

PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI PERTANIAN SEBAGAI SUMBER BIOETANOL

Millatul Ulya

Teknologi Industri Pertanian
Universitas Trunojoyo Madura
qumil2307@gmail.com

ABSTRAK

Produksi bioetanol dari limbah industri pertanian merupakan penelitian bioetanol generasi kedua untuk mengatasi masalah kompetisi ketersediaan pangan dan energi serta perlindungan lingkungan. Limbah industri pertanian yang cukup besar di Indonesia adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan jerami padi. Di Indonesia, kedua bahan tersebut memiliki potensi yang besar untuk diolah menjadi bioetanol. Teknologi yang digunakan untuk produksi bioetanol generasi kedua ini lebih sulit dan lama dibandingkan bioetanol generasi pertama yang berbasis pati dan gula. Diharapkan produksi bioetanol dari limbah industri pertanian di Indonesia dapat segera direalisasikan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Kata kunci: bioetanol, TKKS, jerami padi

ABSTRACT

Production of bioethanol from waste of agricultural industries is the second-generation bioethanol research to address the competition problems of food availability and energy and environmental protection. The waste of agricultural industry in Indonesia which is large enough is Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) and rice straw. In Indonesia, the two materials have great potential to be processed into bioethanol. The technology used for the production of second generation bioethanol is more difficult and longer than the first generation bioethanol based on starch and sugar. Hopefully, production of bioethanol from waste of agricultural industry in Indonesia can be realized to reduce fossil fuel use.

Keywords: bioethanol, TKKS, rice straw

1. PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara dan gas. Bahan bakar fosil di Indonesia digunakan oleh 95 persen penduduk maupun pelaku industri, dengan konsumsi energi meningkat tujuh persen setiap tahunnya. Bahan bakar fosil ini tidak dapat diperbarui sehingga akan habis jika terus menerus digunakan oleh manusia. Penggunaan bahan bakar fosil ini juga turut menyumbang emisi CO₂ yang mengakibatkan meningkatnya pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh karena itu, Indonesia harus segera menggeser penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan (*renewable energy*) yang jauh lebih bersih dan ramah lingkungan.

Sumber-sumber energi terbarukan jumlahnya jauh lebih banyak dibandingkan bahan bakar fosil, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Energi terbarukan seperti

biomassa, hidrogen, air, panas bumi masih dianggap sebagai energi alternatif, dimana penggunaannya hanya mencapai lima persen. Salah satu sumber energi terbarukan yang cukup berpotensi di Indonesia adalah biomassa, yaitu bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian dan limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Dalam sektor energi, biomassa merujuk pada bahan biologis yang hidup atau baru mati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar.

Saat ini telah banyak dikembangkan berbagai penelitian untuk menghasilkan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan. Pemerintah Indonesia telah resmi memilih empat tanaman untuk diolah menjadi bahan bakar nabati, yaitu jarak pagar (*Jatropha curcas*) dan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) untuk produksi biodiesel serta tebu (*Saccharum officinarum*) dan ketela pohon (*Manihot esculenta*) untuk produksi bioetanol (Kong, 2010).

Tebu dan ketela pohon merupakan bahan baku pangan di Indonesia, sehingga pengolahan kedua tanaman ini menjadi bioetanol secara masal masih belum berhasil direalisasikan. Jika program pengadaan bahan bakar nabati ini terus dikembangkan maka dapat terjadi kompetisi antara kecukupan pangan, jaminan ketersediaan energi dan perlindungan lingkungan. Penelitian tentang bioetanol berbasis biomassa terus dilakukan, dan saat ini mulai diteliti pembuatan bioetanol generasi kedua.

Penelitian bioetanol generasi pertama membahas pemanfaatan bahan baku pangan menjadi bioetanol, seperti tebu, ketela pohon, sorghum, gandum, dan sebagainya. Sedangkan pada generasi kedua, penelitian difokuskan pada pemanfaatan limbah industri pangan menjadi bioetanol. Sehingga diharapkan masalah kompetisi antara kecukupan pangan, jaminan ketersediaan energi dan perlindungan lingkungan dapat teratasi. Beberapa limbah industri pangan yang dapat diolah menjadi bioetanol antara lain limbah minyak kelapa sawit (CPO), limbah padi dan limbah pabrik gula. Limbah industri pangan yang dapat diolah menjadi bioetanol umumnya mengandung lignoselulosa yang dihidrolisis menjadi glukosa dan kemudian difermentasi menjadi etanol. Pemanfaatan limbah industri pangan tersebut dalam makalah ini akan dikaji dari segi potensi dan teknologinya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioetanol

Bioetanol (C_2H_5OH) adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol merupakan bahan bakar dari minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak premium. Untuk pengganti premium, terdapat alternatif gasohol yang merupakan campuran antara bensin dan bioetanol. Adapun manfaat pemakaian gasohol di Indonesia yaitu : memperbesar basis sumber daya bahan bakar cair, mengurangi impor BBM, menguatkan *security of supply* bahan bakar, meningkatkan kesempatan kerja, berpotensi mengurangi ketimpangan pendapatan antar individu dan antar daerah, meningkatkan kemampuan nasional dalam teknologi pertanian dan industri, mengurangi kecenderungan pemanasan global dan pencemaran udara karena bahan bakar ini ramah lingkungan dan berpotensi mendorong ekspor komoditi baru. Untuk pengembangan bioetanol diperlukan bahan baku diantaranya :

- Nira bergula (sukrosa): nira tebu, nira nipah, nira sorgum manis, nira kelapa, nira aren, nira siwalan, sari-buah mete

- Bahan berpati : tepung biji sorgum, jagung, sagu, singkong/ gaplek, ubi jalar, ganyong, garut, suweg, umbi dahlia.
- Bahan berselulosa (lignoselulosa): kayu, jerami, batang pisang, bagase, dll.

Bioetanol dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar substitusi BBM pada motor berbahan bakar bensin yang digunakan dalam bentuk neat 100% (B100) atau diblending dengan premium (EXX). Selain itu dapat dicampur dengan bensin yang disebut gasohol (E10), bisa digunakan langsung pada mobil bensin biasa (tanpa mengharuskan mesin dimodifikasi).

Bioetanol saat ini yang diproduksi umumnya berasal dari bioetanol generasi pertama, yaitu bioetanol yang dibuat dari gula (tebu, molases) atau pati-patian (jagung, singkong, dll). Bahan-bahan tersebut adalah bahan pangan atau pakan. Konversi bahan pangan/pakan menjadi bioetanol di Eropa dan Amerika diduga menjadi salah satu penyebab naiknya harga-harga pangan dan pakan. Arah pengembangan bioetanol mulai berubah ke arah pengembangan bioetanol generasi kedua, yaitu bioetanol dari biomassa lignoselulosa, yang diperoleh dari limbah-limbah industri pangan, seperti Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), jerami padi, tongkol jagung, sisa pangkasan jagung, onggok, bagase, sisa pangkasan tebu, kulit buah kakao, kulit buah kopi, dan sebagainya. Dua limbah industri pertanian yang melimpah jumlahnya adalah TKKS dan jerami padi.

2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS merupakan limbah padat dari industri pengolahan kelapa sawit. Komponen utama TKKS terdiri dari selulosa (41-46 persen), hemiselulosa (25-33 persen), dan lignin (25-32 persen). Tingginya kadar selulosa pada polisakarida itu dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana dan selanjutnya difermentasi menjadi etanol.

Limbah kelapa sawit jumlahnya melimpah. Sebuah pabrik kelapa sawit (PKS) berkapasitas 60 ton tandan/jam dapat menghasilkan limbah 100 ton/hari. Di Indonesia terdapat 470 pabrik pengolahan kelapa sawit. Limbahnya mencapai 28,7 juta ton dalam bentuk cair dan 15,2 juta ton limbah padat per tahun. Dalam proses produksi *Crude Palm Oil* (CPO), 1 ton Tandan Buah Segar Kelapa Sawit(TBS) menghasilkan 200 kg CPO dan limbah padat Tandan Kosong Kelapa sawit (TKKS) 250 kg. Diperkirakan jumlah TKKS pada tahun 2006 adalah sebanyak 20.75 juta ton. Misalkan kadar air TKKS ini adalah 50%, maka jumlah TKKS kering kira-kira 10.375 juta ton.

2.3 Jerami padi

Padi merupakan tumbuhan *monocotyl* yang tumbuh di daerah tropis. Tanaman padi yang telah siap panen akan diambil butiran - butirannya dan batang serta daunnya akan dibuang. Batang dan daun inilah yang disebut dengan jerami. Jerami padi merupakan limbah pertanian yang mengandung polisakarida dalam bentuk selulosa, hemiselulosa, pektin dan lignin dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Selama ini jerami padi digunakan untuk pakan ternak dan media tumbuh jamur. Meskipun demikian jerami masih berlimpah dan terkadang harus dibakar. Sebatang jerami yang telah dirontokkan gabahnya terdiri atas :

1. Batang (lidi jerami), Bagian batang jerami kurang lebih sebesar lidi kelapa dengan rongga udara memanjang di dalamnya.
2. Ranting jerami, merupakan tempat dimana butiran butiran menempel. Ranting jerami ini lebih kecil, seperti rambut yang bercabang – cabang meskipun demikian ranting jerami mempunyai tekstur yang kasar dan kuat.

3. Selongsong jerami, adalah pangkal daun pada jerami yang membungkus batang atau lidi jerami.

Jerami merupakan golongan kayu lunak yang mempunyai komponen utama selulosa. Selulosa adalah serat polisakarida yang berwarna putih yang merupakan hasil dari fotosintesa tumbuh - tumbuhan. Jumlah kandungan selulosa dalam jerami antara 35 - 40 %. Kandungan lain pada jerami adalah lignin dan komponen lain yang terdapat pada kayu dalam jumlah sedikit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Potensi biomassa untuk produksi bioetanol

Sebagai negara agraris, Indonesia mempunyai potensi bahan bakar biomassa dari hasil pertanian serta limbah dari industri pertanian. Berikut data potensi biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bioethanol di Indonesia :

Tabel 1. Sumber Biomassa untuk Produksi Bioetanol di Indonesia

Comodity	Biomass Processed	Productivity Bioethanol (litre/ha/year)	Areas (ha)	Productivity (kg/ha/year)
Cassava	Fresh Tuber	4,500	1,182,604	20,217
Sweet Potatoes	Fresh Tuber	7,800	181,048	11,327
Sugar Cane	Stems	5,000-6,000	448,745	6,204.22
	Mollases	40		
Corn	Seed Flour	5,000-6,000	4,143,246	4,432
Sorghum (seeds)	Seed Flour	3,000-4,000	-	4,000
Sorghum (sweet)	Stems	5,500-6,000	-	30,000
Sago	Starch Flour	4,000-5,000	-	-
Sugar Palm	Sap/Nira	40,000	59,748	914.23
Nipa	Sap/Nira	5,000-15,000	558	423.36
Lontar	Sap/Nira	8,000-10,000	-	-
Coconut	Sap/Nira	8,000-10,000	3,808,263	1,178
Paddy	Hay/Jerami	1,000-2,000	13,244,184	5,014

Sumber: BPPT (2011), Kementerian Pertanian RI (2010)

Tabel di atas menunjukkan potensi sumber bioetanol yang berbasis gula dan pati, dimana bahan-bahan di atas adalah bahan pangan. Produksi bioetanol dari bahan pangan tersebut telah berhasil dikembangkan di luar negeri seperti Brazil, Amerika Serikat, Jerman yang telah memproduksi bioetanol dari jagung dan singkong. Penelitian saat ini bergeser pada pemanfaatan limbah industri pertanian yang mengandung selulosa untuk diolah menjadi bioetanol. Data mengenai potensi biomassa dari limbah industri pertanian dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa industri pertanian dan limbahnya memiliki potensi yang besar sebagai sumber energi alternatif. Limbah industri pertanian yang menghasilkan energi paling besar adalah sisa padi, yaitu jerami padi serta sisa limbah kelapa sawit yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).

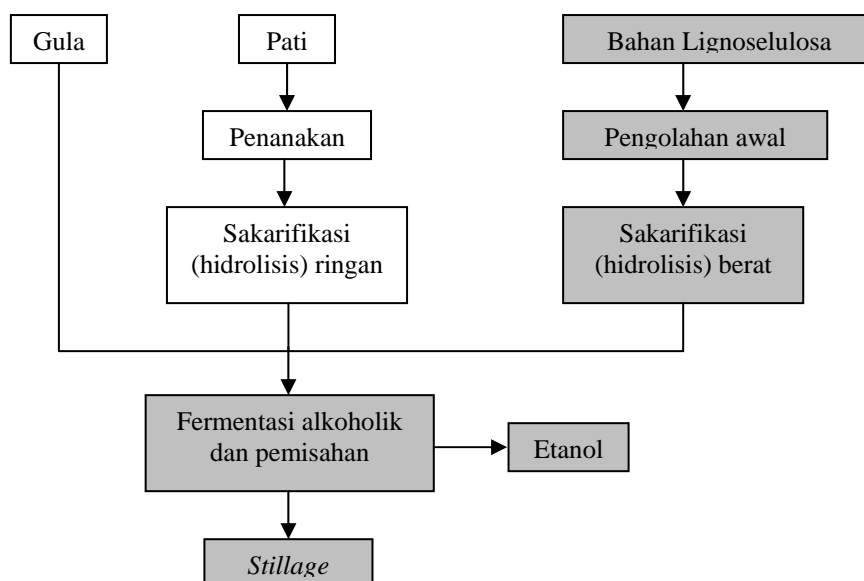
Tabel 2. Potensi Biomassa dari Limbah Industri Pertanian di Indonesia

NO	Biomasa	Daerah Utama	Produksi (juta ton/thn)	Potensi Energi (GJ/thn)	Catatan
1.	Karet	Sumatera, Kalimantan, Jawa	41	120	Batang kecil D < 10 cm, batang besar dan medium digunakan sebagai kayu bakar dengan harga Rp 20.000-30.000 /m ³ .
2.	Sisa kayu gergajian	Sumatra, Jawa, Kalimantan	1,3	13	Sebagian kecil sudah dimanfaatkan
3.	Sisa proses gula	Jawa, Sumatera, Kalimantan Selatan	Bagase: 10 Daun: 9,6	78	Bagase umumnya sudah digunakan di pabrik gula dalam bentuk briket untuk tungku boiler
4.	Sisa padi	Jawa, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Bali/Nusa Tenggara	Sekam: 12 Batang: 2	150	Umumnya dibakar di sawah. Pemanfaatan lain masih terbatas.
5.	Sisa kelapa	Sumatera, Jawa, Sulawesi	Jerami: 49 Cangkang: 0,4	7	Pemanfaatan terbatas sebagai kayu bakar dan produksi arang
6.	Sisa sawit	Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, Irian Jaya	Sekam: 0,7 TKKS: 3,4 Serabut: 3,6 Cangkang: 1,2	67	Sebagian digunakan sebagai sumber energi sebagiannya dibuang percuma

Sumber: ZREU, CGI 2000, diolah kembali

3.2 Teknologi Produksi Bioetanol

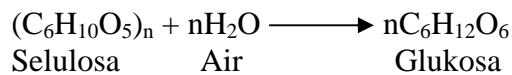
Bioetanol diperoleh dari hasil fermentasi bahan yang mengandung gula. Secara umum, produksi bioetanol mencakup tiga rangkaian proses, yaitu persiapan bahan baku, fermentasi dan pemurnian.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Produksi Etanol
Sumber: Soerawidjaja (2006) dalam Hambali, dkk (2008)

Untuk bahan Lignoselulosa, seperti limbah-limbah industri pertanian, harus melalui tahapan pengolahan awal sebagai persiapan bahan baku. Pada tahap ini, limbah industri pertanian digiling untuk pengecilan ukuran, kemudian dihilangkan dahulu kandungan ligninnya dengan proses *delignifikasi* dengan cara hidrolisis dengan asam kuat (H_2SO_4) atau basa kuat (NaOH). Delignifikasi dapat dilakukan dengan cara perendaman dalam NaOH 5% disertai dengan pemanasan $120^\circ C$. Proses tersebut untuk memisahkan antara lignin dan selulosa. Lignin dapat larut atau terurai dalam larutan asam dan basa, sehingga lignin dapat dipisahkan dan tidak mengganggu proses hidrolisis dari selulosa.

Proses selanjutnya yaitu proses sakarifikasi atau pembentukan gula dari bahan yang mengandung lignoselulosa. Selulosa dihidrolisis dengan asam atau hidrolisis enzimatis menjadi glukosa. Hidrolisis secara enzimatis bisa dengan enzim selulase yang akan mengubah selulosa menjadi gula – gula sederhana (glukosa). Sebenarnya proses hidrolisis ini dapat juga dilakukan dengan cara penambahan asam kuat seperti H_2SO_4 pekat atau HCl pekat dan berlangsung lebih cepat. Tetapi karena sifat asam kuat yang tidak spesifik terhadap substrat maka asam tidak hanya menghidrolisis selulosa tetapi juga menguraikan hemiselulosa menjadi senyawa furfural yang dapat menghambat proses hidrolisis. Sehingga rendemen glukosa yang dihasilkan cukup sedikit. Reaksi sakarifikasi/hidrolisis yang terjadi yaitu:



Glukosa yang dihasilkan kemudian difermentasi dengan enzim dari ragi *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol, air dan CO_2 . Kondisi optimum fermentasi adalah pada suhu $30^\circ C$, pH 4,0 – 4,5 dan kadar gula 10 – 18%. Selama fermentasi dilakukan pengadukan (aerasi) dan akan terjadi kenaikan suhu sehingga perlu dilakukan pendinginan. Pada awal fermentasi perlu ditambahkan nutrisi dan kofaktor yang berperan penting bagi kehidupan khamir seperti karbon, oksigen, nitrogen, hidrogen, fosfor, sulfur, potasium dan magnesium agar pertumbuhan khamir bisa optimal. Proses fermentasi berlangsung selama 30 – 72 jam dan akan berhenti setelah kadar etanol sebesar 12 %. Hal ini karena etanol 12 % dapat membunuh khamir itu sendiri sehingga menghambat fermentasi. Etanol yang dihasilkan kemudian didestilasi untuk meningkatkan kadarnya. Etanol yang telah didestilasi mempunyai kadar 91 – 92 %. Peningkatan kemurnian etanol dapat dicapai dengan cara dehidrasi sehingga mencapai kemurnian 99,7 %. Etanol tersebut sudah siap digunakan sebagai bahan bakar baik sebagai bahan bakar murni maupun pengoplos bensin dan juga sebagai bahan bakar kompor.

Pada limbah industri sawit, satu ton TKKS kurang lebih akan menghasilkan 150 liter etanol. Diperkirakan jumlah TKKS pada tahun 2006 adalah sebanyak 20.75 juta ton. Misalkan kadar air TKKS ini adalah 50%, maka jumlah TKKS kering kira-kira 10.375 juta ton, maka etanol yang dihasilkan adalah 1.556.250 juta liter etanol (Bataviase, 2011).

Sedangkan pada jerami padi mengandung kurang lebih 39% selulosa dan 27,5% hemiselulosa. Kedua bahan polisakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol. Potensi produksi jerami padi per ha kurang lebih 10 – 15 ton, jerami basah dengan kadar air kurang lebih 60%. Jika

seluruh jerami per ha ini diolah menjadi ethanol (Fuel Grade Ethanol/FGE), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1,148 liter/ha FGE.

3.3. Kelayakan Produksi Bioetanol dari Limbah Industri Pertanian

Studi kelayakan produksi bioetanol dari limbah industri pertanian telah dilakukan oleh Perdana (2011) yang meneliti kelayakan produksi bioetanol dari sisa pangkasan jagung. Proses produksinya hampir sama dengan produksi bioetanol dari TKKS atau jerami padi, karena sisa pangkasan jagung juga merupakan biomassa yang mengandung lignoselulosa. Ringkasan hasil studinya dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 3. Studi Kelayakan Produksi Bioetanol dari Sisa Pangkasan Jagung (Perdana, 2011)

Komponen	Jumlah (Rp)
Investasi	7.435.000.000,-
Biaya tetap	4.790.000.000,-
Modal Kerja	2.643.000.000,-
Jika 100% modal sendiri, bunga 14% dan umur ekonomis 10 tahun, diperoleh hasil:	
NPV	80.845.077,-
IRR	14,24%
Nett B/C	1,01
Payback period	5,94 tahun

Dengan asumsi harga bahan baku Rp 7.000,- /kg dan harga bioetanol Rp 15.000,-/Liter. Kapasitas untuk investasi ini adalah 216.000 Liter/tahun dengan bahan baku yang diserap sebesar 1,272 ton/tahun. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa produksi bioetanol dari bahan berlignoselulosa layak untuk dilakukan dalam skala industri. Dan hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa industri ini tidak layak jika terjadi kenaikan harga bahan baku sebesar 1,66% dan harga jual bioetanol turun sebesar 0,66%.

3.4. Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati

Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dengan cara mencampurkannya dengan bensin. Bahan bakar campuran ini disebut gasohol (Hambali, dkk., 2008). Umumnya gasohol ini adalah campuran dari 10% bioetanol dan 90% bensin, lazim disebut gasohol E-10. Pengujian pada kendaraan roda empat di laboratorium BPPT menunjukkan bahwa tingkat emisi karbon dan hidrokarbon Gasohol E-10 yang merupakan campuran bensin dan etanol 10% lebih rendah dibandingkan dengan premium dan pertamax. Pengujian karakteristik unjuk kerja yaitu daya dan torsi menunjukkan bahwa etanol 10% identik atau cenderung lebih baik daripada pertamax. Etanol mengandung 35% oksigen sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran (Prihandana dan Hendroko, 2008).

Bioetanol memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan bensin berbasis *petrochemical*. Berikut ini adalah kelebihan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*) menurut Hambali, dkk (2008):

- mengandung 35% oksigen, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi karbon
- memiliki nilai oktan yang lebih tinggi, sehingga dapat menggantikan fungsi bahan aditif seperti metil tertiary butyl ether dan tetra ethyl lead
- memiliki nilai oktan (ON) 96-113, sedangkan nilai oktan bensin 85-96

- bersifat ramah lingkungan, karena gas buangnya rendah terhadap senyawa-senyawa yang berpotensi sebagai polutan, seperti karbon monoksida, nitrogen oksida, dan gas-gas rumah kaca
- mudah terurai dan aman karena tidak mencemari air
- dapat diperbaharui (*renewable energy*) dan proses produksinya relatif lebih sederhana dibandingkan proses produksi bensin.

Beberapa kelebihan dan kelemahan sumber energi dari biomasa dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya menurut Suyitno (2009) sebagai berikut:

Kelebihan biomassa

1. Dapat disimpan dalam jangka lama
2. Dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas atau sumber energi yang efisiensinya tinggi.
3. Aplikasi teknologinya fleksibel, baik untuk skala kecil, sedang, ataupun besar.
4. Lebih efisien jika antara sumber energi dan pemanfaatannya berjarak dekat (mengurangi biaya transportasi)

Kekurangan biomassa

1. Masih terdapat keterbatasan dalam teknologi proses, baik dari sisi produk (masih menghasilkan bau), ketersediaan teknologi dan ketersediaan material, suku cadang peralatan;
2. Teknologi proses memerlukan "gas cleaning";
3. Abu yang dihasilkan dari teknologi yang tersedia masih tinggi, sehingga pemeliharaan alat harus sering dilakukan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan paparan diatas dapat disimpulkan bahwa potensi limbah industri pertanian sebagai sumber bioetanol di Indonesia sangat besar, namun perlu teknologi proses yang lebih rumit dan lebih lama dibanding bioetanol dari bahan mengandung pati dan gula. Karena jumlah biomassa yang melimpah di Indonesia, dan banyak penelitian yang telah berhasil mengembangkan bioetanol dari limbah pertanian, maka hendaknya pemerintah serius dalam memproduksi bioetanol secara masal dan mengkomersialisasikan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bataviase, Kelapa Sawit, Generasi Dua Pengganti Bensin. Artikel Internet. 2011. <http://www.bataviase.co.id/node/809860> diakses 2 Oktober 2011.
- Hambali, E., S. Mujdalifah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. *Teknologi Bioenergi*. PT. AgroMedia Pustaka. Jakarta. 2008.
- Kong, G.T. *Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan*, PT. Media Elex Komputindo, Jakarta. 2010.
- Perdana, D. A. *Kajian Teknoekonomi Prototype Perancangan Proses Produksi Bioetanol dari Limbah Tanaman Jagung*. Skripsi Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 2011.
- Prihandana, R dan Hendroko, R. *Energi Hijau*. Penebar Swadaya. Jakarta. 2008.
- Suyitno. *Energi dari Biomassa, Potensi, Teknologi dan Strategi*. Seminar Nasional Energi Terbarukan FMIPA UNS. 2009. Artikel internet. <http://suyitno.staff.uns.ac.id/2009/07/27/energi-dari-biomasa-potensi-teknologi-dan-strategi/> diakses 29 September 2011.