehingga sangat cocok untuk bahan minyak. Euglenofita sering disebut alga 5.000 tahun karena mampu hidup dalam jangka waktu lama dan mempunyai kandungan senyawa berguna dalam selnya yang merupakan gabungan kandungan sayuran/nabati dan ikan/hewani (kurang lebih mempunyai 50 jenis senyawa) sehingga jenis ini banyak diburu untuk digunakan sebagai obat, suplemen, dan bahan farmasi, namun sayangnya budi daya jenis alga ini masih jarang karena tingkat hidupnya yang rendah dan belum ditemukannya teknologi budi daya yang efisien. Okrofit merupakan terminologi baru dalam alga yang meliputi jenis alga heterokontofita terdiri atas kelompok krisofita, alga cokelat, dan diatom serta mempunyai potensi untuk sumber tepung spesifik, pigmen, lipida, silikat, dan selenium sehingga dapat dimanfaatkan untuk sumber pangan, obat (alginat), dan lipida (minyak). Rodofita merupakan alga merah yang kaya akan tepung dan pimen sehingga banyak digunakan sebagai industri alginat dan kosmetik. Kriptomonad merupakan jenis alga hijau kekuningan yang mempunyai kemampuan untuk mensintesis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

senyawa kimia pengabsorb logam berat dan sumber pigmen untuk industri kosmetik. Haptofita adalah jenis alga yang mempunyai kemampuan untuk mensintesis kalsium melalui proses kalsifikasi dan berperan penting dalam proses penyerapan karbon di laut (Linda *et al.*, 1999; Hoek *et al.*, 2003).

Peran alga sebagai bahan bakar yang diharapkan merupakan sumber energi alternatif berkelanjutan, aman, dan murah dijabarkan sebagai berikut.

1) Biodiesel

Lipida atau lemak merupakan komponen utama sel alga yang berkisar antara 2–60% dari berat kering biomassa selnya bergantung pada jenisnya. Lipida dari alga disintesis pada organela dinding sel, produk simpanan dalam rongga atau vakuola sel, hasil metabolisme, dan simpanan energi alga. Kandungan minyak di dalam alga dapat dideteksi cepat menggunakan teknik pewarnaan sel berbasis senyawa “*nile red*”, minyak akan berpendar di bawah mikroskop fluoresen apabila bereaksi dengan senyawa kimia tersebut.

Pendeteksian ini sangat menguntungkan dalam *skriming* potensi alga untuk bahan minyak. Diketahui minyak alga banyak yang berjenis *straight vegetable oil* (SVO) yang berfungsi sebagai bahan bakar cair berasal dari konversi trigliserida dan asam lemak jenuh bebasnya, namun apabila minyak alga berjenis asam lemak tidak jenuh maka tidak sesuai untuk jenis bahan bakar dengan pembakaran langsung. Oleh karena itu, pemilihan jenis alga untuk bahan bakar biodiesel sangat penting karena tidak semua alga mempunyai jenis minyak yang sesuai untuk bahan biodiesel (Minowa *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 2006; Oilalgae, 2011). Beberapa negara yang telah mengembangkan industri biodiesel berbahan pokok mikroalga atau makroalga diringkas dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perkembangan Alga sebagai Sumber Bahan Bakar Biodiesel dan Aspeknya

Country	State of Development
Selandia Baru	<ul style="list-style-type: none"> • Aquaflow Co. mengultir mikroalga dalam suatu kolam berairasi yang dapat mengolah 5 juta kiloliter air terkuras dari fasilitas pengolahan limbah (untuk 27.000 orang) dan kilang anggur • Menggunakan sistem <i>pilot plant</i> untuk penyaringan air dengan kecepatan 70m³/h, kemampuan <i>recover</i> dari mikroalga sekitar 70–90% • Aquaflow, bersama dengan Universal Oil Products (UOP), membangun kerja sama untuk utilisasi industrial mikroalga • Investigasi varietas mikroalga
India	<ul style="list-style-type: none"> • Enhanced Biofuels & Technologies India Ltd. (EBTI) mendapatkan beberapa spesies mikroalga mengandung 37–54 % minyak setelah mengidentifikasi 64 spesies mikroalga • Mendapatkan mikroalga yang memiliki produktivitas minyak yang tinggi (245 ton–oil/ha/tahun, 132 ton biomass/ha/tahun). • Menemukan satu spesies mikroalga yang mengandung 50–60% minyak dan memiliki kecepatan reproduksi yang tinggi, 4 kali sehari • Sukses mencapai 90% kecepatan rata-rata minyak dari mikroalga, dan melakukan perjanjian kerja sama penelitian dan pengembangan dengan Renewable World Energies Co.
Indonesia	<ul style="list-style-type: none"> • Korea (The Korea Institute of Industrial Technology) dan Indonesia (Kementerian Kelautan dan Perikanan) menyimpulkan kesepakatan bersama penelitian dan pengembangan produksi <i>biofuel</i> dari alga, pada 31 Maret 2009 • The Science for Protection of Indonesian Coastal Marine Ecosystem (SPICE) memulai pengembangan biogas <i>plant</i> skala kecil di pulau Saugi. Proyek ini memproduksi biogas menggunakan alga merah yang telah diekstrak untuk pembuatan <i>carragenans</i> (<i>food stabilizer</i>). • LIPI bekerja sama dengan pihak swasta telah melakukan riset skala <i>Pilot Plan</i> (5.000 liter) mengenai potensi biodiesel dari mikroalga laut dan suplemen pangan.
Jepang	<ul style="list-style-type: none"> • Denso Co. mengembangkan pabrik <i>biofuel</i> dengan kapasitas 80 ton minyak/tahun yang akan memproduksi minyak (C10–C25) diekstrak dari mikroalga (<i>Pseudochoircystis ellipsoidea</i>). • Institute of Advanced Energy, Universitas Kyoto sukses memproduksi bioetanol dari satu jenis rumput laut jepang (<i>Elodea canadensis</i>) yang tumbuh di Biwako (danau). Diadopsi sebagai model proyek nasional dan memulai model penelitian sejak April 2009.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Biodiesel merupakan produk energi berbasis alga yang telah memasuki industri dan diujicobakan pada skala masal, walaupun harga dari biodiesel ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel dari sawit, kelapa, dan kedelai karena proses pembuatannya yang masih relatif mahal, yaitu pada proses esterifikasi dan transesterifikasi yang membutuhkan senyawa kimia berkemurnian dan berkualitas tinggi seperti etanol atau metanol sebagai katalis yang berharga mahal. Kelebihan industri biodiesel alga ini adalah sel biomassa yang diperoleh tidak mengandung lignoselulosa yang mengganggu proses ekstraksi minyak dan prediksi hasil yang sangat tinggi. Hasil panen minyak per unit area diproyeksikan mencapai 4.700 sampai 18.000 m³/km²/tahun (1.000 sampai 6.500 US\$ gallons/are/tahun) dan hal ini bernilai 7 sampai 30 kali lebih baik daripada biodiesel dari tanaman pangan (di Cina dilaporkan menghasilkan 650 m³/km²/tahun, atau 700 \$ US gal/are/tahun) (Chisti, 2011).

2. Bioavtur

Salah satu spesies alga yang terkenal dapat mensintesis hidrokarbon setara dengan minyak fosil adalah *Botryococcus braunii*, yaitu mensintesis hidrokarbon berantai karbon C30–C37 atau gugus alken. Kandungan alken ini mendominasi sel jenis alga tersebut hingga 60% dari berat biomassa keringnya. Hasil ini menarik industri aviator atau penerbangan untuk mencoba jenis minyak alga tersebut sebagai bahan bakar pesawat atau bioavtur. Beberapa negara seperti Amerika Serikat, Selandia Baru, Norwegia, dan Cina berpacu untuk menghasilkan bioavtur tersebut. Kebutuhan avtur saat ini sangat besar sebagai contoh salah satu industri penerbangan Indonesia (maskapai penerbangan Garuda Indonesia) membutuhkan avtur pada tahun 2012 sebesar 1,2 miliar liter dan pada tahun 2013 diperkirakan akan mengonsumsi 1,38 miliar liter atau naik sekitar 10–15% (Kompas, 2013).

Avtur adalah bahan bakar dari fraksi minyak bumi yang dirancang sebagai bahan bakar pesawat terbang yang menggunakan mesin turbin atau mesin yang memiliki ruang pembakaran

eksternal (*External Combustion Engine*). Kinerja atau kehandalan avtur terutama ditentukan oleh karakterisasi dari kebersihan, pembakaran, dan performanya pada temperatur rendah. Berdasarkan spesifikasi tersebut, avtur harus memenuhi persyaratan yang dibutuhkan, seperti memiliki titik beku maksimum -47°C dan titik nyala minimum 38°C , titik didihnya antara $150\text{--}300^{\circ}\text{C}$. Secara keseluruhan syarat avtur adalah sebagai berikut,

a) Syarat Kenampakan

Syarat kenampakan dari avtur adalah apabila dilihat dengan mata telanjang avtur tetap jernih, tembus sinar, bebas dari partikel-partikel padat dan cair yang tidak terlarut pada susunan sekeliling yang normal.

b) Syarat Komposisi Senyawa-Senyawa Kimia

Secara kimiawi, avtur tersusun atas senyawa hidrokarbon (berupa parafin, naften, dan aromatik) dan senyawa *impurities* dalam jumlah kecil serta *additive*. Senyawa tersebut dibatasi keberadaannya di dalam avtur, hal ini erat kaitannya dengan sifat-sifat avtur, baik mutu bakar, stabilitas pada penyimpanan, dan pemakaian maupun sifat korosifitas avtur tersebut. Komposisi senyawa kimia dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan jumlah keasaman, aromatik, dan jumlah sulfur.

c) Syarat Penguapan

Sifat penguapan dan sifat kecenderungan bahan avtur berubah dari fase cair ke fase gas di dalam hidrokarbon yang kompleks. Avtur mempunyai trayek didih atau daerah suhu pendidihan atau kemudahan menguap tertentu, sesuai dengan komposisi hidrokarbon yang terkandung di dalamnya. Sifat penguapan dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan destilasi, titik nyala, densitas.

d) Syarat Pengaliran

Sifat pengaliran avtur dibatasi mengingat avtur harus dapat digunakan sebagai bahan bakar pesawat terbang yang beroperasi pada suhu maksimal -45°C , avtur harus disem-

protkan ke ruang bakar. Sifat pengaliran dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *freezing point* dan viskositas kinetik pada -20°C .

e) Syarat Pembakaran

Sifat pembakaran sangat penting untuk mengetahui nilai kalori yang dihasilkan dalam pembakaran yang sempurna dan untuk menghindari terjadinya radiasi panas yang berlebihan dari senyawa yang terkandung dalam avtur. Sifat pembakaran dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan energi spesifik, *smoke point*, dan naptalen.

f) Syarat Pengaratan

Sifat pengaratan ini ditimbulkan adanya senyawa belerang bersifat reaktif yang akan menimbulkan kerusakan pada sistem distribusi bakar maupun pada bagian yang lain dalam pesawat. Sifat pengaratan dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *Coppet Strip Corrosion*.

g) Syarat Kontaminasi

Kontaminasi yang dimaksudkan adalah adanya senyawa-senyawa pengotor yang keberadaannya tidak diinginkan, antara lain adanya kandungan air yang teremulsi dalam avtur. Adanya kontaminasi dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *existen gum*, *water reaktion interface*, dan *microseparometer*.

h) Syarat Kestabilan

Syarat kestabilan avtur adalah kondisi avtur selama penyimpanan dan pemakaian. Hal ini disebabkan adanya suhu yang cukup tinggi yang cenderung dapat menimbulkan *deposit*. Sifat kestabilan dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *thermal stability*.

i) Syarat Daya Hantar Listrik

Karena avtur termasuk fraksi minyak bumi yang mempunyai sifat mudah terbakar maka kemungkinan timbulnya bahaya kebakaran sangat besar. Bahaya kebakaran ini dapat terjadi akibat timbulnya listrik statis yang terakumulasi pada saat

pemompaan avtur dengan kecepatan alir yang cukup tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan *static dissipator additives* ke dalam avtur. Daya hantar listrik dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *electrical conductivity*.

j) Syarat Pelumasan

Kehausan karena gesekan yang berlebihan mengakibatkan umur komponen menjadi pendek seperti pada pompa *fuel* dan kontrol *fuel*, yang kadang-kadang dianggap berasal dari avtur yang kekurangan sifat pelumasan. Pelumasan pada avtur dapat ditunjukkan dengan pemeriksaan *lubricity*.

Spesifikasi avtur adalah batasan-batasan yang harus dipenuhi oleh bahan bakar minyak, yang bertujuan agar bahan bakar tersebut aman, nyaman, dan ekonomis dalam pemakaiannya. Spesifikasi tersebut biasanya berupa angka batasan minimum atau maksimum dengan menggunakan metode tertentu tergantung dari klasifikasi bahan bakar yang bersangkutan, khususnya yang berhubungan dengan keamanan dan keselamatan dalam penggunaannya. Karena avtur digunakan oleh pesawat terbang bermesin turbin (jet) yang mempunyai risiko keselamatan tinggi bila dibandingkan dengan bahan bakar yang lainnya. Maka spesifikasi yang ditentukan terhadap avtur sangat ketat sesuai dengan standar internasional.

Adapun tahapan proses pengolahan untuk mendapatkan avtur adalah:

a) Destilasi Atmosfir

Pada proses awal dilakukan pencampuran senyawa minyak mentah *Crude Destilation Unit (CDU)*, *crude oil* yang diolah merupakan campuran antara Sumatra Light Crude (SLC) dan *Duri Crude Oil (DCO)*, CDU dilakukan dengan destilasi pada temperatur $\pm 350^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1 atmosfer.

Dari proses destilasi ini dihasilkan produk antara lain:

- Naphtalen

- Kerosin
 - *Light Gas Oil*
 - *Heavy Gas Oil*
 - Sisa senyawa rantai panjang (*Long Residu*)
- b) Proses Destilasi Hampa (*Vacuum Destilation*)
 Sisa senyawa rantai panjang (*Long Residu*) dari proses sebelumnya (CPU), digunakan sebagai bahan untuk proses destilasi dengan pompa vacum pada tekanan 40 mmHg dan temperatur $\pm 3.900\text{C}$.
 Dari unit destilasi hampa ini menghasilkan produk, yaitu :
- Gas senyawa ringan (*Light Vacuum Gas Oil (LVGO)*)
 - *Light Coker Gas Oil (HCOGO)*, sebagai umpan pada unit *hydrocracking*.
 - Senyawa rantai pendek (*Short Residu*)
- Senyawa rantai pendek (*Short residu*) yang dihasilkan dari *heavy vacuum unit*, digunakan sebagai umpan pada *delayed coker unit (DCU)* yang bekerja pada temperatur $\pm 320^{\circ}\text{C}$ dan tekanan $\pm 0.98 \text{ kg/cm}^2$.
- c) Proses pengolahan senyawa rantai pendek (*Delayed Coker Unit (DCU)*)
 Dari proses ini (*Delayed Coker Unit (DCU)*) dihasilkan produk antara lain:
- Naphtalen
 - Kerosin
 - Minyak berantai pendek (*Light Coker Gas Oil (HCOGO)*), dipakai sebagai umpan *Hydrocracking*
- d) Minyak oli berwarna kehijauan (*Green Coke*)
 Dengan spesifikasi tertentu produk-produk di atas digunakan sebagai bahan baku dari avtur. Pertamina berhasil mengubah minyak tanah menjadi avtur, produk yang bernilai jual lebih tinggi. Melalui *secondary process*, minyak tanah yang dihasilkan kilang-kilang Pertamina yang berada di Dumai,

Balikpapan, dan Cilacap berhasil diolah menjadi bahan bakar minyak untuk pesawat, karena spesifikasi kedua minyak ini tidak jauh beda. Keberhasilan Pertamina mengeksport avtur merupakan berita gembira di tengah krisis global yang tengah melanda dunia saat ini. Betapa tidak, Pertamina yang dulu mengimpor bahan bakar pesawat ini sebanyak 300.000 barel perbulan, kini berbalik menjadi perusahaan yang melakukan eskpor. Direncanakan Pertamina akan melakukan eskpor Avtur bergantian setiap bulannya melalui kilang Dumai, Balikpapan dan Cilacap. Avtur ini mempunyai rantai carbon C14-C16, yang disinyalir juga dihasilkan oleh mikroalga tanpa perlakuan tertentu.

3. Biohidrogen

Hidrogen merupakan senyawa sederhana yang terdiri atas satu proton dan satu elektron yang terdapat pada semua elemen di bumi ini. Hidrogen sebenarnya dapat dihasilkan dari proses *reforming* pada eksplorasi minyak bumi, namun sulit untuk dikumpulkannya. Sedangkan cara lain dalam membuat hidrogen adalah melalui elektrolisa, fermentasi bakteri, dan proses fotosintesa serta metabolisme alga (Benneman, 1998). Perdebatan mengenai energi berbasis hidrogen dan diesel diketahui masing-masing sumber energi tersebut mempunyai keunggulan dan kelemahannya (Tabel 4.5). Hidrogen merupakan energi karier yang sangat kuat dan tidak menghasilkan senyawa toksik turunan, namun memerlukan teknologi yang baru dan keamanan yang lebih tinggi dibandingkan biodisel. Biodisel merupakan energi yang mudah diaplikasikan dengan tingkat keamanan yang relatif lebih bertenggang daripada hidrogen namun terkendala adanya senyawa toksik turunan walau teknologinya lebih siap dibandingkan dengan hidrogen.

Hidrogen disintesis oleh alga melalui proses hidrogenasi, nitrogenasi, dan *reverse photosynthesis*. Sepanjang proses metabolismenya, alga mampu menghasilkan gas hidrogen, namun

membutuhkan teknologi lebih lanjut untuk memanen dan menggunakannya pada aplikasi yang dibutuhkan sebagai energi. Proses biologis menghasilkan hidrogen dari energi matahari menggunakan mikroorganisme fotosintetik atau alga tersebut melalui proses sebagai berikut, fotosintesis membagi air menjadi ion hidrogen (H⁺) dan elektron (e⁻) yang digabungkan menjadi gas hidrogen (H₂) dengan menggunakan enzim khusus yang disebut hidrogenase (Ikke *et al.*, 1998). Ganggang hijau dapat menghasilkan hidrogen dalam kondisi tertentu, telah dikenal dan dipelajari selama sekitar 15 tahun, namun efisiensinya masih rendah karena jumlah energi yang diserap oleh ganggang yang berubah menjadi hidrogen belum seimbang. Enzim yang memiliki kemampuan untuk menggunakan sinar matahari untuk memecah air menjadi elektron, ion hidrogen dan oksigen adalah fotosistem II.

Tabel 4.5 Perbandingan antara Energi Berbasis Biodiesel dan Biohidrogen

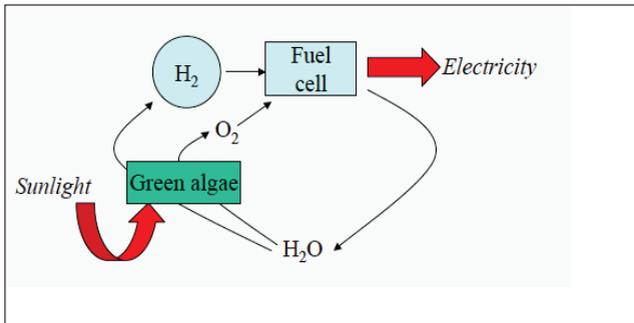
	BIODIESEL	HYDROGEN
Technological Readiness	Can be used in existing diesel engines, which have already been in use for 100 years	At least ten years away
Fuel source	Algae farms or other vegetable crops, or waste conversion. Completely renewable process, with no net CO ₂ emissions.	Electrolyzing water (most likely using fossil fuel energy) or reforming fossil fuels. Most likely non-renewable methods with large net CO ₂ emissions
Fuel Distribution System	Can be distributed with existing filling stations with no changes.	No system currently exists, would take decades to develop. Would cost \$176 billion to put one hydrogen pump at each of the filling stations in the US.
Overall Energy Balance (each unit of energy put in yields....) [higher is better]	3.2 units (soy), 4.3 units (rapeseed)	0.5 units (electrolyzing water into hydrogen with renewable sources)
Large scale fuel development cost analysis	For an estimated \$169 billion*, enough algae farms could be built to completely replace petroleum transportation fuels with biodiesel	To produce enough clean hydrogen for our transportation needs would cost \$2.5 trillion (wind power) or \$25 trillion (solar)
Safety	Flash point of biodiesel is over 300° F (considered "not flammable")	Highly flammable

Sumber: Benneman (1998)

4. Bioetanol

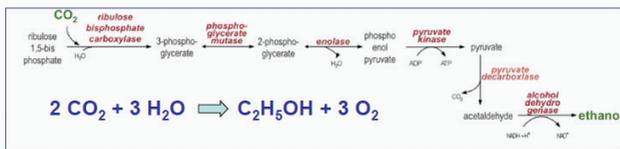
Ada dua proses untuk menghasilkan etanol dari alga, yaitu melalui proses fermentasi biomassa alga atau dalam proses fotosintesis alga tersebut yang sering disebut algenol. Proses fermentasi dari biomassa alga untuk menghasilkan etanol menggunakan bantuan agen kapang *Saccharomyces* dan alga berfungsi sebagai substrat yang banyak mengandung karbohidrat.

Sementara algenol ialah etanol dari alga yang pertama kali didevongkan pada tahun 2006 oleh sebuah perusahaan yang bernama Algenol Biofuels Inc. di Bonita Springs, Florida. Algenol Biofuels adalah sebuah perusahaan yang mengembangkan proses produksi etanol untuk penggunaan komersial langsung dari ganggang tanpa membunuh alga tersebut. Proses ini unik karena berbeda dengan proses yang biasa dilakukan, alga disintesis pada proses fotosintesa yang menggunakan air laut, karbon dioksida, dan sinar matahari untuk menghasilkan algenol dan air tawar.



Sumber: NREL (2003)

Gambar 4.4 Skema pembuatan biohidrogen dari alga



Sumber: Thomas *et al.* (2013)

Gambar 4.5 Pathway pembuatan etanol pada alga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Tantangan dan peluang

Budi daya alga yang telah terlihat menghasilkan nilai ekonomi adalah dari golongan makroalga sebagai bahan makanan, berupa agar dan alginat yang telah sampai pada tataran ekspor. Namun, budi daya mikroalga yang diketahui merupakan sumber potensi dari kawasan perairan masih sangat terbatas. Produk-produk energi dari mikroalga sangat bervariasi, mulai dari minyak alga, etanol sampai gas hidrogen. Energi berbasis alga ini diketahui tidak menghasilkan senyawa toksik berikutnya dan tidak bersaing dengan pangan, pakan, dan berkontribusi terhadap penurunan emisi gas karbondioksida sehingga layak untuk dikembangkan terutama di daerah tropis, seperti Indonesia yang mempunyai kecukupan sinar matahari untuk berfotosintesis, juga suhu yang relatif rentangnya tidak besar antara malam dan siang hari. Beberapa teknologi yang perlu dikembangkan adalah teknologi penapisan jenis alga unggulan, budi daya yang ekonomis, hasil panen yang tinggi, teknologi pemanenan serta pengolahan pascapanen. Pengolahan alga dengan konsep tidak menghasilkan sampah atau *zero waste* dengan memaksimalkan segala langkah atau proses pengolahan serta membuat nilai tambah setiap produk yang dihasilkan melalui proses *refinery* total. Kendala terbesar dari produk berbasis alga adalah biaya bioproses yang belum ekonomis untuk beberapa jenis alga yang potensial, penciptaan pasar multiproduk, dan korelasi antara sumber informasi kepada industri.

C. Penutup

Energi berbasis sumber daya perairan, baik darat maupun laut sangat menjanjikan di masa depan terutama untuk negara tropis. Sumber daya hayati alga ini dapat digunakan untuk berbagai produk dari pangan, pakan, bahan obat dan energi tergantung dari tujuan yang diinginkan. Ujicoba di lapangan untuk berbagai produk energi untuk sumber minyak, hidrogen atau etanol dengan model-model habitat di Indonesia perlu dilakukan guna keperluan diaplikasikannya teknologi ini pada area-area yang membutuhkannya. Alga energi dapat diterap-

kan pada area-area tertentu seperti di daerah pulau terisolasi dan area dekat laut serta dapat mendukung program *Energy Self-Sufficient Village* (ESSV) yang dicanangkan oleh pemerintah. Satu hal lagi yang penting adalah pemanfaatan teknologi *indigenous* untuk pengembangan energi alga tersebut.

Daftar Pustaka

- Benemann, J.R. (1998). The Technology of Biohydrogen. Dalam Zaborsky, O.R. (Ed.), *Biohydrogen*, 19–30. NY dan London: Plenum Press..
- Borowitzka, M.A. (2012). *Algae Mass Cultivation System*. Murdoch University.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25, 294–306.
- Chisti, Y. (2011). Energy from Algae: Current Status and Future Trends Algal Biofuels-A Status Report. *Applied Energy*, 88, 3277–3279.
- FAO. (2009). Algae-Based Biofuels: A Review of Challenges and Opportunities for Developing Countries. http://www.fao.org/fileadmin/templates/aquaticbiofuels/docs/0905_FAO_Review_Paper_on_Algae-based_Biofuels.pdf.
- Huntley, M.E. dan Redalje, D.G. (2007). CO₂ Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12, 573–608, DOI: 10.1007/s11027-006-7304-1
- Hoek, C.V.D., Mann, D.G., & Jahns, H.M. (2002). *Algae; An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press. ISBN. 0 521 30419 9.
- Hoek, H.J., van Hoeken, D., & Katzman, M.A. (2003). Epidemiology and Cultural Aspects of Eating Disorders: A Review. In: Maj, M., Halmi, K.A., Lopez-Ibor, J.J., Sartorius, N. (Eds.). *Eating Disorders*. Wiley, Chichester, UK, pp. 75–104.
- Ikke, A., Toda, N., Murakawa, T., Hirata, K., & Miyamoto, K. (1998). Hydrogen Production from Starch in CO₂-Fixing Microalgal Biomass by Halotolerant Bacterial Community. Dalam Zaborsky, O.R. (Ed.). *Biohydrogen*, 311–317. NY dan London: Plenum Press.
- Kompas. 1 Okt 2013. Konsumsi Avtur Garuda Indonesia. *Kolom Bisnis Keuangan, Kompas*.
- Linda, E.G., Lee, W.W., & Wilcox, L.W. (1999). *Algae*. Benjamin Cummings. ISBN-13:978-0-13-660333-7, ISBN:0-13-660333-5
- Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C.Q., & Dubois-Calero, N. (2008). Biofuels from Microalgae. *Biotechnol. Prog.* 2008, 24, 815–820

- Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. (2003). *Brock Biology of Microorganisms*. Edisi Kesepuluh. Pearson Education, Inc. ISBN 0-13-049147-0
- Mata, T.M., Martins, A.A., & Caetano, N.S. (2010). Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217–232.
- Minowa, T., Yokohama, S., Kishimoto, M., & Okura, T. (1995). Oil Production from Algal Cells of *Dunaliella tertiolecta* by Direct Thermochemical Liquefaction. *Fuel*, 75, 1.735–1.738.
- Minowa, T., Fang, Z., Ogi, T., & Varhegyi, G. (1998). Decomposition of Cellulose and Glucose in Hot-Compressed Water under Catalyst-Free Conditions. *J. Chem. Eng. Japan*, 31. 131–134.
- Nagarajan. S., Chou, S.K., Cao, S., Wu, C., & Zhou, Z. (2013). An Updated Comprehensive Techno-Economic Analysis of Algae Biodiesel. *Bioresource Technology*, 145, 150–156.
- NREL. (2003). Algal Hydrogen Photoproduction. *Report Review*. Berkeley, CA: NREL.
- Oilgae. (2011). Harvesting of Micro Algae. <http://www.oilgae.com/algae/har/mia/mia.html>.
- Sazdanoff, N. (2005). Modelling and Simulation of The Algae to Biodiesel Fuel Cycle. *Thesis*. The Ohio State University.
- Susilaningsih, D., Siburian, M.D., & Murniasih, T. (2008). Biodiversity of Hydrocarbon-Producing Microalgae from Oil Contaminated in Coastal Zone of Batam Island. *Marine Research Indonesia (MRI)*, 33 (2), 115–120.
- Susilaningsih, D., Djohan, A.C., Widyaningrum, D.N., & Anam, K. (2009). Biodiesel from Indigenous Indonesian Marine Microalgae, *Nannochloropsis* sp. *Journal of Biotechnology Research in Tropical Region*, 2, October 2009.
- Susilaningsih, D., Delicia, Y.R., & Alga Tim. (2012). Mikroba Fotosintetik untuk Sumber Energi Alternatif. *Bioresources*.
- Thomas V., Realff M., Ron, C., & Georgia Tech. (2013). *Algenols Biofuels: Overview and Summary of Carbon Footprint and Water Use Compared to The Other Fuel Technologies*. Atlanta, Georgia: Georgia Technology.
- Tiernan, J.P. (2011). Algae as Indicators of Climate Change. *Irish Marie Life*. World Press.
- Xu H., Miao X., & Wu Q. (2006). High Quality Biodiesel Production from A Microalga *Chlorella protothecoides* by Heterothrophic Growth in Fermenters. *Journal of Biotechnology*, 126, 499–507.

Yanqun L., Mark H., Nan Wu, Christopher, Q.L., & N. Dubois-Calero. (2008).
Biofuels from Microalgae. *Biotechnol. Prog.* 2008, 24, 815–820.
<http://www.odec.ca/projects/2008/adit8i2/benefit.html>. 2008. Benefit of Ethanol.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAGIAN DUA

**KONTRIBUSI SAINS
DAN TEKNOLOGI
DALAM PENGELOLAAN
BIOMASSA UNTUK ENERGI**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

IMPLEMENTASI TEKNOLOGI ENERGI BIOMASSA DI TINGKAT INDUSTRI DI INDONESIA

Ishelina Rosaira, Wati Hermawati, dan
Prakoso Bhairawa Putera

A. Pendahuluan

Krisis energi bukan hanya melanda negara-negara maju, tetapi juga melanda Indonesia. Kebijakan yang berpihak pada penggunaan energi fosil (terutama listrik dan bahan bakar minyak) telah memperlambat pemanfaatan energi terbarukan yang tersedia di dalam negeri. Pengguna energi dalam bentuk listrik, panas, gas, dan bahan bakar cair saat ini dapat dikelompokkan dalam empat kelompok besar, yaitu industri, rumah tangga, komersial, dan transportasi. Industri merupakan pengguna energi terbesar saat ini, seperti terlihat pada Tabel 5.1.

Sampai triwulan III tahun 2013, pertumbuhan ekonomi Indonesia mengalami sedikit perlambatan atau hanya mencapai 5,83%, lebih rendah dari pertumbuhan kumulatif pada periode yang sama tahun 2012, yaitu sebesar 6,26%. Namun, sektor Industri Pengolahan tetap menjadi motor dan sumber pertumbuhan ekonomi terbesar (5,55%), di mana industri pengolahan non-migas pada kurun waktu

Tabel 5.1 Konsumsi Energi Final (termasuk Biomassa), Tahun 2011

Pengguna	Energi Unit (BOE)	Persentase
Industri	359.686.797	32,26
Rumah Tangga	320.369.268	28,74
Komersial	34.077.140	3,06
Transportasi	277.404.656	24,88

Sumber: KESDM (2012)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tersebut mencapai pertumbuhan sebesar 6,22%, lebih tinggi dari pertumbuhan ekonomi nasional pada kurun waktu tersebut. (BPS, 2013).

Pertumbuhan industri pengolahan nonmigas ini berkorelasi positif dengan pertambahan penggunaan energi untuk industri. Energi komersial yang berasal dari fosil seperti bahan bakar minyak solar atau premium untuk industri tidak mendapatkan subsidi pemerintah dan harganya senantiasa mengalami kenaikan dari waktu ke waktu. Selain itu, ketersediannya seringkali terlambat atau sulit didapatkan. Ketersediaan energi listrik juga hampir sama dengan bahan bakar cair. Di beberapa provinsi, listrik PLN sering mati dan harga listrik per kWh cenderung terus naik. Kondisi ini kian membebani pihak industri.

Di pihak lain, ketersediaan minyak bumi Indonesia semakin menipis dengan kebutuhan akan minyak bumi setiap tahunnya selalu bertambah. Data yang dirilis British Petroleum (BP) dalam *Statistical Review of World Energy* pada bulan Juni 2012 menunjukkan bahwa kebutuhan minyak per harinya mencapai 1,43 juta barel. Artinya, Indonesia mengalami defisit minyak mentah rata-rata sebesar 488 ribu barel per harinya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berdasarkan hal ini, Indonesia termasuk urutan ke-14 pengonsumsi minyak bumi di dunia. Mengingat pertumbuhan Indonesia yang selalu naik, bukan tidak mungkin kebutuhan minyak bumi akan terus bertambah. Hal ini sesuai dengan data *Statistical Review of World Energy* 2013 yang dirilis oleh BP menunjukkan lima negara menjadi negara yang paling haus energi dalam 10 tahun terakhir. Kelima negara tersebut adalah Cina, India, Brazil, Arab Saudi, dan Indonesia.

Menyadari akan kekurangan ini maka energi terbarukan mulai dimanfaatkan. Salah satu jenis energi terbarukan yang banyak digunakan oleh kalangan industri adalah biomassa. Biomassa dalam pengertian sederhana adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Menurut Brown (1997) biomassa didefinisikan sebagai jumlah total bahan organik hidup di atas tanah, pada pohon termasuk ranting, daun, cabang,

batang utama, dan kulit yang dinyatakan dalam berat kering ton per unit area. Biomassa menurut Kusmana (1993) dalam Onrizal (2004) dapat dibedakan dalam dua kategori, yaitu (1) biomassa tumbuhan di atas permukaan tanah (*above ground biomass*) adalah berat bahan unsur organik per unit luas pada waktu tertentu yang dihubungkan ke suatu fungsi sistem produksi, umur, tegakkan hutan, dan distribusi organik; dan (2) biomassa di bawah permukaan tanah (*below ground biomass*).

Biomassa atas permukaan adalah semua material yang hidup di atas permukaan. Bagian yang termasuk dari biomassa atas permukaan ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun vegetasi baik strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan. Biomassa bawah permukaan adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan karena akar tumbuhan dengan diameter yang lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah (Sutaryo, 2009). Beberapa contoh biomassa lainnya adalah tanaman, pepohonan, ubi, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah hutan, kotoran manusia, dan ternak. Selain digunakan untuk tujuan sebagai bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan, dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar cair/nabati). Secara umum, biomassa yang digunakan sebagai sumber energi adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Penggunaan biomassa sebagai sumber energi telah dilakukan sejak lama, baik oleh individu masyarakat maupun UKM serta industri menengah. Pada saat ini, di tingkat industri biomassa berupa limbah kayu, limbah pertanian, dan limbah perkebunan banyak digunakan sebagai bahan bakar langsung untuk menghasilkan panas atau bahkan untuk menghasilkan listrik bagi kepentingan industri (Hermawati *et al.*, 2013). Selain sumber daya biomassa yang tersedia di sekitar unit produksi, banyak juga unit produksi yang berada jauh dari jangkauan fasilitas PLN sehingga tidak mendapatkan akses terhadap energi dan listrik komersial (PLN). Membangun pembangkit listrik

biomassa menjadi salah satu pilihan bijak bagi industri. Selain untuk kepentingan industri di dalam negeri, energi dari biomassa juga mulai dilirik sebagai peluang bisnis yang menggiurkan. Permintaan akan bioenergi yang diproduksi dari biomassa di tingkat dunia diprediksi akan terus meningkat, terutama di negara-negara yang berkomitmen terhadap Protokol Kyoto (Hamalainen *et al.*, 2011). Saat ini, potensi perdagangan produk energi dari biomassa seperti kayu bakar, pelet kayu, arang briket, dan *biooil* telah bersifat global. Di Uni Eropa, biomassa saat ini menempati sekitar 44–65% dari penggunaan energi terbarukan, atau sekitar 4% dari kebutuhan energi Uni Eropa atau sekitar 69 MTOE (Hamalainen *et al.*, 2011). Diperkirakan produksi dan penggunaan biomassa untuk energi terus meningkat, demikian juga dengan pasarnya, terutama karena harga minyak bumi yang terus melambung dan pasokannya yang terus berkurang (Knight & Westwood, 2004). Pandey *et al.* (2011) dan Klass (1998) mengidentifikasi beberapa jenis biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif berupa bahan bakar nabati (Tabel 5.2).

Biomassa ini bisa menjadi bahan bakar yang potensial untuk mengoperasikan berbagai jenis industri, termasuk industri pengolahan di Indonesia. Dengan teknologi tertentu, biomassa juga dapat dikonversi menjadi energi listrik dan panas. Energi berbasis

Tabel 5.2 Bahan Baku yang Dapat Digunakan Untuk Berbagai Jenis Bahan Bakar Biomassa

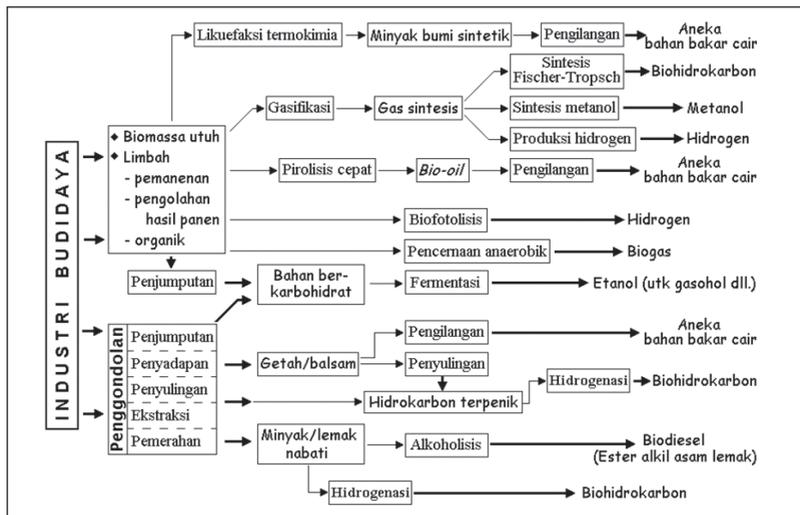
Jenis Bahan Baku yang digunakan	Jenis Bahan Bakar Biomassa yang dihasilkan	Kegunaan
Minyak nabati (CPO, minyak jarak, dll)	Biodiesel	Pengganti solar (petrodiesel)
Pati/Gula (tanaman Tebu, Ubi, Sago, Sorgum, dll)	Bioetanol	Pengganti bensin (<i>gasoline</i>)
Minyak nabati biomassa dengan proses pirolisis	<i>Biooil</i>	Pengganti Minyak Tanah (<i>kerosene</i>)
Biomassa / limbah biomassa cair (kotoran ternak, limbah agroindustri, dll)	Biogas	Pengganti minyak tanah (<i>kerosene</i>)

Sumber: Pandey *et al.* (2011) dan Klass (1998)

biomassa merupakan energi yang bebas emisi CO₂, memenuhi aspek *sustainability* dan berkontribusi pada pengurangan emisi karbon. Hal ini sejalan dengan upaya-upaya untuk mengatasi *global warming* dan konservasi sekaligus optimalisasi energi (Yokoyama, 2008; Macqueen & Korhaliller, 2011).

B. Teknologi Energi Biomassa

Pemanfaatan biomassa menjadi energi (dalam bentuk panas, gas, bahan bakar cair, dan listrik) dapat dilakukan dengan berbagai jalur konversi teknologi. Secara umum para pakar membaginya menjadi beberapa jalur konversi sesuai dengan bahan baku dan hasil akhir yang diinginkan (Turkenburg *et al.*, 2000; Soerawidjaja, 2009; Macqueen & Korhaliller, 2011). Dengan menggunakan teknologi tertentu, berbagai bahan baku dapat diolah untuk menghasilkan berbagai jenis energi terbarukan. Selain menghasilkan panas, gas, dan listrik, biomassa adalah satu-satunya energi terbarukan yang dapat menghasilkan bahan bakar cair/nabati (BBN). Alternatif pengolahan



Sumber: Soerawidjaya (2009)

Gambar 5.1 Alternatif pengolahan biomassa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

biomassa menjadi energi terbarukan diperlihatkan oleh Soerawidjaja (2009). Menurut Soerawidjaja (2009), hasil akhir konversi biomassa menjadi energi dapat dikelompokkan ke dalam berbagai jenis energi terbarukan (Gambar 5.1).

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi, dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar (Susanto, 2008). Gambaran ringkas dari masing-masing teknologi yang digunakan untuk mengonversi biomassa menjadi energi adalah sebagai berikut.

1. Pembakaran langsung dengan mengubah biomassa menjadi briket atau pelet

Dalam teknologi konversi termal biomassa, proses pembakaran langsung adalah proses yang paling mudah dan konvensional dibandingkan dengan lainnya. Biomassa langsung dibakar tanpa proses-proses tertentu, seperti yang telah dilakukan di tingkat rumah tangga dengan menggunakan bahan bakar kayu atau limbah kayu, ranting, dan daun-daun kering sebagai bahan bakar tungku untuk kegiatan memasak atau untuk penghangat ruangan. Di tingkat industri/pabrik, pembakaran langsung biomassa pada umumnya menggunakan peralatan atau teknologi yang inovatif, terutama untuk menggerakkan *steam turbin* untuk kepentingan proses produksi industri tersebut, atau dengan menggunakan tambahan generator untuk mendapatkan listrik. Cara ini banyak dilakukan di pabrik kelapa sawit dan gula yang memanfaatkan limbahnya sebagai bahan bakar. Walaupun cara kerjanya sangat

praktis, namun secara umum efisiensinya sangat rendah, yaitu hanya sekitar 20–25% (Kong, 2002).

Pada saat ini, teknologi pembakaran langsung untuk biomassa sudah berkembang ke bentuk lain yang populer, yaitu mengubah biomassa padat menjadi briket atau pelet agar lebih mudah penggunaan, proses pengiriman, dan penyimpanannya. Pembakaran langsung biomassa tertentu, misalnya tempurung kelapa, bisa menghasilkan briket dan arang granular. Dengan menggunakan tungku desain tertentu, briket dan arang dapat digunakan sebagai energi untuk keperluan memasak pada skala rumah tangga dan industri makanan. Penggunaan input pelet kayu dengan tungku inovatif menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi (Dian Desa, 2012), selain itu penggunaan jenis teknologi ini dapat mengurangi emisi (Faaij, 2006).

2. Gasifikasi

Teknologi gasifikasi biomassa merupakan suatu bentuk konversi energi yang terkandung di dalam biomassa. Proses gasifikasi berlangsung di dalam suatu reaktor yang disebut *gasifier*. Pada alat ini bahan bakar biomassa diurai di dalam reaktor (ruang bakar) dengan udara terbatas. Dengan kata lain, proses gasifikasi biomassa merupakan proses pembakaran tidak sempurna bahan baku padat biomassa, melibatkan reaksi antara oksigen secara terbatas dengan bahan bakar padat berupa biomassa. Uap air dan karbon dioksida hasil pembakaran direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu karbon monoksida (CO), hidrogen (H₂) dan metan (CH₄). Gas-gas produksi ini disebut *synthetic gas* atau *syngas*. Salah satu jenis *gasifier* yang sederhana dan banyak digunakan adalah jenis *downdraft gasifier*. Adanya pergerakan udara dan bahan bakar menyebabkan biomassa mengalami serangkaian proses, yaitu proses pengeringan, pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran. Keuntungan penggunaan reaktor gasifikasi dengan tipe *downdraft* adalah gas yang dihasilkan lebih bersih dibandingkan tipe lainnya. *Gasifier* tipe *downdraft* dapat diaplikasikan untuk

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pembangkitan daya, seperti daya listrik atau mesin (Purnomo, 2012).

3. Pirolisis

Pirolisis adalah penguraian biomassa (*bysis*) karena panas (*pyro*) pada suhu yang lebih dari 150°C. Pada proses pirolisis terdapat beberapa tingkatan proses, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer. Seperti diketahui, pirolisis adalah penguraian karena panas sehingga keberadaan O₂ dihindari pada proses tersebut karena akan memicu reaksi pembakaran (Abdullah *et al.*, 1991).

4. *Liquification*

Liquification merupakan proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi *liquification* terjadi pada batu bara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan (Abdullah *et al.*, 1991).

5. Biokimia

Pemanfaatan energi biomassa yang lain adalah dengan cara proses biokimia. Contoh proses yang termasuk ke dalam proses biokimia adalah hidrolisis, fermentasi, dan *anaerobic digestion*. *Anaerobic digestion* adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi CH₄ dan gas lain melalui proses biokimia. Selain *anaerobic digestion*, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimiawi. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan CO₂. Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (hidrolisis) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak

sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didistilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol di atas 99,5% (Abdullah *et al.*, 1991).

6. Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan metode yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi organik di mana suatu senyawa ester diubah menjadi senyawa ester lain melalui pertukaran gugus alkohol dari ester dengan gugus alkil dari senyawa alkohol lain. Dalam reaksi transesterifikasi, senyawa ester direaksikan dengan suatu alkohol sehingga reaksi transesterifikasi juga disebut reaksi alkoholisis (Fessenden & Fessenden, 1994).

C. Profil Produksi *Biofuel* di Indonesia

Di antara sekian banyak sumber energi alternatif terbarukan, *biofuel* atau Bahan Bakar Nabati (BBN) merupakan sumber energi yang paling menjanjikan sebagai substitusi BBM fosil (Wijaya, 2011). *Biofuel* adalah bahan bakar yang berasal dari hasil pengolahan biomassa. Oleh karena itu, *biofuel* sering disebut pula sebagai energi hijau karena asal-usul dan emisinya yang bersifat ramah lingkungan dan tidak menyebabkan peningkatan pemanasan global secara signifikan. *Biofuel* yang populer dewasa ini adalah biodiesel dan bioetanol. Biodiesel diperuntukkan bagi mesin diesel, diperoleh dari hasil esterifikasi-transesterifikasi atau transesterifikasi langsung minyak atau lemak, sedangkan bioetanol sebagai aditif atau substitusi premium dibuat dari proses hidrolisis, fermentasi, dan distilasi biomassa berpati. Teknologi pengolahan biomassa menjadi biodiesel dan bioetanol tergolong mudah (*low technology*), begitu pula dengan *production cost*-nya yang relatif rendah sehingga konversi biomassa menjadi biodiesel dan bioetanol dapat diterapkan di manapun dan oleh siapapun.

Di Indonesia, payung hukum pengembangan *biofuel* sudah cukup jelas. Kebijakan terbaru adalah Peraturan Menteri ESDM No. 25 tahun 2013 tentang penyediaan, pemanfaatan, dan tata niaga bahan

bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain telah mewajibkan sektor industri, transportasi, dan pembangkit listrik menggunakan 10% biodiesel atau bahan bakar nabati (BBN) per Januari 2014. Kondisi ini berimplikasi dengan akan meningkatnya kebutuhan *biofuel* di tahun 2014. Data asosiasi produsen biofuel Indonesia (APROBI) tahun 2012 menunjukkan bahwa untuk produksi bioethanol dan biodiesel masih sangat terbatas. Untuk produksi bioetanol, beberapa perusahaan telah memproduksi dari berbagai komoditi pertanian seperti singkong, sorghum, aren, dan sebagian dari molases (Tabel 5.3). Khusus untuk bahan baku biodiesel yang berasal dari CPO, beberapa perusahaan besar telah memproduksinya seperti pada Tabel 5.4.

Hermawati *et al.* (2013) menyebutkan bahwa pemanfaatan biomassa untuk energi telah dilakukan oleh berbagai perusahaan di Indonesia. Perusahaan-perusahaan tersebut selain menghasilkan listrik juga mengolah biomassa untuk menghasilkan bahan bakar nabati berupa bioetanol dan biodiesel. Meskipun produksi bioetanol sampai saat ini belum membaik, karena berbagai persoalan yang muncul dan belum terpecahkan seperti persoalan bahan baku di dalam negeri dan kebijakan harga jual yang belum menguntungkan. Untuk produksi biodiesel, meskipun telah ada kebijakan pemerintah tentang penyediaan, pemanfaatan, dan tata niaga bahan bakar nabati (Permen ESDM No. 25 Tahun 2013) peningkatan produksi masih harus digalakkan. Saat ini mayoritas produsen biodiesel menggunakan CPO sebagai bahan baku biodiesel. Jenis biomassa lain belum dapat diproduksi skala besar untuk *biofuel*. Berbagai permasalahan muncul, mulai dari kualitas, kuantitas, sebaran bahan baku, kebijakan tentang harga, sampai pada ketersediaan teknologi dan sumber daya manusia.

D. Tinjauan Teknologi Penghasil Energi Biomassa di Indonesia

Berdasarkan pengelompokan teknologi energi biomassa yang dilakukan oleh Turkenburg (2000), terdapat sedikitnya empat jenis teknologi yang digunakan oleh industri/pihak swasta skala besar dan

Tabel 5.3 Produksi Bioetanol Beberapa Perusahaan di Indonesia

No.	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (KL/Th)	
			s.d. Des 07	s.d. 2010
1	BPPT : Casava	Lampung	2,500	2,500
2	Sugas group : Molases	Lampung	70,000	500,000
3	Panca : Casava & Mol	Cicurug	73	-
4	Tridaya : Molases	Cilegon	1,095	-
5	Bekonang : Molases	Solo	5,180	-
6	Molindo Raya : Molases	Malang	50,000	150,000
7	Blue : Molases, Sorgum	Balikpapan	73	-
8	Blue & Mononutu : Aren	Minsel	146	-
9	UKM & Proyek Riset		30,933	-
10	Salim Group	Sumsel	-	70,000
11	Sungai Budi	Lampung	-	120,000
12	Wilmar Group	Lampung, Sumsel	-	70,000
13	Medco : Molases	Lampung, Jabar, Kal.	-	270,000
14	EN3 Korea	Sulawesi Selatan	-	180,000
15	Angel Product	Sulawesi Tenggara	-	10,000
16	Sampurna	Madiun, Pawonsari	-	600,000
17	Sorini, Tbk	Sulawesi Tenggara	-	200,000
18	RNI, PTPN 2,8,9,10,11,14	Sumut, Lampung, Sulsel, Jawa, NTT	-	200,000
19	Satria & Bronzeoak UK	NTT, Kalimantan	-	300,000
20	Mitsui Petrobras	Papua, Kalimantan	-	500,000
21	Bioetanol skala Rakyat	Jabar, Kaltim, Sulut	-	600,000
Jumlah yang tersedia Total			160,000	3,772,500

Sumber: APROBI (2012) dalam ditjenbun.deptan.go.id/budtanan/images/perusahaan%20biofuel.pdf

menengah untuk menghasilkan energi terbarukan di Indonesia. Keempat teknologi itu antara lain teknologi kombusi untuk menghasilkan panas dan listrik. Teknologi gasifikasi untuk menghasilkan listrik, teknologi *digester* untuk menghasilkan biogas, teknologi fermentasi untuk menghasilkan bioetanol dan teknologi ekstraksi (transesterifikasi) untuk menghasilkan biodiesel (Hermawati *et al.*, 2013).

Tabel 5.4 Produksi Biodiesel Beberapa Perusahaan di Indonesia

No.	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (KL/Th)	
			s.d. Des 07	s.d. 2010
1	PTPN 4 & Ganesha Energi: CPO	Medan	4.400	4.440
2	Musim Mas: CPO	Pekanbaru	300.000	-
3	BPPT: CPO	Serpong	330	-
4	RAP Bintaro: CPO	Bintaro	1.830	-
5	EAI: CPO	Jakarta	550	-
6	BPPT, Lemigas, EAI, RAP	Jakarta	-	5.450
7	Sumiasih: CPO	Bekasi, Lampung	111.000	111.000
8	Wilmar Group: CPO	Dumai, Sumatra	1.100.000	1.990.000
9	Indo Biofuel Energy: CPO	Merak	111.000	260.000
10	Platinum: CPO	Serang	22.000	20.000
11	Dharmex: CPO		111.000	111.000
12	Eterindo: CPO	Gresik, Tangerang	267.000	267.000
13	Pertamina: CPO	Dumai, Balongan, Balikpapan	-	500.000
14	Sinar Mas: CPO	Dunmai	-	400.000
15	Bakri, Indofood, Asian Agro	Sumatra, Jawa	-	600.000
16	Sweden Bioenergy	NTT	-	350.000
Jumlah yang tersedia TOTAL			2.029.110	4.618.890

Sumber: APROBI (2012) dalam ditjenbun.deptan.go.id/budtanan/images/perusahaan%20biofuel.pdf

Penggunaan teknologi untuk mengonversi biomassa menjadi pelet kayu dilakukan oleh berbagai perusahaan di daerah Wonosobo, Jawa Tengah. Pelet kayu dibuat dari limbah kayu albasia/sengon dan kaliandra dengan ukuran diameter 6–8 mm dengan panjang sekitar 10–30 mm. Pelet kayu ini dibuat dengan pengepresan serbuk kayu dengan kadar kelembapan rendah (di bawah 10%) yang dapat dibakar dengan efisiensi pembakaran yang tinggi. Bahan baku terbaik pelet kayu berasal dari serbuk gergaji *Albasia falcata* (istilah lokal: sengon). Satu kilogram pelet kayu sama dengan 4.500–4.800 Kcal. Mesin pengepresan berasal dari Cina. Kapasitas mesin saat ini seluruhnya 9 ton/jam dengan operasi mesin selama 14 jam (saat ini terdapat 3 mesin masing-masing berkapasitas 3 ton/jam). Hasil produksi pelet kayu diekspor ke Korea Selatan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Teknologi gasifikasi belum digunakan dalam skala besar, baru skala kecil dan percobaan (*pilot project*) di beberapa kabupaten, seperti Pelalawan, Siak, Indragiri Hulu, dan Indragiri Hilir. Keberhasilan teknologi ini di Indonesia belum dapat dievaluasi, meskipun teknologi ini telah lama dikenal dan diimplementasikan di Indonesia. Teknologi ini diketahui memiliki nilai perawatan dan suku cadang mahal serta jaminan ketersediannya di tempat tersebut. Meskipun pakar teknologi gasifikasi telah tersedia, namun pembangunan gasifikasi biasanya dilakukan dilokasi tersedianya bahan baku, umumnya ada di pedalaman yang jauh dari kota bahkan di luar Pulau Jawa. Jika terjadi kerusakan dalam operasional gasifikasi maka biaya perbaikan atau penggantian suku cadang yang harus disediakan oleh pengelola sangatlah mahal, termasuk biaya untuk mendatangkan tenaga ahli yang rata-rata tinggal di kota atau di Pulau Jawa.

Teknologi fermentasi untuk menghasilkan bioetanol telah banyak dilakukan oleh berbagai penghasil bioetanol, namun sayang permasalahan utama tidak berkembangnya produksi bioetanol lebih disebabkan karena ketersediaan bahan baku dan kebijakan harga bioetanol yang belum menguntungkan di Indonesia.

Teknologi transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel telah banyak digunakan oleh berbagai industri penghasil biodiesel di Indonesia (Tabel 5.4). Saat ini, permasalahan dalam produksi biodiesel juga lebih banyak disebabkan oleh hal-hal yang bersifat nanoteknologi, seperti pengadaan bahan baku, kebijakan pemerintah, pemasaran, investasi, dan sebagainya dengan tantangan utama dari biodiesel adalah harga jual yang lebih mahal dari premium bersubsidi. Harga ini juga tergantung pada harga kelapa sawit. Jika harga kelapa sawit mahal maka harga biodiesel juga ikut naik. Jadi, keduanya berbanding lurus. Sedangkan harga CPO banyak tergantung pada pasar internasional. Proses transesterifikasi terbaru yang sedang berkembang di salah satu industri di Indonesia adalah produksi bioavtur dengan membeli paten Amerika. Saat ini, proyek bioavtur ini masih dalam tahap percobaan dan sangat bergantung terhadap katalis

dari Amerika. *Catalytic hydroprocessing* untuk sintesis biohidrokarbon yang mulai dilakukan di Indonesia ini akan terus berkembang dalam waktu mendatang. Jika selesai pembangunannya, kemungkinan pabrik bioavtur ini adalah yang pertama di dunia. Selain itu, produksi *Celulosic ethanol* yang diproduksi melalui proses hidrolisis dan fermentasi dari lignoselulosa juga dalam masa riset di Indonesia.

Pemanfaatan biomassa untuk menghasilkan biogas pada umumnya dilakukan dengan teknologi *anaerobic digestion* atau *digester* biogas. Di tingkat industri, *digester* skala besar digunakan untuk mengolah limbah dengan volume cukup besar, misalnya limbah pasar buah di Sleman, Yogyakarta, dan limbah cair *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang menghasilkan biogas yang selanjutnya diproses menjadi listrik. Di tempat pembuangan akhir (TPA) sampah di Bantar Gebang, Bekasi dan Suwung, Denpasar, tumpukan sampah dikelola dengan cara *semi sanitary landfill* dan penguruan, kemudian diambil gas metannya untuk dijadikan listrik. Contoh lainnya dari penggunaan *digester* biogas skala industri adalah PTPN V yang telah memanfaatkan limbah cair pabrik kelapa sawit/industri penghasil CPO (POME) untuk dijadikan listrik. Dengan teknologi *anaerob digestion*, limbah ini menghasilkan gas metana (CH_4) dan diolah menjadi bahan bakar pembangkit listrik. Pembangkit listrik dengan teknologi *anaerob digestion* di PTPN V memiliki kapasitas 1 MW. Limbah cair yang digunakan merupakan limbah cair dari pabrik pengolahan minyak kelapa sawit yang berkapasitas 35 ton/jam tandan buah segar. Limbah cair yang dihasilkan ini diproses lebih lanjut dengan menggunakan teknologi *anaerobic pond capped system*, dikenal juga dengan *system cover lagoon*. Tantangannya untuk saat ini adalah menunggu Sertifikat Laik Operasi SLO dari PLN. SLO ini diperlukan untuk menjamin keandalan sistem dari pihak independen sehingga sumber listriknya bisa dimanfaatkan dengan baik dan diintegrasikan dengan sumber listrik dari diesel yang sudah ada.

Industri penghasil listrik di Indonesia semakin bertumbuh (Tabel 5.5). Mayoritas industri penghasil listrik ini menggunakan bahan baku biomassa berupa limbah pertanian, kehutanan dan perkebunan, de-

ngan skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Rata-rata volume listrik yang dihasilkan 15 MW. Dengan menggunakan teknologi kombusi dan ketel uap (PLTU Biomassa) buatan Cina, Jepang dan Malaysia listrik yang diproduksi digunakan untuk kepentingan sendiri dan kelebihanannya dijual ke PLN. Permasalahan utama yang dihadapi adalah ketersediaan bahan baku. Dari sisi teknologi, hampir tidak ada masalah dan dikuasai sepenuhnya oleh tenaga Indonesia. Meskipun paket PLTU ini diimpor dari negara lain, namun teknologi ini sudah dikuasai.

Saat ini, proses biomassa menjadi energi terutama listrik yang banyak dilakukan oleh industri, selain untuk memenuhi kebutuhan sendiri, kelebihan produksi listrik (*excess power*) telah dijual ke PLN,

Tabel 5.5 Beberapa Perusahaan Penghasil Listrik dan Energi Lainnya dari Biomassa

No.	Nama Perusahaan	Lokasi	Jenis Energi dan Volume
1	PTPN V: POME	Kampar, Riau	Listrik : 1 MW
2	PT Growth Asia: PLTU	Medan, Sumut	Listrik : 2 x 15 MW
3	PT Growth Sumatera: PLTU	Medan, Sumut	Listrik : 1 x 15 MW dan 1 X 10 MW
4	PT Indocoke: PLTU	Cilegon, Jabar	Listrik : 2 x 15 MW
5	PT Rimba Palma Sejahtera Lestari: PLTU	Jambi, Pekanbaru, Palembang, Balikpapan, Banjarmasin, Pontianak*	Listrik : 2 x 15 MW Listrik: masing-masing 2 x 15 MW *
6	PT Harkat Sejahtera: PLTU	Simalungun, Sumut	Listrik : 2 x 15 MW
7	PT Belitung Energi: PLTU	Belitung	Listrik : 1 x 7,5 MW
8	PT Bara Indoco: Limbah Kayu	Wonosobo, Jawa Tengah	Pelet kayu: 200.000 Ton per Tahun
9	PT Solar Park Indonesia: Limbah Kayu	Wonosobo, Jawa Tengah	Pelet Kayu : 300.000 Ton per Tahun
10	PT NOEI: Sampah Kota	Bekasi, Denpasar	Listrik : 7-8 MW dan Listrik : 1 MW
11	Koperasi Gemah Ripah: Limbah Pasar	Sleman, Yogyakarta	Listrik : 3,8 MW

Sumber: Hasil Survei Tim Pappiptek-LIPI Tahun 2013.

terutama untuk lokasi industri yang memiliki infrastruktur PLN. Sedangkan bentuk energi lainnya, seperti pelet kayu, bioetanol dan biodiesel, selain dijual di dalam negeri juga di ekspor ke berbagai negara maju, di antaranya ke Korea Selatan, Singapura, Jepang, dan Taiwan. Sebaran dan produksi dari biomassa untuk energi terlihat pada Gambar 5.2.

E. Kesimpulan

Pembangkitan energi biomassa saat ini masih menggunakan teknologi yang sudah mapan. Pembangkitan listrik (sampai 15 MW) banyak menggunakan kombusi dengan skema PLTU biomassa. Produksi bahan bakar cair, seperti bioetanol dan biodiesel mayoritas menggunakan transesterifikasi, fermentasi, dan distilasi. Pembangkitan gas metan (biogas) baik untuk skala rumah tangga maupun skala industri dilakukan dengan *digester* biogas. Namun demikian, pada skala pilot dan riset, produksi *Cellulosic ethanol* yang diproduksi melalui proses hidrolisis dan fermentasi dari *lignoselulose* dalam masa riset di Indonesia. *Catalytic hydroprocessing* untuk sintesis biohidrokarbon juga mulai dilakukan di Indonesia dan akan terus berkembang dalam waktu mendatang.

Untuk mempercepat pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan dan sekaligus menjadi pengganti bahan bakar cair maka diperlukan strategi dan kebijakan pemerintah yang lebih mengutamakan produsen dan konsumen termasuk mata rantai dari industri energi terbarukan khususnya biomassa. Selain itu, diperlukan koordinasi, konsistensi, dan transparansi dalam menerapkan kebijakan dan pengelolaan energi terbarukan.

Daftar Pustaka

- Abdullah, K. *et al.* (1991). *Energi dan Listrik Pertanian*. Diklat telah dipublikasikan FATETA-IPB. Bogor.
- APROBI. (2012). Biofuel Industry Development in Indonesia. Makalah Presentasi Seminar tentang *Kebijakan Energi di Indonesia*. Jakarta: LIPI, 17 Oktober 2013.
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer. FAO. *Forestry Paper No. 134*. USA: FAO.
- BPS. (2013). *Berita Resmi Statistik*. Jakarta
- Dian Desa. (2012). *Gender dan Tungku Biomassa*. Yogyakarta
- Faij, A. (2006). Modern Biomass Conversion Technologies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 343–375, C. Springer.
- Fessenden, R.J. & Fessenden, J.S. (1994). *Kimia Organik*, Edisi Ketiga. Erlangga.
- Hamalainen, A. *et al.* (2011). Sustainable Criteria for Biomass: Views of Finnish Stakeholders. *International Journal of Energy Sector*, 5 (2), 307–326.
- Hermawati, W., Mahmudi, Putera, P.B., Rosaira, I., & Alamansyah, P. (2013). Laporan Penelitian Kajian Sumber Daya dan Potensi Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi di Indonesia. Pusat Penelitian Fisika LIPI. Jakarta (tidak dipublikasikan).
- Hermawati, W., Mahmudi., Putera, P.B., Rosaira, I., & Alamansyah, P. (2013). Pemanfaatan Biomassa untuk Energi di Tingkat Industri di Indonesia. *Poster Diseminasi Hasil Penelitian dalam LIPI Expo 2013*, Bengkulu.
- Knight, B. & Westwood, A. (2004). World Biomass Review. Refocus, November/December, available at: www.re-focus.net (accessed 12 October 2010).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2012). *Handbook of Energy and Economic*. Pusdatin KESDM.
- Klass, D.L. (1998). *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. London: Academic Press Ltd. Elsevier.
- Kong, G.T. (2002). *Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Onrizal. (2004). Mangrove: Sumberdaya Alam Penting yang Terancam, diakses dari http://onrizal.files.wordpress.com/2013/12/buletin-edisi-3-bphm_isi.pdf, tanggal 3 Januari 2014.
- Macqueen, D. dan Korhaliller, S. (2011). Bundles of Energy: The Case of Renewable Biomass Energy. *IIED Natural resources Issues*, 15–24.

- NREL. (2009). Hydrogen and Fuel Cell Research. US Department of Energy, <http://www.nrel.gov/hydrogen/>.
- Pandey, A., Larroche, C., Ricke, S.C., Dussap, C., & E. Gnansounou. (2011). *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Process*. USA: Elsevier.
- Purnomo, C.W. (2012). *Prinsip Dasar Gasifikasi Biomasa*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Soerawidjaja, T.H. (2009). Bioenergi di Indonesia. Makalah pada Presentasi tentang *Foresight EBT di Indonesia*, Pappiptek-LIPI, Oktober 2009.
- Susanto, A. (2008). Pengaruh Tingkat Pembebanan terhadap Distribusi Suhu Gasifikasi Limbah Padat Sekam Padi Menggunakan Updraft *Gasifier*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon, diakses dari <http://wetlands.or.id/PDF/buku/Penghitungan%20Biomassa.pdf>, tanggal 3 Januari 2014.
- Turkenburg, W.C., Faaij, A. *et al.* (2000). *Renewable Energy Technologies, Chapter 7 of the World Energy Assessment of the United Nations*, UNDP, UNDESA/WEC. UNDP, New York.
- Wijaya, K. (2011). *Biofuel di Indonesia: Prospek, Perspektif dan Strategi Pengembangannya*, diakses dari <http://kimia.unsoed.ac.id/wp-content/uploads/2011/12/PROSPEK-Biofuel-DI-INDONESIA.pdf>, tanggal 22 Januari 2014.
- Yokoyama, S. (Ed.). (2008). *Buku Panduan Biomassa Asia*. Japan: The Japan Institute of Energy.

PRODUKSI ENERGI BERKELANJUTAN BERBASIS MIKROALGA

Swastika Praharyawan dan Dwi Susilaningsih

A. Pendahuluan

Indonesia tengah mengalami krisis energi. Dengan cadangan minyak yang ada sekarang ini, ditambah lagi belum ditemukannya sumber minyak yang baru, diperkirakan mulai tahun 2024 Indonesia harus mengimpor semua bahan bakar berbasis fosil. Jika ketergantungan pada bahan bakar fosil dibiarkan begitu saja dan penelusuran sumber energi baru terbarukan (EBT) tidak dilakukan maka hampir dipastikan porsi APBN untuk pemenuhan kebutuhan energi akan membengkak. Oleh karena itu, pemanfaatan intensif EBT harus dimulai guna memenuhi kebutuhan energi nasional. Salah satu sumber EBT potensial yang harus dikembangkan adalah biomassa. Menurut Hasan *et al.* (2012), Indonesia setiap tahunnya memproduksi sekitar 146,7 juta ton biomassa atau setara dengan 470 GJ (giga joule) per tahun.

Potensi biomassa yang besar di Indonesia belum diiringi dengan pemanfaatannya yang maksimal dalam menghasilkan energi. Namun, ketika nilai tukar rupiah terhadap dollar (USD) semakin melemah pada pertengahan 2013, pemanfaatan EBT mulai digaungkan oleh pemerintah dengan mengeluarkan empat Paket Kebijakan Ekonomi pada bulan Agustus 2013. Salah satu isi Paket Kebijakan Ekonomi itu adalah meningkatkan penggunaan biodiesel pada campuran solar dari yang sebelumnya sebesar 2,5% menjadi 10%. Biomassa yang secara intensif dimanfaatkan untuk produksi biodiesel adalah *crude palm oil* (CPO). Namun, pemanfaatan CPO sebagai bahan baku

Buku ini tidak diperjualbelikan.

biodiesel bukanlah tanpa masalah. Harga CPO yang memiliki tren terus merangkak naik dari tahun ke tahun dikhawatirkan akan membuat para produsen enggan untuk mengubahnya menjadi biodiesel, melainkan langsung menjualnya untuk keperluan pangan. Tidak hanya itu, pemanfaatan CPO menjadi biodiesel dikhawatirkan akan menyebabkan munculnya krisis “pangan vs energi”, karena CPO merupakan komponen penting dalam berbagai bahan pangan. Di sisi lain, terdapat bahan baku potensial untuk produksi biodiesel yang lebih menjanjikan ketimbang CPO, yaitu mikroalga.

Mikroalga adalah mikroorganisme fotosintetik dengan struktur uniseluler atau multiseluler sederhana yang dapat tumbuh dengan cepat dan mampu hidup di berbagai lingkungan yang ekstrim. Kemampuannya untuk tumbuh dengan cepat membuat mikroalga sangat berpotensi sebagai bahan baku biodiesel, jauh mengungguli kelapa sawit. Tidak hanya untuk produksi biodiesel, biomassa mikroalga juga dapat dikonversi menjadi bioetanol dan biogas. Hal tersebut akan membuat produksi biodiesel dari mikroalga menjadi berkelanjutan. Pada bab ini pembahasan berkisar pada pemanfaatan biomassa mikroalga untuk produksi biodiesel diiringi dengan produksi bioetanol dan biogas dari residu biomassa sehingga prosesnya lebih layak secara teknoekonomi. Tidak hanya itu, mikroalga juga berpotensi untuk bisa menghasilkan biohidrogen, yaitu bahan bakar masa depan yang ramah lingkungan dan memiliki kandungan energi terbesar. Konversi biomassa mikroalga dengan teknik-teknik yang lain, seperti gasifikasi, pencairan termokimia atau hidrotermal, dan pirolisis juga akan dibahas pada bagian akhir.

B. Biodiesel dari Mikroalga

1. Mikroalga sebagai Bahan Baku Biodiesel

Komponen asam lemak (lipid) yang terkandung dalam mikroalga memiliki kemiripan dengan komposisi asam lemak dalam minyak sayur. Oleh karena itu, minyak dari mikroalga juga berpotensi untuk dikonversi menjadi biodiesel, yaitu bahan bakar berbasis senyawa

ester yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak yang berasal dari tanaman ataupun lemak dari hewan (Sadeghinezhad *et al.*, 2013). Dari waktu ke waktu, produksi biodiesel di dunia mengalami banyak perubahan, terutama dalam penggunaan bahan baku. Ada tiga generasi bahan baku biodiesel yang dikenal hingga saat ini (Ahmad *et al.*, 2011), yaitu

1. Generasi pertama. Bahan baku seperti kedelai, kelapa sawit, *rapeseed*, dan bunga matahari termasuk ke dalam bahan baku biodiesel generasi pertama, karena pada dasarnya tanaman-tanaman tersebut merupakan tanaman yang pertama kali digunakan untuk memproduksi biodiesel. Semua bahan baku yang masuk dalam kategori biodiesel generasi pertama merupakan bahan pangan sehingga apabila penggunaannya dieksploitasi dalam skala besar dikhawatirkan akan menyebabkan ketidakseimbangan pada pasar pangan global. Konsekuensinya, keadaan tersebut akan membawa dunia pada krisis “pangan versus energi”.
2. Generasi kedua. Untuk menjawab solusi akibat dari penggunaan bahan baku biodiesel generasi pertama maka bahan baku yang bukan merupakan bahan pangan, seperti jarak, minyak jojoba ataupun minyak jelantah, digunakan untuk produksi biodiesel. Namun, pada kenyataannya penggunaan bahan-bahan tersebut tidak mampu menjawab masalah, karena *yield* produksi biodiesalnya tergolong rendah sehingga tidak bisa memenuhi permintaan yang ada. Bertolak dari hal itu, kemudian para ahli mencari bahan baku lain yang berpotensi menggantikan bahan bakar berbasis fosil serta dapat menjamin keberlanjutan produksi biodiesel.
3. Generasi ketiga. Pada kategori ini, mikroalga merupakan alternatif bahan baku biodiesel yang sangat menjanjikan. Dibandingkan dengan tanaman lain yang selama ini menjadi bahan baku biodiesel, proses fotosintesis pada mikroalga lebih efisien sehingga laju pertumbuhan dan produksi biomasnya pun lebih tinggi. Oleh karena itu, produktivitas biodiesel dengan menggunakan bahan baku mikroalga jauh mengungguli bahan baku yang lain,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

termasuk kelapa sawit hingga bisa mencapai 10 hingga 25 kali lipat.

Hingga saat ini, berbagai penelitian dalam rangka mencari mikroalga potensial telah banyak dilakukan. Berbagai spesies mikroalga kini telah dikenal sebagai mikroalga potensial sebagai bahan baku biodiesel. Daftar mikroalga-mikroalga potensial untuk produksi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Produktivitas lipid telah disepakati sebagai indikator dari besarnya potensi spesies mikroalga untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel (Oncel, 2013). Dari tabel tersebut, *Chlorella protothecoides*, *Nannochloropsis oculata*, dan *Neochloris oleoabundans* merupakan tiga mikroalga teratas yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel.

Tabel 6.1 Kandungan dan Produktivitas Lipid dari Beberapa Spesies Mikroalga

Spesies Mikroalga	Kandungan Lipid (% berat kering)	Produktivitas Lipid (mg/L/hari)	Produktivitas Volumetrik Biomassa (g/L/hari)	Produktivitas Areal Biomassa (g/m ² /hari)
<i>Botryococcus braunii</i>	25.0 - 75.0	-	0.02	3.0
<i>Chlorella protothecoides</i>	14.6 - 57.8	1214	2.00 - 7.70	-
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19.0 - 22.0	44.7	0.23 - 1.47	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	5.0 - 58.0	11.2 - 40.0	0.02 - 0.20	0.57 - 0.95
<i>Chlorococcum sp.</i>	19.3	53.7	0.28	-
<i>Dunaliella salina</i>	6.0 - 25.0	116.0	0.22 - 0.34	1.6-3.5/ 20-38
<i>Isochrysis sp</i>	7.1 - 33.0	37.8	0.08 - 0.17	-
<i>Nannochloris sp.</i>	20.0 - 56.0	60.9 - 76.5	0.17 - 0.51	-
<i>Nannochloropsis oculata</i>	22.7 - 29.7	84.0 - 142.0	0.37 - 0.48	-
<i>Nannochloropsis sp.</i>	12.0 - 53.0	37.6 - 90.0	0.17 - 1.43	1.9 - 5.3
<i>Neochloris oleoabundans</i>	29.0 - 65.0	90.0 - 134.0	-	-
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	18.0 - 57.0	44.8	0.003 - 1.9	2.4 - 21
<i>Scenedesmus obliquus</i>	11.0 - 55.0	-	0.004 - 0.74	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1.9 - 18.4	35.1	0.19	-
<i>Scenedesmus sp.</i>	19.6 - 21.1	40.8 - 53.9	0.03 - 0.26	2.43 - 13.52
<i>Tetraselmis suecica</i>	8.5 - 23.0	27.0 - 36.4	0.12 - 0.32	19
<i>Tetraselmis sp.</i>	12.6 - 14.7	43.4	0.30	-

Sumber: Mata *et al.* (2010)

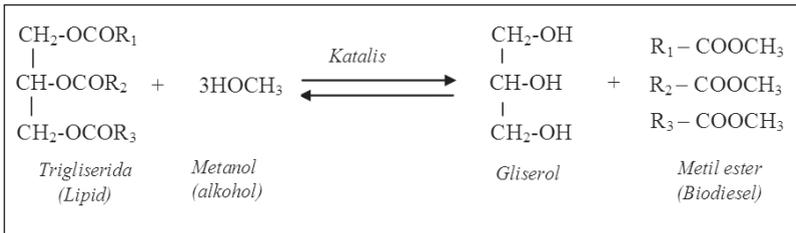
2. Produksi Biodiesel dari Mikroalga

Produksi biodiesel dari mikroalga melalui beberapa tahapan, yaitu panen biomassa mikroalga, ekstraksi lipid, dan reaksi transesterifikasi. Pada umumnya, panen biomassa mikroalga dapat dibedakan atas dua tahap proses, yaitu *bulk harvesting* (memisahkan sel mikroalga dari kultur) dan *thickening* (membuat pasta mikroalga). Beberapa metode yang digunakan untuk memanen biomassa mikroalga adalah sentrifugasi, sedimentasi (oleh gaya gravitasi), penyaringan (filtrasi), flokulasi, elektrokoagulasi, floatasi, dan elektroforesis (Pragya *et al.*, 2013). Ketepatan metode panen yang digunakan sangat tergantung dari karakteristik mikroalga terpilih, seperti kepadatan dan ukuran sel serta spesifikasi hasil panen yang diharapkan. Selain itu, metode panen yang digunakan juga harus memperhatikan aspek ekonomis, karena akan sangat terkait pada aspek kelayakan secara teknoekonomi ketika produksi biodiesel diterapkan pada skala komersial.

Setelah konsentrat biomassa mikroalga diperoleh maka tahap selanjutnya adalah ekstraksi lipid. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak lipid dari dalam sel mikroalga, yaitu metode fisik dan kimia. Metode terpilih haruslah cepat, mudah dilakukan ketika skala ekstraksi ditingkatkan, efektif dan tidak bersifat destruktif pada lipid hasil ekstrak. Metode tersebut tidak hanya spesifik terhadap lipid, tetapi juga harus selektif mampu mendapatkan fraksi lipid yang diinginkan, karena tidak semua jenis lipid dapat dikonversi menjadi biodiesel. Umumnya, proses ekstraksi lipid didahului oleh disrupti sel mikroalga dan prosesnya tergantung dari tipe biomassa yang digunakan. Setelah sel mikroalga hancur, ekstraksi lipid dapat dilakukan baik dengan menggunakan campuran pelarut, seperti kloroform : metanol : air, ataupun menggunakan gas CO₂ superkritis (Pragya *et al.*, 2013).

Saat ini, produksi biodiesel yang menggunakan mikroalga sebagai bahan baku umumnya melalui beberapa tahap, yaitu ekstraksi lipid, pemisahan fraksi lipid dari pelarut, dan konversi lipid menjadi biodiesel. Demi menjaga keberlanjutan produksi biodiesel berba-

han baku mikroalga maka metode konversi lipid menjadi biodiesel haruslah ekonomis. Dari berbagai metode konversi yang diketahui, transesterifikasi merupakan metode terpilih. Reaksi transesterifikasi mengubah ekstrak kasar lipid mikroalga yang kental menjadi asam lemak alkil ester dengan berat molekul rendah (Rawat *et al.*, 2011). Reaksi transesterifikasi dari lipid (trigliserida) menjadi biodiesel akan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingan, seperti pada Gambar 6.1 (Chisti, 2007).



Gambar 6.1 Reaksi transesterifikasi dari lipid menjadi biodiesel. R₁₋₃ adalah gugus hidrokarbon

C. Konversi Biomassa Mikroalga

Selain menghasilkan biodiesel, biomassa mikroalga juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar lain, seperti bioetanol, biogas, biohidrogen ataupun *biooil*, dengan menggunakan proses yang berbeda-beda. Teknologi konversi yang memanfaatkan biomassa mikroalga dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu konversi biokimia dan konversi termokimia. Pemilihan proses konversi yang tepat tergantung dari tipe dan jumlah biomassa yang tersedia, jenis energi atau bahan bakar yang ingin dihasilkan, dan tentunya pertimbangan ekonomi.

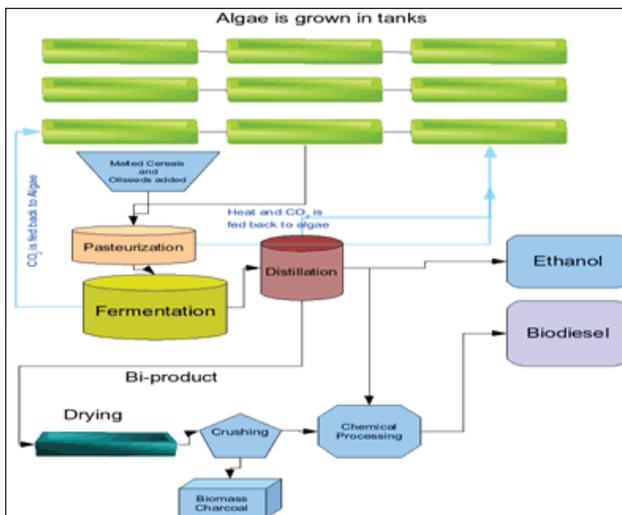
1. Konversi Biokimia

Konversi biokimia meliputi proses biologi yang mampu mengubah biomassa mikroalga menjadi bahan bakar. Prosesnya meliputi fermentasi, *anaerobic digestion*, dan biofotolisis.

Fermentasi (Produk: Bioetanol)

Proses fermentasi telah digunakan secara komersial dalam skala besar di berbagai negara untuk memproduksi etanol. Bahan baku yang digunakan adalah pati atau karbohidrat yang berasal dari tanaman sehingga disebut dengan bioetanol. Bioetanol sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan bahan bakar berbasis fosil, seperti kadar emisi timbal, sulfur, karbon monoksida (CO) dan partikulat yang rendah. Brazil merupakan negara yang telah memanfaatkan bioetanol sebagai bahan bakar dan membawa dampak positif bagi lingkungan, yaitu dapat mengurangi 15% dari total emisi di Brazil (Bahadar & Khan, 2013).

Bahan baku bioetanol dikenal atas tiga generasi. Generasi pertama diperoleh dari tanaman yang juga digunakan sebagai bahan pangan seperti tebu ataupun bit. Eksploitasi bahan baku tersebut untuk produksi bioetanol akan menciptakan krisis “pangan versus



Sumber: <http://www.odec.ca/projects/2008/adit812/benefit.html>

Gambar 6.2 Skema pembuatan etanol dari proses fermentasi biomassa alga

energi” yang akan diikuti oleh munculnya masalah-masalah lingkungan termasuk deforestasi. Generasi kedua diperoleh dari tanaman yang mengandung lignoselulosa seperti sekam padi, brangkasan jagung, dan kayu. Bahan baku tersebut membutuhkan praperlakuan dalam rangka menguraikan struktur lignin yang kompleks serta untuk mengurangi kandungan kristal selulosa menjadi selulosa amorf. Proses praperlakuan itu membutuhkan banyak energi sekaligus membawa dampak negatif bagi lingkungan. Berdasarkan hambatan dari kedua generasi bahan baku bioetanol tersebut maka lahir lah bahan baku bioetanol generasi ketiga, yaitu mikroalga. Mikroalga bukan merupakan bahan pangan seperti bahan baku generasi pertama serta tidak mengandung lignin dan hemiselulosa di dalam selnya layaknya bahan baku generasi kedua. Meski begitu, praperlakuan tetap dibutuhkan dengan tujuan untuk menghancurkan dinding sel mikroalga sehingga pati atau karbohidrat yang dibutuhkan untuk dikonversi menjadi bioetanol dapat dibebaskan. Proses tersebut dapat dijalankan secara simultan dengan produksi biodiesel di mana proses perusakan dinding sel mikroalga untuk mengekstraksi lipid telah dilakukan sebelumnya sehingga aplikasinya lebih ekonomis. Konsep tersebut telah diterapkan pada mikroalga *Chlorococcum* sp. dan terbukti efisien, yaitu mampu menghasilkan bioetanol 60% lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan biomassa mikroalga yang kering, tanpa adanya ekstraksi lipid. Proses ekstraksi lipid dari mikroalga menyebabkan rusaknya dinding sel mikroalga sehingga karbohidrat atau pati otomatis dilepaskan dari dalam sel. Karbohidrat atau pati tersebut kemudian difermentasi secara enzimatik untuk menghasilkan glukosa dan fruktosa. Selanjutnya, *Saccharomyces cerevisiae* ditambahkan untuk mengonversi glukosa dan fruktosa menjadi etanol. Etanol kemudian dimurnikan melalui proses destilasi. Berikut ini reaksi yang terjadi: (Lam dan Lee, 2012)



Sebagai bahan bakar, bioetanol memiliki *calorific value* (kemampuan untuk menghasilkan panas setelah mengalami pembakaran sempurna) yang lebih kecil jika dibandingkan dengan biodiesel, yaitu 26.7 MJ/kg, sedangkan biodiesel sebesar 37.3 MJ/kg (Lam & Lee, 2012).

Anaerobic digestion (Produk: Biogas)

Proses *anaerobic digestion* terjadi melalui tiga tahap, yaitu hidrolisis, fermentasi, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, senyawa-senyawa kompleks diurai menjadi gula sederhana. Selanjutnya, proses fermentasi gula menjadi alkohol, asam asetat, asam lemak volatile dan gas yang mengandung H_2 dan CO_2 terjadi dengan bantuan *digester*. Ke semua senyawa tersebut lalu dimetabolisme oleh bakteri metanogen menjadi CH_4 (60–70%) dan CO_2 (30–40%) (Brennan dan Owende, 2010).

Layaknya pada produksi bioetanol dari biomassa mikroalga, produksi biogas melalui proses *anaerobic digestion* pun dapat dilakukan secara simultan dengan produksi biodiesel. Menurut Christi (2008), biomassa mikroalga yang telah diekstrak 30% lipidnya dapat menyediakan energi sebesar 9.360 MJ per metrik tonnya. Hal tersebut dapat membuat produksi biodiesel lebih berkelanjutan. Menurut perhitungan, energi yang didapat dari proses *anaerobic digestion* biomassa mikroalga menjadi metan dapat menggantikan energi yang dihabiskan untuk menjalankan proses ekstraksi lipid untuk produksi biodiesel (Brennan & Owende, 2010). Efektivitas produksi biogas dari biomassa mikroalga tergantung dari spesies mikroalga yang digunakan mengingat komposisi sel mikroalga sangat memengaruhi besarnya metan yang dihasilkan (Zhu *et al.*, 2014), seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tidak hanya tergantung dari spesies mikroalga yang digunakan, efektifitas produksi biogas juga tergantung dari praperlakuan yang dilakukan. Ada dua hambatan yang menyebabkan proses produksi biogas dari biomassa mikroalga dapat menjadi tidak efektif. Pertama,

tingginya kandungan protein (nitrogen) pada residu biomassa mikroalga dapat menyebabkan peningkatan pelepasan amonia yang bersifat toksik bagi *digester*. Kedua, tingginya kandungan sodium, terutama jika menggunakan biomassa mikroalga laut, juga berdampak negatif terhadap viabilitas bakteri *digester*. Kedua hal tersebut secara signifikan akan mengurangi produksi metan. Untuk mengatasi hambatan yang ada maka beberapa langkah perlu dilakukan. Dalam rangka mengatasi masalah tingginya kandungan protein atau nitrogen maka langkah *codigestion* dapat dilakukan, yaitu menambahkan biomassa (limbah organik) lain yang tinggi karbon namun rendah nitrogen, seperti limbah kertas, ke dalam biomassa mikroalga. Sementara untuk mengatasi masalah intoleransi *digester* terhadap sodium dapat dilakukan dengan cara mengganti inokulum *digester* dengan inokulum yang berasal dari laut sehingga lebih tahan terhadap kondisi tinggi sodium (Pragya *et al.*, 2013).

Produksi biodiesel, bioetanol, dan biogas dari biomassa mikroalga dapat dilakukan secara simultan dalam rangka menjaga keberlanjutan produksi biodiesel dari mikroalga. Setelah biodiesel diproduksi, sejumlah besar residu biomassa mikroalga yang telah kehilangan sejumlah lipidnya dihasilkan. Residu biomassa mikroalga dari produksi

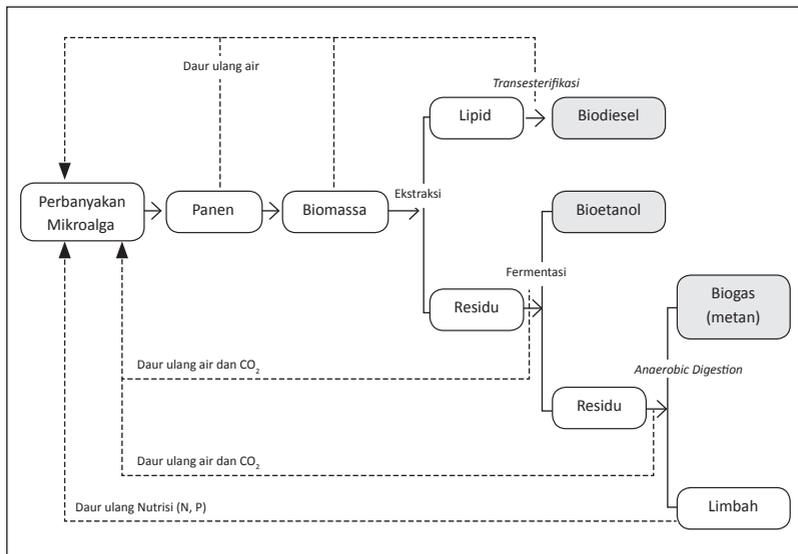
Tabel 6.2 Yield Produksi Biogas dari Spesies Mikroalga yang Berbeda

Jenis mikroalga	Yield *	Kandungan Metan (%)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	0.240 L CH ₄ g ⁻¹ VS	
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0.360 L CH ₄ g ⁻¹ VS	
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.375 L CH ₄ g ⁻¹ VS	-
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	0.587 L CH ₄ g ⁻¹ VS	-
<i>Macrocystis pyrifera</i>	0.180 L CH ₄ g ⁻¹ VS	65.0
<i>Durviella Antarctica</i>	0.180 L CH ₄ g ⁻¹ VS	65.0
<i>Chroococcus sp.</i>	0.401 – 0.487 L CH ₄ g ⁻¹ VS	52.0 – 54.9

Sumber: Zhu *et al.* (2014)

* L CH₄ g⁻¹ VS artinya adalah liter per gram dari padatan volatil, sedangkan L CH₄ g⁻¹ S adalah liter per gram dari padatan.

biodiesel yang masih mengandung karbohidrat dapat di manfaatkan untuk menghasilkan bioetanol, seperti yang telah dijelaskan. Selanjutnya, residu hasil produksi bioetanol yang masih mengandung protein, lemak, dan sisa karbohidrat serta lipid dapat digunakan untuk menghasilkan metan. Dengan menggunakan pendekatan tersebut maka berbagai bahan bakar dapat dihasilkan dari satu jenis biomassa mikroalga. Dengan demikian, keberlanjutan produksi energi dari biomassa mikroalga dapat terwujud. Energi yang dihasilkan dari produksi bioetanol dan biogas dapat menjadi penyedia energi utama dalam keseluruhan proses *biorefinery* (Zhu *et al.*, 2014). Jika energi yang dihasilkan dari kedua produk tersebut berlebih maka dapat ditransfer atau dijual sehingga sistem produksi energi yang dijalankan dapat dinilai layak secara teknoekonomi.



Sumber: Zhu *et al.* (2014)

Gambar 6.3 Alur massa dan sistem daur ulang proses produksi energi dari biomassa mikroalga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Biofotolisis (Produk: Biohidrogen)

Mikroalga mampu menghasilkan gas hidrogen melalui proses biofotolisis air (Pragya *et al.*, 2013). Gas hidrogen merupakan energi masa depan yang ramah lingkungan mengingat pada proses pembakarannya tidak menghasilkan “gas rumah kaca”, melainkan air. Gas hidrogen sampai saat ini diketahui sebagai bahan bakar yang paling tinggi kandungan energinya per satuan bobot (142 kJ/g atau 16.000 BTU/lb) di antara bahan bakar yang ada (Bahadar dan Khan, 2013). Selama terjadinya proses fotosintesis, mikroalga mengubah dua molekul air menjadi empat ion hidrogen (H^+) dan satu molekul oksigen. Empat ion hidrogen tersebut kemudian diubah menjadi dua molekul hidrogen (gas H_2) oleh enzim hidrogenase dalam kondisi anaerobik (Brennan & Owende, 2010). Proses produksi gas hidrogen menggunakan organisme fotosintetis memiliki keunggulan dibandingkan dengan menggunakan proses fotoelektrokimia atau termokimia, yaitu energi yang dibutuhkan lebih sedikit (Parmar *et al.*, 2011). Meski begitu, produksi hidrogen menggunakan mikroalga masih jauh dari skala komersial mengingat *yield* produksinya masih rendah sehingga tidak efisien.

2. Konversi Termokimia

Konversi termokimia meliputi proses dekomposisi termal dari komponen organik, yaitu biomassa guna menghasilkan produk bahan bakar menggunakan berbagai metode seperti gasifikasi, pencairan termokimia atau hidrotermal, dan pirolisis.

Gasifikasi (Produk: Gas Sintetis atau Syngas)

Layaknya biomassa yang berasal dari sumber lain, biomassa mikroalga juga dapat dikonversi menjadi energi melalui metode gasifikasi. Konversi biomassa menggunakan metode gasifikasi melibatkan proses oksidasi parsial biomassa menjadi gas mudah terbakar yang dilakukan pada temperatur yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 800–1.000°C. Dalam proses gasifikasi, biomassa bereaksi dengan oksigen dan air

(uap air) untuk menghasilkan *syngas* atau gas sintetis, yang merupakan campuran dari gas CO, H₂, CO₂, N dan CH₄ (Brennan dan Owende, 2010). *Syngas* atau gas sintetis selanjutnya dapat langsung dibakar untuk menghasilkan energi atau dapat dijadikan bahan bakar untuk menjalankan mesin diesel atau turbin pada pembangkit listrik (Pragya *et al.*, 2013). Tidak hanya itu, *syngas* juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan senyawa kimia, seperti metanol serta untuk produksi pupuk amonia. Dibandingkan dengan gas alam, *heating value* atau *calorific value gas* sintetis lebih rendah (Amin, 2009).

Hirano *et al.* (1998) melakukan oksidasi parsial pada biomassa *Spirulina* pada temperatur berkisar antara 850–1.000°C untuk menghasilkan *syngas* yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan metanol. Hasil yang didapat adalah 1 g biomassa *Spirulina* dapat menghasilkan 0,64 g metanol. Rasio metanol yang dihasilkan dengan energi yang digunakan sebesar 1.1, artinya proses gasifikasi yang dilakukan memberikan keseimbangan energi yang positif. Hingga saat ini, informasi proses gasifikasi biomassa mikroalga masih sangat terbatas. Oleh karena itu, masih banyak penelitian yang dibutuhkan di area gasifikasi ini.

Pencairan Termokimia atau Hidrotermal (Produk: *Biooil*)

Proses pencairan termokimia atau hidrotermal dapat digunakan untuk mengonversi biomassa mikroalga menjadi bahan bakar yang berupa *biooil*. Proses ini dilakukan pada temperatur 300–350°C dengan tekanan tinggi (5–20 MPa) dengan atau tanpa adanya katalis (Brennan & Owende, 2010). Selama proses pencairan, serangkaian reaksi terjadi atas tiga tahap, yaitu hidrolisis, depolimerisasi, dan repolimerisasi. Secara umum, yang terjadi dalam proses pencairan adalah kandungan lipid dalam biomassa akan diubah menjadi asam lemak, sementara protein akan diubah menjadi senyawa nitrogen heterosiklik, pirol, dan indol. Karbohidrat akan dikonversi menjadi keton siklik dan fenol. Metode konversi ini sangat cocok untuk biomassa mikroalga

yang umumnya berkadar air tinggi, karena dalam proses pencairan, hidrotermal air merupakan komponen yang esensial (Liang, 2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, konversi biomassa mikroalga menggunakan metode pencairan termokimia atau hidrotermal telah dilakukan pada beberapa spesies, seperti *Botryococcus braunii*, *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis oculata*, *Chlorella vulgaris*, dan *Spirulina*. Setiap biomassa spesies mikroalga tertentu memiliki kondisi yang berbeda saat dikonversi dengan proses pencairan hidrotermal. *Biooil* yang didapatkan juga memiliki karakteristik yang berbeda. *Biooil* yang didapat dari konversi biomassa *Botryococcus braunii* misalnya, memiliki *heating value* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh *Dunaliella tertiolecta*, yaitu masing-masing 45,9 MJ/kg dan 34,9 MJ/kg. Proses konversi biomassa kedua mikroalga tersebut memiliki keseimbangan energi positif yang masing-masing memiliki rasio *output/input* sebesar 6,67 untuk *Botryococcus braunii* dan 2,94 untuk *Dunaliella tertiolecta* (Brennan & Owende, 2010).

Pirolisis (Produk: *Biooil*)

Pirolisis adalah proses konversi biomassa menjadi *biooil*, gas sintetis dan arang pada kisaran temperatur 350–700°C pada keadaan vakum (Brennan dan Owende, 2010). Ada dua kategori pirolisis ditinjau dari kecepatan pertambahan temperaturnya, yaitu pirolisis lambat dan cepat. Kecepatan pertambahan temperatur pada pirolisis lambat adalah sekitar 5–10°C per menit dan prosesnya berlangsung lama, sementara pada pirolisis cepat sekitar 1.000-10.000°C per detik dengan proses yang singkat (1–3 detik) (Liang, 2013). Pirolisis pada biomassa lignoselulosik menghasilkan minyak dengan karakteristik kental, bersifat asam ($\text{pH} < 3$), tidak stabil, dan memiliki kandungan energi yang rendah (19–21 MJ/kg) sehingga tidak bisa digunakan untuk bahan bakar alat transportasi. Di sisi lain, penelitian yang dilakukan pada beberapa tahun terakhir ini dengan menggunakan biomassa dari berbagai spesies mikroalga menunjukkan hasil yang menggembirakan.

Pirolisis cepat biomassa *Chlorella protothecoides* menghasilkan minyak dengan kriteria yang mirip dengan bahan bakar berbasis fosil, yaitu viskositas rendah (0,02 Pa s), densitas rendah (0,92 kg/l), kadar oksigen rendah, dan *heating value* tinggi (41 MJ/kg). Proses pirolisis cepat menggunakan biomassa *Chlorella protothecoides* menghasilkan minyak dengan *yield* 57,9% lebih tinggi dibandingkan jika menggunakan metode pirolisis cepat (Peng *et al.*, 2000). Sejumlah biomassa mikroalga spesies lain juga telah diuji-konversikan menggunakan metode pirolisis, seperti *Chlorella vulgaris*, *Microcystis aeruginosa*, *Nannochloropsis* sp., *Spirulina platensis*, dan *Tetraselmis chui*. Namun, *biooil* yang dihasilkan masih belum sebaik *biooil* yang dihasilkan dari pirolisis cepat biomassa *Chlorella protothecoides* (Liang, 2013).

D. Penutup

Tinjauan mengenai energi dari alga yang diduga merupakan sumber ideal untuk dikembangkan sebagai pengganti energi fosil dikarenakan posisi geografis Indonesia yang tropis dan bersinar matahari sepanjang tahun serta mempunyai sumber daya air laut yang besar, menggambarkan adanya kelebihan dan kekurangan terhadap teknologi yang mendukung kegiatan ini. Kelebihan teknologi energi baru dan terbarukan berbasis alga laut adalah daya tumbuhnya yang cepat, menghasilkan minyak yang lebih besar daripada tanaman lain bila dibandingkan dengan luasan yang sama, tidak bersaing dengan kebutuhan pokok manusia, dan dapat dibuat aman lingkungan. Kekurangan dari teknologi ini adalah belum adanya diseminasi yang baik mengenai budi daya alga yang efektif dan menuju ke arah produk industri, pengolahan pascapanen yang membutuhkan material yang nilai ekonomisnya belum seimbang dengan harga minyak di pasaran dan sumber daya manusia yang belum memadai yang berkecimpung di dunia teknologi energi berbasis alga tersebut serta seleksi material alga yang membutuhkan keterampilan khusus.

Contoh-contoh jenis alga berminyak tinggi juga telah dikemukakan, namun demikian untuk mengadakan sediaan bibit mikroalga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

merupakan langkah yang panjang karena koleksi mikroalga dan skrining mikroalga yang mempunyai potensi sebagai bahan dasar biodiesel membutuhkan waktu yang cukup panjang. Sediaan materi substrat, misalnya karbondioksida, nitrogen, dan sumber karbon yang lain juga membutuhkan *supply* yang terus menerus sepanjang fase kultivasi, yang juga membutuhkan pendanaan. Walaupun hal ini dapat ditangani melalui penyulihan dengan limbah organik, namun prosesnya akan membutuhkan dana juga karena harus melalui fase penetralan atau pretreatment limbah terlebih dahulu.

Berangkat dari asumsi bahwa alga merupakan sumber bahan bakar yang layak dikembangkan di Indonesia maka hal ini dapat diwujudkan dengan memaksimalkan faktor kelebihan yang dipunyai Indonesia, yaitu iklim dan sumber daya genetiknya—koleksi beragamnya mikroalga serta suatu komitmen yang teguh untuk melaksanakannya. Semoga informasi ini dapat memperkaya khasanah ilmu pembaca dan bermanfaat serta barokah.

Daftar Pustaka

- Ahmad A.L., Mat Yasin N.H., Derek C.J.C., & Kim J.K. (2011). Microalgae as Sustainable Energy Source for Biodiesel Production: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 584–593.
- Amin, S. (2009). Review on Biofuel Oil and Gas Production Processes from Microalgae. *Energy Conversion and Management*, 50, 1834–1840.
- Bahadar, A. & Khan, M.B. (2013). Progress in Energy from Microalgae: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 128–148.
- Brennan, L. & Owende, P. (2010). Biofuels from Microalgae-A Review of Technologies for Production, Processing, and Extractions of Biofuels and Co-Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 557–577.
- Christi, Y. (2007). Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25, 294–306.
- Christi, Y. (2008). Biodiesel from Microalgae Beats Bioethanol. *Trends in Biotechnology*, 26 (3), 126–131.
- Hasan, M.H., Mahlia, T.M.I., & Nur, H. (2012). A Review on Energy Scenario and Sustainable Energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2316–2328.

- Hirano, A., Hon-Nami, K., Kunito, S., Hada, M., & Ogushi, Y. (1998). Temperature Effect on Continuous Gasification of Microalgal Biomass: Theoretical Yield of Methanol Production and Its Energy Balance. *Catalysis Today*, 45 (1–4), 399–404.
- Lam, M.K. & Lee, K.T. (2012). Microalgal Biofuels: A Critical Review of Issues, Problems and the Way Forward. *Biotechnology Advances*, 30, 673–690.
- Liang, Y. (2013). Producing Liquid Transportation Fuels from Heterotrophic Microalgae. *Applied Energy*, 104, 860–868.
- Mata, T.M., Martins, A.A., & Caetano, N.S. (2010). Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217–232.
- Nagarajan, S., Chou, S.K., Cao, S., Wu, C., & Zhou, Z. (2013). An Updated Comprehensive Techno-Economic Analysis of Algae Biodiesel. *Bioresourcetechnology*, 145, 150–156.
- Oncel, S.S. (2013). Microalgae for a Macroenergy World. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 241–264.
- Parmar, A., Singh, N.K., Pandey, A., Gnansounou, E., & Madamwar, D. (2011). Cyanobacteria and Microalgae A Positive Prospect for Biofuel. *Bioresourcetechnology*, 102, 10163–10172.
- Peng, W., Wu, Q., & Tu, P. (2000). Effects of Temperature and Holding Time on Production of Renewable Fuels from Pyrolysis of *Chlorella protothecoides*. *Journal of Applied Phycology*, 12, 147–52.
- Pragya, N., Pandey, K.K., & Sahoo, P.K. (2013). A Review on Harvesting, Oil Extraction and Biofuels Production Technologies from Microalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 159–171.
- Rawat, I., Kumar, R.R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual Role of Microalgae: Phycoremediation of Domestic Wastewater and Biomass Production for Sustainable Biofuels Production. *Applied Energy*, 88 (10), 3411–3424.
- Sadeghinezhad, E., Kazi, S.N., Badarudin, A., Oon, C.S., Zubir, M.N.M., & Mehrali, M. (2013). A Comprehensive Review of Bio-Diesel as Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 410–424.
- Zhu, L.D., Hiltunen, E., Antila, E., Zhong, J.J., Yuan, Z.H., & Wang, Z.M. (2014). Microalgal Biofuels: Flexible Bioenergies for Sustainable Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 1035–1046.

PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS GASIFIKASI BIOMASSA SKALA KECIL UNTUK DAERAH TERPENCIL DI INDONESIA

Sunu Herwi Pranolo dan Wusana Agung Wibowo

A. Pendahuluan

Peningkatan permintaan energi secara umum dipengaruhi oleh faktor berikut: 1) penambahan penduduk; 2) pertumbuhan ekonomi yang diukur dengan *gross domestic product* (GDP); 3) intensitas energi, yaitu kebutuhan energi untuk peningkatan 1 satuan GDP. Demikian pula di Indonesia, penambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi juga menuntut peningkatan kebutuhan energi. Menurut skenario *Rikagaku Kenkyusho* (RIKEN), kebutuhan energi Indonesia pada tahun 2005 sebanyak 956,5 setara barel minyak (SBM), pada tahun 2010 meningkat menjadi 1226,1 SBM, kemudian pada tahun 2015 diprediksi akan meningkat menjadi 1562,1 SBM, dan akan terus meningkat seiring berjalannya waktu (Kusdiana, 2008). Selama ini, energi yang paling banyak dimanfaatkan adalah energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Sebagai contoh, sebagian besar penduduk Indonesia yang berada di pedesaan terpencil, terutama di luar Pulau Jawa masih menggunakan lampu minyak tanah dan kompor minyak tanah atau kompor biomassa untuk keperluan rumah tangga. Selain itu, mereka juga memiliki keterbatasan terhadap akses energi listrik baik karena mahalnya harga listrik yang diproduksi melalui pembangkit listrik tenaga diesel atau bahkan sama sekali tidak memiliki akses listrik.

Agar kebutuhan energi tetap terpenuhi maka sumber energi terbarukan mulai mendapatkan perhatian. Berbagai teknologi penye-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

diaan energi dari sumber energi terbarukan tersedia bervariasi dengan tingkat kehandalan masing-masing. Sumber energi tersebut meliputi angin, biomassa, sinar matahari, geotermal, tenaga air, dan arus/gelombang laut. Sumber energi terbarukan tersebut dapat diubah dalam bentuk panas, bahan bakar, maupun listrik. Saat ini di Indonesia, sumber energi terbarukan menyumbang sekitar 30% permintaan energi dan terutama dipasok oleh biomassa yang digunakan untuk penyediaan keperluan rumah tangga, seperti pemanasan dan masak-memasak. Keperluan listrik lebih banyak dipasok oleh sumber geotermal dan pembangkit listrik tenaga air. Proyeksi kapasitas pembangkitan listrik dari sumber biomassa di Indonesia pada tahun 2050 diharapkan sebesar kurang lebih 5 GW (Teske *et al.*, 2007).

B. Teknologi Gasifikasi Biomassa

1. Biomassa sebagai Sumber Energi

Indonesia merupakan negara agraris yang mayoritas penduduknya berprofesi sebagai petani. Walaupun industrialisasi telah merambah ke dalam berbagai kehidupan, namun sektor pertanian tetap menjadi salah satu faktor kunci penggerak ekonomi masyarakat yang mencakup pada produksi beras, jagung, kacang-kacangan, sawit, tebu, buah-buahan tropis, dan lain sebagainya. Demikian pula, sektor perkebunan dan kehutanan juga berperan meningkatkan kegiatan ekonomi masyarakat.

Berdasarkan pertimbangan lingkungan dan kebijakan-kebijakan lain, penggunaan biomassa sebagai sumber energi, bahan bakar, dan bahan kimia di dunia menunjukkan kecenderungan meningkat. Biomassa diartikan sebagai limbah organik padat yang timbul sebagai akibat kegiatan pertanian, perkebunan maupun kehutanan. Sebagai contoh, sekam padi merupakan timbulan proses penggilingan gabah. Pemanfaatan sekam padi yang jumlahnya kira-kira 20%–30% berat gabah kering masih terbatas sebagai media tanam dan bahan bakar yang cenderung tidak terkendali. Pemanfaatan biomassa tersebut merupakan salah satu pilihan strategis untuk pengurangan fenomena

pemanasan global karena gas rumah kaca, misalnya karbon dioksida (CO₂). Pemanfaatannya sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan emisi netto CO₂ rendah karena tanaman “mendaur-ulang” gas tersebut melalui proses fotosintesis dalam rentang waktu relatif singkat. Biomassa sebagai sumber energi yang biasanya tersedia berpeluang pula meningkatkan kegiatan ekonomi setempat, terutama sektor pertanian, perkebunan, dan kehutanan serta pada akhirnya meningkatkan kesejahteraan masyarakat di daerah tersebut. Sebagai sumber energi terbarukan dalam rangka menghadapi keterbatasan sumber energi fosil, biomassa memiliki panas pembakaran antara 14.000–25.000 kJ/kg tergantung terutama pada kadar air (Tabel 7.1).

Di Indonesia, tanggapan pemerintah terhadap pemanfaatan biomassa, khususnya sebagai sumber energi dituangkan melalui paling tidak dua kebijakan yang berkaitan dengan keenergian, yaitu Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar Lain. Kebijakan Energi Nasional merupakan pedoman dalam pengelolaan energi nasional sebagai penjamin keamanan pasokan energi dalam negeri dan pendukung pembangunan berkelanjutan. Biomassa, bersama-sama dengan energi nuklir, tenaga

Tabel 7.1 Sifat-Sifat Kimia dan Fisika Berbagai Jenis Biomassa

Biomassa	Cangkang sawit ¹	Sekam padi ²	Serbuk gergaji ³	Jerami padi ⁴	Lignite ⁵	Anthracite ⁶
Bentuk	Pipih	Jarum	Bulat	Batang	balok	Balok
H	5,01%	4,59%	7,78%	5,02%	7,5%	3,5%
C	44,44%	39,10%	56,31%	38,17%	45%	85%
O	34,70%	34,70%	34,73%	35,28%	48%	9%
N	0,28%	0,18%	1,06%	0,58%	1%	1%
Kadar air	12,00%	8,20%	7,4%	10%	45%	6%
Abu	3,50%	13,20%	0,4%	10,40%	15%	15%
Nilai Kalor (kJ/kg)	16.900	14.204	21.300	12.330	17.445	31.400

Sumber: 1–4 Krongkaew *et al.* (2006); 5–6 Speight (2005)

air, tenaga surya, dan tenaga angin, yang kesemuanya merupakan energi baru dan terbarukan, harus berperan paling tidak 5% dalam mewujudkan bauran energi (primer) yang optimal pada tahun 2025. Namun, penjaminannya cenderung lebih banyak diarahkan kepada percepatan penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati, misalnya dalam bentuk minyak jarak, biodiesel, dan bioetanol melalui salah satu di antaranya program Desa Mandiri Energi. Demikian pula banyak perusahaan, baik swasta maupun BUMN, berlomba-lomba melakukan penganekaragaman energi ke arah produksi *biofuel* tersebut. Bahan bakar alternatif tersebut merupakan hasil pengolahan produk pertanian budi daya dan mungkin juga merupakan bahan baku pangan atau pakan sehingga harga bahan baku *biofuel* tersebut relatif mahal dan berpotensi memengaruhi keseimbangan harga komoditas lain misalnya minyak kelapa sawit, jagung, dan gula tebu.

Penggunaan *biofuel* dengan harga relatif mahal memang diarahkan pada substitusi bahan bakar untuk keperluan transportasi, sedangkan kebutuhan energi sektor produksi diperkirakan lebih sesuai menggunakan bahan bakar nabati dalam bentuk limbah organik padat (biomassa) untuk keperluan sumber panas dan listrik. Indonesia, sebagai negara agraris, berpotensi memiliki cadangan biomassa seperti sekam padi, janggol jagung, batok kelapa, dan batok sawit yang cukup besar. Potensi biomassa tersebut tersebar dengan konsentrasi kecil akibat sistem pertanian di Indonesia. Biomassa ini sebenarnya sudah dimanfaatkan pada kegiatan agribisnis terutama berskala besar, misalnya sabut dan cangkang sawit sebagai bahan bakar pada *steam power plant* di pabrik CPO, dan bagasse atau ampas tebu sebagai bahan bakar di pabrik gula. Di samping itu, pada awal tahun 2006 Pemerintah Indonesia telah mendirikan Badan Usaha Milik Petani (BUMP) yang melibatkan sejumlah BUMN terkait. Salah satu program BUMP adalah pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi melalui *steam power plant*. Pada umumnya, konversi biomassa menjadi energi yang telah dilakukan sektor industri melalui proses pembakaran langsung sehingga berpotensi menimbulkan polusi lingkungan maupun kehilangan sebagian kandungan energi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Peningkatan kebutuhan biomassa untuk penyediaan energi di sejumlah negara berkembang belum diimbangi dengan laju produksi biomassa karena terdapat sejumlah kendala atau hambatan. Bhattacharya *et al.* (2003) menggolongkan hambatan tersebut menjadi empat, yaitu 1) hambatan teknis, 2) hambatan finansial, 3) hambatan kelembagaan, dan 4) hambatan kebijakan. Hambatan teknis meliputi tingginya biaya investasi yang berkisar antara US\$381 sampai US\$1842 per hektar, produktifitas rendah, dan kurangnya pengalaman terhadap teknologi konversi biomassa baru. Hambatan keuangan berkaitan dengan tingginya biaya produksi yang dapat mencapai US\$23 setiap ton biomassa, kesulitan akses keuangan, dan tiadanya insentif atau subsidi. Hambatan kelembagaan disebabkan oleh kelemahan koordinasi antar lembaga pemerintah, tiadanya mekanisme interaksi dengan sektor swasta, tiadanya lembaga yang ditunjuk untuk promosi energi biomassa, dan kurangnya akses keahlian pada penanaman di lahan kurang subur. Hambatan politis menyangkut ketidakjelasan, tiada dukungan dan bias antar keputusan pemerintah, dan tidak adanya strategi matang atau skala prioritas pemanfaatan biomassa untuk energi.

2. Teknologi Gasifikasi Biomassa dan Perkembangannya

Proses konversi biomassa menjadi energi dapat ditempuh dengan beberapa cara, yaitu pirolisis, gasifikasi, dan pembakaran. Gasifikasi sebagai salah satu proses termal konversi biomassa menjadi energi menawarkan efisiensi tinggi dibanding proses pembakaran, sedangkan pirolisis dan likuifaksi saat ini masih dalam proses pengembangan lanjut (Bridgwater, 2003). Sekam padi dan janggel jagung merupakan biomassa yang lebih cocok untuk dijadikan sumber energi atau bahan kimia lainnya daripada sebagai sumber serat (Susanto, 2009).

Indonesia memiliki sumber energi terbarukan yang sangat potensial dan melimpah, namun pemanfaatannya masih sangat terbatas. Potensi tertinggi adalah energi matahari, menyusul kemudian energi biomassa dan panas bumi. Potensi biomassa Indonesia cukup besar, yaitu 49,81 GW, namun kapasitas terpasang baru sebesar 445 MW.

Dengan melihat potensi biomassa yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia maka proses gasifikasi merupakan pilihan cocok untuk produksi listrik dan atau panas secara lokal. Proses gasifikasi yang relatif mudah memberikan kemungkinan besar bagi kelompok tani, pengelola perkebunan, ataupun industri untuk memanfaatkan limbah biomassa guna pemenuhan kebutuhan panas atau listrik (Susanto, 2005).

Gasifikasi adalah suatu teknologi proses konversi bahan padat menjadi gas yang mudah terbakar. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan bakar padat, misalnya biomassa, batubara, dan arang. Gas yang dimaksud adalah gas-gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi yang memiliki komponen penyusun utama CO, CO₂, H₂, N₂, CH₄ dan sebagian kecil partikel padat, abu dan tar, melalui proses gasifikasi sekam padi berpotensi menjadi salah satu pilihan. Komposisi kimia tipikal gas sintesis hasil gasifikasi berbagai jenis biomassa tercantum pada Tabel 7.2.

Selanjutnya, gas sintesis tersebut dapat dipergunakan sebagai sumber bahan baku produksi bahan kimia lainnya (misalnya metanol dan hidrogen), sumber pemanas (di tungku industri, *boiler*, dan sistem

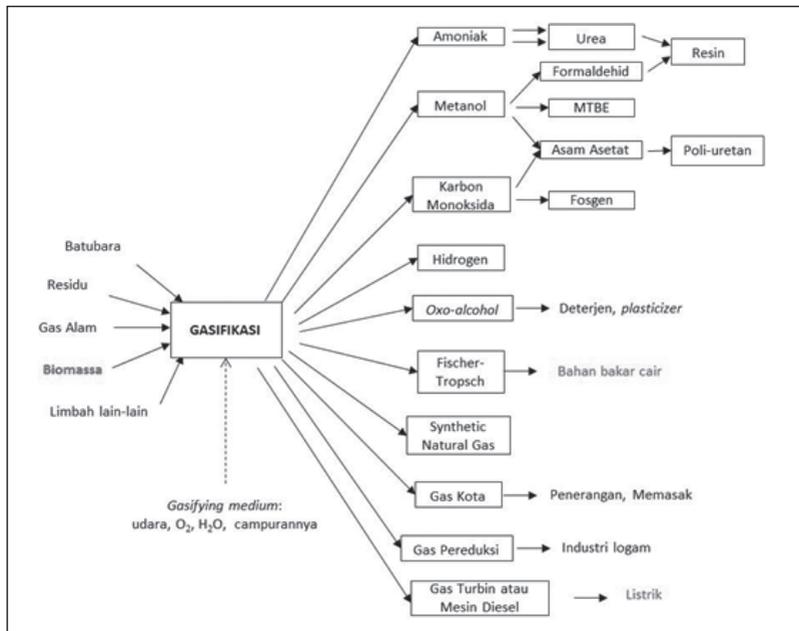
Tabel 7.2 Komposisi Kimia Tipikal Gas Sintesis Hasil Gasifikasi Beberapa Jenis Biomassa

Biomassa	Batok kelapa	Kayu karet	Batok sawit	Sekam padi	Janggel jagung
Bentuk	Pipih	Balok	pipih	jarum	Selinder
Ukuran, cm	2 x 2	2 x 2 x 5	2 x 1	1	5 – 10
Gas produser	komposisi (dasar kering), fraksi mol				
CO	25,0%	18,0%	20,4%	20,1%	21,0%
H ₂	12,0%	16,0%	11,1%	11,3%	15,2%
CH ₄	1,5%	1,8%	0,8%	1,8%	1,1%
CO ₂	10,0%	10,3%	9,8%	11,4%	13,7%
N ₂	51,5%	54,0%	57,9%	55,4%	49,1%
Panas pembakaran, kJ/Nm ³	4900	4600	4100	4350	4979

Sumber: Pengalaman ITB (1983–2008)

pengeringan produk pertanian) maupun sebagai sumber bahan bakar *internal combustion engine* (motor busi, motor diesel bahkan turbin gas stationer) setelah melalui serangkaian tahapan proses pendinginan dan pembersihan dari pengotor (Martinez *et al.*, 2012; Shuying *et al.*, 2001). Gambar 7.1 menunjukkan berbagai pemanfaatan gas hasil gasifikasi biomassa. Gasifikasi yang digabung dengan mesin diesel-genset menjanjikan pembangkitan listrik lebih efisien daripada pembakaran batu bara atau minyak berat lain (Arena *et al.*, 2010; McKendry, 2002; Pranolo *et al.*, 2009; Susanto, 2005; Wang *et al.*, 2008). Melalui proses gasifikasi, 4–8 kg biomassa mungkin dapat dimanfaatkan sebagai pengganti 1 liter bahan bakar minyak. Jika proses gasifikasi disambung dengan diesel-generator, 1–2,5 kg biomassa mungkin dapat menghasilkan 1 kWh listrik (Susanto, 2006).

Tingkat kebersihan gas sintesis sangat memengaruhi kinerja proses pemanfaatannya. Pengotor utama gas sintesis adalah tar yang



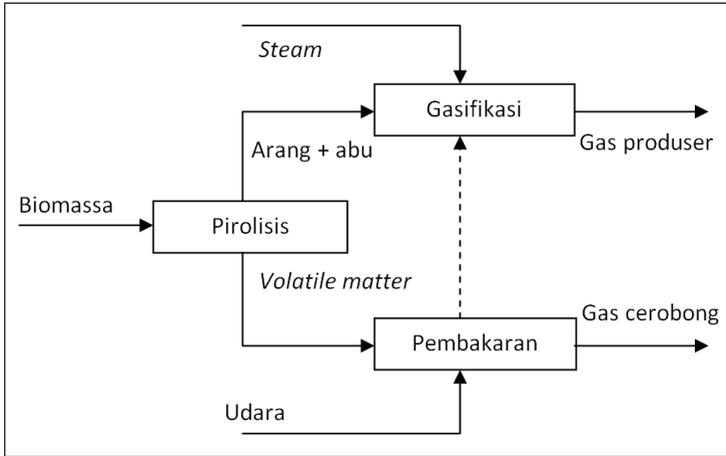
Gambar 7.1 Berbagai potensi pemanfaatan gas hasil gasifikasi biomassa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

terdiri atas senyawa hidrokarbon heterosiklis, aromatis, maupun poliaromatis seperti *phenol*, *toluene*, *styrene* dan *xylene*. Tar berpotensi mengakibatkan penyumbatan dan korosi pada peralatan proses di bagian hilir serta juga menimbulkan masalah lingkungan. Penyisihan tar dapat dilakukan secara primer, yaitu dengan mencegah semaksimal mungkin pembentukan tar melalui perancangan konfigurasi *gasifier* dan kondisi operasinya. Penyisihan juga dapat dilakukan secara sekunder, yaitu dengan pengurangan kadar tar yang telah terkandung di gas sintesis (van Paasen & Kiel, 2004).

Cara primer telah dilakukan dengan aplikasi konfigurasi reaktor dan pengaturan kondisi operasinya tetapi masih dalam skala kecil dan berupa model simulasi (Arena *et al.*, 2010; Iliuta *et al.*, 2010; Mansaray *et al.*, 2000; Nikoo dan Mahinpey, 2008; Pranolo dan Susanto, 2010). Kebersihan gas sintesis dapat dicapai melalui proses gasifikasi di reaktor jenis *multi-stage fixed bed* dengan penggunaan udara dan *steam* sebagai media penggasifikasi (Bhattacharya *et al.*, 2001; Henriksen *et al.*, 2006; Iliuta *et al.*, 2010; Pranolo dan Susanto, 2010). Reaktor jenis ini memisahkan tahapan reaksi pembangkitan panas, yaitu pembakaran dan tahapan reaksi konsumsi panas, yaitu karbonisasi dan gasifikasi (lihat Gambar 7.2). Jadi, tar hasil karbonisasi mudah dipisahkan dari arangnya dan selanjutnya sebagian arang digasifikasi dan sebagian lagi dibakar sebagai pemasok panas reaksi karbonisasi dan gasifikasi. Konfigurasi ini memberikan perolehan gas sintesis paling bersih karena secara praktis gasifikasi hanya dilakukan terhadap arang sekam padi, tetapi memerlukan pasokan panas tambahan. Pasokan ini dapat dipenuhi bila dilakukan penambahan umpan sekam padi segar secara langsung ke dalam reaktor pembakaran *volatile matter*.

Jenis *gasifier fluidized bed* dipergunakan bila diinginkan produktivitas gas tinggi, nilai kalor besar, dan efisiensi *gasifier* besar. Konfigurasi reaktor gasifikasi yang dapat meningkatkan kinerja operasi tersebut adalah dengan pemisahan antara tahapan pembangkitan panas sebagai akibat reaksi pembakaran dan tahapan konsumsi panas untuk reaksi karbonisasi dan gasifikasi. Pengembangannya diarahkan menuju penerapan konfigurasi yang memisahkan reaksi karbonisasi,



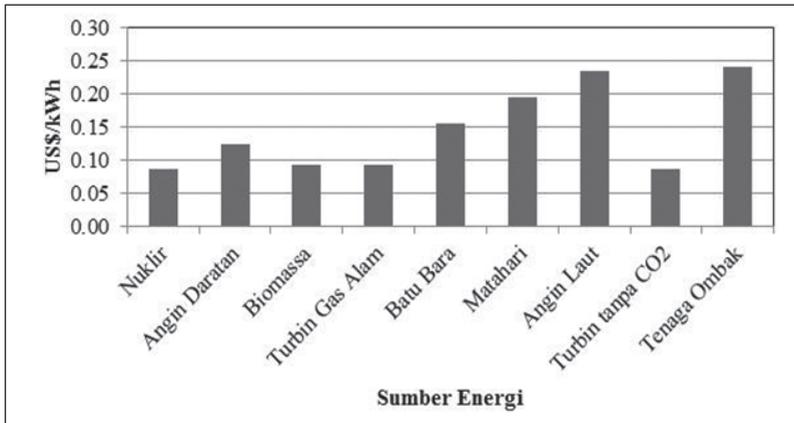
Gambar 7.2 Konfigurasi reaktor gasifikasi jenis *multi-stage fixed-bed*

pembakaran, dan gasifikasi sehingga dapat berlangsung pada saat bersamaan.

Cara sekunder misalnya melalui penyerapan tar menggunakan minyak (Wibowo & Susanto, 2009). Beberapa komponen tar terutama toluen dan fenol dapat terserap pada minyak tertentu sehingga dengan melakukan penggelembungan gas ke dalam minyak jenis tertentu maka tar dapat disisihkan. Setiap minyak bersifat selektif dalam penyerapan komponen tar sehingga cara ini cenderung menggunakan berbagai jenis minyak dalam satu sistem agar sebagian besar komponen tar tersisihkan.

Pembangkitan listrik melalui konversi biomassa menawarkan biaya produksi listrik relatif murah bila dibandingkan pembangkitan melalui cara lain sehingga harga jual listrik kepada konsumen diharapkan lebih murah (Gambar 7.3). Jadi, pembangkitan listrik yang berasal dari sumber energi terbarukan terutama biomassa menjadi suatu keniscayaan karena potensi biomassa di Indonesia relatif melimpah.

Teknologi gasifikasi sebenarnya bukan teknologi baru. Di masa Perang Dunia II, beberapa negara di Eropa dan Selandia Baru telah mengembangkan teknologi tersebut. Di Swedia misalnya, teknologi gasifikasi telah dikembangkan secara besar-besaran dan komersial



Sumber: UK Electricity Generation Costs Update

Gambar 7.3 Biaya produksi listrik dari berbagai sumber energi

pada waktu itu. Menjelang Perang Dunia II, kendaraan yang menggunakan bahan bakar gas sebagai hasil gasifikasi berjumlah sekitar 70.000 buah. Jumlah ini setara dengan 35% dari jumlah kendaraan yang ada di Swedia. Ketertarikan masyarakat pada penerapan teknologi gasifikasi dipengaruhi salah satunya oleh fluktuasi harga bahan bakar fosil. Saat harga bahan bakar fosil meningkat, teknologi gasifikasi diminati dan demikian pula sebaliknya.

Teknologi gasifikasi berpeluang meningkatkan nilai tambah biomassa melalui proses konversi biomassa menjadi gas sintesis (gas produser) bersih yang selanjutnya dapat dibakar untuk menghasilkan energi panas atau energi listrik. Di samping itu, gas tersebut berpotensi pula dimanfaatkan untuk menghasilkan bahan bakar cair (melalui proses *biomass to liquid* – BTL), hidrogen (H_2) atau bahan kimia lain. Gasifikasi menawarkan gabungan fleksibilitas, efisiensi, dan keramahan terhadap lingkungan yang kesemuanya penting dalam memenuhi kebutuhan energi di masa mendatang.

Perkembangan teknologi gasifikasi dimulai dengan skala kecil (sampai dengan 100 kWt) untuk berbagai keperluan domestik sejak sekitar satu abad yang lalu sampai dengan saat ini. Kurang lebih dua

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dekade terakhir ini, gasifikasi biomassa skala besar telah menarik perhatian karena terbukti secara komersial dapat menghasilkan energi dan sumber bahan baku berbagai bahan kimia. Skala besar diartikan sebagai proses gasifikasi yang mampu memanfaatkan biomassa dalam orde ton/hari dan menghasilkan energi setara dengan 10–20 MWt atau lebih.

Di Indonesia teknologi gasifikasi telah mulai dikembangkan oleh berbagai instansi, universitas maupun lembaga penelitian. Bahan baku gasifikasi berasal dari berbagai jenis. Tujuan pengembangannya di Indonesia lebih ditekankan untuk memenuhi kebutuhan energi khususnya di daerah terpencil (pedesaan, pemukiman transmigrasi, dan lain-lain). Di samping itu, teknologi ini dipandang dapat dipakai sebagai cara alternatif dalam penghematan energi.

Teknologi produksi gas sintesis melalui proses gasifikasi biomassa untuk pengganti sebagian bahan bakar minyak menawarkan pilihan pemenuhan kebutuhan tersebut. Gasifikasi yang digabung dengan mesin diesel-genset menjanjikan pembangkitan listrik lebih efisien daripada pembakaran batu bara atau minyak berat lain (Arena *et al.*, 2010; Pranolo *et al.*, 2009; Susanto, 2005; Wang *et al.*, 2008). Sejumlah 1,5 sampai dengan 2,5 kg biomassa setara dengan 0,25–0,30 liter solar yang dapat menghasilkan 1 kWh energi listrik.

Seperti telah diungkap sebelumnya, kebersihan gas sintesis terutama dari tar merupakan syarat utama bila akan dipakai sebagai pengganti sebagian bahan bakar minyak khususnya untuk keperluan mesin diesel-genset atau mesin bensin-genset. Tingkat kebersihannya akan berpengaruh terhadap kinerja dan keawetan mesin. Suhu gas tersebut dipersyaratkan kurang lebih 10°C di atas suhu ruang, partikel padatan berkisar 10–50 mg/Nm³ dan kandungan tar maksimum kira-kira 10–50 mg/Nm³ (Milne *et al.*, 1998).

Walaupun secara neraca massa dan energi proses gasifikasi biomassa memberi prospek penghematan sumber energi konvensional, tetapi masih terdapat kendala yang harus dihadapi terutama dalam upaya pemasaratarannya. Sebagai contoh, pengoperasian

sistem gasifikasi memerlukan perhatian penuh operator sehingga masyarakat cenderung enggan menerima teknologi yang dirasa relatif “kurang nyaman” dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak. Kendala lain adalah perlunya investasi unit gasifikasi sebelum mendapat keuntungan atau penghematan biaya operasi. Dengan demikian, diperlukan upaya-upaya gigih untuk menjadikan teknologi gasifikasi sebagai teknik konversi sumber energi alternatif di Indonesia. Peluang ini sangat besar mengingat teknologi gasifikasi saat ini telah berkembang cukup baik dan sumber daya Indonesia yang cukup menjamin ketersediaan bahan baku.

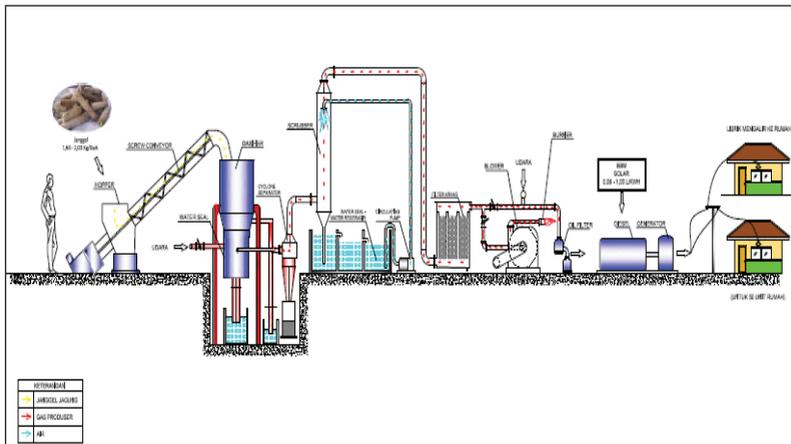
3. Pemanfaatan Teknologi Gasifikasi Biomassa untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Daerah Terpencil di Indonesia

Sejumlah pembangkit listrik berbasis biomassa seperti pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar kayu atau campuran biomassa dan batu bara (*co-firing*), *biomass integrated gasification combined cycle* (BIGCC), mesin Stirling, dan sebagainya telah tersedia dan diterapkan di sejumlah negara. Dengan teknologi BIGCC yang memiliki efisiensi 42%, 1 ton kayu kering yang memiliki nilai kalor pembakaran sebesar 15 GJ/ton berpotensi membangkitkan listrik 1,75 MWh. Sementara itu, bila menggunakan siklus Rankine hanya terbangkitkan sebesar 1,0 MWh (Bhattacharya *et al.*, 2003).

Permasalahan akses energi listrik masyarakat Indonesia yang terdiri atas sekitar 17.000 pulau menjadi lebih rumit, bahkan termasuk pula di kelima pulau besar Indonesia. Walaupun demikian, dapat dikatakan bahwa di setiap pulau berpenghuni dapat dipastikan terdapat biomassa dengan jenis sesuai karakteristiknya masing-masing. Sejumlah survei potensi biomassa telah dilakukan oleh Tim Gasifikasi Biomassa Teknik Kimia UNS dan Teknik Kimia ITB sejak tahun 2008. Sebagai contoh, di Kabupaten Blora Provinsi Jawa Tengah, pada tahun 2009 terdapat sekitar 3.384 kepala keluarga (KK) yang tersebar di 46 Dusun, di 35 Desa, dan di 14 Kecamatan belum

memiliki jaringan listrik. Hanya Kecamatan Cepu dan Kota Blora yang semua penduduknya sudah memiliki jaringan listrik. Di sisi lain, daerah tersebut memiliki potensi biomassa misalnya tongkol jagung yang bila dikonversi menjadi energi listrik melalui gasifikasi dapat diperoleh kurang lebih 8,6 MW.

Contoh lain adalah di Kecamatan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah yang memiliki 27 pulau dan hanya 5 pulau berpenghuni. Sampai saat ini, masyarakatnya memperoleh akses listrik dari pembangkit listrik tenaga diesel dengan harga Rp2.500,-/ kWh dan hanya beroperasi selama sekitar 12 jam pada malam hari. Selain itu, pasokan bahan bakar minyak masih berasal dari Pulau Jawa dan sangat dipengaruhi oleh cuaca. Jadi, ketahanan energi di daerah tersebut cukup rendah. Daerah ini sebenarnya memiliki potensi biomassa sebagai hasil perkebunan kelapa untuk keperluan pembangkit listrik berbasis gasifikasi, yaitu batok kelapa, sabut kelapa maupun pelepah daun kelapa. Akan tetapi, potensi tersebut belum dimanfaatkan karena petani menjual hasil buah kelapa secara utuh keluar pulau sehingga praktis tidak meninggalkan batok kelapa. Sabut kelapa oleh penduduk lebih banyak dipergunakan untuk keperluan sumber panas,



Gambar 7.4 Alur proses pembangkit listrik tenaga diesel–gasifikasi tongkol jagung (kapasitas 60 kVA) di Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sedangkan pelepah daun kelapa cenderung dibuang begitu saja setelah diambil daunnya. Kabupaten Tanah Laut di Provinsi Kalimantan Selatan menghasilkan 70.000 ton jagung panen atau setara dengan produksi 35.000 ton janggel jagung selama satu tahun dalam dua kali musim panen. Apabila 1,2–2,0 kg janggel jagung mampu membangkitkan 1 kWe maka potensi ketersediaan energi listrik paling tidak sebesar sebesar 17.500 MW. PT Perkebunan Nusantara XIII (Persero) bersama-sama dengan Tim Gasifikasi Biomassa Teknik Kimia ITB dan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret (UNS) telah mendirikan *pilot project* pembangkit listrik tenaga diesel berbasis gasifikasi tongkol jagung kapasitas terpasang 60 kVA untuk keperluan tenaga pemetik kelapa sawit (Gambar 7.4). Uji coba menunjukkan bahwa tercapai penghematan pemakaian solar spesifik sebesar kurang lebih 46%.

Di Provinsi Riau terdapat pula sumber biomassa sebagai hasil samping industri perkebunan kelapa sawit, yaitu tandang kosong sawit, cangkang sawit, dan serabut sawit yang terkumpul di pabrik penghasil minyak kelapa sawit serta pelepah daun kelapa sawit yang tertinggal di kebun. Produktivitas biomassa dan nilai kalornya tersebut tercantum pada Tabel 7.4. Potensinya selama setahun sejumlah 28 juta ton yang dapat menghasilkan listrik 2,3 GWh. Produksi sebanyak itu mampu mencukupi keperluan energi listrik seluruh Provinsi Riau.

Pada tahun 2010 dan 2011, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral – Republik Indonesia bekerja sama dengan Tim Gasifikasi Biomassa Teknik Kimia ITB dan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret (UNS) telah mendirikan lima unit Pembangkit Listrik Tenaga Diesel – Gasifikasi Pelepah Sawit di Provinsi Riau berkapasi-

Tabel 7.4 Produktifitas Biomassa Hasil Samping Industri Perkebunan Kelapa Sawit

No.	Biomassa Sawit	Ton/ha	Nilai kalor (MJ/kg)
1	Tempurung	1,2	16,8
2	Serabut	4,3	13,3
3	Tandan Kosong KS	5,2	12,9
4	Pelepah sawit	6,2	12,3

tas terpasang 100 atau 120 kVA per unit. Uji coba awal menunjukkan kinerja pembangkit dalam penghematan solar dapat mencapai kurang lebih 80%. Tetapi, saat ini sebanyak tiga unit tidak dioperasikan karena telah tersedia jaringan listrik dari PLN dan sebuah unit tidak dioperasikan karena terbatasnya air untuk pembersih dan pendingin gas. Satu unit berkapasitas 100 kVA yang tetap dioperasikan terletak di Kabupaten Siak Sri Indrapura (Gambar 7.5). Unit ini dapat beroperasi selama empat jam berturut-turut pada beban kurang lebih 80 kW dengan konsumsi pelepah sawit spesifik sebanyak sekitar 1,08 kg/kWh. Penghematan biaya bahan bakar minyak pada kondisi ini sebesar Rp904/kWh. Keberhasilan operasi ini didukung juga antara lain oleh antusiasme pengelola dan dukungan pemerintah desa setempat. Unit ini dapat dipergunakan sebagai model implementasi biomassa untuk listrik pedesaan di masa mendatang.

Pulau Sumba di Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki program sebagai *Iconic Island*, yaitu sebuah pulau dengan kemandirian energi baru dan terbarukan, termasuk sumber energi dari biomassa.



Sumber: penulis

Gambar 7.5 Unit pembangkit listrik tenaga diesel–gasifikasi pelepah sawit 100 kVA di Kabupaten Siak Sri Indrapura

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber biomassa pulau ini antara lain tanaman lamtoro dan sekam padi khususnya di Kabupaten Sumba Timur. Sekam padi hanya terdapat di daerah yang terbatas karena memang kondisi geografis setempat. Selain itu, banyak pula terdapat pohon gamal (*Gliricidia sepium*) yang berfungsi sebagai tanaman penghijauan dan mahoni serta johar yang dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi bangunan. Sebagai salah satu pendukung kesuksesan program tersebut, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral–Republik Indonesia bermaksud mendirikan sebuah pembangkit listrik berbasis gasifikasi sekam padi pada tahun 2013. Kapasitas terpasang unit yang akan didirikan tersebut adalah 50 kVA dengan harapan dapat memberikan akses listrik kepada sekitar 50 rumah.

D. Penutup

Sejumlah negara berkembang maupun negara maju telah menerapkan teknologi gasifikasi biomassa yang digabung dengan pembangkit listrik untuk daerah terpencil dengan cukup berhasil. Sistem pembangkitan listrik yang digunakan, terutama berupa mesin diesel-genset dan mesin gas-genset. Selain dipergunakan untuk pembangkitan listrik, teknologi gasifikasi tersebut dipergunakan juga sebagai penyedia panas untuk keperluan rumah tangga.

Salah satu negara tersebut adalah India yang memiliki potensi pembangkitan listrik dari berbagai jenis sumber energi terbarukan sebesar 85 GW. Pembangkit listrik berbasis gasifikasi biomassa memberi kontribusi sebesar 20 GW. Sistem ini berhasil memperlihatkan keberhasilannya dalam pemenuhan energi listrik secara desentralisasi di daerah pedesaan dan pedusunan kecil di India. Keberhasilan ini didukung oleh potensi besar ketersediaan biomassa di seluruh negara dengan harga murah sepanjang tahun, kehandalan teknologi gasifikasi biomassa untuk pembangkit listrik skala kecil, kemudahan instalasi dan pengoperasian peralatan serta kemanfaatan secara sosial dan lingkungan (Buragohain *et al.*, 2010).

Di Cina, teknologi gasifikasi biomassa selain diterapkan untuk pembangkitan listrik juga dipergunakan untuk sumber panas proses pemasakan di rumah tangga. Shuying *et al.* (2001) menyimpulkan bahwa dukungan pemerintah lokal, baik kabupaten maupun provinsi seperti di Provinsi Jilin sangat menentukan keberhasilan operasi. Strategi komersialisasi dan perencanaan bisnis harus didorong untuk pengembangan lebih lanjut di provinsi-provinsi lain. Kunci keberhasilannya terletak pada kehandalan teknologi gasifikasi yang menghasilkan gas produser bebas tar. Demikian pula di Kuba yang sebagian penduduknya juga tinggal di daerah pedesaan dan belum memiliki fasilitas listrik. Pengembangan teknologi gasifikasi biomassa sebagai sumber energi diarahkan untuk keperluan panas dan listrik (*Combined Heat and Power-CHP*) khususnya untuk daerah terisolasi (Jimenez *et al.*, 2012).

Persyaratan pendukung penting yang perlu dipertimbangkan dan disiapkan dalam pendirian sebuah pembangkit listrik berbasis gasifikasi biomassa untuk suatu daerah terpencil, selain jaminan ketersediaan bahan baku biomassa dan unit pembangkit listrik, adalah:

- 1) Terdapat konsumen listrik yang relatif berdekatan satu dengan lainnya,
- 2) Belum tersedia jaringan listrik dari PLN dalam waktu relatif dekat,
- 3) Ketersediaan air sebagai sarana utilitas, baik di musim hujan maupun kemarau,
- 4) Sistem distribusi/jaringan listrik,
- 5) Sistem pengolahan limbah cair,
- 6) Sistem manajemen (pengelolaan, pengoperasian, dan perawatan),
- 7) Kemampuan bengkel setempat dalam hal pabrikasi dan perawatan alat,
- 8) Ketersediaan suku cadang mesin,
- 9) Keterjaminan pasokan solar,
- 10) Keterampilan operator,
- 11) Tanggapan dan kepedulian pemerintah setempat.

Sejumlah tindakan perlu direncanakan untuk peningkatan penggunaan sumber biomassa sebagai sumber energi, antara lain (Buragohain *et al.*, 2010):

- 1) Perancangan dan pabrikasi reaktor gasifikasi biomassa berharga kompetitif yang digabung dengan mesin gas-genset yang kompak,
- 2) Pemanfaatan produksi listrik dari pembangkit listrik berbasis gasifikasi biomassa untuk keperluan komersial atau aktifitas perekonomian lainnya,
- 3) Pemberian dorongan terhadap lembaga kemasyarakatan setempat untuk berperan sebagai perusahaan penyedia jasa yang bertanggungjawab terhadap pengoperasian dan perawatan unit gasifikasi,
- 4) Pelibatan masyarakat secara individu untuk penyediaan bahan baku biomassa sehingga memberikan pendapatan tambahan,
- 5) Perencanaan subsidi untuk biaya investasi dan operasi unit pembangkit listrik berbasis gasifikasi biomassa.

Daftar Pustaka

- Arena, U., Di Gregorio, F., & Santonastasi, M. (2010). A Techno-Economic Comparison between Two Design Configurations for a Small Scale, Biomass-to-Energy Gasification Based System. *Chemical Engineering Journal*, 162 (2), 580–590.
- Bhattacharya, S.C., Abdul Salam, P., Pham, H.L., & Ravindranath, N.H. (2003). Sustainable Biomass Production for Energy in Selected Asian Countries. *Biomass and Bioenergy*, 25, 471–482.
- Bhattacharya, S.C., Hla, S.S., & Pham, H.L. (2001). A Study on a Multi-Stage Hybrid Gasifier-Engine System. *Biomass and Bioenergy*, 21, 445–460.
- Bridgwater, A.V. (2003). Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass. *Chemical Engineering Journal* 91 (2–3), 87–102.
- Buragohain, B., Mahanta, P., & Moholkar, V.S. (2010). Biomass Gasification for Decentralized Power Generation: The Indian Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 73–92.

- Han, J., Mol, A.P.J., Lu, Y., & Zhang, L. (2008). Small-Scale Bioenergy Projects in Rural China: Lessons to be Learnt. *Energy Policy*, 36, 2154–2162.
- Henriksen, U., Ahrenfeldt, J., Jensen, T.R., Gøbel, B., Bentzen, J.D., Hindsgaul, C., & Sørensen, L.H. (2006). The Design, Construction and Operation of a 75 kW Two-Stage Gasifier. *Energy*, 31, 1542–1513
- Iliuta, I., Leclerc, A., & Larachi, F. (2010). Allothermal Steam Gasification of Biomass in Cyclic Multi-Compartment Bubbling Fluidized-Bed Gasifier/Combustor-New Reactor Concept. *Bioresource Technology*, 101, 3.194–3.208.
- Jimenez, O., Curbelo, A., & Suarez, Y. (2012). Biomass Based Gasifier for Providing Electricity and Thermal Energy to Off-Grid Locations in Cuba. *Conceptual design, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 98–102.
- Krongkaew, L., Heil, J., & Wirtgen, C. (2006). The Production of Synthetic Diesel from Biomass, KMITL, Science Technology Journal Vol. 6 No. 1, pp 35–45
- Kusdiana, D. (2008). Kondisi Riil Kebutuhan Energi di Indonesia dan Sumber-Sumber Energi Alternatif Terbarukan. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Mansaray K.G., Al-Tawell, A.M., Ghaly, A.E., Hamdullahpur, F., & Ugursal, V.I. (2000). Mathematical Modelling of a Fluidized Bedrice Husk Gasifier. Part II Model Sensitivity. *Energy Sources* 22: 167–185.
- Martinez, J.D., Mahkamov, K., Andrade, R.V., & Silva Lora, E.E. (2012). Syngas Production in Downdraft Biomass Gasifiers and Its Application Using Internal Combustion Engines. *Renewable Energy*, 38, 1–9.
- McKendry, P. (2002). Energy Production from Biomass (Part 1): Overview of Biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37–46.
- McKendry, P. (2002). Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies, *Bioresource Technology*, 83, 47–54.
- McKendry, P. (2002). Energy Production from Biomass (Part 3): Gasification Technologies, *Bioresource Technology*, 83, 55–63.
- Milne et al. (1998). Biogas Gasification “Tars”: Their Nature, Formation and Conversion. Colorado: National Renewable Energy Laboratory Golden.
- Nikoo, M.B. & Mahinpey, N. (2008). Simulation of Biomass Gasification in Fluidized Bed Reactor Using ASPEN PLUS. *Biomass Bioenergy* 32: 1.245–1.254
- Pranolo, S.H., Argasatya, G.H., & Susanto, H. (2010). Evaluasi Operasional PLTD-Janggel Jagung 40 kW di PT Perkebunan Nusantara XIII Kebun Pelaihari, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan

- Selatan, *Prosiding pada Seminar Nasional Energi Terbarukan I*, LPPM Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
- Pranolo, S.H. & Susanto, H. (2010). Kajian Termodinamika Konfigurasi Reaktor Gasifikasi untuk Menghasilkan Gas Sintesis. *Prosiding Seminar Nasional Saebadjo Brothobardjono VII – UPN Veteran*, Surabaya.
- Pranolo, S.H. & Susanto, H. (2010). Potensi Penerapan Teknologi Gasifikasi Tongkol Jagung sebagai Sumber Energi Alternatif di Pedesaan. *Prosiding pada Seminar Nasional Energi Terbarukan I*, LPPM Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
- Pranolo, S.H., Susanto, H., & Nurlaela, I. (2009). Kajian Pemanfaatan Janggal Jagung sebagai Sumber Energi PLTD-Gasifikasi di Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut – Kalimantan Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan*, UPN Veteran, Yogyakarta.
- Shuying, L., Guocai, W., & DeLaquil, P. (2001). Biomass Gasification for Combined Heat and Power in Jilin Province, People's Republic of China. *Energy for Sustainable Development*, 5 (1), 47–53.
- Speight, J.G. (2005). *Handbook of Coal Analysis*. John Wiley & Sons Inc.
- Susanto, H. (2005). Pengujian PLTD-Gasifikasi Sekam 100 kW di Haurgeulis, Indramayu. *Laporan Akhir*, Departemen Teknik Kimia, FTI-ITB, Bandung.
- Susanto H. (2006). Peluang Gasifikasi Biomassa dalam Program Diversifikasi Sumber Energi. *Presentasi Badan Kejuruan Kimia*. Persatuan Insinyur Indonesia. Yogyakarta.
- Susanto H. (2009). Pengembangan Proses Pemanfaatan Limbah Pertanian dan Perkebunan sebagai Sumber Energi dan Bahan Kimia. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” 2009*. UPN V Yogyakarta
- Teske, S., Prasetya, S., & Indrawan, B. (2007). *Global Energy Revolution – A Sustainable Indonesia Energy Outlook*. Greenpeace International and European Renewable Energy Council.
- van Paasen, S.V.B. & Kiel, J.H.A. (2004). Tar Formation in a Fluidised-Bed Gasifier: Impact of Fuel Properties and Operating Conditions. *Report of ECN No. ECN-C--04-013*.
- Wang, L., Weller, C.L., Jones, D.D., & Hanna, M.A. (2008). Contemporary Issues in Thermal Gasification of Biomass and Its Application to Electricity and Fuel Production. *Biomass and Bioenergy*, 32, 573–581.
- Wibowo, W.A. & Susanto, H. (2009). Transfer Massa Gas-Cair pada Proses Absorpsi Komponen Tar dalam Minyak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, ITB, Bandung.

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI BIOGAS DI INDONESIA

Purnama Alamsyah

A. Pendahuluan

Permintaan terhadap energi untuk memenuhi pertumbuhan ekonomi di Indonesia terus berkembang dari tahun ke tahun. Sumber energi konvensional yang berasal dari bahan bakar fosil menjadi sumber energi yang paling penting, tetapi ketersediaannya terbatas. Energi merupakan salah satu isu yang paling sensitif di Indonesia. Krisis energi akan menjadi kendala utama bagi pembangunan ekonomi Indonesia masa depan. Di samping itu, sektor energi merupakan sumber utama gas rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global. Pasokan energi konvensional yang tidak pasti serta efeknya yang tidak diinginkan terhadap lingkungan mendesak Indonesia dan negara berkembang lainnya melakukan pengembangan dan melaksanakan program konservasi energi yang bisa diadopsi secara luas.

Di antara berbagai jenis sumber energi alternatif, produk yang diturunkan dari biomassa tampaknya menjadi salah satu pilihan utama yang menjanjikan. Bahan bakar yang berbasis biomassa memiliki posisi dan peran penting karena potensi mereka yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar berbasis minyak bumi. Gagasan menggunakan bahan bakar berbasis biomassa, seperti biogas dan biodiesel menjadi perhatian yang besar terutama di negara-negara yang memiliki sumber daya biomassa yang berlimpah seperti Indonesia. Pemanfaatan bahan bakar dari biomassa dapat mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi dan mengurangi tekanan terhadap

Buku ini tidak diperjualbelikan.

emisi gas rumah kaca (Udomsri *et al.*, 2011). Salah satu bahan bakar yang berasal dari biomassa adalah biogas yang memiliki potensi besar dalam penyediaan energi di wilayah pedesaan dan juga mengurangi pencemaran udara dan air akibat limbah ternak dan manusia. Biogas dapat diproduksi secara lokal dari beberapa bahan biomassa seperti kotoran hewan.

Biogas dihasilkan dari material organik dalam kondisi anaerobik. Bahan baku untuk pembangkit atau *digester* biogas antara lain kotoran sapi, kotoran unggas, kotoran babi, kotoran manusia, sampah dapur, rumput dan algae. Negara-negara yang bertumpu pada pertanian untuk pertumbuhan ekonomi menjadikan biogas sebagai salah satu energi alternatif di samping bahan bakar kayu dan berguna sebagai bahan bakar untuk memasak dan penerangan. Dengan meningkatnya harga minyak, resiko kesehatan yang tinggi terkait penggunaan bahan bakar kayu yang tidak berkelanjutan dan dampaknya terhadap kesehatan menjadikan biogas sebagai salah satu alternatif untuk menyelesaikan permasalahan tersebut (Ding *et al.*, 2012; Aggarangsi *et al.*, 2008).

Meskipun Teknologi biogas dikenal di banyak negara termasuk Indonesia, namun pada kenyataannya kehadirannya selalu dianggap baru. Padahal, di beberapa negara seperti Cina, Nepal, dan India penggunaannya sudah bersifat masif. Teknologi biogas merupakan teknologi yang sudah terbukti dan dibangun di banyak belahan dunia, khususnya Asia. Beberapa negara di Asia telah memulai program skala besar biogas domestik atau rumahan seperti Cina (sekitar 35 juta unit pada 2009), India (sekitar 4,5 juta unit pada 2009), Nepal (lebih dari 215.000 unit pada tahun 2009), dan Vietnam (lebih dari 80.000 unit pada tahun 2009) (Ghimire, 2013). Teknologi biogas digunakan sebagai alat ampuh untuk mengatasi polusi udara dan air, deforestasi, dan perubahan iklim. Biogas merupakan bahan bakar bersih tanpa meninggalkan jelaga atau zat berbahaya ke lingkungan serta lebih sedikit karbondioksida yang dilepaskan ke atmosfer selama pembakaran. Teknologi biogas telah membantu beberapa negara berkembang, seperti Vietnam dalam mengurangi kemiskinan dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mendukung pembangunan yang berkelanjutan (Teune, 2007). Biogas juga sangat cocok untuk daerah pedesaan dan daerah-daerah terpencil di mana infrastruktur energi masih lemah.

B. Latar Belakang Sejarah Biogas di Indonesia

Perkembangan teknologi biogas di Indonesia tidak bisa dilepaskan dari perkembangan teknologi biogas di negara-negara berkembang lainnya di Asia dan Afrika. Pada periode 1960–1970, beberapa individu mencoba mempromosikan *digester* biogas di kawasan pedesaan negara-negara tropis, seperti Nepal, Pakistan, Bangladesh, Thailand Papua Nugini, Filipina, Kepulauan Fiji, Mesir, Uganda, Tanzania, Ethiopia, Zambia, Nigeria, Meksiko, dan Brazil. Dimulai pada tahun 1975, sejumlah negara khususnya di Asia Tenggara, mulai memperhatikan teknologi biogas (van Brakel, 1980). Tipe *digester* yang digunakan biasanya berukuran kecil dan menggunakan kotoran hewan sebagai sumber energi (Bond & Templeton, 2011). Pada periode ini, pengembangan biogas mendapat momentum yang tepat dikarenakan harga minyak yang tinggi sehingga memotivasi banyak pihak untuk melakukan penelitian dan pengembangan mengenai sumber energi alternatif seperti biogas (Ni & Nyns, 1996).

Pada tahun 1970-an, dilakukan percobaan *digester* biogas dengan menggunakan drum minyak di Denpasar, Bali. Pada periode ini juga, ITB mengembangkan *digester* biogas berukuran 1 x 2 x 0,95 m di kawasan Lembang, Jawa Barat. Mereka menggunakan dua drum minyak yang masing-masing berisi 200 liter, yang satu digunakan sebagai *digester* biogas dan yang lainnya sebagai tabung gas. *Digester* biogas yang dibangun oleh ITB tersebut memiliki jendela kaca agar memungkinkan pengamatan dalam proses anaerobik serta dirancang mudah dipindahkan supaya mudah dibersihkan. Materialnya yang berasal dari besi menyebabkan cepat sekali terjadi korosi, yang kemudian mengakibatkan usia *digester* biogas tersebut tidak bertahan lama (Barnet *et al.*, 1978; SNV, 2009). Hal yang serupa dilakukan IPB

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dengan mengembangkan program biogas berbasis limbah pertanian berupa 31 juta ton tongkol jagung dan jerami (Barnet *et al.*, 1978).

Merujuk pada Ishizuka dkk. (1995) dan SNV (2009), implementasi program biogas juga telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui promosi teknologi biogas. seperti instalasi *digester* biogas dan pelatihan bagi peternak untuk mengoperasikan biogas. Dengan dukungan dari FAO, Kementerian Pertanian memulai pembangunan *digester* biogas tipe *fixed dome* di beberapa provinsi yang dimulai pada tahun 1981. Sekitar 100-200 *digester* biogas dibangun dengan skema hibah. Namun demikian, pertumbuhan *digester* biogas tidak signifikan. Pada tahun 1989, jumlah *digester* biogas hanya meningkat menjadi 350 unit *digester* biogas. Salah satu alasan kenapa pertumbuhan *digester* biogas pada periode ini tidak signifikan ialah biaya instalasi *digester* biogas yang mahal dan juga harga minyak tanah yang lebih murah karena memperoleh subsidi dari pemerintah.

Pada tahun 1989, pemerintah Jerman mensponsori proyek Integrated Rural Development Project (IRDP) di Indonesia. Dalam implementasinya, proyek ini dilakukan oleh Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), salah satu konsultan dari Jerman, dan Lembaga Pengembangan Teknologi Pedesaan (LPTP), yang didirikan pada tahun 1979 sebagai organisasi pengembangan dan diseminasi teknologi tepat guna seperti biogas. Melalui proyek IRDP ini, LPTP dan BORDA melakukan kajian mengenai implementasi biogas di kawasan Boyolali, kawasan sapi perah di Jawa Tengah. Hasil kajian menunjukkan bahwa tidak ada satu pun *digester* biogas hasil hibah program pemerintah yang berjalan dikarenakan kerusakan serius dalam sistem yang dibangun. Akibatnya, staf proyek dan peternak dihadapkan dengan skeptisisme dan kurangnya minat dari pegawai pemerintah daerah dan peternak untuk membangun *digester* biogas kembali (ISAT/GTZ, 1999).

Pada tahun 1990, LPTP dan BORDA memulai pembangunan *digester* biogas bertipe *fixed dome*. Pada tahap pertama dibangun 25 *digester* biogas dengan skema pembiayaan hibah untuk para peternak

yang kemudian pada tahap berikutnya biaya pembangunan biogas ditanggung oleh peternak sepenuhnya. Pada pertengahan 1992 telah terbangun 58 *digester* biogas yang kemudian disusul 27 buah *digester* biogas di akhir tahun 1992 yang juga termasuk di dalamnya *digester* biogas skala besar berukuran 93 m³ yang dibangun untuk perusahaan pengolahan daging. LPTP membangun lebih dari 200 *digester* biogas di kawasan Boyolali dan sekitar 100 *digester* biogas di Kalimantan, Nusa Tenggara Barat, Aceh, dan kawasan lain di Jawa Tengah. Hampir setengah dari *digester* biogas yang dibangun LPTP, yaitu sekitar 150 unit dibiayai sendiri oleh para peternak (ISAT/GTZ, 1999; SNV, 2009).

Tipe *digester* yang ditawarkan oleh LPTP dan BORDA dalam proyek IRDP ini merupakan *digester* biogas bertipe *fixed dome* yang merupakan adopsi *digester* yang dibuat oleh CARMATEC dari Tanzania. Ukuran *digester* biogas bervariasi, mulai dari 6 m³, 9 m³, 13 m³ sampai 18 m³. *Digester* ini disesuaikan dengan kondisi geografis Jawa dan Indonesia. Selain itu, untuk merubah persepsi bahwa biogas tidak tahan lama, LPTP dan pemerintah daerah mengadakan konferensi nasional mengenai biogas pada tahun 1992 dengan lebih dari 100 peserta. Dalam proyek biogas ini telah diperkenalkan penggunaan bioslurry sebagai pupuk organik dari limbah biogas (ISAT/GTZ, 1999).

Di provinsi Jawa Timur, Koperasi Agroniaga Jabung melakukan percobaan membangun *digester* biogas tipe *fixed dome* untuk kebutuhan memasak di Jabung, Malang pada tahun 2002. Di akhir tahun 2006, sekitar 50 unit *digester* biogas telah dibangun dengan biaya yang ditanggung sepenuhnya oleh para petani di kawasan tersebut. Di kawasan Tutur, Pasuruan, para peternak yang difasilitasi Koperasi Setia Kawan, ILO, dan Laboratorium Agribisnis Prima Tani membangun sekitar 70 *digester* biogas yang terdiri atas dua tipe *fixed dome* dan sisanya menggunakan tabung plastik sebagai tabung gas (SNV, 2009).

Penelitian dalam teknologi biogas dilakukan oleh pusat penelitian dan perguruan tinggi di Indonesia. Bahan baku yang digunakan un-

tuk memproduksi biogas berasal dari limbah pertanian, mulai dari kotoran ternak hingga limbah singkong padat, eceng gondok, dan lain-lain. Pada tahun 1989, Pusat Penelitian Kimia LIPI melakukan penelitian mengenai teknologi biogas menggunakan limbah singkong. Hal ini untuk menjawab permasalahan meningkatnya jumlah limbah singkong setelah panen besar singkong yang menghasilkan 536 ton limbah singkong per tahun (Ishizuka *et al.*, 1995). Tipe *digester* biogas yang dikembangkan oleh LIPI hingga sekarang adalah *floating* drum dan *fixed dome*. Pada periode 2002 hingga 2004, ITB dan Universitas Padjadjaran mengembangkan dan meng-install *digester* tabung plastik di Pangalengan, Bandung. Mereka menggunakan dua tabung plastik untuk keperluan energi keluarga yang terdiri dari lima orang; satu digunakan sebagai *digester* dan yang lainnya digunakan sebagai tabung gas (SNV, 2009).

Sejak tahun 2009, Kementerian Pertanian dan beberapa pemerintah daerah di Indonesia menjadi aktor utama dalam mengimplemantasikan dan mendiseminasikan *digester* biogas di Indonesia melalui program Biogas Asal Ternak Bersama Masyarakat (Batamas) dan Program Bio-Energi Perdesaan (BEP). Terdapat tiga tipe *digester* biogas yang diperkenalkan, yaitu *fixed dome* untuk penggunaan komunal (ukuran 10 m³, 25 m³, 50 m³, dan 100 m³), *plastic bag* (9 m³) dan *glassfibre fixed dome* (5–10 m³) untuk keperluan rumah tangga. Di akhir tahun 2007, telah dibangun 996 unit untuk keperluan 1.693 keluarga di 121 wilayah yang terdapat di 26 provinsi. Batamas menggunakan dana APBN Direktorat Jenderal Peternakan, Kementerian Pertanian. Biaya yang digunakan untuk membangun satu unit *digester* biogas berukuran 5 m³ membutuhkan Rp20 juta (Wahyuni, 2008; SNV, 2009).

Sama seperti Batamas, Program Bio-Energi Perdesaan (BEP) merupakan program dari Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian (PPHP). BEP merupakan suatu program yang mengupayakan pemenuhan energi secara swadaya oleh masyarakat, khususnya di perdesaan termasuk termasuk bagi masyarakat di desa-desa terpencil seperti di daerah

pedalaman dan kepulauan. Dirjen PPHP mengalokasikan anggaran untuk memfasilitasi pelaksanaan kegiatan implementasi biogas sebagai proyek percontohan bagi masyarakat di berbagai sentra peternakan sapi. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan dan mendorong swadaya masyarakat dalam penyediaan dan penggunaan biogas bagi keperluan rumah tangga termasuk untuk kegiatan usaha industri rumah tangga, khususnya di perdesaan. Pada tahun 2010, Dirjen PPHP memberikan bantuan berupa *digester* biogas skala rumah tangga kepada para petani peternak di sembilan lokasi (kabupaten/kota) yang mempunyai sentra produksi sapi perah/potong dan ternak babi. Tiap kabupaten/kota mendapatkan proyek percontohan biogas antara 2 sampai 10 unit tergantung pada luasnya lahan peternak sapi. Hal ini dilakukan dalam rangka meminimalkan limbah kotoran ternak yang mencemari lingkungan dan dijadikan alternatif bahan baku biogas, selain itu juga untuk mendukung terciptanya Desa Mandiri Energi (DME) di kabupaten/kota di Indonesia. Kabupaten/kota yang diberikan bantuan pada tahun 2009–2010 adalah Kota Depok, Boyolali, Mojokerto, Balikpapan, Timor Tengah Selatan, Donggala, Gorontalo, Bintan, dan Bantul. Bantuan proyek percontohan biogas dari Kementan dilakukan dengan kerja sama Dinas Provinsi dan Dinas Kabupaten/Kota serta lembaga swadaya setempat.

Pada tahun 2008, SNV, salah satu LSM dari Belanda melakukan kajian tentang kelayakan program nasional biogas domestik di Indonesia. Kesimpulan dari penelitian tersebut menyatakan bahwa program tersebut layak dilaksanakan di Indonesia. Dari kajian tersebut, diperoleh informasi bahwa Indonesia memiliki potensi pembangunan *digester* biogas hingga satu juta unit, akan tetapi masalah finansial dan sosial menjadi hambatan mengapa *digester* biogas tidak berkembang di Indonesia. Kajian tersebut juga menyatakan bahwa Indonesia memiliki sejarah dalam *digester* biogas untuk keperluan rumah tangga dengan jumlah sekitar 6.000 unit yang telah dibangun. Sebelum tahun 2000, *digester* tipe *fixed dome* telah banyak digunakan di kawasan peternakan Indonesia, namun dalam beberapa tahun belakangan bergeser menggunakan *digester* tabung plastik. *Digester*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tabung plastik memiliki keterbatasan daya tahan yang pendek (SNV, 2010).

Hasil kajian yang dilakukan SNV tersebut ditindaklanjuti dengan implementasi program biogas yang dikenal dengan Indonesia Domestic Biogas Program (IDBP) atau lebih dikenal dengan Program Biogas Rumah (Biru). Hivos, LSM dari Belanda menjadi pelaksana program ini dengan bantuan teknis dari SNV. Program ini dimulai pada akhir Desember 2009 dengan pembangunan awal sekitar 50 *digester* biogas di Bandung, Garut, Pasuruan, Malang, dan Solo. Target program ini adalah 8.000 *digester* biogas dengan 2.000 unit dibangun di luar Jawa pada akhir tahun 2012. Tipe biogas yang digunakan dalam program ini adalah *fixed dome* yang dikembangkan oleh SNV selama puluhan tahun di berbagai negara berkembang seperti Nepal, Bangladesh, dan India (SNV, 2010).

C. *Digester* Biogas

Banyak jenis *digester* biogas yang digunakan di seluruh dunia. Secara umum, desain yang digunakan di negara berkembang, khususnya yang berbahan baku limbah ternak, diklasifikasikan sebagai *digester* tingkat rendah, lebih sederhana dibandingkan dengan desain dari negara maju yang beriklim lebih dingin serta memiliki kemampuan teknologi lebih maju (Bond & Templeton, 2011).

Terdapat tiga jenis tipe *digester* biogas yang telah dirancang, diuji, dan disebarluaskan di Indonesia, yaitu *fixed domed*, *floating drum*, dan *plastic* atau *balloon*. *Digester* dengan model *fixed dome* dibangun dengan berbagai bahan yang tersedia, seperti batu bata atau beton. *Digester* model ini biasanya berukuran kecil dan menggunakan kotoran hewan dan manusia sebagai sumber energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi rumah tangga. *Digester* dengan modal *floating drum* atau bentuk terapung biasanya terbuat dari drum yang di sambung. Model *digester* ini terdiri dari satu *digester* dan satu penampung gas yang bisa bergerak. Penampung gas ini akan bergerak ke atas ketika gas bertambah dan turun lagi ketika gas berkurang seiring dengan peng-

gunaan dan produksi gasnya. Sedangkan *digester* model plastik atau terbuat dari bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas. Reaktor ini terdiri atas satu bagian yang berfungsi sebagai *digester* dan penyimpanan gas yang bercampur dalam satu ruangan tanpa sekat. Material organik terletak di bagian bawah karena memiliki berat yang lebih besar dibandingkan gas yang akan mengisi pada rongga atas.

Tipe *digester* biogas yang paling umum digunakan di Indonesia adalah model *fixed dome*. Tipe ini cocok untuk rumah tangga pedesaan karena kehandalan mereka, persyaratan perawatan yang mudah, memiliki daya tahan lama, dan dapat dibangun dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia secara lokal. *Digester* biogas ini menggunakan limbah rumah tangga, kotoran ternak, dan kotoran manusia. Model *fixed dome* populer sejak pertama kali diperkenalkan di Indonesia pada tahun 1970-an dan kembali banyak dipergunakan setelah masuknya program Biogas Rumah (Biru) yang dibawa oleh Hivos dan SNV pada tahun 2009. *Digester* biogas yang dikembangkan oleh SNV untuk program Biru merupakan struktur sederhana yang dibangun di bawah tanah dan mengubah kotoran hewan maupun kotoran manusia di tingkat rumah tangga menjadi biogas yang terdiri dari metana (60%–70%) dan karbondioksida (30%–40%). Model tipe *fixed dome* dikembangkan oleh SNV dalam jangka waktu yang lama serta dirancang dan dimodifikasi sesuai karakteristik Indonesia. Teknologi yang digunakan sekarang berasal dari Nepal yang dikembangkan oleh SNV dalam program Biogas Support Programme (BSP). Tipe *digester* biogas yang dikembangkan oleh SNV ini memiliki ukuran mulai dari 4 m³ hingga 15 m³ dan mampu memproduksi 1.000–3.500 l biogas per hari. Biaya investasi yang harus dikeluarkan oleh pihak yang akan membangunnya tergantung pada ukuran *digester*, lokasi konstruksi, ketersediaan dan aksesibilitas bahan bangunan, dan upah tenaga kerja. Ukuran yang terkecil 4 m³ menghasilkan biogas sekitar 800–1.600 l per hari tergantung jumlah kotoran ternak yang dimasukkan ke dalam *digester* dan cukup besar untuk keperluan memasak keluarga kecil dengan jumlah anggota 4–5 orang. Minimal dibutuhkan 20 kg ko-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

toran sapi yang diperlukan setiap hari untuk mengoperasikan ukuran terkecil dari *digester* biogas, yaitu 4 m³. Rata-rata petani memiliki dua ekor sapi untuk menghasilkan biogas yang cukup untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti memasak dan penerangan (Ghimire, 2013; SNV, 2010).

D. Sumber Energi Biogas

Biogas hasil dari pencernaan anaerobik tergantung pada komposisi substrat (bahan baku), jenis substrat, dan kondisi *digester*. Karelak, *et al.* (2010) mengidentifikasi bahan baku yang dapat digunakan dalam pembentukan menjadi energi seperti

- 1) Sampah organik (kotoran sapi, kotoran babi, dan lumpur dari instalasi pengolahan air limbah);
- 2) Tanaman energi (sorgum manis dan bunga matahari);
- 3) Tanaman konvensional (jagung, gandum, dan bit gula);
- 4) Bahan baku organik lainnya (tanaman air dan gliserol).

Meskipun secara teori semua jenis biomassa dapat didegradasi ke dalam biogas, namun pertumbuhan teknologi biogas di Indonesia lebih banyak didasarkan pada kotoran hewan, terutama kotoran sapi. Kotoran sapi sangat cocok sebagai bahan baku karena adanya bakteri metanogen dalam perut ternak ruminansia tersebut. Ternak yang lain seperti babi sebenarnya layak digunakan sebagai sumber energi biogas tetapi karena Indonesia merupakan negara mayoritas muslim, jumlah ternak babi tidak sebesar sapi dan itu juga berimplikasi dengan jumlah kotoran yang dihasilkan oleh ternak tersebut. Produksi biogas sebanyak 1.500–2.400 l ini cukup untuk menyediakan kebutuhan energi keluarga kecil dengan jumlah anggota 4–5 orang. Dengan 2 ekor sapi, satu ekor babi atau 35 orang dapat memberikan cukup biogas untuk memasak bagi 4–5 anggota keluarga (SNV, 2010).

Potensi pasar dari biogas di Indonesia sangat besar mengingat jumlah hewan ternak yang berlimpah. Jumlah ternak di Indonesia yang meliputi sapi, kerbau, dan babi mencapai 23,5 juta ekor pada tahun 2010 dengan rata-rata pertumbuhan hingga 4,73 % per tahun.

Berdasarkan jumlah hewan ternak yang diuraikan dalam Tabel 8.1, potensi teknis biogas dapat dihitung dengan menggunakan faktor konversi untuk setiap ternak sebagaimana terlihat dalam Tabel 8.2. Namun, faktor konversi yang digunakan tidak bersifat universal dan tergantung pada banyak faktor lainnya. *Pertama*, produksi kotoran harian dari hewan ternak tergantung pada berat badan mereka. *Kedua*, jumlah biogas yang dihasilkan dari satu kilo kotoran hewan ternak yang tergantung pada nutrisi ternak. Oleh karena itu, hitungan teknis potensi biogas di bawah ini hanya berupa perkiraan kasar.

Potensi teknis biogas untuk empat jenis ternak tersebut diperkirakan sekitar 15,8 juta meter kubik biogas. Perkiraan ini hanya memprediksi seberapa besar potensi biogas yang dapat dihasilkan jika

Tabel 8.1 Populasi Ternak di Indonesia

Jenis Ternak	Jumlah Ternak (Kepala)		Tingkat Pertumbuhan	Lokasi Terbanyak
	2009	2010		
Sapi potong	12.759.838	13.581.571	6,05%	Jawa Timur, Jawa Tengah
Sapi perah	474.701	488.448	2,81%	Jawa Timur, Jawa Tengah
Kerbau	1.932.927	1.999.604	3,33%	Aceh, Sumatera Barat
Babi	6.974.732	7.476.665	6,71%	NTT, Sumatera Utara

Sumber: Statistik Pertanian (2011) dalam Hermawati *et al.* (2013)

Tabel 8.2 Produksi Biogas Hewan Ternak di Indonesia Tahun 2010, dalam Ribuan Meter Kubik

Jenis Ternak	Faktor Konversi (m ³ /kepala/hari)	Produksi Biogas (dalam ribuan)
Sapi potong	0,32	4,346
Sapi perah	0,32	156
Kerbau	0,32	640
Babi	1,43	10,692
Total	15,834	

Sumber: Bond & Templeton (2011) dan Statistik Pertanian (2011) dalam Hermawati *et al.* (2013)

seluruh ternak bisa dioptimalkan untuk menghasilkan biogas. Penggunaan kotoran ternak seperti sapi menjadi biogas banyak ditemukan di wilayah pedesaan yang menjadi sentra susu seperti Lembang, Jawa Barat; Pangalengan, Jawa Barat; Nongkojajar, Pasuruan; Pujon, Malang; Desa Cepogo dan Desa Selo, Boyolali; dan Desa Balerante, Kecamatan Kemalang, Kabupaten Klaten.

E. Manfaat Potensial Biogas di Indonesia

Implementasi awal dari teknologi biogas di Indonesia pada tahun 1970-an adalah karena masalah energi. Sejalan dengan meningkatnya jumlah ternak, kotoran ternak dan limbah cair juga meningkat. Maka, teknologi biogas tidak hanya diarahkan untuk pemenuhan kebutuhan energi, tetapi juga untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Peternak hewan tradisional di Indonesia biasanya mengelola limbah ternak mereka dengan cara membuangnya ke saluran air, seperti selokan dan sungai. Limbah ini dapat mencemari sungai serta menularkan penyakit. Selain itu, penanganan pupuk secara tradisional menghasilkan bau kotoran yang mengganggu lingkungan sekitar yang dapat mengakibatkan konflik sosial. Sebagai sebuah teknologi, biogas yang diperkenalkan sejak tahun 1970-an oleh ITB diharapkan dapat memecahkan masalah tersebut. Manfaat yang jelas dari proyek biogas meliputi

- 1) Mengurangi biaya pengolahan air limbah dan polusi yang disebabkan oleh zat-zat organik seperti bau busuk;
- 2) Menghasilkan energi dalam bentuk biogas yang merupakan bahan bakar terbarukan yang berkualitas tinggi;
- 3) Menghasilkan limbah dari biogas yang merupakan pupuk organik berkualitas;
- 4) Mengurangi emisi gas rumah kaca dan daur ulang limbah organik.

Biogas merupakan energi bersih yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif pengganti kayu bakar dan energi fosil untuk memasak dan penerangan. Biogas dihasilkan melalui degradasi anaerob dalam proses yang sangat kompleks dan membutuhkan kondisi

lingkungan tertentu, seperti halnya populasi bakteri yang berbeda. Energi biogas memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sumber energi lain. Penggunaan teknologi biogas tidak hanya menghasilkan energi untuk memasak dan penerangan serta menghasilkan pupuk organik berkualitas tinggi, tetapi juga manfaat sosial dan ekologi, termasuk sanitasi, penghijauan dan pengurangan bahan bakar fosil yang diimpor. *Digester* biogas memberikan berbagai manfaat pada berbagai tingkatan yang berbeda. Manfaat ini diwujudkan secara berbeda di negara yang berbeda dan dapat diklasifikasikan menurut dampaknya berdasarkan jenis kelamin, pekerjaan, lingkungan, energi, pertanian, kesehatan, dan sanitasi. *Digester* biogas juga berkontribusi pada Millennium Development Goals (MDGs) (Ghimire, 2013; Hermawati *et al.*, 2013).

F. Tantangan Pengembangan Biogas di Indonesia

Keberhasilan program biogas tidak hanya diukur dari jumlah *digester* biogas yang terpasang atau dibangun, indikator lain yang relevan termasuk kontribusi teknologi biogas terhadap kualitas hidup masyarakat, baik laki-laki, perempuan, dan anak-anak khususnya yang berada di pedesaan. Salah satu tujuan jangka panjang program biogas adalah untuk meningkatkan kondisi kebersihan dan kesehatan penduduk pedesaan, khususnya perempuan. Karena sebagian besar pekerjaan terkait biogas, seperti memasak, mengoleksi bahan bakar untuk memasak, membersihkan alat masak, mengelola kotoran ternak, dan mengumpulkan air dilakukan oleh perempuan maka instalasi *digester* biogas memiliki dampak langsung terhadap mereka. Temuan lapangan yang berkaitan dengan teknologi biogas menunjukkan bahwa penggunaan biogas secara signifikan meningkatkan kualitas kehidupan kaum perempuan di pedesaan. Biogas secara signifikan mengurangi beban kerja hingga tiga jam per hari sehingga memungkinkan kaum perempuan untuk melakukan aktivitas produktif di lahan pertanian dan di luar kegiatan pertanian.

Terdapat beberapa tantangan yang dihadapi dalam pengembangan biogas di Indonesia.

- 1) Kurangnya kemampuan keuangan untuk investasi *digester* di kalangan petani di daerah pedesaan tetap menjadi salah satu tantangan terbesar. Hal ini mungkin bisa dicarikan solusinya dengan mengembangkan gabungan mekanisme pembiayaan seperti subsidi, kredit, dan hibah dengan tepat sehingga bantuan keuangan dapat secara tepat membantu petani miskin yang akan membangun biogas.
- 2) Terdapat beberapa masalah teknis yang bisa timbul. Jika ada hujan lebat, *digester* biogas yang berada di bawah tanah dapat mengalami kebanjiran dan harus dikeringkan, yang akhirnya akan menambah waktu perbaikan dan biaya pemeliharaan. Hal ini dapat mudah dihindari dengan perencanaan desain lokasi yang lebih baik ketika *digester* biogas dibangun.
- 3) Sangat sulit untuk mengumpulkan kotoran ternak yang tidak berada dalam kandang atau sedang merumput, terutama jika ternak-ternak tersebut berada dalam area yang luas. Dalam beberapa budaya, kotoran dipandang sebagai sesuatu yang rendah dan hanya digunakan jika terjadi kelangkaan bahan bakar. Dalam budaya lain, diketahui bahwa penggunaan kotoran manusia sebagai sumber bahan baku biogas dianggap haram. Jika hal ini terjadi, penting untuk menyebarkan pengetahuan dan pendidikan tentang biogas kepada masyarakat.
- 4) Dukungan publik sangat penting dalam promosi biogas. Jika masyarakat pedesaan tidak memiliki keyakinan dalam berinvestasi dalam biogas maka mereka akan terus menggunakan kayu bakar dan biomassa lainnya yang sudah tersedia atau menggunakan gas elpiji. Penyebaran informasi mengenai biogas dan dampak positif dari biogas merupakan hal yang penting. Salah satu pendekatan yang bisa dilakukan adalah dengan melaksanakan proyek percontohan biogas di daerah pertanian atau pedesaan untuk menampilkan manfaat teknologi biogas.

- 5) Kurangnya kebijakan yang efektif dan jelas merupakan rintangan utama dalam diseminasi teknologi biogas. Pemerintah perlu secara aktif membuat dan mengimplementasikan kebijakan yang mempromosikan penggunaan biogas serta mendorong kerja sama antara lembaga pemerintah, LSM, dan dunia pendidikan. Jika pemerintah pusat dan daerah memiliki keterbatasan dalam pembiayaan proyek biogas maka kerja sama dengan perusahaan dalam negeri atau LSM dalam negeri dan luar negeri dilakukan untuk meningkatkan peluang pendanaan asing dan impor teknologi. Pemerintah daerah dapat bekerja sama dengan program CSR perusahaan untuk mengembangkan skema pembiayaan berupa subsidi dan pinjaman yang bisa diakses oleh pengusaha lokal, kelompok tani, dan para peternak dalam membangun *digester* biogas di wilayah pedesaan.

G. Penutup

Berdasarkan deskripsi di atas, pembangunan biogas rumah tangga di Indonesia terus berkembang. Pengembangan teknologi biogas menjadi salah satu bagian untuk menyokong pembangunan daerah pedesaan dan menjadi komponen penting dari strategi energi yang berkelanjutan. Indonesia terus menghadapi tantangan dalam pembangunan pedesaan dan juga ketergantungan terhadap minyak bumi yang semakin mahal dan langka. Pembangunan infrastruktur biogas khususnya di wilayah pedesaan menjadi salah satu solusi untuk meringankan beban pembangunan dan ketergantungan terhadap energi fosil.

Pembangunan biogas di berbagai wilayah Indonesia khususnya di kawasan pedesaan Indonesia masih terus berjalan tetapi masih belum optimal. Terdapat berbagai tantangan yang menyebabkan teknologi biogas tidak berkembang secara signifikan di Indonesia. Tantangan tersebut di antaranya permasalahan teknis terkait *digester* biogas, permasalahan sumber daya biomassa yang menjadi bahan baku biogas, dan rendahnya keterlibatan pemerintah dalam proyek

biogas. Di samping itu, tidak ada strategi yang jelas dari pemerintah dalam mempromosikan dan mengembangkan teknologi biogas di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Aggarangsi, P. *et al.* (2008). Sam Pran Pig Farm Company: Using Multiple Treatment Technologies to Treat Pig Waste in an Urban Setting. Energy Research and Development Institute-Nakornping. *Internal Report on Biogas Subsidizing Program*. Thailand.
- Aggarangsi, P., Tippayawong, N., Moran, J.C., & Rerkkriangkrai, P. (2013). Overview of Livestock Biogas Technology Development and Implementation in Thailand. *Energy for Sustainable Development*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2013.03.004>
- Barnet, A., Pyle, L., & Subramainan, S.K. (1978). *Biogas Technology in the Third World: A Multidisciplinary Review*. IDRC Canada.
- Bond, T. & Templeton, M.R. (2011). History and Future of Domestic Biogas Plants in the Developing World. *Energy for Sustainable Development*, 15, 347–354.
- Ding, W., Niu, H., Chen, J., Du, J., & Wu, Y. (2012). Influence of households biogas *digester* use on household energy consumption in a semi-arid rural region of northwest China. *Applied Energy*, 97, 16–23.
- Ghimire, P.C. (2013). SNV Supported Domestic Biogas Programmes in Asia and Africa. *Renewable Energy*, 49, 90–94.
- Hermawati, W., Mahmudi, Maulana, I., Roshaira, I., & Alamsyah, P. (2013). *Sumber Daya Biomassa: Potensi Indonesia yang Terabaikan*. IPB Press.
- ISAT/GTZ. (1999). *Biogas Digest Volume IV: Biogas–Country Reports*. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Ishizuka, K., Hisajima, S., Macer, D.R.J., Wiloso, Edi I., Basuki, Triadi, & Aiman, S. (1995). Utilization of Agricultural Wastes for Biogas Production in Indonesia. hlm. 134–138. Proceedings of the UNESCO - University of Tsukuba *International Seminar on Traditional Technology for Environmental Conservation and Sustainable Development in the Asian-Pacific Region*, held in Tsukuba Science City, Japan, 11–14 December, 1995. <http://www.enbios.info/TTEC/TTECEW.HTM>, diakses pada tanggal 20 November 2013

- Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos, & Georgios. (2010). Development of an Investment Decision Tool for Biogas Production from Agricultural Waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1.273–1.282.
- Ni, J. & Nyns, E. (1996). New Concept for the Evaluation of rural Biogas Management in Developing Countries. *Energy Conversion and Management*, 37 (10), 1525–34
- SNV. (2009). Feasibility of a National Programme on Domestic Biogas in Indonesia. *Final report*. http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/feasibility_study_indonesia_2009.pdf, diakses pada tanggal 1 November 2013.
- SNV. (2010). Domestic Biogas Newsletter, Issue 2, January 2010. http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/snv_domestic_biogas_newsletter_-_issue_2_-_january_2010.pdf, diakses pada tanggal 1 November 2013
- Teune, B. (2007). The Biogas Programme in Vietnam; Amazing Results in Poverty Reduction and Economic Development. *Boilling Point 53*. <http://www.docstoc.com/docs/42581979/The-Biogas-Programme-in-Vietnam-Amazing-results-in-poverty>, diakses pada tanggal 18 Maret 2013.
- Udomsri, S., Petrov, M.P., Martin, A.R., & Fransson, T.H. (2011). Clean Energy Conversion from Municipal *Solid* Waste and Climate Change Mitigation in Thailand: Waste Management and Thermodynamic Evaluation. *Energy for Sustainable Development*, 15, 355–64
- Van Brakel, J. (1980). *The Ignis Fatuus of Biogas*. Delft University Press.
- Wahyuni, S. (2008). *Analisis Kelayakan Pengembangan Biogas sebagai Energi Alternatif Berbasis Individu dan Kelompok Peternak*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

ANALISIS INFORMASI PERKEMBANGAN TEKNOLOGI TRANSESTERIFIKASI PRODUKSI BIODIESEL INDONESIA

Mahmudi

A. Pendahuluan

Perkembangan teknologi transesterifikasi dalam memproduksi biodiesel pertama kali dimulai dengan menggunakan bahan baku minyak sayur pada tahun 1853 oleh ilmuwan E. Duffy and J. Patric. Perkembangan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan mesin milik Rudolf Diesel pada tahun 1893. Pada akhir tahun 1970-an, minyak nabati di Eropa telah digunakan sebagai bahan bakar motor diesel menggantikan minyak solar. Namun, karena terdapat masalah teknis yang sulit diatasi, yaitu memodifikasi mesin motor yang memerlukan biaya sangat mahal maka diputuskan untuk mengolah minyak nabati menjadi biodiesel. Sejak saat itulah, teknologi transesterifikasi mulai berkembang pada pertengahan tahun 1980-an. Di Jerman dan Austria, biodiesel diproduksi dari minyak *rapeseed*. Selanjutnya, mulai dikembangkan biodiesel dari minyak goreng jelantah (*used frying oil*) dan dari sisa lemak hewani. Selain itu, juga dikembangkan biodiesel dari minyak goreng jelantah di negara Eropa, Amerika, dan Jepang. Biodiesel dari minyak goreng jelantah di Austria dikenal dengan nama *Altfett Methyl Ester* (AME), di Jerman dikenal dengan AME atau Fritten diesel, sedangkan di Jepang dikenal dengan *e-oil*.

Indonesia memiliki potensi sumber daya tanaman energi penghasil minyak nabati yang sangat beragam dan melimpah. Penggunaan energi berbahan dasar fosil yang dimiliki terbatas karena merupakan produk yang tidak dapat diperbaharui. Oleh sebab itu, perlu diupa-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yakan mencari bahan bakar alternatif. Ide penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel dimulai sekitar tahun 1900. Perkembangan ini mencapai puncaknya pada tahun 1980 dengan ditemukannya alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak fosil, yang kemudian dikenal dengan biodiesel. Penelitian dan pengembangan teknologi transesterifikasi di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1990 yang dilakukan oleh lembaga penelitian Perguruan Tinggi, Kementerian dan Lembaga Non Kementerian.

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif memiliki banyak keuntungan, antara lain: (1) biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dengan ketersediaan bahan baku terjamin; (2) pembakaran yang terjadi merupakan pembakaran sempurna sehingga mencegah terbentuknya radikal bebas dan bebas polusi; (3) biodiesel yang terdegradasi dapat diperbarukan oleh sistem alam; (4) biodiesel juga dapat digunakan untuk campuran terhadap petrodiesel; (5) biodiesel dapat memperpanjang umur mesin diesel. Dengan demikian, pemilihan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif sangat diharapkan dapat menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil.

Berdasarkan data statistik dari *biodiesel magazine* (2007), penjualan biodiesel di Uni-Eropa mencapai 54% pada tahun 2006 dan diperkirakan meningkat 1,2% sampai tahun 2013. Di Indonesia, pada tahun 2011 tercatat produksi domestik biodiesel sebesar 18,43 juta kilo liter, padahal kebutuhan dalam negeri mencapai 21,2 juta kilo liter. Hal itu menunjukkan bahwa biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki prospek masa depan yang sangat baik. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem produksi biodiesel yang efektif dan efisien.

B. Transesterifikasi

Transesterifikasi (alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping, yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya

murah dan reaktivitasnya paling tinggi. Biodiesel identik dengan ester metil asam-asam lemak (*Fatty Acids Metil Ester*/FAME).

Transesterifikasi merupakan teknologi proses yang saat ini paling banyak digunakan untuk memproduksi biodiesel. Transesterifikasi adalah reaksi minyak tanaman (trigliserida) dengan alkohol menggunakan katalis basa pada suhu dan komposisi tertentu sehingga dihasilkan dua zat yang disebut alkil ester (metil ester atau biodiesel) dan gliserol. Pada proses transesterifikasi, katalis homogen basa yang sering digunakan adalah NaOH, KOH, karbonat, dan *alkoxides* seperti sodium metoksida, sodium etoksida, sodium propoksida, dan sodium butoksida. Salah satu kerugian dalam penggunaan *homogeneous* katalis basa adalah katalis tersebut tidak dapat digunakan kembali karena katalis tersebut bercampur dengan minyak dan metanol. Bercampurnya katalis pada produk menyebabkan proses pemisahan katalis menjadi lebih kompleks dan membutuhkan banyak peralatan sehingga meningkatkan biaya produksi. Penggunaan katalis ini juga tidak ramah lingkungan karena membutuhkan banyak air untuk proses purifikasi. Katalis padat yang paling sering digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah CaO, hal ini dikarenakan CaO mudah didapat dan murah. Selain itu CaO yang bersifat tidak larut selama reaksi menjadikan proses purifikasi menjadi lebih mudah. Dengan latar belakang tersebut maka perlu dikembangkan penggunaan katalis CaO dalam reaksi transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel (Gemma Vicente *et al.*, 2003).

Penggunaan enzim sebagai katalis memiliki kelemahan, seperti tidak dapat digunakan kembali setelah digunakan, biaya operasional yang mahal, ketidakstabilannya terhadap suhu yang tinggi, pelarut organik, asam, basa, dan pengadukan secara mekanik. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk memanfaatkan enzim sebagai katalis yang efisien. Metode imobilisasi enzim dapat digunakan dengan kombinasi material pendukung (*material support*) yang sesuai. Salah satu bahan yang bisa digunakan sebagai material pendukung adalah polimer. Tetapi tidak semua polimer dapat digunakan sebagai material pendukung untuk diimobilisasi dengan enzim lipase. Poliet-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ersulfon (PES) merupakan suatu polimer yang memiliki karakteristik yang sesuai untuk dijadikan material pendukung untuk dilakukan imobilisasi dengan enzim lipase sehingga enzim bisa digunakan sebagai katalis reaksi transesterifikasi (Prihandana *et al.*, 2006).

C. Pengembangan Biodiesel

Teknologi pembuatan biodiesel di Indonesia masih dalam taraf pengembangan. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai sumber minyak nabati yang cukup banyak dan beragam, mulai dari minyak pangan yang mudah didapat, seperti minyak sawit dan kelapa, hingga minyak nonpangan, seperti jarak pagar (*Jatropha curcas*), kapuk randu, nimba, dan nyamplung. Minyak lemak yang relatif mudah didapat dewasa ini merupakan minyak pangan sehingga harga bahan-bahan tersebut sangat ditentukan tingkat permintaan di sektor pangan nasional maupun dunia yang terus meningkat. Biodiesel dapat digunakan untuk bahan bakar mesin diesel, yang biasanya menggunakan minyak solar, seperti untuk pembangkit listrik, mesin-mesin pabrik yang menggunakan diesel, juga alat transportasi termasuk mobil yang bermesin diesel. Biodiesel dapat digunakan sebagai pengganti 100% minyak solar, maupun sebagai campuran minyak solar tanpa modifikasi mesin. Campuran minyak solar dengan biodiesel diberi kode B (*Blending*). Sebagai contoh, bahan bakar B5 adalah campuran yang terdiri 95% volume minyak solar dengan 5 % volume biodiesel. Minyak solar dengan biodiesel dapat dicampur dengan berbagai perbandingan. Biodiesel dapat dibuat dari transesterifikasi asam lemak. Asam lemak dari minyak lemak nabati direaksikan dengan alkohol menghasilkan ester dan produk samping berupa gliserin yang juga bernilai ekonomis cukup tinggi.

Pembuatan biodiesel tidak memerlukan peralatan canggih, hanya reaktor kimia tempat berlangsungnya reaksi dan separator untuk memisahkan biodiesel dengan gliserol. Produksi biodiesel dari minyak nabati dapat dilakukan pada skala kecil dan besar, baik secara curah (*batch*) maupun sinambung (*continuous*). Beberapa penelitian telah

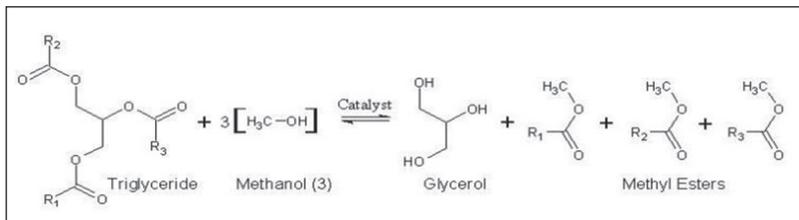
Buku ini tidak diperjualbelikan.

dilakukan menggunakan minyak nabati untuk memproduksi biodiesel dengan menggunakan sistem *batch* untuk reaktor pengaduknya.

Terdapat beberapa jenis proses produksi biodiesel yang telah dikembangkan dan diaplikasikan untuk mencapai produktivitas yang tinggi dan kebutuhan energi untuk konversi bahan baku menjadi biodiesel di antaranya proses Biox, proses Lurgi, proses *Malaysian Palm Oil Board* (MPOB) dan proses yang dikembangkan ITB Bandung (Pusat Penelitian Energi ITB, 2005).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari trigliserida. Trigliserida merupakan penyusun utama minyak nabati dan lemak hewani. Sebagian besar biodiesel dibuat dari sumber minyak nabati. Sumber minyak nabati ini berasal dari minyak sawit, minyak kelapa, minyak biji jarak, minyak kemiri sunan, minyak nyamplung, dan minyak nabati lainnya.

Secara umum, proses transesterifikasi trigliserida dengan metanol untuk menghasilkan metil ester (biodiesel) digambarkan sebagai berikut:



Sumber: Kunchana *et al.* (2006)

Gambar 9.1 Skema produksi biodiesel dari minyak nabati (trigliserida) melalui proses transesterifikasi dengan metanol menghasilkan gliserol dan biodiesel (metil ester).

D. Transesterifikasi Biodiesel dengan Ultrasonik

Proses transesterifikasi konvensional umumnya berlangsung dalam sistem *batch* dengan menggunakan pengaduk mekanik. Proses ini membutuhkan waktu lama, antara 30 menit hingga 2 jam agar reaksi berlangsung sempurna menghasilkan etil atau alkil ester maksimum, yakni sekitar 96%.

Penggunaan gelombang ultrasonik akan memperpendek waktu proses transesterifikasi sehingga proses dapat dibuat kontinyu. Di samping itu akan meningkatkan konversi trigliserida menjadi metil atau etil ester dan menurunkan kebutuhan katalis. Hasil penelitian Susilo (2008) menunjukkan, gelombang ultrasonik meningkatkan laju transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel dengan konversi 100% dalam waktu proses 1 menit. Hasil ini jauh lebih baik daripada penggunaan pengaduk mekanis dengan kisaran konversi sekitar 96% dan waktu proses antara 30 menit hingga 2 jam. Pengujian dengan data hasil percobaan menunjukkan koefisien determinasi sebesar 95%.

E. Transesterifikasi Biodiesel dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro

Penelitian yang terkait dengan produksi biodiesel dilakukan oleh Widodo *et al.* (2007) dengan memanfaatkan gelombang mikro, khususnya pada tahap transesterifikasi minyak nabati. Pemisahan gliserin dari biodiesel biasanya dilakukan dengan pemanasan. Pada pengolahan biodiesel secara konvensional waktu pemanasan sangat berpengaruh pada capaian hasil esterifikasi dan umumnya berlangsung selama 1–2 jam untuk skala kecil dan dapat mencapai lebih dari 12 jam untuk skala besar. Salah satu proses esterifikasi yang belum banyak dilakukan adalah memanfaatkan gelombang mikro. Dalam kaitan ini, gelombang mikro adalah pembangkit panas. Karena interaksi antara gelombang mikro dengan bahan biodiesel berlangsung dalam skala molekuler maka dengan pemanfaatan gelombang mikro sebagai pembangkit panas, waktu reaksi akan berjalan lebih cepat. Beberapa hasil penelitian di Indonesia mengenai pembuatan biodiesel menggunakan teknologi transesterifikasi dapat dilihat pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1 Daftar Hasil Penelitian di Indonesia Mengenai Pembuatan Biodiesel Menggunakan Teknologi Transesterifikasi

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
1	Teknik pemekatan beta-karoten minyak sawit dengan transesterifikasi dan saponifikasi	Muchtadi, Tien R.; Sulaswatty, Anny; Aiman, Syarul	Perguruan Tinggi	1995
2	Studi proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi bahan bakar motor setara solar	Yunus, Rahmat; Harimurti, Kun	Perguruan Tinggi	1995
3	Sintesis trigliserida minyak kelapa yang diperkaya asam lemak tak jenuh omega-3 minyak ikan lemuru melalui reaksi interesterifikasi transesterifikasi kimia	Zainuddin, Akhmad; Abdurakhman, Manan; Sumiarsa, Dadan	F-MIPA Universitas Padjadjaran	1998
4	Mekanisme transesterifikasi etil trans-P-metoksisnamat menjadi isoamil trans-P-metoksisnamat	Fahmi, Rizal; Salim, Marniati	F-MIPA Universitas Andalas	2002
5	Pengaruh jenis katalis basa NaOH, KOH, dan K_2CO_3 dan kejenuhan minyak nabati dalam pembuatan biodiesel hasil transesterifikasi	Ardiyanti, Agus R.; Utomo, Johan; Chandira, Grace	Perguruan Tinggi	2003
6	Minyak goreng bekas (jelantah) sebagai bahan bakar setara solar (biodiesel) dengan proses transesterifikasi.	Sidjabat, Oberlin	Perguruan Tinggi	2003
7	Transesterifikasi minyak jarak kepyar dengan katalis KOH dalam pembuatan biodiesel.	Sukarsono; Setiadji, M.; Darmawan, Ilham	Perguruan Tinggi	2004
8	Transesterifikasi minyak nabati bekas menjadi biodiesel menggunakan katalis zeolite	Suherman; Djaelani, M.; Robyansah; Hermawan, H.	Perguruan Tinggi	2004
9	Pembuatan biodiesel dari minyak jarak (<i>Ricinus communis</i>) dengan proses transesterifikasi.	Muharto; Aini, Farida Nurul; Rahkanti, Biduri	Perguruan Tinggi	2004
10	Penelitian aplikasi gelombang ultrasonik dan <i>microwave</i> pada transesterifikasi non katalis minyak jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i>) menjadi biodiesel dengan titik beku rendah	Susilo, Bambang; Nurhuda, Muhammad; Siwindarto, Ponco; Mahdi, Khanif; Aulanni'am; Sri Hidayati	Universitas Brawijaya	2007

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
11	Reaksi transesterifikasi minyak kedelai	Lailatu Qadriyah; Susianto; Febtin Dwi Fatmawati; Dyah Ayu Ambarsari;	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	2007
12	Pengaruh suhu dan kepekatan asam sulfat sebagai katalisator pada transesterifikasi minyak jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i> L.)	Saloko, Satriyo; Qazuini, M.	Fakultas Pertanian Universitas Mataram	2007
13	Sintesis <i>fatty acid methyl ester</i> dari minyak biji kelor (<i>Moringa oleifera</i> Lam.) melalui transesterifikasi dan uji <i>performance</i> -nya sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel	Kusumaningtyas, Ratna Dewi; Hajjito;	Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang	2007
14	Rancang bangun reaktor baru berteknologi plasma untuk proses transesterifikasi minyak tumbuhan menjadi biodiesel : Laporan penelitian	Suherman	Fakultas Teknik Universitas Diponegoro	2008
15	Aplikasi kolom bersekat dengan alian berayun sebagai reaktor transesterifikasi pada pembuatan biodiesel	Iriany; Trisakti, Bambang	Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara	2008
16	Pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi metanol dengan minyak sawit menggunakan katalis heterogen (KNO_3 , KF dan LiNO_3) pada permukaan Al_2O_3	Sri Widarti; Gantina, Tina Mulya; Marjjo	Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran	2008
17	Proses transesterifikasi bertingkat minyak goreng bekas untuk menghasilkan biodiesel sesuai standar	Nurchayati ; Tira, Hendry Sakke	Fakultas Teknik Universitas Mataram	2008
18	Sintesis <i>fatty acid methyl ester</i> dari minyak biji kelor (<i>Moringa oleifera</i> Lam.) melalui transesterifikasi dan uji performancnya sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel	Sri Mursiti, Kusumaningtyas, Ratna Dewi	Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang	2008
19	Pengaruh suhu dan waktu esterifikasi transesterifikasi terhadap kuantitas dan kualitas biodiesel dari minyak jelantah	Amar Ma Ruf; Sawarni Hasibuan	Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidikan dan Tenaga Kependidikan Pertanian	2008

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
20	Kajian kinetika transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel dengan katalis KOH	Sri Aprilia; Mariana; Cut Aisyah Z Jamil	Universitas Syiah Kuala	2008
21	Sintesis pelumas-bio melalui transesterifikasi RBD olein dengan katalis asam heteropoli/zeolit	Bambang Heru Susanto; Muhammad Nasikin	Universitas Indonesia	2008
22	Aplikasi gelombang ultrasonik dan kondisi super kritis pada proses ekstraksi dan transesterifikasi minyak mikroalga <i>Nannochloropsis</i> sp. menjadi biodiesel	Bambang Dwi Argo; Gunomo Djoyowasito; La Choviya Hawa	Universitas Brawijaya	2009
23	Pemurnian lipase dari <i>Azospirillum</i> sp. JG ₃ untuk katalis transesterifikasi minyak kelapa dan sitronellol menjadi ester sitronellol dalam upaya pemanfaatan sebagai flavor	Oedjiyono; Santi Nur Handayani; Puji Lestari	Universitas Jenderal Soedirman	2010
24	Pemanfaatan hasil samping desalinasi air laut untuk sintesis Mg/Al <i>hydratalcite-like</i> dan aplikasinya sebagai katalisator transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel	Yuli Puspitorini ; Silvester Tursiloadi; Karna Wijaya; Eddy Herald	Universitas Sebelas Maret	2009
25	Reayasa proses produksi biodiesel berbasis jarak (<i>Jatropha curcas</i>) melalui transesterifikasi in situ	Kartika, Ika Amalia	Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor	2009
26	Perolehan metil oleat dari metil ester campuran hasil transesterifikasi CPO menggunakan pemantap	Sembiring, Seri Bima	F-MIPA Universitas Sumatera Utara	2009
27	Pemanfaatan limbah penggilangan padi (bekatul) untuk menghasilkan senyawa epoksi dengan proses transesterifikasi dan epoksidasi	Setiati Pandia; Mersi Suriani Sinaga	Universitas Sumatera Utara	2010
28	Pemanfaatan hasil samping desalinasi air laut untuk sintesis Mg ₃ <i>Hydratalcite like</i> dan aplikasinya sebagai katalisator transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel	I F Nurcahyo; Eddy Herald; Karna Wijaya; Silvester Tursiloadi	Universitas Sebelas Maret; Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia	2010
29	Peningkatan skala proses produksi biodiesel melalui transesterifikasi in situ biji jarak	Mohamad Yani; Ika Amalia; Dede Hermawan	Institut Pertanian Bogor	2010

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
30	Model kavitasi iradiasi gelombang ultrasonik pada transesterifikasi minyak tanaman menjadi biodiesel	M Bagus Hermanto; Bambang Susilo; La Choviya Hawa	Universitas Brawijaya	2010
31	Pemanfaatan lemak ayam sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan metoda esterifikasi-transesterifikasi	Iriany; Taslim	Universitas Sumatera Utara	2010
32	Pembuatan biodiesel dari minyak biji nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>) dengan proses esterifikasi transesterifikasi	Niki Dwiyasa; Tomi Yuda Tama; Heri Heriyanto; Rudi Hartono	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	2011
33	Sintesis trigliserida rantai menengah melalui transesterifikasi gliserol dan asam-asam lemaknya	Tirto Prakorso; Sarastri Cintya Hapsari; Piliandari Lembono; Tatang H. Soerawidjaja	Institut Teknologi Bandung	2011
34	Isolasi asam risinoleat dari minyak jarak (<i>Castor oil</i>) melalui reaksi transesterifikasi. Uji karakteristik motor diesel dengan bahan bakar alternatif methyl ester hasil transesterifikasi limbah minyak industri makanan.	Dwi Widjanarko	Perguruan Tinggi	2011
35	Optimalisasi transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel dengan katalis NaOH	Maizar Rahman	Perguruan Tinggi	2011
36	Proses transesterifikasi biji minyak jarak dengan bantuan enzim lipase sebagai penghasil biodiesel	Yusafiri Hala; Astri; Muh. Zulkifli Jufri; Astina Tambung	Perguruan Tinggi	2011
37	Kajian pengaruh temperatur dan persen berat KOH terhadap konversi produk transesterifikasi minyak kelapa (<i>Cocos nucifera</i>) pada proses pembuatan biodiesel	R.R. Dirgarini Julia N.	Perguruan Tinggi	2011
38	Kinetika reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas	Islami Aziz	Perguruan Tinggi	2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
39	Transesterifikasi parsial minyak kelapa sawit dengan etanol pada pembuatan digliserida sebagai agen pengemulsi/identifikasi senyawa hasil destilasi satu kali dan dua kali nira kelapa menjadi alkohol serta penggunaannya pada transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel	Ilham Salim	Perguruan Tinggi	2011
40	Pengaruh suhu dan kepekatn asam sulfat sebagai katalisator pada transesterifikasi minyak jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i> L.)	Satrijo Saloko; M. Qazuiini	Perguruan Tinggi	2011
41	Kualitas refinet - glyserin hasil samping reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan menggunakan variasi katalis	Astrilia Damayanti; Wara Dyah Pita Rengga	Perguruan Tinggi	2011
42	Transesterifikasi <i>in situ</i> biji jarak pagar: pengaruh jenis preaksi, kecepatan pengadukan dan suhu reaksi terhadap rendemen dan kualitas biodiesel/Esterifikasi-transesterifikasi dan karakteristik mutu biodiesel dari biji jarak pagar (<i>Jatropha curcas Linn</i>)// Biodiesel hasil esterifikasi sekaligus transesterifikasi CPO kualitas empat dengan metanol menggunakan asam sulfat sebagai katalis	Sri Widarti; Tina Mulya Gantina; Maridjo; Syafruddin; Dewi Apriani; Riva Atu Salihah	Perguruan Tinggi	2011
43	Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>) pada proses produksi biodiesel/Kinetika reaksi transesterifikasi minyak biji Nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>) pada proses produksi biodiesel	D.Mangunwidjaja; A.Suryani; Sahirman; Sukardi; Sudradjat	Perguruan Tinggi	2011
44	Pengaruh temperatur dan penambahan metanol pada proses esterifikasi-transesterifikasi terhadap sifat-sifat minyak nyamplung	Hastanto Bowo Woosono; Kornelia Webliana	Perguruan Tinggi	2011
45	Reaksi transesterifikasi minyak kacang tanah dan metanol dengan katalis KOH/ Kinetika Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Etil Ester (Biodisel)	Renita Manurung	Perguruan Tinggi	2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
46	Pembuatan biodiesel biji kepuh dengan proses transesterifikasi	N.A	Perguruan Tinggi	2011
47	Proses transesterifikasi pada pembuatan biodiesel menggunakan minyak nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i> L) yang telah dilakukan esterifikasi/Transesterifikasi in situ biji jarak : pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen dan kualitas biodiesel	Ika Amalia Kartika; Sri Yuliani; Danu Ariono	Perguruan Tinggi	2011
48	Sintesis surfaktan dilauroil maltosa melalui reaksi asetilasi terhadap maltosa yang diikuti reaksi transesterifikasi dengan metil laurat	Daniel	Perguruan Tinggi	2011
49	Karakteristik metil ester minyak jarak pagar hasil proses transesterifikasi satu dan dua tahap	Djajeng Sumangat; Tatang Hidayat	Perguruan Tinggi	2011
50	Pengaruh penggunaan katalis pada reaksi Transesterifikasi terhadap kualitas Biodiesel limbah minyak tepung ikan Sardin	Latif Sahubawa	Perguruan Tinggi	2011
51	Pembuatan biodiesel dari minyak biji Nyamplung dengan proses Esterifikasi-Transesterifikasi dengan katalis asam basa	Rudi Hartono; Jayanudin; Endrian Harfuzi; Devi Nuraini, M.	Perguruan Tinggi	2011
52	Otomatisasi proses transesterifikasi pada biodiesel berbasis PLC AEG A020	Goegoes Dwi Nusantoro; Ahmad Zamroni	Perguruan Tinggi	2011
53	Uji karakteristik biodiesel dari biji Nyamplung dengan proses esterifikasi-Transesterifikasi dengan katalis KOH	Rudi Hartono; Jayanudin; Diki Suhendrar; Adi Winata	Perguruan Tinggi	2011
54	Pembuatan biodiesel dari minyak biji jarak pagar dengan metode esterifikasi transesterifikasi. (Estrans)	Barlian HS; Joice Manga	Perguruan Tinggi	2011
55	Penggunaan katalis bentonit pada transesterifikasi minyak jarak pagar untuk produksi biodiesel yang ramah lingkungan	Abdulloh; Triyono; Mudasir	Perguruan Tinggi	2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Judul	Peneliti	Institusi	Tahun
56	Pengaruh waktu inkubasi dan perbandingan MO pada reaksi transesterifikasi enzimatis antara minyak zaitun dan polythylene glycol	Ageng Priatni; Aldha Sampepana	Perguruan Tinggi	2011
57	Pengaruh Gelombang Mikro terhadap Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak (<i>Castor Oil</i>) dalam Proses Pembuatan Biodiesel	Giovani S.	Universitas Airlangga	2011
58	Sintesis dan karakterisasi metil ester minyak biji mimba (<i>Azadirachta indica</i>) melalui reaksi transesterifikasi serta potensinya sebagai biodiesel	Syahruil Bashor Romadhon	Perguruan Tinggi	2011

Sumber: Katalog Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah (diakses 30 September 2013)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penelitian mengenai proses pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi di Indonesia sebagian besar dilakukan oleh lembaga penelitian di perguruan tinggi dan lembaga pemerintah non-kementerian. Sebagian besar topik penelitian adalah pemilihan bahan baku yang paling menguntungkan dalam memproduksi biodiesel, yaitu dengan menggunakan berbagai macam minyak nabati dari berbagai jenis tanaman penghasil minyak nabati. Selain itu, juga dibahas soal pemilihan jenis katalis yang paling efisien dan murah serta proses pembuatan biodiesel tanpa katalis dengan menggunakan enzim, gelombang mikro, dan ultraviolet guna menghemat biaya produksi biodiesel.

Biodiesel mencakup semua bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari sumber daya hayati atau biomassa. Biodiesel adalah bahan bakar mesin/motor diesel yang terdiri atas ester alkil dari asam-asam lemak. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati maupun lemak hewan, namun yang paling umum digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak nabati.

Program pemerintah mengenai upaya pencapaian bauran biosolar 20 (B20) hingga tahun 2025 dapat diwujudkan melalui upaya optimalisasi produksi melalui penambahan luas area penanaman kelapa sawit sehingga terjadi peningkatan industri manufaktur pabrik kelapa sawit (PKS) yang mampu mencukupi kebutuhan CPO untuk domestik maupun ekspor. Selain itu, perlu pembukaan hutan tanaman energi mengingat potensi tanaman energi yang sangat melimpah dan luas lahan yang masih banyak tersedia untuk dimanfaatkan. Pemerintah diharapkan segera memfasilitasi lisensi atau pembelian paten luar negeri yang terkait dengan teknologi produksi biodiesel dari minyak nabati. Sampai saat ini, masih minimnya investor untuk pengembangan kelapa sawit menyebabkan perlu adanya regulasi yang benar-benar mampu menarik investor agar menanamkan sahamnya di bidang pengembangan energi, khususnya biodiesel. Lebih lanjut, peningkatan kuantitas dan kualitas kemampuan sumber daya manusia (SDM) pada pengembangan biodiesel perlu terus ditingkatkan agar distribusi produksi biodiesel tidak terkonsentrasi di pulau Jawa dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumatera saja. Di samping itu, pembangunan infrastruktur sarana pendukung untuk proses produksi dan distribusi biodiesel juga harus didukung penuh oleh pemerintah daerah maupun pemerintah pusat.

F. Penutup

Peluang untuk mengembangkan biodiesel di Indonesia sangat besar. Indonesia memiliki potensi sumber daya tanaman energi yang sangat beragam dan melimpah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Selain itu, kegiatan penelitian di Indonesia tentang pengembangan biodiesel dengan menggunakan teknologi transesterifikasi sudah dilakukan lebih dari 15 tahun dengan sangat intensif. Transesterifikasi merupakan salah satu teknologi yang saat ini paling banyak digunakan untuk memproduksi biodiesel. Teknologi transesterifikasi yang modern di Indonesia saat ini telah menggunakan gelombang ultrasonik dan gelombang mikro guna mempercepat waktu reaksi dalam memproduksi biodiesel dengan biaya yang lebih murah, lebih efisien dan efektif serta nilai konversi dari minyak nabati menjadi biodiesel sempurna 100%. Penelitian mengenai proses pembuatan biodiesel menggunakan proses transesterifikasi antara tahun 1995–2011 di Indonesia sebagian besar dilakukan oleh lembaga penelitian di perguruan tinggi dan lembaga pemerintah non–kementerian serta lembaga litbang kementerian.

Kebijakan pemerintah mengenai upaya pencapaian bauran biosolar 20 (B20) hingga tahun 2025 dapat diwujudkan melalui upaya optimalisasi produksi melalui penambahan luas area penanaman kelapa sawit, hutan tanaman energi, dan peningkatan kapasitas mesin produksi penghasil biodiesel sehingga terjadi peningkatan industri manufaktur yang mampu mencukupi kebutuhan biodiesel dalam negeri maupun ekspor. Sampai saat ini, pertumbuhan investor pada sektor *biofuel* khususnya biodiesel, masih sedikit sehingga perlu adanya regulasi yang benar-benar mampu menarik investor untuk menanamkan sahamnya pada pengembangan biodiesel. Selain itu, upaya pembelian paten atau lisensi teknologi dari luar negeri yang berkaitan

dengan pembuatan biodiesel dari minyak nabati sangat diharapkan untuk mempercepat jumlah produksi biodiesel di Indonesia sehingga dapat memenuhi kebutuhan sektor industri dan transportasi. Peningkatan jumlah dan kualitas kemampuan sumber daya manusia (SDM) pada pengembangan biodiesel perlu terus ditingkatkan agar target produksi biodiesel nasional dapat tercapai dan distribusi produksi biodiesel tidak terkonsentrasi di Pulau Jawa dan Sumatra saja. Di samping itu, pembangunan infrastruktur sarana pendukung untuk proses produksi dan distribusi biodiesel juga harus didukung penuh pemerintah daerah maupun pemerintah pusat. Sehingga proyeksi pemanfaatan biodiesel sebagai pengganti solar secara total pada tahun 2025 akan mendekati kenyataan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik. (2012). *Statistik Indonesia 2012*. Jakarta: BPS.
- B2TE. (2006). *Pembuatan Pabrik Industri Biodiesel Skala Kecil*. Jakarta: BPPT.
- Bakhtir, A. *et al.* (2003). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak dengan Basa Kuat. *Prosiding Seminar Rekayasa dan Proses*. Semarang.
- Bunyakiat, K. *et al.* 2006. Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol. *Energy and Fuels (American Chemical Society)*, 20 (2), 812–817.
- Canakci, M. & Gerpen, J.H. (1999). Biodiesel Production via Acid Catalysis. *Transactions of the ASAE*, 42 (5), 1203–1210.
- Corsaro, A., Chiacchio, U., Pistara, V., & Romeo, G. (2004). Microwave-Assisted Chemistry of Carbohydrates. *Current Organic Chemistry*, 8 (6), 511–538.
- Demirbas, A. (2005). Biodiesel Production from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods. *Jurnal Rekayasa Proses*, 2 (1), 2008.
- Encinar, J.M., González, J.F., & Rodríguez-Reinares, A. (2007). Ethanolysis of Used Frying Oil. Biodiesel Preparation and Characterization. *Fuel Processing Technology*, 88 (5), 513–522.
- Furuta, S., Matsuhashi, H., & Arata, K. (2004). Biodiesel Fuel Production with Solid Superacid Catalysis in Fixed Bed Reactor Under Atmospheric Pressure. *Catalysis Communications*, 5, (12), 721–723.

- Vicente, G. *et al.* (2004). Integrated Biodiesel Production: a Comparison of Different Homogeneous Catalyst Systems. *Bioresources Technology* 92. Pp. 297–305
- Hamid, T. & Hertanto, Y. (2003). Preparasi Biodiesel dari Minyak Kelapa “BARCO” dengan Variasi Jumlah NaOH. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V 2003*.
- Hernando, J., Leton, P., Matia, M.P., Novella, J.L., & Alvarez-Builla, J. (2007). Biodiesel and FAME Synthesis Assisted by Microwaves: Homogeneous Batch and Flow Processes. *Fuel*, 86 (10–11), 1.641–1.644.
- International Biodiesel. (2001). *Developments in Production and Trade*. German Union for the Promotion of Oil and Protein Plant.
- Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L., & Jenvanitpanjakul, P. (2006). Transesterification of Crude Palm Kernel Oil and Crude Coconut Oil by Different Solid Catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 116, 61–66.
- Katalog Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah. (2013). diakses 30 September 2013.
- Kementerian Pertanian dan Kementerian Kehutanan. (2012).
- Knothe, G. (2005). Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters. *Fuel Processing Technology*, 86 (10), 1.059–1.070.
- Knothe, G. 2007. Some Aspects of Biodiesel Oxidative Stability. *Fuel Processing Technology*, 88 (7), 669–677.
- Kunchana *et al.* (2006). Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Super Critical Methanol. *Energy and Fuels. American Chemical Society* 20 (2), 812–817.
- Kusdiana, D. (2007). *Biodiesel Fuel for Diesel Fuel Substitute Prepared by A Catalyst Free Supercritical Methanol*.
- Leung, D.Y.C. & Guo, Y. (2006). Transesterification of Neat and Used Frying Oil: Optimization for Biodiesel Production. *Fuel Processing Technology*, 87 (10), 883–890.
- Makertihartha, I.G.B.N. (2005). Pengembangan Katalis Lempung Aktif untuk Sintesis Biodiesel. *Prosiding Seminar Rekayasa dan Proses 2005*, Semarang.
- Marlinda. (2011). Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil dengan Bantuan Reaktor Batch Sirkulasi. *Jurnal Eksis*, 11 (1).
- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., & Jai-In, S. (2008). A Comparative Study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY Catalysts for Biodiesel

- Production via Transesterification from Palm Oil. *Renewable Energy* xxx, 1–6.
- Nurdiansyah. (2011). *Efek Lama Maserasi Bubuk Kopra terhadap Rendemen, Densitas, dan Bilangan Asam Biodiesel yang Dibasikkan dengan Metode Transesterifikasi In Situ*. Politeknik Negeri Pontianak.
- Pramudita, R. (2009). *Pengaruh Metode Pencucian dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Proses Transesterifikasi*. ITS.
- Prihandana, R., Hendroko, R., & Nuramin, M. (2006). *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: PT Agro Media Pustaka.
- Pusat Penelitian Energi ITB. (2005). Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat.
- Rahkadima, Y.T. (2011). *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Melalui Proses Transesterifikasi dengan Menggunakan CaO sebagai Katalis*. ITS.
- Satriana, N.E.H., Aisyah, C., & Supardan, M.D. (2009). Studi Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Gelombang Ultrasonik. *Laporan Hasil Penelitian*. Banda Aceh: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala.
- Satriana, N.E.H., Desrina, & Supardan, M.D. (2011). Esterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Kavitas Hidrodinamik. *Prosiding Seminar Nasional Ke-3 FT UISU*. Medan Universitas Islam Sumatera Utara.
- Shah, S., Sharma, S., & Gupta, M.N. (2004). Biodiesel Preparation by Lipase-Catalyzed Transesterification of Jatropha Oil. *Energy Fuels*, 18 (1), 154–159.
- Soerawidjaja, T. (2005). Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia. Dalam: Hariyadi, P., & Andarwulan, N. *Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel*. Kementerian Riset dan Teknologi RI-MAKSI, IPB, Bogor.
- Supranto *et al.* (2003). Biodiesel Bahan Bakar Mesin Diesel Produk Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, Yogyakarta.
- Susilo, B. (2008). Model Kinetik Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Biodiesel dengan Gelombang Ultrasonik. *Laporan Penelitian*. Universitas Brawijaya.
- Issariyakui, T., Kulkarni, M.G., Dalai, A.K., & Bakhshi, N.N. (2007). Production of Biodiesel from Waste Fryer Grease Using Mixed Methanol/Ethanol System. *Fuel Processing Technology*, 88 (5), 429–436.
- Van Gerpen, J. (2005). Biodiesel Processing and Production. *Fuel Processing Technology*, 86 (10), 1.097–1.107.

- Vicente, G., Martínez, M., & Aracil, J. (2006). A Comparative Study of Vegetable Oils for Biodiesel Production in Spain. *Energy Fuels*, 20 (1), 394–398.
- Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., & Tominaga, Y. (2001). Enzymatic Conversion of Waste Edible Oil to Biodiesel Fuel in a Fixed-Bed Reactor. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 78, 703–707.
- Widodo, C.S. *et al.* (2007). Studi Penggunaan Mikrowave pada Proses Transesterifikasi Secara Kontinu untuk Menghasilkan Biodiesel. *Jurnal Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, 9 (2).

BAGIAN TIGA

ASPEK MANAJEMEN DAN KEBIJAKAN PENGELOLAAN BIOMASSA UNTUK ENERGI

Buku ini tidak diperjualbelikan.

INTEGRASI RANTAI PASOKAN UNTUK PENGEMBANGAN INDUSTRI BIOETANOL BERKELANJUTAN

Saut H. Siahaan

A. Pendahuluan

Konsumsi energi Indonesia sebagian besar berasal dari bahan bakar minyak (BBM). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dalam beberapa tahun terakhir pertumbuhan konsumsi energi Indonesia mencapai 7% per tahun. Angka tersebut berada di atas pertumbuhan konsumsi energi dunia, yaitu 2,6% per tahun. Konsumsi energi Indonesia tersebut terbagi untuk sektor industri (32,26%), rumah tangga (28,74%), transportasi (24,88%), dan komersial (3,07%) (KESDM, 2012). Konsumsi energi Indonesia yang cukup tinggi tersebut hampir seluruhnya terpenuhi dari bahan bakar fosil, dan hampir setengahnya terpenuhi dari BBM. Konsumsi BBM yang cukup tinggi ini menjadi masalah bagi Indonesia karena cadangan minyak bumi Indonesia relatif terbatas.

Sebagai sumber energi tak terbarukan menurut Kementerian ESDM (2013), cadangan BBM Indonesia sangat terbatas. Saat ini, Indonesia hanya memiliki cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel atau 0,3% dari cadangan terbukti dunia. Jadi, Indonesia bukanlah negara yang kaya dengan sumber energi minyak bumi. Jika dibandingkan dengan Venezuela yang memiliki cadangan minyak sebesar 300 miliar barel maka cadangan Indonesia hanya 1/100-nya, dan cadangan minyak bumi Indonesia diperkirakan akan habis dalam waktu beberapa belas tahun, dengan asumsi tingkat produksi saat ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tidak mengalami penurunan serta tidak ditemukan cadangan minyak baru. Sementara, untuk dapat menemukan cadangan minyak dan gas yang baru, saat ini dibutuhkan modal yang besar dan keberanian untuk mengambil risiko mengingat potensi minyak dan gas yang ada lokasinya di laut dalam. Hal yang sama juga ditegaskan Sekretaris Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Djadjang Sukarna (2012), menurut prediksinya dengan potensi cadangan energi fosil yang ada, tahun 2030 Indonesia akan menjadi *nett importer* energi.

Pengembangan dan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia sampai saat ini belum dapat menjawab sepenuhnya kebutuhan energi nasional. Meskipun di beberapa daerah di Indonesia sudah mulai dimanfaatkan EBT melalui program pemerintah daerah, lembaga swadaya masyarakat (LSM), perguruan tinggi, dan departemen terkait, namun program-program tersebut belum mampu memenuhi kebutuhan energi masyarakat. Secara nasional, berdasarkan data Kementerian ESDM (2013), kapasitas produksi bioetanol tercatat sebesar 416 ribu kl/tahun dari delapan produsen bioetanol yang telah memiliki izin usaha niaga BBN, dan yang siap berproduksi mencapai 200 ribu kl/tahun. Akan tetapi, pemanfaatan bioetanol sejak tahun 2010 tidak dapat direalisasikan karena faktor harga indeks pasar (HIP) bioetanol belum cukup menarik bagi produsen bioetanol. Berlainan halnya dengan biodiesel yang pemanfaatannya untuk BBN cenderung semakin meningkat. Pada tahun 2012, produksi biodiesel di dalam negeri sebesar 2,2 juta kl, atau meningkat empat kali lipat dari tahun 2010 yang hanya sekitar 500 ribu kl. Sedangkan pada tahun berjalan (per tanggal 11 Agustus 2013), produksi biodiesel telah mencapai 954 ribu kl, dan yang dimanfaatkan di dalam negeri sebesar 462 ribu kl.

Infrastruktur pengisian bahan bakar untuk kendaraan, saat ini sudah tersedia sejumlah unit stasiun pengisian BBN di Indonesia (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi/BPPT, 2008), yaitu sampai dengan tahun 2008 tercatat: (1) 232 unit biosolar (1%), (2)

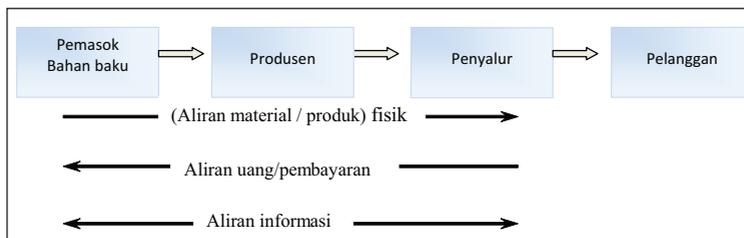
46 unit biopertamax (5%), dan (3) 1 unit biopremium (3%). Sejalan dengan hal tersebut, dapat pula ditunjukkan pemanfaatan bioetanol di sektor transportasi. Penyaluran biopremium dan biopertamax oleh Pertamina sejak tahun 2006 sampai dengan 2009 (Pertamina, 2011) adalah (1) tahun 2006 disalurkan sejumlah 1.624 kl biopremium dan 16 kl biopertamax; (2) tahun 2007 disalurkan 3.776 kl biopremium dan 9.958 kl biopertamax; (3) tahun 2008 disalurkan 44.0166 kl biopremium dan 16.234 kl biopertamax; (4) tahun 2008 disalurkan 105.816 kl biopremium dan 20.232 kl biopertamax. Pada tahun 2010 dan 2011, Pertamina tidak melakukan penyaluran biopremium dan biopertamax karena pasokan ethanol anhydrous tidak ada atau sangat berkurang. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh BPPT (2013) pada *outlook* energi 2013. Pada buku ini, ditunjukkan bahwa mandatori pemanfaatan bioetanol sebagai campuran bahan bakar biopremium atau biopertamax tidak dapat terpenuhi sejak tahun 2011. Walaupun demikian, produksi bioetanol di Indonesia masih ada dan digunakan untuk industri hilir kosmetika dan obat-obatan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seandainya biopremium (campuran bensin) dari bioetanol akan dipenuhi sesuai mandat dari konversi energi maka 98% bahan baku molase akan terserap untuk program ini. Hal ini belum termasuk untuk program biopertamax (bahan bakar nonsubsidi). Pada kenyataannya sebanyak 1,4 juta ton/tahun molase hasil olahan menjadi bioetanol telah habis digunakan untuk berbagai produk, yaitu molase untuk bioetanol industri dan spiritus sejumlah 600 ribu ton/tahun, molase untuk industri MSG (bumbu masak, antara lain Ajinomoto dan Sasa) serta pakan ternak (antara lain, PT Miwon di Pasuruan, Jawa Timur) sebesar 600 ribu ton/tahun, dan molase yang diekspor sejumlah 200 ribu ton/tahun (Hendroko, 2009).

Adapun dari prinsip rantai pasokan yang dikaitkan dengan peran dan interaksi, para pihak saling menguntungkan dalam membangun industri bioetanol. Aspek yang perlu diperhatikan selalu terkait dengan kinerja organisasi dan korelasi antarunit usaha. Marimin & Magfiroh (2011) menunjukkan bahwa pada hakikatnya, rantai pasok produk pertanian secara alami terbentuk dari para pelaku RPIP. Dalam

kasus ini, pengelolaan rantai pasokan industri bioetanol di pedesaan dapat terintegrasi dengan industri besar. Industri dapat berperan dalam penyediaan sarana dan prasarana produksi serta permodalan kepada pabrik skala UKM agar dapat menghasilkan bioetanol dengan peningkatan persyaratan yang telah ditentukan. Dalam kasus ini, tidak dapat dimungkiri pula peran teknologi (dari lembaga litbang) sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari proses produksi, mulai dari proses di hulu sampai produksi di hilir (peningkatan persyaratan produksi bioetanol 95% atau 99,5%).

B. Konsep Rantai Pasokan dalam Industri Bioetanol

Indrajit & Djokopranoto (2002) mendefinisikan rantai pasokan sebagai *logistic network* dari para pelaku yang mempunyai kepentingan yang sama. Para pelaku ini adalah pemasok, produsen, penyalur, peritel, dan konsumen. Pada kenyataannya, kegiatan para pelaku pada rantai pasokan dinyatakan sebagai kegiatan dari proses aliran produk, pelayanan, uang, dan informasi secara terpadu dari rangkaian kegiatan penyediaan, produksi, penyaluran, dan konsumsi sehingga konsumen memperoleh produk yang diinginkan (Taylor, 2005) yang dapat digambarkan seperti pada Gambar 10.1. Rantai pasokan juga dapat dipandang sebagai jaringan perusahaan yang bekerja bersama untuk menghasilkan produk atau jasa dan menyalurkannya kepada konsumen akhir, mulai dari penyedia bahan baku sampai dengan penyalur akhir/toko pengecer.



Gambar 10.1 Struktur rantai pasokan (dimodifikasi dari Taylor, 2005)

C. Perkembangan Industri Bioetanol Terintegrasi

Perkembangan industri bioetanol tidak dapat dipisahkan dengan kebijakan pemerintah, terutama pada pemanfaatan bioetanol sebagai campuran bahan bakar premium untuk kendaraan. *Roadmap* pemanfaatan bahan bakar nabati yang diterbitkan Pertamina menunjukkan bahwa pemanfaatan bioetanol direncanakan sampai dengan tahun 2025, akan tetapi pada kenyataannya pemanfaatan bioetanol sebagai campuran premium dan pertamax hanya dapat direalisasikan sampai dengan tahun 2009 seperti ditunjukkan pada Tabel 10.1. Hal yang sama juga disampaikan Slette dan Wiyono (2013) seperti ditunjukkan pada Tabel 10.2.

Dari Tabel 10.2 dapat dilihat bahwa bahan baku bioetanol dari molase untuk kebutuhan industri dan bahan bakar etanol meningkat dari tahun 2006 s.d 2013 dan diprediksi tahun 2014 semakin meningkat.

Sejalan dengan itu, hasil penelitian Pappiptek pada tahun 2011 yang dipublikasikan tahun 2013 (Saut *et al.*, 2013) menunjukkan bahwa rantai pasokan industri bioetanol dari molase sudah terbangun.

Tabel 10.1 Realisasi Distribusi *Biofuel* Pertamina Tahun 2006 s.d 2011 (dalam kL)

		BIOSOLAR	BIOPREMIUM	BIOPERTAMAX
2006	TOTAL	217,048	1,624	16
2007	TOTAL	555,609	3,776	9,958
2008	TOTAL	931,179	44,016	16,234
2009	TOTAL	2,398,234	105,816	20,232
2010	TOTAL	4,460,825	-	-
2011	TOTAL	2,328,969	-	-

Sumber: Pertamina (2011)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dalam hal ini, sebagai contoh kasus adalah produksi bioetanol dari molasses di PT Rajawali Nusantara Indonesia (RNI) Cirebon, yaitu Pabrik Spritus Alkohol (PSA) Palimanan dan PT Molindo Raya Surabaya. Demikian pula rantai pasokan industri bioetanol dari ubi kayu PT Medco Ethanol dan koperasi Sejahtera Garut Selatan (SGS). Pada kasus tersebut, ditunjukkan bahwa ada variasi dalam pola rantai pasokan yang terbangun. Secara khusus pada industri bioetanol RNI Cirebon, rantai pasokan (pemasok bahan baku-produsen) terbangun oleh satu induk perusahaan yang sama (Gambar 10.2), demikian pula dengan PT Molindo Raya (Produsen-Disributor) terbangun oleh satu induk perusahaan. Berlainan halnya dengan industri bioetanol

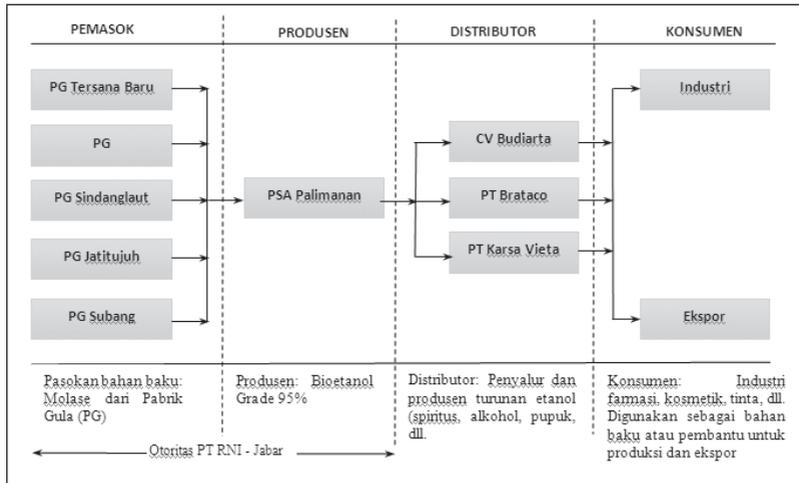
Tabel 10.2 Penggunaan Bioetanol untuk Bahan Bakar dan Industri Kimia di Indonesia

Ethanol Used as Fuel and Other Industrial Chemicals (Million Liters)									
Calendar Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Beginning Stocks	10	29	38	38	50	47	36	47	50
Fuel Begin Stocks	0.05	0.30	1	0	0	0	0	0	0
Production	163	166	169	172	175	200	205	210	214
Fuel Production	0.3	1.0	1.2	1.7	0	0	0	0	0
Imports	0	2.6	0.06	0.06	0.17	0.60	0.13	0.15	0.15
Fuel Imports	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exports	30	33	45	32	46	78	58	60	60
Fuel Exports	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumption	114	128	124	128	132	134	135	147	158
Fuel Consumption	0.05	0.66	1.81	1.26	0	0	0	0	0
Ending Stocks	29	38	38	50	47	36	47	50	47
Fuel Ending Stocks	0.30	0.64	0.03	0.49	0	0	0	0	0
Production Capacity									
Number of Refineries	15	15	19	20	20	20	20	20	20
Nameplate Capacity	219	235	465	495	513	513	513	573	573
Capacity Use (%)	75%	71%	36%	35%	34%	39%	40%	37%	37%
Co-product Production (1,000 MT)									
Co-product A									
Co-product B									
Feedstock Use (1,000 MT)									
Feedstock (Industry & Fuel Ethanol) - Molasses	664	675	688	698	711	813	832	852	872
Feedstock B									
Feedstock C									
Feedstock D									
Market Penetration (Liters - specify unit)									
Fuel Ethanol	0	1	2	1	0	0	0	0	0
Gasoline	16,449	17,500	19,470	21,389	23,062	25,392	28,240	31,000	34,000
Blend Rate (%)	0.000%	0.004%	0.009%	0.006%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Sumber: Slette & Wiyono, 2013: 5

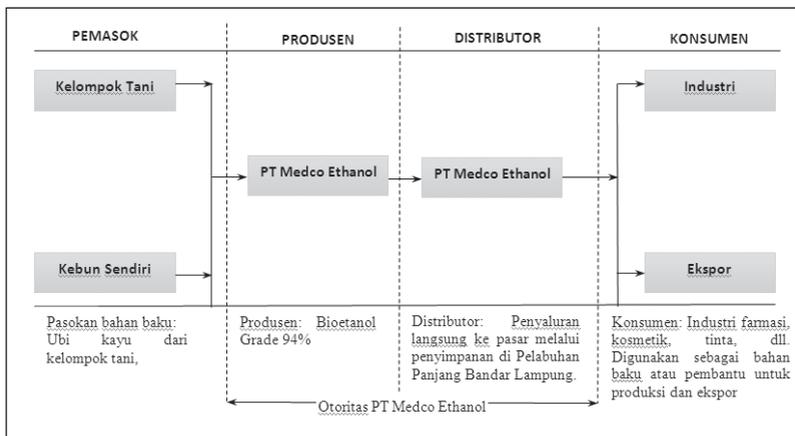
Buku ini tidak diperjualbelikan.

dari ubi kayu PT Medco Ethanol (Gambar 10.3) dan koperasi SGS yang rantai pasokannya terbangun dari kerja sama industri dengan masyarakat petani rakyat.



Sumber: dimodifikasi dari Saut *et al.* 2013

Gambar 10.2 Rantai pasokan industri bioetanol PT RNI-Cirebon (PSA Palimanan)



Sumber: dimodifikasi dari Saut *et al.* (2013)

Gambar 10.3 Rantai pasokan industri bioetanol PT Medco Ehtanol

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dari Gambar 10.2 dan Gambar 10.3 dapat ditunjukkan beberapa hal penting yang pada akhirnya menentukan keberlanjutan usaha. Secara khusus pasokan bahan baku untuk industri bioetanol PT RNI Cirebon sangat terkoordinasi dengan baik dan persediaan bahan baku tersedia dengan baik. Ketersediaan pasokan bahan baku ini sejalan dengan ketersediaan limbah olahan tebu (molase) dari produksi lima pabrik gula yang beroperasi di Jawa Barat. Oleh karena itu, pabrik bioetanol ini dapat “terintegrasi” dengan pabrik gula, walaupun pengelolaan pabrik terpisah. Selanjutnya, untuk distribusi produk bioetanol ke pasar, PSA Palimanan menggandeng distributor yang juga produsen turunan etanol untuk pemasaran produksinya. Pihak manajemen PSA Palimanan pada prinsipnya masih berkeinginan untuk bekerja sama dengan Pertamina untuk produksi bioetanol grade 99,5% sepanjang secara nilai ekonomis memungkinkan. Pada saat ini, dengan harga premium sebesar Rp6.500 maka secara ekonomi kerja sama ini masih belum memungkinkan. Walaupun demikian, pengembangan industri bioetanol oleh PT Perkebunan Nusantara (PTPN) X akan mengoperasikan pabrik bioetanol di Jawa Timur yang terintegrasi dengan pabrik gula. Kerja sama dengan PT Pertamina diproyeksikan untuk pengelolaan pabrik ini dalam menghasilkan bahan bakar biopremium pada tahun 2014 ini (Kementerian Perindustrian, 2013).

Berbeda dengan pabrik bioetanol dari bahan baku molase, industri bioetanol dari bahan baku ubi kayu oleh PT Medco Ethanol Lampung saat ini tidak beroperasi karena keterbatasan bahan baku. Hal ini dinyatakan oleh Direktur Utama PT Medco pada media Indonesia Finance Today, 2013. Penghentian kegiatan operasi kilang etanol ini disebabkan tidak mencukupinya pasokan bahan baku yang berkesinambungan. Hal ini dapat terjadi terkait dengan pasokan bahan baku dari kelompok tani. Pasokan bahan baku ubi kayu yang terbatas pada akhirnya menyebabkan pabrik tidak dapat beroperasi secara efisien. Terbatasnya pasokan bahan baku ubi kayu pada satu sisi dapat disebabkan adanya persaingan dalam pemanfaatan bahan baku ubi kayu sebagai bahan pangan dan untuk industri makanan.

Hasil penelitian Saut *et al.* (2013) menunjukkan bahwa 60% pasokan bahan baku ubi kayu untuk perusahaan ini dilakukan oleh kelompok tani. Hal ini juga berarti bahwa keberlanjutan pabrik sangat ditentukan oleh kelompok tani. Adapun dari sisi petani, berbagai keterbatasan dalam pengelolaan kebun terkait ketersediaan saprodi dan modal merupakan hambatan dominan untuk memenuhi pasokan ubi kayu ke industri. Oleh karena itu, industri pada satu sisi juga diharapkan dapat membangun kerja sama dengan kelompok tani dalam pengadaan saprodi dan modal kerja. Ketiadaan kesepakatan dalam pengelolaan kebun untuk menghasilkan produk ubi kayu sebagai bahan baku industri bioetanol akan menyebabkan berkurangnya pasokan bahan baku ke industri. Hal ini juga menunjukkan perlunya interaksi yang baik dengan petani dalam kelompok tani. Kunci keberhasilan interaksi yang baik tentunya dibangun dari kepercayaan antar para pelaku, keterbukaan informasi dan dinamika hubungan pemasok dan industri terkait dengan harga pasokan bahan baku, kemudahan akses pembiayaan untuk pengelolaan budi daya kebun dan dukungan pemerintah dalam penyediaan infrastruktur kegiatan usaha perkebunan ubi kayu.

D. Penutup

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa penyaluran produk dan pengembangan industri bioetanol yang berkelanjutan tidak dapat dilakukan hanya dengan membangun industri bioetanol semata. Pengembangan industri bioetanol harus dilakukan secara terintegrasi dari hulu sampai industri hilir. Mulai dari budi daya di lahan pertanian sampai penyaluran produk industri hilirnya ke konsumen. Selanjutnya, perlu juga diperhatikan bahwa sesuai dengan karakteristik industri agro yang pada umumnya memiliki ketidakpastian dan resiko tinggi maka pengelolaan rantai pasokan industri bioetanol yang terintegrasi dengan baik terkait interaksi dan peran para pelaku harus selalu terpelihara. Pada kasus industri bioetanol dari bahan baku ubi kayu di Lampung yang tidak mampu berlanjut karena

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kurangnya pasokan bahan baku, industri bioetanol ini pada dasarnya sudah dibangun berdasarkan prinsip kemitraan antara kelompok tani yang mengolah lahan pemda untuk memasok bahan baku ke pabrik bioetanol. Akan tetapi, pada perkembangannya pasokan bahan baku ke pabrik bioetanol tidak dapat berlanjut sesuai kapasitas pabrik sehingga pabrik tidak dapat beroperasi dengan efisien.

Berbeda dengan industri bioetanol dari bahan baku molase, bahan baku molase tersedia cukup banyak sebagai limbah dari proses pengolahan tebu menjadi gula. Pada kasus ini, perusahaan membuka pabrik bioetanol yang mengolah limbah proses pengolahan ini menjadi bioetanol. Oleh karena ke dua pabrik ini berada pada satu induk perusahaan maka pasokan bahan baku ke pabrik bioetanol relatif lebih terjamin, baik kuantitas maupun keberlanjutannya. Akan tetapi, pada sisi lain penyaluran produk bioetanol untuk campuran bahan bakar premium masih belum dapat dilaksanakan terkait harga yang ditawarkan masih belum menutupi ongkos produksinya. Pada kasus ini, integrasi industri terkendala pada bahan bakar premium yang masih belum dapat dilaksanakan terkait harga yang ditawarkan masih belum menutupi ongkos produksinya. Selain itu, integrasi industri terkendala pada penyaluran produk ke konsumen. Walaupun sejak tahun 2010 PT Pertamina sudah tidak menyalurkan lagi produk biopremium, tetapi produksi bioetanol dari molase PT RNI Cirebon masih dilanjutkan untuk memenuhi kebutuhan pemerintah dan industri lainnya serta untuk ekspor.

Menanggapi ketiadaan penyaluran biopremium ke konsumen, diharapkan pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan yang pada dasarnya dapat memberikan harga yang lebih rasional terhadap bioetanol. Pada kasus ini, penetapan harga indeks pasar (HIP) bioetanol masih rendah, masih berada pada Rp7.300, adapun biaya produksi bioetanol sudah mencapai Rp8.500 (Kementerian ESDM, 2013). Selanjutnya, kita dapat melihat tinjauan kebijakan penggunaan biopremium di negara tetangga, seperti yang ditunjukkan oleh Amerika Serikat dan Korea Selatan, penggunaan bioetanol

memperoleh insentif pajak dan insentif pembangunan SPBU (Kementerian ESDM, 2013). Oleh karena itu, tidaklah berlebihan jika pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan yang mendorong penggunaan bioetanol dengan menaikkan harga indeks pasar (HIP) dan memberikan insentif pada perusahaan yang memproduksi bioetanol untuk bahan bakar premium.

Daftar Pustaka

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2008). *Progress on Biofuel and Biomass Utilization in Indonesia. 5th Biomass - Asia Workshop*, Guangzhou, Cina.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2013). *Outlook Energi Indonesia 2013. Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral*. Jakarta: BPPT.
- Hendroko. (2009). Demam Bioetanol. <http://umum.kompasiana.com/>, diakses Februari 2011.
- Indonesia Finance Today. (2013). Medco Tutup Pabrik Ethanol. <http://www.indonesiainancetoday.com/read/52803/Medco-Tutup-Pabrik-Ethanol>, diakses Januari 2014.
- Indrajit, R.E., & Djokopranoto, R. (2002). *Konsep Manajemen Supply Chain*. Jakarta: PT Grasindo.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2012). *Handbook of Energy and Economic Statistic Indonesia*. Pusdatin, Kementerian ESDM
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2013). Cadangan Minyak Kita Cuma 1/100 Venezuela. <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/6487-cadangan-minyak-kita-cuma-1100-venezuela.html>, diakses Januari 2013.
- Kementerian Perindustrian. (2013). *Pabrik Bioetanol di Jawa Timur Siap untuk Dioperasikan*. Direktorat Jenderal Industri Agro.
- Marimin dan Maghfiroh. (2011). *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan dalam Manajemen Rantai Pasok*. Bogor: IPB Press.
- Pertamina. (2011). *Implementasi Komersialisasi BBN (Distribusi, Monitoring, Kontrol Kualitas)*. Jakarta: Direktorat Pemasaran dan Niaga.
- Pertamina. (2011). *Implementasi Komersialisasi BBN (Distribusi, Monitoring, Kontrol Kualitas)*. Jakarta: Direktorat Pemasaran dan Niaga.

- Prihandana, R., Noerwijan, K., Adinurani, P.G., Setyaningsih, D., Setiadi, S., & Hendroko, R. (2007). *Bioetanol Ubi Kayu; Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: Agro Media.
- Saut *et al.* (2013). *Peran Lembaga Litbang dan Industri serta Pemerintah dalam Rantai Pasokan Industri Bioetanol*. Jakarta: LIPI Press.
- Slette, J. & Wiyono, I.E. (2013). Indonesia Biofuels Annual 2013. *GAIN Report Number*. ID 1337.
- Sugiyono, A. (2008). Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Seminar Nasional Kebijakan Nasional Pemanfaatan Laban untuk Menanggulangi Dampak Pemanasan Global*. Yogyakarta.
- Taylor, D.H. (2005). Value Chain Analysis: An Approach to Supply Chain Improvement in Agri-Food Chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35 (10).11.1

POLICY ACTIONS PEMERINTAH TERHADAP PENGEMBANGAN BIOENERGI NASIONAL: Tinjauan Kebijakan Pasca Pemberlakuan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi

Prakoso Bhairawa Putera dan Amelya Gustina

A. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan paling esensial bagi makhluk hidup, terutama manusia. Tanpa keberadaan sumber energi, manusia akan kesulitan menjalankan roda kehidupan (Wahyuni, 2013: 2). Indonesia saat ini dihadapkan oleh ‘trilemma’ (Ardiansyah, Gunningham, & Drahos, 2012), yaitu keamanan energi, pencapaian tujuan dalam perubahan iklim, dan kemiskinan energi. Menghadapi kondisi ini, pemerintah dituntut untuk mampu menghadirkan kebijakan yang fokus dan secara eksklusif ke salah satu dari tiga dilema yang dihadapi Indonesia. Fokus kebijakan pada satu permasalahan akan mampu mendorong perubahan pada kedua permasalahan lainnya. Ardiansyah *et al.* (2012) juga meyakini bahwa langkah mengurangi cadangan minyak dan penurunan kapasitas produksi Indonesia untuk konsumsi utama sektor energi di Indonesia adalah rencana tepat dalam mencapai keamanan energi.

Agustiawan (2012) memandang bahwa salah satu cara agar Indonesia memiliki ketahanan energi adalah dengan adanya diversifikasi. Pemerintah didukung DPR perlu segera menjalankan program diversifikasi BBM dengan energi alternatif, seperti bahan bakar gas untuk sektor transportasi serta energi baru dan terbarukan untuk listrik. Widyastuti (2012) mencatat, pemerintah Indonesia seharusnya dapat lepas dari permasalahan ketergantungan energi pada minyak bumi. Akan tetapi, kebijakan energi nasional yang belum kompre-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hensif dan terpadu menjadi penyebabnya. Widyastuti mencontohkan hal itu dengan hadirnya pelbagai regulasi dari sejumlah kementerian/ departemen yang hanya berorientasi jangka pendek dan bersifat sektoral. Akibatnya, peraturan-peraturan yang ada tumpang tindih. Solusinya, sudah saatnya Indonesia memanfaatkan sumber energi baru dan terbarukan. Sukandarrumidi *et al.* (2013) kiranya sepakat bahwa pemikiran memanfaatkan sumber energi terbarukan, tidak lain adalah dalam usaha melakukan diversifikasi sumber energi konvensional. Namun, langkah tersebut harus diikuti dengan perubahan pola konsumsi kepada energi baru dan terbarukan. Langkah lain yang dipandang perlu adalah melalui pengembangan bioenergi berkelanjutan. Pengembangan ini dapat ditingkatkan melalui investasi dengan skala yang relatif rendah.

Alternatif populer yang ada saat ini adalah bioenergi (Karman, 2012), yaitu energi yang bersumber dari sumber daya yang dapat diperbarui. Pengembangan bioenergi nasional sebenarnya bukanlah hal baru di Indonesia. Sejak diterbitkannya Undang-undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, yang selanjutnya dikenal sebagai UU Energi dengan menggarisbawahi adanya prioritas pengembangan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan secara nasional (salah satunya) melalui bioenergi. Namun, regulasi ini belum juga mendapatkan perhatian dari pemangku kepentingan terkait. Alasan utama lambannya pengembangan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan secara nasional melalui bioenergi menjadi perhatian dari pemangku kepentingan telah diungkapkan Hermawati *et al.* (2013). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa kebijakan/program pemerintah dalam bidang energi (terutama bioenergi) belum memberikan kepastian kepada pihak swasta dan masyarakat untuk turut mengembangkan industri di sektor ini. Mekanisme insentif juga belum bersifat terbuka dan belum mengarah pada pembukaan pasar untuk bioenergi serta pengambil keputusan dan perumus kebijakan bioenergi tidak melakukan koordinasi dengan efektif, contohnya program bahan bakar nabati (BBN) tidak berjalan efektif (Hermawati *et al.*, 2013).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tiga alasan yang dikemukakan Hermawati *et al.* (2013) mengindikasikan bahwa kebijakan publik untuk sektor energi baru dan terbarukan, khususnya bioenergi masih belum mendapat perhatian lebih dari pemerintah sebagai aktor perumus dan pembuat kebijakan. Padahal, kebijakan dalam bentuk regulasi merupakan keputusan yang dibuat oleh negara, sebagai strategi untuk merealisasikan tujuan dari negara (Nugroho, 2013). Hal ini, jika dihubungkan dengan tujuan negara, harus berdasar bahwa sumber daya energi merupakan kekayaan alam sebagaimana diamanatkan dalam Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, yaitu dikuasai negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Bahkan, tujuan tersebut dijabarkan lebih lanjut dalam Pasal 3 UU Energi, di mana disebutkan peranan energi sangat penting artinya bagi peningkatan kegiatan ekonomi dan ketahanan nasional sehingga pengelolaan energi yang meliputi penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaan-nya harus dilaksanakan secara berkeadilan, berkelanjutan, rasional, optimal, dan terpadu.

Adapun bentuk lain dari perhatian terhadap pengambil kebijakan di sektor ini dapat terlihat dengan terbitnya instrumen pendukung ataupun instrumen regulasi yang telah diamanatkan pada peraturan perundang-undangan yang lebih tinggi. Namun, alat ini masih terbatas.

Agar dapat berfungsi dengan efektif, sebuah kebijakan memerlukan “instrumen/alat” kebijakannya (*policy tools/instruments*). Instrumen kebijakan adalah seperangkat langkah atau tindakan yang dilakukan oleh pemerintah untuk merealisasikan kebijakan yang ditetapkan (Taufik, 2005). Setiap (atau kombinasi beberapa) instrumen kebijakan biasanya melibatkan (mengandung) setidaknya tiga aspek, yaitu 1) piranti hukum (*legal devices*), yaitu menyangkut aspek legal/hukum yang mendukungnya (melandasinya); 2) tatanan kelembagaan (*institutional setting*), yaitu berkaitan dengan tatanan lembaga (organisasi) yang terlibat, fungsi, dan pengorganisasian (struktur dan hubungan atau interaksi antaraktor); dan 3) mekanisme operasional (*operational*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mechanism) yang berkaitan dengan pola, cara/metode, dan prosedur serta proses pelaksanaan dalam implementasi praktis.

Jika dilihat lebih lanjut, dalam rangka pelaksanaan Pasal 22 dan Pasal 30 Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi maka perlu adanya peraturan pemerintah tentang energi baru dan energi terbarukan, di mana pada ketentuan tersebut wajib memberikan ketentuan lebih lanjut mengenai pemberian kemudahan dan/atau insentif oleh pemerintah dan/atau pemerintah daerah sesuai kewenangannya dan ketentuan lebih lanjut mengenai penyediaan dan pemanfaatan energi oleh pemerintah dan/atau pemerintah daerah serta pendanaan kegiatan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi energi baru dan energi terbarukan. Namun, ketentuan tersebut belum ada¹.

Saat ini, yang tersedia baru dokumen draf kebijakan dalam bentuk Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Energi Baru dan Energi Terbarukan. Pengembangan energi baru dan energi terbarukan khususnya bioenergi berdasarkan Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Energi Baru dan Energi Terbarukan, disebutkan pada Pasal 2 Ayat (3) bahwa energi terbarukan hayati, yang selanjutnya disebut bioenergi, terdiri dari biodiesel, bioethanol yang khusus untuk bahan bakar, *biooil*, biogas, dan biomassa. Berdasarkan ketersediaan dokumen kebijakan yang ada maka perlu untuk melihat dan mengidentifikasi tindakan kebijakan yang telah diambil oleh pemerintah pasca pemberlakuan UU Energi, terutama yang terkait dengan pengembangan bioenergi. Analisis ini menjadi penting untuk melihat sejauh mana respons pemerintah menjalankan UU Energi.

¹ Hingga Desember 2013, pengaturan mengenai energi baru dan energi terbarukan yang direncanakan dalam bentuk peraturan pemerintah masih dalam bentuk rancangan peraturan pemerintah (RPP) revisi tanggal 1 Juli 2011. Dokumen ini dapat diakses secara terbuka melalui www.ebtke.esdm.go.id/id/download/doc_download/268-rpp-ebt-baru-01-07.html.

B. Policy Actions: Perspektif Teori

Kebijakan merupakan seperangkat kekuatan yang digunakan untuk memengaruhi struktur dan kinerja sistem, dengan kata lain kebijakan adalah serangkaian tindakan yang diambil oleh pemilik masalah untuk mengontrol sistem, membantu memecahkan masalah di dalamnya atau yang disebabkan oleh sistem, atau membantu memperoleh manfaat dari sistem tersebut. Pencapaian suatu kondisi tertentu merupakan tujuan dari kebijakan, dan tindakan kebijakan dimaksudkan untuk membantu memenuhi tujuan (Thissen & Walker, 2013).

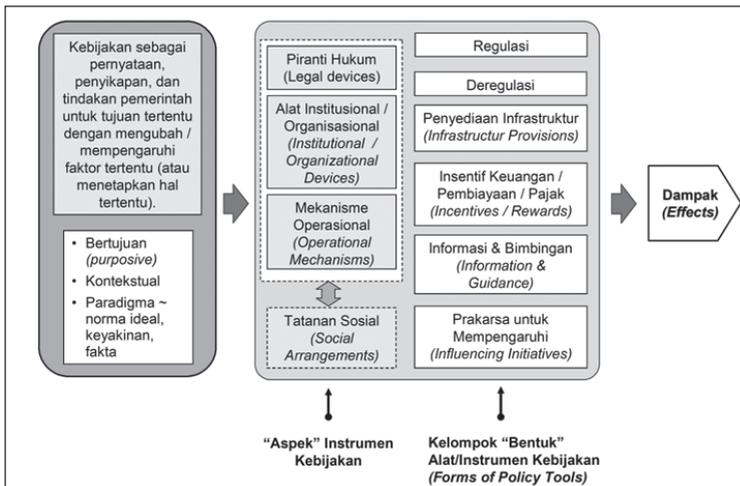
Berdasarkan bentuk “tujuan utama” kebijakan maka terdapat enam kelompok tindakan kebijakan (*policy actions*) yang paling mendasar (Taufik, 2005), yaitu

- 1) Regulasi (*regulation*) merupakan tindakan kebijakan yang bersifat penetapan pengaturan (*regulatory*), dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah membuat ketentuan dan batasan atau “rambu-rambu” tertentu dalam konteks bidang/isu yang diatur.
- 2) Deregulasi (*deregulation*) merupakan tindakan kebijakan yang bersifat penetapan pengaturan (*regulatory*), dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah membuat penghapusan atau pelanggaran ketentuan dan batasan tertentu (atau hal-hal yang sebelumnya dinilai membatasi) dalam konteks bidang/isu yang diatur
- 3) Insentif (*incentives/rewards*) merupakan tindakan kebijakan yang pada dasarnya bukan bersifat penetapan pengaturan, dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah merangsang, mendorong atau mempercepat proses tertentu atau pencapaian hal tertentu dengan memberikan suatu bentuk rangsangan atau imbalan tertentu dalam konteks bidang/isu tertentu.
- 4) Penyediaan infrastruktur (*infrastructure provisions*) merupakan tindakan kebijakan yang pada dasarnya bukan bersifat penetapan pengaturan (*non-regulatory*), dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah memberikan/menyediakan hal tertentu yang

biasanya bersifat infrastrukturnal dan barang publik (*public goods*) dalam konteks bidang/isu tertentu.

- 5) Informasi/pedoman (*information/guidance*) merupakan tindakan kebijakan yang pada dasarnya bukan bersifat penetapan pengaturan (*non-regulatory*), dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah memberikan/menyediakan dan menyampaikan hal tertentu yang berupa informasi atau berfungsi sebagai pedoman (panduan) spesifik dalam konteks bidang/isu tertentu.
- 6) Pengaruh (*influence*) merupakan tindakan kebijakan yang pada dasarnya bukan bersifat penetapan pengaturan (*non-regulatory*), dengan esensi dan bentuk tujuan utamanya adalah mempengaruhi, atau mendorong terjadinya perubahan atau membantu proses perubahan pada pihak tertentu (atau masyarakat umum) dalam konteks bidang/isu tertentu.

Konsep ini kemudian digunakan untuk memahami tindakan kebijakan pemerintah dalam pengembangan bioenergi nasional. Secara diagramatis struktur umum kebijakan yang diutarakan Taufik (2005) pada Gambar 11.1 dapat digunakan.



Sumber: Taufik (2005)

Gambar 11.1 Struktur umum kebijakan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kusdiana (2013)

Gambar 11.2 Kebijakan pokok pengembangan dan implementasi bioenergi di Indonesia

C. Policy Actions Pemerintah Pusat

Tindakan kebijakan pemerintah pusat yang sangat dikenal adalah bentuk regulasi (*regulation*). Khusus kebijakan bioenergi, hingga tahun 2013 terdapat enam regulasi pokok yang menjadi dasar pengembangan dan implementasi dari bioenergi di Indonesia.² (lihat Gambar 11.2).

Keenam regulasi tersebut memberikan pengaturan dan batasan yang berbeda-beda. Richana (2011: 9) menilai bahwa Inpres No. 1 Tahun 2006 dan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 merupakan tonggak dalam penggunaan sumber energi terbarukan berupa BBN atau bioenergi di Indonesia. Namun, dari keenam regulasi pengembangan bioenergi nasional, Peraturan Menteri (Permen) ESDM No. 25 Tahun 2013 menarik untuk diulas. Permen ESDM ini merupakan

² Hasil Diskusi dan Paparan FGD Kebijakan Energi “Kebijakan Energi di Indonesia: Tantangan Implementasi dan Harapan Sumber Daya Biomassa sebagai Sumber EBT”, Santika Premier Hotel, Jakarta: 17 Oktober 2013

perubahan atas Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008 yang menggaris bawahi penyediaan, pemanfaatan, dan tata niaga bahan bakar nabati sebagai bahan bakar lain. Regulasi ini terkait erat dengan mandatori pemanfaatan bahan bakar nabati pada sektor transportasi, industri, pembangkit listrik, dan mengatur tentang kegiatan usaha niaga bahan bakar nabati serta pembinaan dan pengawasan. Salah satu butir penting perubahannya adalah menaikkan penggunaan BBM dari 7,5% menjadi 10%. Perubahan lainnya terlihat pada Tabel 11.1.

Uniknya, Permen ESDM No. 32 Tahun 2008 harus menunggu waktu yang lama untuk diimplementasikan. Permasalahan utama yang muncul dari terbelengkalainya kebijakan ini adalah sebagian besar para pemasok biodiesel menanti kapastian mengenai penetapan harga dari Kementerian Keuangan terkait dengan penghitungan indeks atas harga biodiesel (Efendi & Putra, 2013). Lamanya proses ini lebih disebabkan alasan teknis, yaitu fluktuasi harga bahan baku dan volume permintaan yang memengaruhi perhitungan harga acuan. Pihak produsen memandang perlu penetapan harga yang realistis dan ekonomis agar industri *biofuel* tetap bisa hidup dan berkembang. Selain itu, ada pula tuntutan agar pemerintah memberikan insentif berupa keringanan pajak. Insentif yang dimaksud meliputi keringanan PPh dan bea masuk impor barang modal.

Regulasi berikutnya adalah Peraturan Menteri No. 19 Tahun 2013 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota. Regulasi ini memberikan kewajiban kepada PT PLN untuk membeli tenaga listrik dari pembangkit listrik berbasis sampah kota dalam rangka memenuhi kebutuhan tenaga listrik nasional, pemanfaatan energi terbarukan, dan penggunaan energi ramah lingkungan. Pembelian tersebut haruslah tenaga listrik yang berasal dari pembangkit listrik berbasis sampah kota yang dikelola oleh badan usaha (badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, badan usaha swasta yang berbadan hukum, dan koperasi yang berusaha di bidang penyediaan tenaga listrik).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 11.1 Perubahan Permen ESDM Nomor 32 Tahun 2008

1	Perubahan kewenangan penanganan pengelolaan BBN dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi menjadi kewenangan Direktorat Jenderal EBTKE
2	Perluasan lingkup definisi dan pengaturan BBN yang semula hanya mengatur tentang <i>biofuel</i> (sebagai BBN cair) menjadi BBN yang terdiri dari BBN cair, BBN padat, dan BBN gas.
3	Penambahan kewajiban pemanfaatan BBN cair bagi industri pertambangan mineral dan batu bara.
4	Penambahan kewajiban pemanfaatan biomassa untuk dicampur dengan batubara pada pembangkit listrik melalui <i>cofiring</i> bagi badan Usaha Pembangkit Tenaga Listrik yang menggunakan batu bara.
5	Penyediaan infrastruktur pendistribusian BBN oleh Badan Usaha BBM.
6	Pengaturan izin usaha niaga BBN.
7	Pemberian sanksi administrasi untuk Badan Usaha BBN (Dirjen Ketenagalistrikan atas usul dari Dirjen EBTKE) yang tidak melaksanakan kewajiban pemanfaatan BBN.
8	Perubahan pentahapan kewajiban minimal pemanfaatan BBN pada tiap sektor.

Pembelian tenaga listrik sesuai dengan Permen ESDM dapat dilakukan apabila pembangkit listrik berbasis sampah kota yang dikelola oleh badan usaha tersebut menggunakan teknologi *zero waste*³ atau dapat pula dari teknologi *sanitary landfill* dalam pengelolaan sampah menjadi energi. Implikasi dari penggunaan jenis teknologi berpengaruh terhadap harga pembelian tenaga listrik oleh PLN. Ada dua skema harga pembelian tenaga listrik dengan kapasitas sampai dengan 10 MW berdasarkan jenis teknologi yang digunakan, yaitu

1. Menggunakan teknologi *zero waste*, ditetapkan sebagai berikut:
 - a) Rp1.450/kWh, jika terinterkoneksi pada tegangan menengah;
 - b) Rp1.798/kWh, jika terinterkoneksi pada tegangan rendah.

³ *Zero waste* merupakan teknologi pengelolaan sampah sehingga terjadi penurunan volume sampah yang signifikan melalui proses terintegrasi dengan gasifikasi atau insenerasi.

- 2) Menggunakan teknologi *sanitary landfill*⁴, ditetapkan sebagai berikut:
 - a. Rp1.250/kWh, jika terinterkoneksi pada Tegangan Menengah;
 - b. Rp1.598/kWh, jika terinterkoneksi pada tegangan rendah.

Selain dapat membeli tenaga listrik dengan kapasitas sampai dengan 10 MW, PLN dimungkinkan juga membeli tenaga listrik dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota dengan kapasitas di atas 10 MW dengan harga pembelian tenaga listrik didasarkan pada kesepakatan antara PLN dengan badan usaha tersebut. Harga pembelian tenaga listrik baik dengan kapasitas sampai dengan 10 MW ataupun di atas 10 MW sudah termasuk seluruh biaya interkoneksi dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota ke titik interkoneksi jaringan tenaga listrik PLN. Kontrak jual beli tenaga listrik tersebut berlaku selama 20 tahun.

Selain itu, terdapat juga dua regulasi dalam bentuk peraturan menteri yang menggarisbawahi pentingnya serta keterkaitannya dengan pengembangan dan implementasi bioenergi, yaitu Peraturan Menteri ESDM No. 03 Tahun 2013 tentang Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Energi Perdesaan Tahun Anggaran 2013, dan Peraturan Menteri ESDM No. 21 Tahun 2013 tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 15 Tahun 2010 Tentang Daftar Proyek-Proyek Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik yang Menggunakan Energi Terbarukan, Batu bara, dan Gas Serta Transmisi Terkait.

Pemerintah pusat secara nasional sebenarnya telah memainkan peran, seperti peningkatan pengembangan bioenergi melalui lima mekanisme pengembangan, yaitu 1) penciptaan pasar, peran ini dilaksanakan di antaranya melalui kewajiban penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati, kewajiban PLN untuk pembelian listrik dari energi terbarukan, dan penetapan SNI; 2) pemberian subsidi, langkah

⁴ *Sanitary landfill* merupakan teknologi pengolahan sampah dalam suatu kawasan tertentu yang terisolir sampai aman untuk lingkungan.

ini telah berjalan sejak 2009. Subsidi diberikan atas selisih harga BBM dengan harga BBN. Mekanisme penyaluran subsidi melalui Pertamina selaku distributor BBM jenis tertentu; 3) penetapan harga jual listrik, langkah ini ditetapkan melalui Peraturan Menteri ESDM yang mengatur harga jual listrik dari energi terbarukan yang dibeli oleh PLN; 4) pemberian insentif dan kemudahan, langkah ini masih belum *familiar* walaupun tawaran mengenai pemotongan pajak, bea masuk, prosedur perizinan yang lebih sederhana sering kali diwacanakan; 5) penyediaan anggaran dan pendukung lainnya.

Langkah berikut yang diambil pemerintah adalah dengan menetapkan enam program pengembangan bioenergi, yaitu

1. Program pengembangan bahan bakar nabati sebagai pengganti bahan bakar minyak. Langkah ini dilakukan melalui pemanfaatan biodiesel sebesar 7,5% (B-7,5) pada sektor transportasi PSO, pemanfaatan biodiesel sebesar 2% (B-2) pada sektor transportasi non-PSO, pemanfaatan biodiesel pada sektor industri sebesar 2% (B-2) pada industri pertambangan, mineral, dan batu bara serta akan diperluas ke subsektor industri lainnya secara bertahap, dan pemanfaatan biodiesel pada sektor pembangkit listrik;
2. Program pengembangan biogas, langkah nyata dari program ini terlihat dari adanya implementasi biogas pada skala rumah tangga dan pada skala komunal atau industri, dilaksanakannya sejumlah proyek biogas melalui anggaran pemerintah (program Desa Mandiri Energi), atau bisa juga melalui investasi swasta dan secara semi komersial. Pengembangan *digester* biogas terbangun hingga 9.000 unit untuk skala rumah tangga;
3. Program pengembangan pembangkit listrik berbasis bioenergi. Wujud tindak pemerintah terlihat dari telah ditetapkannya *feed in* tarif untuk pembangkit listrik yang berbasis biomassa dan sampah kota melalui Peraturan Menteri ESDM No. 4 Tahun 2012 dan Peraturan Menteri ESDM Nomor 19 Tahun 2013. Pengembangan pembangkit listrik dengan tenaga biomassa telah dikembangkan dengan mekanisme invensi swasta maupun

public private partnership, PLT Bioenergi yang sudah dikembangkan antara lain PLT Biomassa dari cangkang kelapa sawit dan limbah pertanian (pembakaran, gafisikasi), PLT Biomassa dari biogas POME, limbah cair industri, dan PLT Biomassa sampah kota dengan total kapasitas terbangkitkan sebesar 75,5 MW yang terhubung dengan jaringan PLN;

4. Program Desa Mandiri berbasis bioenergi. Program ini bertujuan agar pengembangan pemanfaatan bioenergi bagi desa-desa dapat memenuhi energinya sendiri dari sumber energi setempat. Kong (2010: 25) menilai melalui DME, kebutuhan energi pedesaan di satu sisi dan keterbatasan kemampuan pemerintah untuk melayani kebutuhan energi pedesaan di sisi lain dapat dipertemukan dengan cara memanfaatkan sumber-sumber daya lokal yang tersedia;
5. Program tungku sehat dan hemat energi. Program ini mendorong pemanfaatan tungku yang berbahan bakar biomassa yang lebih sehat dan hemat energi. Saat ini sudah terimplementasikan di wilayah pedesaan di Jawa dan Nusa Tenggara;
6. Program Pulau Ikonis Energi Terbarukan atau yang dikenal dengan *Iconic Island*, program ini merupakan tindakan pemerintah untuk mengembangkan suatu pulau berukuran kecil dan sedang di Indonesia, yang dapat memenuhi kebutuhan energinya sendiri melalui pemanfaatan energi terbarukan khususnya bioenergi. Pulau Sumba merupakan proyek percontohan dan akan dikembangkan ke pulau-pulau lain sesuai dengan kriteria.

Tindakan kebijakan yang diambil oleh pemerintah pusat pada implementasinya dapat saja memberikan manfaat dan respons positif dari masyarakat. Program Bahan Bakar Nabati, contohnya, sejak diterbitkan Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006, pemanfaatan bahan bakar nabati mulai digulirkan. Kebijakan ini kemudian dikuatkan dengan kebijakan *mandatory* pemanfaatannya pada sektor transportasi, industri, dan pembangkit listrik (Permen ESDM No. 32 Tahun 2008). Kondisi ini ternyata memberikan angin segar bagi industri BBN di

mana Indonesia hingga agustus 2013 memiliki kapasitas terpasang BBN untuk jenis biodiesel sebesar 5,637 juta KL, dan bioetanol sebesar 416,3 ribu KL pertahun. Saat ini, terdapat 25 produsen biodiesel dan 8 produsen bioetanol yang telah memiliki izin usaha niaga BBN (ESDM, 2013). Kondisi ini jelas terus bertambah dari tren tahun 2006, yang saat itu belum terdapat kapasitas terpasang industri BBN. Produksi biodiesel pada tahun 2012 sebesar 2,2 juta KL, meningkat 4 kali lipat dari tahun 2010 yang hanya sekitar 500 ribu KL.

Data dari Kementerian ESDM juga menunjukkan adanya peningkatan pemanfaatan biodiesel di dalam negeri pada tahun 2012, yakni sebesar 669 ribu KL, meningkat 100% dari tahun 2011 yang hanya 359 ribu KL. Tidak hanya itu, sejak bulan Februari 2012, persentase pemanfaatan biodiesel dalam solar bersubsidi meningkat dari 5% menjadi 7,5% dan direncanakan menjadi 10% di tahun 2013.

Implementasi program pemanfaatan biogas rumah tangga pun cenderung menuai respons positif. Pada tahun 2012, pemerintah melalui Kementerian ESDM telah membangun sebanyak 400 unit *digester* biogas untuk keperluan rumah tangga kapasitas 6 m³ di Sumatra, Jawa, dan Sulawesi, selain itu sebanyak 23 unit *digester* biogas komunal kapasitas 20 m³ juga ikut dibangun, dan sebanyak 6 unit *digester* biogas dari limbah tahu dengan kapasitas 40 m³, 90 m³, dan 136 m³.

Jauh sebelum itu, Nugroho (2006) mencatat ada program nasional untuk melistriki sekitar 60.000 desa di tanah air. Namun, program tersebut bersandar pada perluasan jaringan distribusi dari PLN. Padahal desa atau daerah tertinggal tidak hanya membutuhkan tenaga listrik, tetapi juga energi lainnya seperti BBM atau bahkan biogas yang digunakan untuk memasak dan penerangan.

D. Policy Actions Pemerintah Daerah

Selain pemerintah pusat melalui Kementerian ESDM yang mengeluarkan tindakan kebijakan, ada juga pemerintah daerah yang memberikan respons dengan mengeluarkan kebijakan terkait dengan energi baru dan terbarukan. Pemerintah Kabupaten Belitung Timur

contohnya. Pada tahun 2008, Pemda Belitung Timur menerbitkan Peraturan Daerah (Perda) No. 12 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Kewenangan Bidang Ketenagalistrikan. Perda ini bertujuan untuk memberikan ketentuan mengenai pengelolaan dan menjamin ketersediaan tenaga listrik yang baik bagi masyarakat di Belitung Timur. Perda ini juga membuka kesempatan bagi industri untuk mengelola listrik dengan memenuhi ketentuan perizinan, pengawasan, dan pembinaan.

Pemerintah Provinsi Kalimantan Tengah pada tahun 2012 juga menerbitkan kebijakan daerah terkait dengan energi, yaitu Perda No. 6 Tahun 2012 tentang Ketenagalistrikan dan Pemanfaatan Energi. Perda tersebut menyebutkan bioenergi sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Sebagai sumber energi terbarukan maka sesuai Pasal 24, pemerintah daerah (Kalimantan Tengah) dalam mempercepat pembangunan kelistrikan desa wajib mengutamakan sumber energi baru dan terbarukan salah satunya melalui bioenergi, dan dalam pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan oleh pihak swasta dan perorangan, pemerintah daerah wajib memberikan kemudahan dan insentif sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku. Ketentuan ini jelas memberikan kesempatan kepada pihak industri untuk ikut serta dalam pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan di Kalimantan Tengah.

Selain itu terdapat juga Perda Provinsi Nusa Tenggara Barat No. 3 Tahun 2010 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) Tahun 2009–2029. Pada pasal 12 dari kebijakan tersebut disebutkan salah satu pembangkit listrik tenaga bio-energi (PLTBE) sebagai bagian sistem jaringan energi dan kelistrikan pembangkit tenaga listrik di provinsi NTB.

Berdasarkan kondisi yang ada, dapat dilihat bahwa respons daerah terhadap pengembangan bioenergi nasional masih sangat minim, jika pun adanya kebijakan di daerah masih bersifat parsial dan belum benar-benar memberikan respons kebijakan khusus terkait dengan bioenergi. Tindakan kebijakan yang ada baru sebatas pencantuman bioenergi sebagai salah satu sumber energi terbarukan.

E. Penutup

Tindakan kebijakan yang diambil oleh pemerintah pusat ternyata tidak hanya bersifat penetapan pengaturan (*regulatory*) saja, tetapi sudah menyentuh pada tindakan yang bersiat memengaruhi atau mendorong terjadinya perubahan penggunaan bioenergi secara nasional. Walaupun masih terdapat catatan di mana konsistensi tindakan kebijakan yang diambil oleh pemerintah terkait dengan pengembangan bioenergi masih sangat kurang. Terlebih hanya terdapat enam kebijakan pengaturan yang level kebijakannya pun masih setingkat peraturan menteri sehingga daya atur dan daya tekan kebijakan kurang kuat dibandingkan dalam bentuk peraturan pemerintah.

Angin segar dalam pengembangan bioenergi nasional dapat hadir apabila rancangan peraturan pemerintah mengenai energi baru dan terbarukan dapat segera diterbitkan. Rancangan peraturan pemerintah ini memberikan pengaturan dan penguat akan pentingnya pengembangan bioenergi secara nasional.

Daftar Pustaka

- Agustiawan, H. (2012). Meningkatkan Ketahanan Energi. *Kompas*, 14 Maret 2012.
- Ardiansyah, F., Gunningham, N., & Drahos, P. (2012). An Environmental Perspective on Energy Development in Indonesia. Dalam Caballero-Anthony, M., Chang, Y., & Putra, N.A. *Energy and Non-Traditional Security (NTS) in Asia*, hlm. 89–117. New York: Springer Science Business Media.
- Budiarto, R. (2011). *Kebijakan Energi: Menuju Sistem Energi yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Samudra Biru.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi-Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2013). *Informasi Umum Bioenergi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi-Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Efendi, D. & Putra, E. (2013). Mandatori BBN Sarat Masalah. *Global Energi* Oktober–November 10, 11–18.
- Hermawati, W., Mahmudi, Maulana, I., Rosaira, I., & Alamsyah, P. (2013). *Sumber Daya Biomassa: Potensi Energi Indonesia yang Terabaikan*. Bogor: IPB Press.

- Karman, J. (2012). *Teknologi dan Proses Biomassa*. Bandung: Alfabeta.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2013). Cadangan Minyak Kita Cuma 1/100 Venezuela. <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/6487-cadangan-minyak-kita-cuma-1100-venezuela.html>, diakses Januari 2013.
- Kong, G.T. (2010). *Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan, Pengantar Solusi Pemanasan Global yang Ramah Lingkungan*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Kusdiana, D. (2013). Kebijakan Energi Baru Terbarukan Nasional-Pengembangan Bioenergi. *Paparan FGD Kebijakan Energi di Indonesia: Tantangan Implementasi dan Harapan Sumber Daya Biomassa sebagai Sumber EBT*, Santika Premier Hotel, Jakarta: 17 Oktober 2013.
- Lewerissa, K.B. (2010). Bioenergi: Bahan Bakar Masa Depan. *An Anthology of Scientific Articles III: Crossing the Border*, 67–71.
- Nugroho, H. (2006). Strategi Pengembangan Pembangkit Energi Alternatif di Pedesaan dan Daerah Tertinggal. *Perencanaan Pembangunan*. Edisi September 2006.
- Nugroho, R. (2011). *Public Policy*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Nugroho, R. (2013). *Metode Penelitian Kebijakan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Putra, Trisna. (2013). Penerapan Manajemen Energi di Lingkungan Industri dalam Meminimalisir Biaya Operasional. *Jurnal Menara Ilmu*, 4 (37) Mei, 108–119.
- Richana, N. (2011). *Bioetanol: Bahan Baku, Teknologi, Produksi dan Pengendalian Mutu*. Bandung: Penerbit Nuansa.
- Sukandarrumidi., Kotta, H.Z., & Wintolo, D. (2013). *Energi Terbarukan: Konsep Dasar Menuju Kemandirian Energi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Taufik, T.A. 2005. *Pengembangan Sistem Inovasi Daerah: Perspektif Kebijakan*. Jakarta: P2KT PUD-PKM dan Deputi Bidang Pengembangan SIPTEKNAS KRT.
- Thissen, W.A. & Walker, W.E. (2013). *Public Policy Analysis: New Developments*. New York: Springer Science Business Media.
- Wahyuni, S. (2013). *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM Gas dan Listrik*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Widyastuti, R.S. (2012). Sulit Bertahan Jika Kebijakan Energi Minim. *Kompas*, 27 Maret 2012.

EPILOG

Energi Terbarukan Biomassa: Potensi Besar dan Tersebar

Sunit Hendrana

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat penting bagi kehidupan manusia di masa sekarang dan masa depan. Sumber energi yang dapat diperoleh biomassa sangat beragam, seperti yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Sumber energi terbarukan biomassa tidak hanya berasal dari kekayaan alam yang memang dimiliki oleh Indonesia, namun dapat berasal dari aktifitas makhluk hidup, seperti limbah rumah tangga dan hasil ekskresi. Perlu diperhatikan bahwa pengembangan sumber energi biomassa ini memiliki beberapa ciri khas, di antaranya memerlukan lahan yang luas (dibandingkan dengan energi fosil untuk tingkat produksi energi yang sama) dan memerlukan manajemen yang lebih luas sebagai konsekuensinya. Wilayah Indonesia yang sangat beragam serta tipe sumber energi terbarukan biomassa yang juga sangat beragam mengharuskan aplikasi sumber energi terbarukan biomassa memperhatikan lokasi dan teknologi yang akan diterapkan.

A. Energi Biomassa

Apapun bentuknya, energi biomassa berasal dari pemanfaatan sinar matahari dan karbon yang berasal dari atmosfer. Energi tersebut tersimpan pada makhluk hidup dalam berbagai macam bentuk. Jenis biomassa tanaman sebagai sumber energi biomassa dapat memenuhi sekitar 5% kebutuhan energi dunia pada tahun 2006 (Field *et al.*, 2007).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

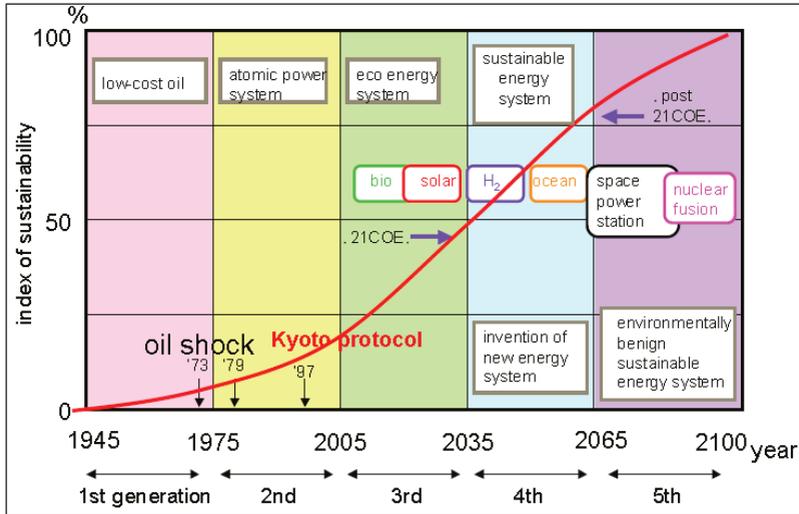
Dalam penyediaan energi masa depan, sumber energi biomassa menduduki peranan yang penting karena beberapa hal berikut.

- 1) Prinsip dari biomassa sebagai sumber energi terbarukan adalah energi yang tersimpan di dalam biomassa yang merupakan hasil dari kombinasi menangkap energi dari matahari penggunaan karbon dari karbon dioksida yang banyak terdapat di alam (Klass, 1998);
- 2) Sumber energi yang tersimpan di dalam biomassa dapat beragam (Klass, 1998) dari cara pembakaran, gasifikasi, maupun cara kimiawi dan biologis;
- 3) Semua produk yang dihasilkan dari petroleum dan gas alam dapat dihasilkan dari sumber biomassa (Klass, 1998);
- 4) Biomassa merupakan salah satu sumber energi andalan pada masa '*efficiency energy system*' (Yoshikawa, 2005);
- 5) Energi terbarukan biomassa sebenarnya bukan hanya diterapkan pada daerah pedalaman atau desa. Sumber energi ini dapat dikembangkan di perkotaan dengan memanfaatkan hasil aktifitas manusia di perkotaan.

Di Indonesia, energi biomassa juga menjadi salah satu dari Prioritas Pembangunan Nasional. Energi merupakan Prioritas Nasional ke-8 (Presiden RI, 16 Agustus 2012). Pemilihan sektor energi menjadi Prioritas Pembangunan Nasional memiliki arti penting, sebab energi memiliki keterkaitan pada ekonomi, populasi, dan lingkungan (Ghosh and M.A. Prelas, 2009). Salah satu yang dikembangkan di Indonesia melalui Program Prioritas Nasional tersebut adalah tentang *Biogasoline* dari Lignoselulosa yang dipimpin oleh Pusat Penelitian Kimia (PPK) dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

B. Peran penting Energi Terbarukan Biomasa

Yoshikawa (2005) telah memperkirakan skema pertumbuhan dan keperluan energi seperti tertera dalam Gambar 12.1.



Sumber : Yoshokawa (2005)

Gambar 12.1 Skema perkembangan sumber energi selama 100 tahun

Salah satu keuntungan pemakaian sumber energi biomassa adalah teknologinya yang sudah mencapai tahap matang (*mature*) sehingga tidak diperlukan investasi yang besar untuk penelitian. Di samping itu, ketersediaannya melimpah dan mudah didapat. Hal yang perlu diperhatikan adalah pola manajemen, di mana instalasi energi biomassa biasanya memerlukan lahan yang lebih luas dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya (European Commissions, 2005).

Studi di Amerika menyatakan bahwa sumber energi biomassa memiliki harga listrik rata yang paling rendah dibanding sumber energi terbarukan lainnya (angin, PV, dan *solar thermal*). Di samping itu, penempatan sumber energi terbarukan dapat menciptakan lapangan pekerjaan dibandingkan dengan instalasi sumber energi angin, PV, dan *solar thermal* (Amer & Daim, 2011).

Biomassa dapat diolah menjadi energi langsung seperti dengan cara dibakar. Biomassa (sesuai dengan tipenya) dapat diolah menjadi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bahan bakar cair seperti menjadi bioetanol, biogasolin, dan biodiesel. Sifat-sifat yang dimiliki sumber energi terbarukan biomassa, dengan segala jenis dan teknologinya, menempatkan sumber energi biomassa menjadi jembatan antara pola pemakaian energi pada masa energi minyak bumi dengan pola pemakaian energi pada masa energi terbarukan. Bahan bakar ini mempunyai karakter bahan bakar masa sekarang, yaitu mudah disimpan, mudah dibawa, mudah didistribusikan, dan mudah digunakan yang merupakan suatu ciri yang dimiliki oleh bahan bakar minyak bumi.

Pada sisi lain, dengan proses tertentu biomassa dapat menghasilkan gas hidrogen. Hidrogen adalah salah satu kandidat dari sumber energi pada masa *sustainable energy system* (Yoshikawa, 2005; Turner, 2004). Energi hidrogen diperkirakan akan memiliki posisi penting pada masa ini. Hidrogen merupakan sumber bahan bakar yang utama pada masa datang karena dapat menghasilkan energi yang bebas polusi.

C. Tantangan dan Kesempatan Pengembangan

Karena sumber pembentukan energi biomassa yang unik, yang dibentuk dari pemanfaatan energi matahari dan sumber karbon dioksida dari udara yang diolah oleh metabolisme, tumbuhan atau makhluk hidup maka sumber ini dapat menghasilkan bahan bakar berupa cairan maupun gas. Bahan bakar cair tersebut dapat berupa bioetanol, biodiesel, maupun biogasolin. Dengan demikian, penggunaan sumber energi terbarukan biomassa tidak mengganggu siklus karbon, hanya mengambil energi yang sudah tersimpan sebelumnya melalui proses yang dilakukan oleh alam (atau proses yang dilakukan oleh makhluk hidup).

Tantangan muncul bukan dari sisi teknologi, karena hampir semua teknologi yang diperlukan untuk memanen sumber energi dalam biomassa sudah mencapai tingkat kematangan (*mature*). Persoalan yang muncul adalah pada *landscape* yang diperlukan untuk instalasinya. Menurut laporan Uni-Eropa, instalasi sumber energi

terbarukan biomassa memerlukan area seluas 7.000 kali dibandingkan dengan instalasi sumber energi minyak bumi dengan kapasitas yang sama (European Commission, 2005). Untuk pulau-pulau besar, seperti Sumatra dan Kalimantan, mungkin hal tersebut tidak menjadi persoalan besar. Namun, untuk instalasi di pulau-pulau kecil, hal ini dapat menjadi kendala.

1. Spesifik lokasi

Letak Indonesia di daerah tropis, tanah yang subur, posisi di katulistiwa, dan jumlah penduduk yang sangat banyak (keempat terbesar di seluruh dunia) menjadikan Indonesia sebagai tempat yang ideal untuk pemanfaatan energi terbarukan biomassa. Di lain pihak, sebagian besar wilayah Indonesia dipisahkan oleh lautan sehingga potensi biomassa tersebar di setiap pulau, dan potensi di setiap wilayah pun sangat berbeda. Kebutuhan energi di setiap wilayah atau setiap pulau sangat spesifik. Sebagai contoh, kebutuhan energi dan manajemen energi untuk kota yang memiliki industri jasa dan manufaktur tentu berbeda dengan kota atau daerah yang kebutuhan energinya sebagian besar untuk kebutuhan rumah tangga.

Potensi biomassa di suatu daerah akan sangat menentukan pola pengembangan energi terbarukan biomassa di daerah tersebut. Di samping ketersediaan bahan baku biomassa, diperlukan juga pertimbangan tentang aspek kontinuitas suplai serta aspek lingkungan. Sumber potensi yang besar harus didukung dengan suplai bahan baku yang berkesinambungan tanpa mengganggu lingkungan alam serta aspek aktivitas sosial penduduk sekitar. Sebagai contoh, apakah di Pulau Jawa layak dikembangkan sumber energi dari tandan kosong kelapa sawit? Contoh lain, apakah kebutuhan kayu bakar di kota besar untuk industri kecil menengah dapat diproduksi di kota tersebut, atau cukup memasok dari kota lain? Hal-hal semacam inilah yang perlu dipertimbangkan dengan baik agar kebutuhan energi dapat dipenuhi dengan ongkos ekonomi yang minimal.

2. Pemilihan tipe dan teknologi pengolahan

Deng *et al.*, (2012) memperkirakan bahwa pada tahun 2050, secara keseluruhan sumber energi di dunia 95% berasal dari sumber yang berkesinambungan (*sustainable*). Oleh karena itu, Indonesia memerlukan persiapan yang matang, terencana, dan terarah agar Indonesia dapat berperan dalam sisi teknologi dan tidak hanya menjadi pasar teknologi energi terbarukan. Seperti dikemukakan sebelumnya, sumber energi biomassa menjembatani energi masa sekarang dengan energi masa depan maka pengembangan kemampuan dan kapasitas energi terbarukan biomassa memiliki arti strategis dalam jangka menengah.

Teknologi pengolahan biomassa menjadi energi dari jenis yang sama sangat beragam. Sebagai contoh, tandan kosong kelapa sawit dapat langsung digunakan sebagai sumber energi dengan proses termal. Bahan ini dapat juga diolah menjadi *biofuel*. Oleh karena itu, dukungan dari lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan industri dalam memanfaatkan sumber energi biomassa yang terdapat di Indonesia harus dapat melihat lokasi dan memilih teknologi yang tepat sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

Daftar Pustaka

- Amer, S. & Daim, T.U. (2011). Selection of Renewable Energy Technologies for a Developing Country: a Case of Pakistan. *Energy for Sustainable Development*, 15, 420–435.
- European Commission. (2005). Strength, Weaknesses, Opportunities and Threats in Energy Research. *European Communities*.
- Deng, Y.Y., Blok, K., & van der Leun, K. (2012). Transition to a Fully Sustainable Global Energy System. *Energy Strategy Reviews*, 1, 109–121.
- Field, C.B., Campbell, J.E., & Lobell, D.B. (2007). Biomass Energy: The Scale of the Potential Resource. *Trends in Ecology and Evolution*, 23 (2), 65–72.
- Ghosh, T.K. dan Prelas, M.A. (2009). Introduction. Dalam *Energy Resources and Systems*; Volume 1: *Fundamentals and Non-Renewable Resources* (hlm. 1–22). New York, NY: Springer.

- Klass, D.L. (1998). Biomass as An Energy Resource: Concept and Market. Dalam *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals* (29–50). San Diego: Academic Press.
- Presiden RI, 16 Agustus 2012. <http://www.presidenri.go.id/index.php/fokus/2012/08/16/8224.html>. Accessed 27 Desember 2013.
- Turner, J.A. (2004). Sustainable Hydrogen Production. *Science*, 305, 972–974.
- Yoshikawa, S. (2005). New Energy Research for Sustainable Environment. ASTW 8th (ASEAN *Science & Technology Week*), Manila, Philiphine.

Tentang Editor

Haznan Abimanyu

Lahir di DKI Jakarta pada tahun 1967. Pendidikan terakhirnya adalah Philosophy Doctor (PhD) dari University of Science and Technology (UST) Daejeon, Korea Selatan (2008). Saat ini bekerja sebagai Peneliti Madya dan Kepala Bidang Teknologi Lingkungan pada Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Bidang penelitian yang banyak dilakukannya antara lain berhubungan dengan bioenergi, katalis, perekayasaan, oleokimia, atsiri, dan nanoteknologi. *E-mail:* habimanyu@yahoo.com; hazn001@lipi.go.id



Sunit Hendrana

Lahir di Rembang, Jawa Tengah pada tahun 1964. Pendidikan terakhirnya adalah Doctor of Philosophy dari The University of Queensland, Australia (1999). Saat ini bekerja sebagai Peneliti Madya pada Pusat Penelitian Fisika (PPF), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Bidang penelitian yang banyak dilakukannya antara lain berhubungan dengan material untuk energi. Pada tahun 2008 mendapat Ristek-Medco Energy Awards. Menjadi *invited* dan *keynote speaker* pada berbagai konferensi polimer di luar negeri. Pada tahun 2008 menjadi pembicara tamu pada seminar mahasiswa *post graduate* di National Taiwan University of Science and Technology (NTUST), Taipei, Taiwan, dan Waseda University, Tokyo, Japan pada tahun 2009. Selama tahun 2009–2012 sebagai koodinator program Kompetitif LIPI bidang Energi



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bersih Terbarukan dan Pasokan Air Bersih Berkelanjutan. Dari Desember 2013 sampai dengan Maret 2014 sebagai konsultan Asia Pacific Centre for Technology Transfer (APCTT) pada *Report on the national enabling environment on sustainable energy technology options in Indonesia*. E-mail: shendrana@yahoo.com; sunit.hendrana@lipi.go.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tentang Penulis

Wati Hermawati

Lahir di Sukabumi, Jawa Barat pada tahun 1961. Pendidikan terakhirnya adalah Master of Business Administration (M.B.A.) dari School of Management, Asian Institute of Technology di Bangkok, Thailand (1993). Saat ini bekerja sebagai peneliti utama pada Pusat Penelitian Perkembangan Iptek, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Pappiptek-LIPI). Bidang penelitian yang banyak dilakukannya antara lain berhubungan dengan manajemen teknologi, pengelolaan penelitian dan pengembangan (R&D Management), dan berbagai isu gender dalam kebijakan dan aplikasi teknologi pada berbagai bidang, seperti energi, pertanian, teknologi informasi, pendidikan, dan pemerintahan daerah. *E-mail*: wherma2007@yahoo.com; wati001@lipi.go.id



Nanang Roffandi Ahmad

Lahir di Tasikmalaya pada tahun 1941. Pendidikan terakhir adalah Sarjana (S1) Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor tahun 1973. Selama aktif sebagai PNS bertugas di Jawatan Kehutanan Pusat (1961) dan diperbantukan pada BUMN Kehutanan sampai selesai tugas. Dalam masa tugas di BUMN pernah ditugaskan sebagai direktur pada beberapa perusahaan patungan bidang kehutanan. Setelah selesai tugas, aktif dalam organisasi asosiasi pengusaha hutan. Pascapurna tugas, aktif di berbagai organisasi LSM yang bergerak di bidang lingkungan termasuk Masyarakat Pegiat Energi Biomassa Hutan Indonesia (MAPEBI) sampai saat ini. *E-mail*: nanang.roffandi@gmail.com



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dwi Susilaningsih

Lahir pada tahun 1968. Pendidikan terakhirnya adalah Doctor (S3) Bioengineering dari Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Osaka University, Japan. Selain bekerja sebagai Peneliti pada Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI di Cibinong, Bogor, saat ini juga bekerja sebagai Kepala Perencanaan, Monitoring, dan Evaluasi di Kedeputusan Ilmu Pengetahuan Alam, LIPI. Bidang penelitian yang banyak ditekuninya antara lain Marine *Biotechnology/Microalgae*, *Biohydrogen*, dan *the new energy form marine resources*. Minat lainnya adalah *the tropical marine microbes for useful compounds, i.e. pharmaceuticals compounds, food supplements and bio-remedial agent*. Juga melakukan penelitian dan pengembangan tentang *the marine photosynthetic bacteria and microalgae for antivirus, natural pigment producer, lipid and carbohydrate depositor, degrader of oil-pollutant, and biogas/biohydrogen fermentation agent*. Telp.: +62-21-8754587, mobile: +62-8121163810, E-mail: dwisusilaningsih@yahoo.com.sg atau dwis002@lipi.go.id



Sunu H. Pranolo

Lahir di Yogyakarta pada tahun 1969 dan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada—Yogyakarta. Gelar *Master of Science* diperoleh di Department of Process Design and Safety, Institute of Process Equipment and Environmental Technology, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Jerman, sedangkan gelar doktor dari program studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung. Mulai tahun 1994 sampai dengan tahun 1998, menjadi Staf Departemen Kontrol Proses, PT Semen Nusantara, Cilacap (sekarang PT Holcim Tbk, Pabrik Cilacap). Sejak tahun 1998, menjadi Staf pengajar di jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta yang mengampu mata kuliah antara lain Termodinamika Teknik Kimia, Teknologi Energi Biomassa, dan Manajemen dan Konversi Energi. Sejumlah penelitian dan aplikasi gasifikasi biomassa telah dilakukan dan diterapkan khususnya untuk penyediaan listrik di daerah terpencil di Indonesia.



Wusana Agung Wibowo

Lahir di Surakarta, Jawa Tengah pada tahun 1980. Lulusan jenjang Strata-1 Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta ini menyelesaikan

pendidikan master di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung pada tahun 2008. Sejak tahun 2005 sampai sekarang bekerja sebagai dosen di jurusan Teknik Kimia UNS. Mata kuliah yang diampu di antaranya Teknologi Biomassa, Penanganan Bahan Padat, dan Perancangan Alat Proses dan Pemrograman Komputer. Bidang penelitian yang ditekuni saat ini adalah proses konversi biomassa menjadi energi secara termokimia, khususnya teknologi gasifikasi biomassa sebagai penyedia panas dan listrik. Penerapan ilmu yang dimiliki diwujudkan dalam keterlibatannya pada pekerjaan penyediaan listrik mandiri bagi masyarakat berbasis gasifikasi biomassa. *E-mail:* wusana_son@yahoo.com



Swastika Praharyawan

Lahir di Jakarta pada tahun 1982. Pendidikan terakhirnya adalah master pada Mayor Bioteknologi di Institut Pertanian Bogor (IPB). Bekerja sebagai peneliti di Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Saat ini, aplikasi mikroalga di berbagai bidang, khususnya energi terbarukan, menjadi fokus penelitiannya. Mulai tahun 2014, mengisi artikel Kolom di majalah Geo Energi dengan tema Energi Terbarukan. Selama tahun 2006–2013 terlibat di sejumlah penelitian dengan berbagai tema, seperti produksi pangan fungsional, eksplorasi mikroorganisme lokal pendegradasi poli aromatik hidrokarbon, produksi biosurfaktan dan produksi biodiesel berbasis mikroalga lokal potensial. *E-mail:* swastika.praharyawan@gmail.com; swas001@lipi.go.id



Purnama Alamsyah

Lahir pada tanggal 22 Oktober 1983 di Bandung, merupakan *startup researcher* bidang Penelitian Sistem Manajemen Iptek pada Pusat Penelitian Perkembangan Iptek (Pappiptek)–LIPI. Jenjang pendidikan S-1 ditempuh pada jurusan Teknik Informatika STT Telkom Bandung (sekarang IT Telkom Bandung) dan jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi Universitas Padjadjaran pada tahun 2008. Bidang penelitian yang digeluti adalah



Buku ini tidak diperjualbelikan.

ICT, industry kreatif, gender, dan energi baru dan terbarukan (EBT). *E-mail:* purnama.alamsyah@gmail.com, Twitter: @purnamaalamsyah

Ishelina Rosaira Poerbosisworo

Lahir di Surabaya pada tahun 1976. Pendidikan strata satu didapat dari Universitas Borobudur (Jakarta) tahun 1998. Sejak tahun 2000 terdaftar sebagai pegawai Pusat Penelitian Perkembangan Iptek, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Pappiptek-LIPI). Saat ini Ishelina tercatat sebagai peneliti muda bidang Pengembangan Sistem Manajemen Ilmu Pengetahuan dan Teknologi di Pusat Penelitian Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Pappiptek-LIPI). Pengalaman kerja dalam bidang penelitian antara lain penelitian tentang gender dan teknologi dan manajemen teknologi/litbang. *E-mail:* ishelina.rosaira@gmail.com



Mahmudi

Lahir di Trenggalek, Jawa Timur pada tahun 1968. Pendidikan terakhir adalah magister Administrasi dan Kebijakan Publik dari Universitas Indonesia (2007). Saat ini bekerja sebagai peneliti madya pada Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PDII LIPI). Bidang penelitian yang dilakukan antara lain berhubungan dengan sistem informasi, pengelolaan pengetahuan (*knowledge management*), kebijakan publik, layanan informasi ilmiah, literasi, indeks sitasi, dan teknologi informasi serta pengembangan konten database. *E-mail:* mahmudiku@yahoo.com



Saut H. Siahaan

Lahir di Bogor, 14 Oktober 1957. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana program studi Teknik Mesin di Institut Teknologi Bandung (ITB). Melanjutkan pendidikan magister manajemen bidang Pemasaran di Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi IPWIJA (STIE IPWIJA) setelah bekerja aktif beberapa tahun di perusahaan swasta, dosen, dan sebagai peneliti. Saat ini penulis aktif sebagai peneliti



Buku ini tidak diperjualbelikan.

sistem Manajemen Litbang di Pusat Penelitian Perkembangan Iptek, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Pappiptek-LIPI). Karya tulis ilmiah yang sudah diterbitkan di bidang Manufaktur, di antaranya metode statistik sebagai kontrol kualitas; Agroindustri, di antaranya sistem inovasi agro; Energi Baru Terbarukan (EBT), di antaranya inovasi teknologi PLTMH & PLTB lembaga litbang pemerintah; Manajemen Litbang, di antaranya kompetensi lembaga litbang; dan Transportasi, di antaranya *forsight* teknologi transportasi LIPI.

Prakoso Bhairawa Putera

Lahir di Tanjung Pandan (Pulau Belitung) pada tanggal 11 Mei 1984. Menamatkan pendidikan Strata-1 (S.IP) pada jurusan Ilmu Administrasi Negara (Kekhususan Kebijakan Publik) Universitas Sriwijaya (Palembang), dan memperoleh gelar M.A dari Universitas Indonesia pada program studi Magister Administrasi dan Kebijakan Publik (2012) melalui program karyasiswa Kementerian Riset dan Teknologi. Kerap meraih sejumlah penghargaan di bidang penulisan seperti Anugerah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi dari Kementerian Negara Riset dan Teknologi tahun 2009 atas sumbangsih memasyarakatkan iptek melalui tulisan semi ilmiah di berbagai media cetak. Saat ini tercatat sebagai peneliti madya bidang Kebijakan dan Administrasi pada Pusat Penelitian Perkembangan Iptek, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Pappiptek-LIPI). Bidang kajian yang banyak dilakukan terutama dalam *public policy*, kebijakan dan sistem inovasi dan teknologi, *content analysis*, reformasi birokrasi dan pengukuran kinerja lembaga litbang. Pada tahun 2014 mengikuti National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP) Fellowship Program di Jepang. Aktif menulis untuk sejumlah media cetak nasional dan lokal, menulis buku dan publikasi jurnal ilmiah nasional/internasional. *E-mail*: prak001@lipi.go.id dan prakoso.bp@gmail.com.



Amelya Gustina

Dilahirkan di Bukittinggi (Sumatra Barat) pada tanggal 8 Agustus 1985. Memperoleh gelar S1 (S.H.) pada program studi Ilmu Hukum (Hukum Internasional) Universitas Andalas (2007), dan menyelesaikan pendidikan Strata-2 (M.H) dari Universitas Andalas (2010) pada program studi Ilmu Hukum. Sejak kuliah kerap meraih sejumlah peng-



Buku ini tidak diperjualbelikan.

hargaan ilmiah dalam bidang karya tulis. Prestasi yang ia peroleh di antaranya penghargaan terbaik kedua dalam Lomba Karya Tulis Ilmiah Hari Dharma Samudera tahun 2009. Saat ini tercatat sebagai peneliti pada Pusat Penelitian dan Perkembangan Kejaksaan Agung. Bidang penelitian yang banyak dilakukan terutama dalam bidang hukum dan kebijakan. *E-mail:* amelya.gustina0808@gmail.com

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia:

Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan

Persediaan bahan bakar fosil dunia semakin hari semakin menipis, sementara permintaan dan kebutuhan masyarakat akan bahan bakar terus meningkat. Hal ini mengakibatkan harga bahan bakar fosil semakin tidak terjangkau, yang pada akhirnya dapat berujung pada krisis energi global. Di Indonesia, subsidi BBM sudah menjadi momok bagi APBN setiap tahunnya. Oleh sebab itu, dibutuhkan energi alternatif untuk membantu Indonesia keluar dari tekanan krisis energi.

Bunga rampai *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan* membahas potensi pemanfaatan biomassa sebagai salah satu bentuk energi alternatif yang mampu menjadi jawaban akan ancaman krisis energi di Indonesia. Pembahasan mengenai biomassa di dalam bunga rampai ini dilakukan secara multidisiplin, mulai dari aspek sumber daya, teknologi, manajemen hingga kebijakan.

Bunga rampai ini dapat dijadikan acuan bagi seluruh pihak yang berkepentingan dalam pemanfaatan biomassa demi pembangunan sosial dan ekonomi Indonesia. Masyarakat umum pun juga diharapkan menjadi lebih peka terhadap isu krisis energi dan peluang pemanfaatan berbagai macam energi alternatif, khususnya biomassa.

ini dapat dipergunakan.



Distributor:
Yayasan Obor Indonesia
Jl. Plaju No.10 Jakarta 10230
Telp. (021) 319 26978, 3920114
Faks. (021) 319 24488
E-mail: yayasan_obor@cbn.net.id

LIPI Press

ISBN 978-979-799-802-8



9 789797 998028