PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang pertanian dan industri pertanian seringkali menimbulkan peningkatan limbah pertanian yang sebagian besar merupakan limbah berlignoselulosa. Secara kimia limbah berlignoselulosa kaya akan selulosa yang dapat diolah menjadi produk-produk yang bernilai ekonomi. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) terutama mengenai bahan bakar baru, maka limbah lignoselulosa dapat lebih efiseien digunakan dengan modifikasi, salah satunya untuk proses produksi bioetanol.

Bioetanol merupakan bahan bakar nabati (BBN) yang berasal dari biomassa yang mengandung pati, gula, dan lignoselulosa. Bahan bakar nabati merupakan alternatif pengganti bahan bakar minyak (BBM) konvensional, sehingga dapat mengurangi ketergantungan masyarakat pada BBM konvensional. Penggunaan BBM konvensional telah diketahui tidak dapat dipertahankan lagi penggunaannya. Hal ini disebabkan jumlah cadangan minyak bumi semakin berkurang dan juga kontribusinya terhadap pemanasan global akibat terakumulasinya karbondioksida (CO_2) di atmosfer hasil pembakaran minyak bumi.

Bioetanol dapat menjadi solusi dalam mengatasi masalah tersebut karena merupakan BBN sebagai sumber BBM yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan dampak pencemaran bagi lingkungan, sehingga dapat menciptakan kesehatan lingkungan maupun keberlanjutan ekonomi. Hal ini sebagaimana yang tertuang dalam Perpres No 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Tahun 2010 Indonesia menargetkan BBN mengganti 10% konsumsi bahan bakar minyak konvensional. Namun, sumber BBN selama ini berasal dari biomassa pati yang juga menjadi sumber penghasil pangan dan pakan sehingga menyebabkan kompetisi sumber BBN dengan pangan dan pakan. Potensi biomassa lignoselulosa pada limbah sagu sebagai sumber bahan bakar nabati non-pangan untuk produksi

bioetanol dapat menjadi solusi dalam mengatasi masalah tersebut. Sementara itu, limbah sagu dari hasil samping industri pengolahan pati sagu pertanian belum banyak dimanfaatkan dan mencemari lingkungan. Kiat (2006) melaporkan bahwa limbah sagu praolah berkontribusi pada BOD dan COD air limbah secara signifikan. Limbah ini akan menjadi masalah lingkungan yang serius bila tidak di perlakukan untuk tujuan tertentu atau dibuang dengan cara yang benar.

Indonesia merupakan salah satu negara utama penghasil sagu di dunia. Tanaman sagu tumbuh secara komersial untuk produksi pati sagu atau konversi menjadi makanan hewan atau etanol. Tanaman sagu ditunjukkan pada Gambar 1. Di sisi lain, limbah sagu yang dihasilkan dari industri pengolahan pati belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Padahal, limbah sagu merupakan biomassa lignoselulosa. Oleh karena itu, limbah sagu dapat dimanfaatkan sebagai sumber BBN non-pangan dalam produksil bioetanol sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan pendapatan negara.

Gambar 1 Tanaman sagu (McClatchey *et al*. 2006).

Perumusan Masalah

Meningkatnya limbah pertanian akibat perkembangan industri pertanian menimbulkan pengaruh pencemaran lingkungan. Limbah pertanian merupakan hasil samping industri pengolahan pertanian. Salah satu limbah pertanian dari hasil samping industri adalah limbah sagu. Limbah sagu merupakan biomassa lignoselulosa yang mengandung komponen penting, seperti pati dan selulosa. Namun, limbah sagu belum banyak dimanfaatkan sehingga belum memiliki nilai ekonomi. Padahal, biomassa lignoselulosa limbah sagu berpotensi sebagai sumber BBN non-pangan dalam produksi bioetanol.

Bioetanol yang berasal dari BBN non-pangan merupakan solusi alternatif dalam mengatasi permasalahan persaingan sumber penghasil bioetanol dengan bahan pangan dan pakan. Akan tetapi, faktor keuntungan serta manfaat yang didapat dari berbagai sumber penghasil bioetanol juga perlu diperhatikan agar benar-benar dapat mengatasi permasalahan tanpa menimbulan masalah baru. Oleh karena itu, perlu upaya yang sungguh-sungguh dalam mengembangkan bioetanol yang bersumber dari limbah sagu guna menyelesaikan permasalahan bangsa Indonesia khususnya serta permasalahan dunia umumnya dalam menghadapi tantangan dalam menciptakan bahan bakar yang terbarukan guna menggantikan bahan bakar konvensional. Dalam pengembangannya terdapat beberapa permasalahan. Permasalahan yang akan diungkap dalam karya tulis ini, yaitu (1) bagaimana kondisi limbah sagu di Indonesia, (2) bagaimana kebutuhan masyarakat dunia terhadap bioetanol, (3) potensi limbah sagu sebagai alternatif BBN non-pangan penghasil bioetanol, (4) metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan rendemen pada produksi bioetanol dari limbah sagu, dan (5) kelebihan limbah sagu sebagai bahan baku produksi bioetanol.

Tujuan

Makalah ini hendak (1) mengetengahkan kondisi limbah sagu di Indonesia, (2) mengestimasi tingkat kebutuhan masyarakat dunia terhadap bioetanol serta keuntungannya, (3) memanfaatkan potensi yang terkandung pada limbah sagu sebagai penghasil bioetanol, (4) menyarankan metode dalam produksi biomassa lignoselulosa dari limbah sagu, dan (5) melihat keuntungan bioetanol yang dihasilkan dari limbah sagu.

Manfaat

Manfaat makalah ini adalah diperolehnya informasi mengenai (1) kondisi limbah sagu di Indonesia, (2) sumber-sumber penghasil bioetanol dengan berbagai kelebihannya, (3) kandungan limbah sagu dalam peranannya sebagai penghasil bioetanol, (4) perbandingan keuntungan bioetanol limbah sagu dibandingkan dengan sumber lainnya, dan (5) disosialisasikannya mengenai metode produksi biomassa lignoselulosa dari limbah sagu.

TINJAUAN PUSTAKA

Bahan Bakar Nabati Non-Pangan

Bahan bakar nabati merupakan sumber energi alternatif dalam mengatasi kebergantungan masyarakat pada bahan bakar minyak konvensional. Menurut Wahyuni (2007), keberlanjutan penggunaan bahan bakar minyak konvensional (fosil) sebagai sumber bahan bakar minyak (BBM) telah secara luas diketahui tidak akan berlangsung lama lagi, karena diketahui jumlahnya yang semakin berkurang di bumi ini dan juga kontribusinya dalam menyumbang produksi CO_2 yang berpotensi sebagai kontaminan berbahaya dalam kehidupan manusia maupun lingkungan. Namun, kompetisi bahan bakar nabati dengan pangan dan pakan menjadi tantangan untuk menemukan alternatif sumber BBN non-pangan.

Bioetanol merupakan etanol yang berasal dari semua jenis biomassa yang mengandung gula, pati, dan lignoselulosa sehingga memiliki potensi sebagai pengganti BBM kovensional (Neves 2006). Akan tetapi, sumber bahan bakar nabati yang berasal dari tanaman dapat berkompetisi dengan pangan dan pakan. Oleh karena itu, pemanfaaatan limbah sebagai sumber BBN non-pangan penghasil bietanol akan mengatasi masalah perdebatan tersebut karena tidak mengganggu ketahanan pangan, tapi justru mendukung program ramah lingkungan.

Pemanfaatan Limbah Sagu

Biomassa secara sempit didefinisikan sebagai bahan (material) yang berasal dari tumbuhan terestrial (darat). Biomassa tumbuhan sebagian besar berupa biomassa lignoselulosa yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu pektin, protein, zat ekstraktif, dan abu juga terdapat dalam jumlah kecil. Salah satu biomassa lignoselulosa adalah limbah sagu.

Limbah sagu merupakan hasil samping industri pengolahan pati. Industri ekstraksi pati sagu menghasilkan tiga jenis limbah, yaitu residu selular empulur sagu berserat (ampas), kulit batang sagu, dan air buangan. Jumlah kulit batang

sagu dan ampas sagu adalah sekitar 26% dan 14% berdasar bobot total balak sagu (Singhal *et al*. 2008).

Biasanya kulit batang sagu dikeringkan dan digunakan untuk kayu bakar, sedangkan ampas sagu dicampur dengan bahan makanan tambahan dan digunakan sebagai makanan hewan. Kulit batang sagu dan ampas sagu juga digunakan sebagai pengisi dalam pembuatan papan partikel (Kiat 2006).

Kiat (2006) melaporkan bahwa limbah sagu mengandung komponen penting seperti pati dan selulosa. Jumlah limbah kulit batang sagu mendekati 26%, sedangkan ampas sagu sekitar 14% dari total bobot balak sagu. Ampas mengandung 65,7% pati dan dan sisanya merupakan serat kasar, protein kasar, lemak, dan abu. Dari persentase tersebut ampas mengandung residu lignin sebesar 21%, sedangkan kandungan selulosa di dalamnya sebesar 20% dan sisanya merupakan zat ekstraktif dan abu. Di sisi lain, kulit batang sagu mengandung selulosa (57%) dan lignin yang lebih banyak (38%) daripada ampas sagu.

Kegunaan biomassa untuk memproduksi energi harus ditingkatkan jika kita ingin mengurangi akibat pemanasan global dan dapat menyediakan energi tinggi untuk menggantikan bahan bakar konvensional. Biomassa selalu menjadi sumber energi utama untuk makhluk hidup dan diperkirakan berkontribusi 13% dari pasokan energi dunia dan persentase yang lebih besar lagi bagi negara-negara berkembang (Tsukahara dan Sawayama 2005).

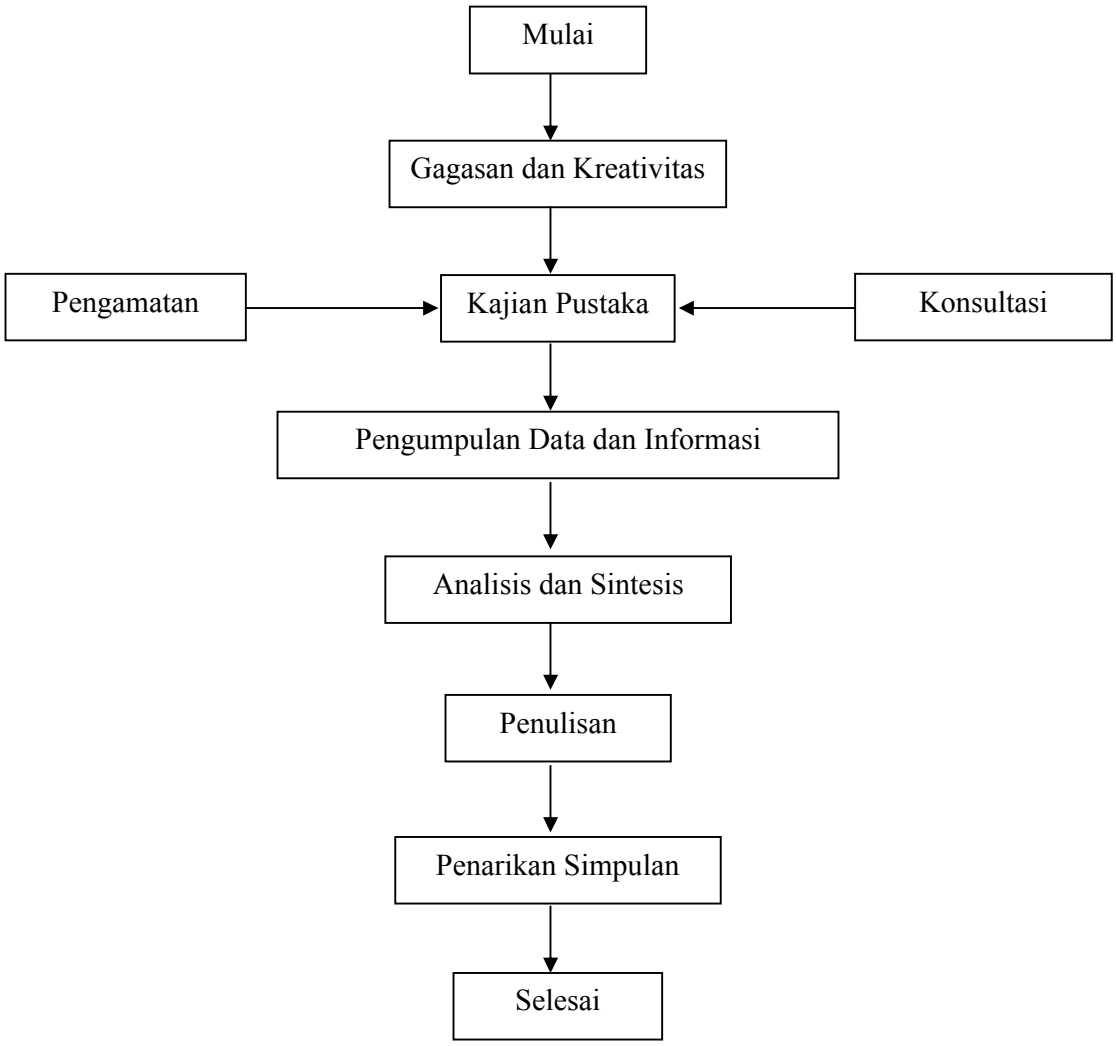
Kelebihan Limbah Sagu sebagai Bioetanol

Pusat perhatian pengembangan sumber energi alternatif pada gula terfermentasi dari lignoselulosa merupakan sumber karbohidrat terbarukan paling besar yang diketahui. Bioetanol dalam cakupan industri produksi energi merujuk pada bahan hayati yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar nabati sehingga lebih ramah lingkungan.

Potensi sagu di Indonesia saat ini seluas 1,128 juta ha atau 51,3% dari 2,201 juta ha areal sagu dunia dan pemanfaatan tanaman sagu sejauh ini cenderung terfokus pada pati yang dihasilkannya. Pengolahan batang sagu menjadi pati hanya 16-28%. Hasil ikutan pengolahan sagu berupa kulit batang dan ampas sekitar 72% merupakan biomassa limbah sagu hasil industri pengolahan sagu yang masih sangat kurang pemanfaatannya (Asben 2005). Kiat (2006) melaporkan bahwa jumlah ampas sagu dan pati yang besar di dalam air limbah praolah berkontribusi terhadap BOD dan COD air limbah secara signifikan. Limbah ini akan menjadi masalah lingkungan yang serius bila tidak di perlakukan untuk tujuan tertentu atau dibuang dengan cara yang benar. Dengan demikian, limbah sagu dapat menjadi alternatif sumber BBN yang berasal dari biomassa lignoselulosa.

METODE PENULISAN

Penyusunan karya tulis ini dimulai dengan cara penggalian ide dan pengembangan kreativitas dilanjutkan studi pustaka yang didukung dengan konsultasi ke beberapa dosen kemudian dilakukan pengumpulan data dan informasi. Pembuatan karya tulis ini diarahkan oleh dosen pembimbing. Metode penulisan karya tulis yang lebih terstruktur disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema metode penulisan.

PEMBAHASAN

Gejolak yang muncul akibat keputusan pemerintah menaikkan harga BBM memunculkan kesadaran bahwa selama ini bangsa Indonesia sangat tergantung pada sumber energi tak terbarukan. Cepat atau lambat sumber energi tersebut akan habis. Bahan bakar nabati (BBN) bioetanol dan biodiesel merupakan dua kandidat kuat pengganti bensin dan solar yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar mesin otto dan diesel. Pemerintah Indonesia telah mencanangkan pengembangan dan implementasi dua macam bahan bakar tersebut, bukan hanya untuk menanggulangi krisis energi yang mendera bangsa, namun juga sebagai salah satu solusi kebangkitan ekonomi masyarakat.

Indonesia sebenarnya memiliki potensi energi terbaharukan sebesar 311.322 MW, namun kurang lebih hanya 22% yang dimanfaatkan (www.ipard.com 2007) Masyarakat Indonesia terlena dengan harga BBM yang murah, sehingga lupa untuk memanfaatkan dan mengembangkan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui. Sumber energi terbarukan yang tesedia antara lain bersumber dari tenaga air (hidro), panas bumi, energi cahaya, energi angin, dan biomassa. Potensi energi terbarukan yang besar dan belum banyak dimanfaatkan adalah energi biomassa lignoselulosa, terutama yang dihasilkan dari limbah pertanian. Salah satu potensi biomassa lignoselulosa adalah limbah sagu.

Potensi Limbah Sagu

Indonesia merupakan negara agraris dengan kekayaan sumber daya hayati pertanian, baik jenis maupun jumlah yang sangat melimpah. Salah satu sumber daya hayati tersebut adalah sagu. Indonesia merupakan negara utama penghasil sagu di dunia. Indonesia memiliki hutan sagu liar yang luas (>700.000 ha). Beberapa daerah penghasil sagu, di antaranya Irian Jaya terdapat sekitar 6 juta dan daerah Pidie di pantai timur Aceh memiliki 2012 ha lahan untuk produksi sagu dengan kapasitas produksi 527 ton sagu (McClatchey *et al*. 2006).

Sagu (*Metroxylon sagu*) memiliki kandungan pati yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis *Metroxylon* lainnya, sehingga sagu banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri termasuk pertanian. Saat ini, pemanfaatan sagu hanya terfokus pada pati yang terkandung di dalamya. Perkembangan industri pengolahan pati menyebabkan peningkatan hasil sampingan berupa limbah sagu, diantaranya kulit batang dan ampas sagu. Limbah ikutan pengolahan sagu berupa kulit batang batang sagu sekitar 17-25% dari serat batang, sedangkan ampas sekitar 75-83% . Namun, limbah tersebut belum dimanfaatkan secara optimal ((McClatchey *et al*. 2006). Padahal limbah merupakan biomassa lignoselulosa yang kaya akan selulosa, sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber karbon.

Kandungan pati dan selulosa pada limbah sagu adalah salah satu alasan yang menjadikannya sebagai sumber karbon. Kiat (2006) meyatakan bahwa limbah sagu berupa kulit batang biasanya dikeringkan dan digunakan untuk kayu bakar, sedangkan ampas sagu dicampur dengan bahan makanan tambahan dan digunakan sebagai makanan hewan. Hal ini disebabkan ampas sagu mengandung karbohidrat (selulosa) yang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak sehingga menjadi sumber energi bagi ternak. Selulosa limbah sagu dapat dimanfaatkan oleh ternak karena ternak memiliki enzim khusus (selulase) yang dapat menguraikan selulosa menjadi komponen yang lebih sederhana yang berguna sebagai sumber energi. Selain itu, kulit batang sagu dan ampas sagu juga digunakan sebagai pengisi dalam pembuatan papan partikel.

Baru-baru ini, Kiat (2006) memanfaatkan limbah sagu dengan melakukan karakterisasi karboksimetil limbah sagu untuk dijadikan sebagai hidrogel. Selain itu, Aziz (2002) dalam Kiat (2006) melaporkan bahwa serat sagu digunakan sebagai ruahan fermentasi rumen dan pelepah sagu dalam industri pulp dan kertas.

Limbah sagu dari hasil samping industri pengolahan pati berupa kulit batang dan ampas sagu mengandung pati, serat kasar, protein kasar, lemak, dan abu. Namun, pati terdapat dalam jumlah terbesar. Ampas mengandung 65,7% pati yang terdiri atas residu lignin sebesar 20,67%, sedangkan kandungan selulosa di dalamnya sebesar 19,55% dan sisanya merupakan zat ekstraktif dan abu. Di sisi lain, kulit batang sagu mengandung selulosa (56,86%) dan lignin yang lebih banyak (37,70%) daripada ampas sagu (Kiat 2006).

Lignin dan selulosa yang terkandung dalam limbah sagu membentuk ikatan lignoselulosa bersama dengan hemiselulosa. Oleh karena itu, potensi biomassa lignoselulosa tersebut dapat dimanfaatkan sebagai gula fermentasi dalam bahan baku produksi bioetanol sehingga meningkatkan nilai ekonomi limbah sagu. Namun, belum banyak pemanfaatan limbah tersebut sebagai bioetanol dan untuk memanfaatkan komponen yang terkandung di dalamnya dibutuhkan metode hidrolisis agar menghasilkan rendemen gula yang tinggi (Akmar dan Kennedy 2001).

Bioetanol dari Limbah Sagu

Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang dihasilkan dari biomassa pati, gula, dan lignoselulosa. Bioetanol yang dikembangkan saat ini umumnya diproduksi dari biomassa pati dan gula. Namun, pemanfaatan limbah sebagai biomassa lignoselulosa baru-baru ini menjadi perhatian untuk dimafaatkan sebagai bioetanol. Persamaan reaksi yang terjadi untuk menghasilkan bioetanol adalah sebagai berikut:

$$\underset{\text{pati}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + H_2O \rightarrow n\ \underset{\text{glukosa}}{C_6H_{12}O_6}$$

$$\underset{\text{glukosa}}{C_6H_{12}O_6} + \text{ragi} \rightarrow 2\ \underset{\text{etanol}}{C_2H_5OH} + 2\ CO_2$$

Seiring dengan dikembangkan berbagai sumber bioetanol yang cenderung bersumber dari biomassa pati dan gula, alternatif lain juga terus dikembangkan dan diupayakan untuk mendapatkan sumber bioetanol yang memiliki keuntungan

secara ekonomis dan menghasilkan bioetanol yang dapat digunakan untuk memasok sumber energi pada sektor industri, transportasi, dan sektor lain yang membutuhkan pasokan energi.

Dewasa ini ditemukan potensi penghasil bioetanol yang cukup menjanjikan untuk menghasilkan bioetanol sebagai pemasok sumber energi. Potensi tersebut berasal dari limbah sagu. Pengembangan bioetanol dari limbah sagu dapat dilakukan setelah mengetahui sumber bioetanol yang telah ada terlebih dahulu.

Sumber Bioetanol yang Telah Ada

Bioetanol dapat dihasilkan dari berbagai sumber bahan yang terbarukan, seperti tanaman yang mengandung pati, gula, dan serat. Bioetanol sebagai pengganti bensin dari bahan nabati diperoleh melalui proses hidrolisis enzimatik dan fermentasi. Beberapa sumber penghasil bioetanol yang telah ada berasal dari biomassa pati dan gula, diantaranya pati sagu, jagung, tebu, ubi kayu. Brazil merupakan negara pelopor penghasil bioetanol dalam skala besar melalui fermentasi tebu molase oleh ragi (Karim *et al*. 2008). Tahun 2004, Brazil memproduksi sekitar 14,2 juta L bioetanol, kebanyakan yang difermentasi menggunakan gula heksosa dalam sirup kalengan.

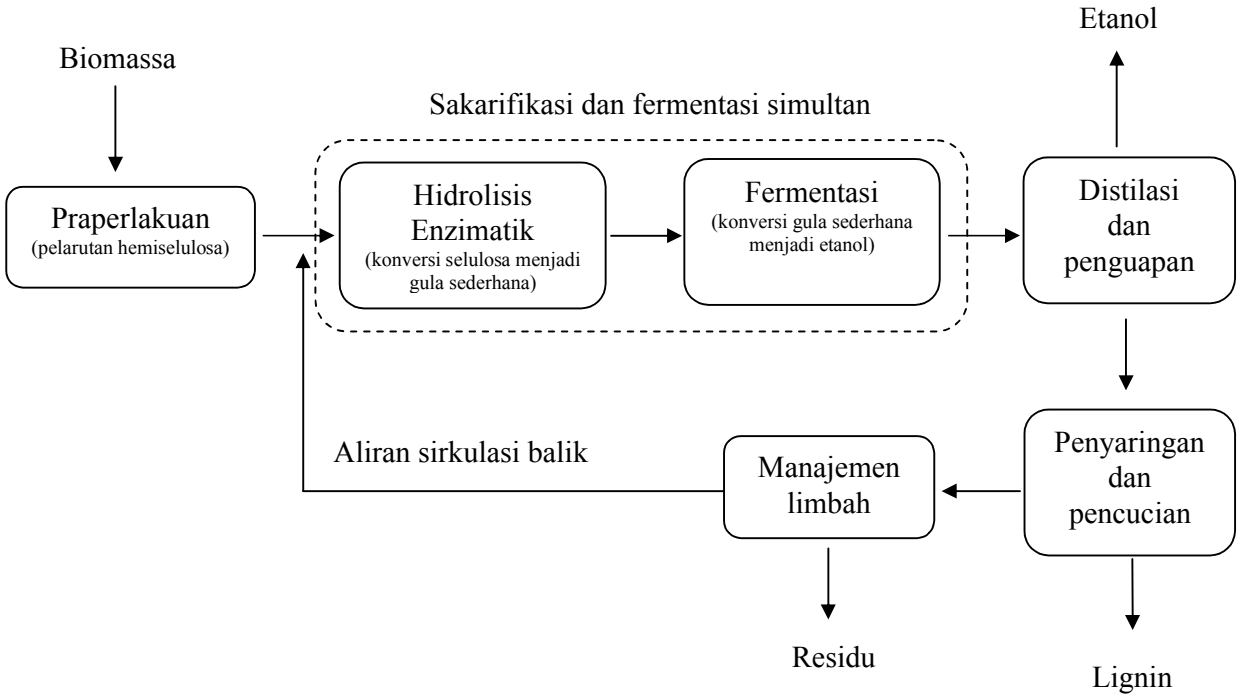
Pemanfaatan bioetanol dari biomassa lignoselulosa limbah sagu perlu mendapatkan perhatian serius. Hal ini dapat meningkatkan nilai ekonomi limbah sagu yang sebelumnya hanya digunakan untuk bahan bakar dan pakan ternak. Kegunaan biomassa lignoselulosa dapat dimanfaatkan untuk memproduksi energi terbarukan harus ditingkatkan untuk mengurangi akibat pemanasan global dan dapat menyediakan energi tinggi untuk menggantikan BBM konvensional. Oleh karena itu, biomassa selalu menjadi sumber energi utama untuk makhluk hidup dan diperkirakan berkontribusi 13% dari suplai energi dunia dan persentase yang lebih besar lagi bagi negara-negara berkembang, termasuk Indonesia (Tsukahara dan Sawayama 2005).

Pengembangan bioetanol

Alternatif sumber BBN non-pangan perlu dikembangkan untuk mengatasi masalah kompetisi BBN dengan pangan dan pakan. Hal ini menarik perhatian pada limbah untuk melakukan modifikasi, terutama biomassa lignoselulosa limbah sagu sebagai penghasil bioetanol. Pemanfaatan limbah tersebut juga dapat mengatasi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah sagu, diantaranya pengaruh BOD dan COD air limbah.

Limbah sagu yang diperoleh setelah seluruh pati diambil belum dapat dihidrolisis dengan mudah dan efisien. Secara kimia biomassa lignoselulosa kaya akan selulosa, sehingga limbah sagu dapat dimanfaatkan sebagai penghasil bahan baku bioetanol. Selulosa limbah sagu, yaitu ampas sagu sebesar 19,55% dan kulit batang sebesar 56,86% (Kiat 2006). Selain komponen selulosa juga terdapat hemiselulosa dan lignin. Selulosa, hemiselulosa dan lignin hadir dalam jumlah yang beragam pada bagian-bagian tumbuhan yang berbeda dan keberadaanya selalu dikaitkan dengan fungsinya untuk membentuk kerangka struktrual dari dinding sel tumbuhan. Komposisi lignoselulosa bergantung pada spesies tumbuhan, umur dan kondisi pertumbuhan. Oleh karena itu, pemanfaatan karbohidrat yang terkandung di dalamnya membutuhkan metode hidrolisis lignoselulosa yang efisien dan dapat menghasilkan rendemen gula yang tinggi (Akmar dan Kennedy 2001).

Produksi etanol dari biomassa lignoselulosa terdiri atas beberapa langkah, diantaranya hidrolisis lignin dan hemiselulosa (praperlakuan), hidrolisis selulosa, fermentasi, pemisahan residu lignin, pemulihan etanol, dan penanganan air limbah (Galbe dan Zacchi 2007). Gambar 3 menunjukkan proses sederhana untuk produksi etanol dari biomassa lignoselulosa yang didasarkan pada hidrolisis enzimatik.



Gambar 3 Diagram alir proses produksi etanol dari biomassa lignoselulosa.

Tahapan awal proses produksi bioetanol yang ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu praperlakuan. Praperlakuan bertujuan menghilangkan hemiselulosa dan lignin, sehingga memudahkan proses hidrolisis selulosa (Gong *et al*. 1999). Hal ini disebabkan selulosa terlindung dalam matriks hemiselulosa dan lignin. Selanjutnya tahap hidrolisis enzimatik menggunakan enzim selulase yang dapat menguraikan selulosa menjadi monomer gula. Monomer gula yang terbentuk difermentasi menggunakan ragi untuk mengubah gula menjadi etanol. Kemudian etanol dimurnikan dengan cara distilasi dan penguapan untuk menghilangkan pengaruh pelarut. Setelah itu, dilakukan pencucian dan penanganan limbah agar tidak mencemari lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Peningkatan limbah pertanian dari hasil samping industri dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif penghasil BBN. Pada saat ini, BBN hanya dihasilkan dari biomassa pati dan gula, sedangkan biomassa lignoselulosa belum banyak dimanfaatkan. Hal ini menyebabkan persaingan sumber BBN dengan pangan dan pakan. Oleh karena itu, pemanfaatan biomasssa lignoselulosa pada limbah pertanian dapat menjadi solusi mengenai permasalahan tersebut.

Limbah sagu sebagai hasil samping industri pengolahan pati memiliki potensi sebagai penghasil bahan baku produksi bioetanol. Selama ini, limbah sagu hanya digunakan sebagai kayu bakar atau pakan ternak. Limbah sagu mengandung lignoselulosa yang kaya akan selulosa sehingga dapat dijadikan sebagai inovasi sumber BBN non-pangan.

Metode tahapan yang dapat dilakukan dalam produksi biomassa lignoselulosa dari limbah sagu adalah hidrolisis hemiselulosa (praperlakuan), hidrolisis enzimatik selulosa, dan fermentasi seluruh gula. Limbah sagu sebagai bioetanol memiliki keuntungan yaitu meningkatkan nilai guna limbah sagu, sumber BBN non-pangan, dan mengurangi pencemaran lingkungan.

Saran

Potensi limbah sagu sebagai biomassa lignoselulosa untuk dijadikan sebagai sumber bioetanol pengganti BBM konvensional perlu mendapatkan perhatian khusus untuk dikembangkan. Sebaiknya ada kerjasama antara pemerintah, perguruan tinggi, dan industri hasil pertanian. Promosi produk bioetanol dari limbah sagu sebaiknya dilakukan lebih intensif. Kemudian perlunya penelitian lebih lanjut agar bioetanol yang dihasilkan dapat menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Akmar PF dan Kennedy JF. 2001. The potential of oil and sago palm trunk wastes as carbohydrate resource. *Wood Sci and Technol*. 35: 467-473.

Asben A. 2009. Pemanfaatan Limbah Sagu untuk Pengembangan Enzim Selulase *Termite* dalam Produksi Bioetanol [disertasi]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana IPB.

Galbe M, Zacchi G. 2007. Pretreatment of Lignocellulosic Materials for Efficient Bioethanol Production. *Adv Biochem Eng/Biotechnol* 108: 41-65.

Gong CS, Cao NJ, Du J, dan Tsao GT. 1999. Ethanol production from renewable resources. Advanc in Biochem Eng/Biotechnol. 65: 205-239.

Karim A. Tie PL, Manan DMA, dan Zaidul ISM. 2008. Starch from the Sago (Metroxylon sagu) Palm Tree—Properties, Prospects, and Challenges as a New Industrial Source for Food and Other Uses A.A. *Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety* 7: 1-14

Kiat LJ. 2006. Preparation and characterization of carboxymethyl sago waste and its hydrogel [tesis]. Malaysia: Universiti Putra Malaysia.

McClatchey W, Manner HI, dan Elevitch CR. 2006. Metroxylon amicarum, M. paulcoxii, M. sagu, M. salomonense, M. vitiense, and M. warburgii (sago palm) Arecaceae (palm family). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. www.traditionaltree.org

Neves MAD. 2006. Bioethanol Production from Wheat Milling By-products [disertasi]. Jepang: Agricultural Science. University of Tsukuba.

Singhal RS, Kennedy JF, Gopalakrishnan SM, Kaczmarek Agnieszka, Knill CJ, dan Akmar PF. 2008. Industrial production, processing, and utilization of sago palm-derived products. *Carbohydr Polym* 72: 1-20.

Tsukahara K, Sawayama S. 2005. Liquid fuel production using microalgae. *J Jpn Petrol Inst* 45:251-259 [terhubung berkala] http://www.jstage.jst.go. jp/article/jpi/48/5/251/_pdf [1 Mar 2009].

Wahyuni M. 2007. Marine Biodiesel: pengganti bahan bakar minyak (BBM) yang ramah lingkungan di masa depan. Bogor: Departemen THP FPIK IPB.

Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS I

Nama Lengkap : Rizki Dwi Cahyani
Tempat, Tanggal lahir : Jakarta, 2 Oktober 1987
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat Asal : Asrama Polri Cipinang Bawah RT 005/ 014 Blok. M No.9 Jakarta 13240
Alamat di Bogor : Wisma Bintang Gg. Bara 3 No. 27B RT01/07 Kampung Babakan Dramaga, Bogor 16680
HP/e-mail : 085693218893/cahyani_rizki@yahoo.co.id
Riwayat Pendidikan :

- SD Negeri 05 Pagi Cipinang tahun 1993-1999
- SLTP Negeri 92 Jakarta tahun 1999-2002
- SMF Ditkesad Jakarta tahun 2002-2005
- Departemen Kimia Institut Pertanian Bogor tahun 2005-sekarang

Pengalaman Organisasi :

- Anggota Marching Band SLTP Negeri 92 Jakarta
- Anggota Rohis SMF Ditkesad Jakarta
- Divisi Majelis Permusyawaratan Kelas OSIS SMF Ditkesad Jakarta
- Divisi Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Rohis Kimia 42
- Divisi Informasi dan Komunikasi Ikatan Mahasiswa Kimia IPB

Prestasi :

- Juara I Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa Bidang Pendidikan Tingkat IPB Tahun 2008
- Juara III Lomba Inovasi Teknologi Lingkungan ITS Tingkat Perguruan Tinggi Nasional 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Penelitian Tahun 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Pengabdian Masyarakat Tahun 2008
- Juara I Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) Nasional BEM FMIPA UNS 2007
- Juara 2 Lomba basket putri tingkat SLTP Negeri 92 Jakarta 2004
- Juara 2 Lomba MTQ Berjamaah Tingkat SD Negeri 05 Pagi Cipinang 1995

Lampiran 2

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS II

Nama Lengkap : Muhammad Syaeful Fahmi
Tempat, Tanggal lahir : Bogor, 14 Desember 1987
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat Asal : Kp. Cinangneng Rt 04/01 No. 28 Ciampea, Bogor 16620
HP/e-mail : 085697819736/syaeful_fahmi@yahoo.com
Riwayat Pendidikan :

- SD Negeri Cihideung udik 01 Bogor tahun 1993-1999
- SLTP Pembangunan I Bogor tahun 1999-2002
- SMU Negeri 10 Bogor tahun 2002-2005
- Departemen Kimia Institut Pertanian Bogor tahun 2005-sekarang

Pengalaman Organisasi :

- Ketua OSIS SLTP Pembangunan I Bogor
- Sekretaris I Kepengurusan OSIS SMA Negeri 10 Bogor
- Ketua Umum Paskibra Sekolah SMA Negeri 10 Bogor
- Staf Departemen Sosial dan Kesejahteraan Mahasiswa BEM TPB IPB 2006
- Koordinator Mata Kuliah Kimia Bimbingan Belajar Mahasiswa MSC Darmaga 2008

Prestasi :

- Juara I Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa Bidang Pendidikan Tingkat IPB Tahun 2008
- Juara III Lomba Inovasi Teknologi Lingkungan ITS Tingkat Perguruan Tinggi Nasional 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Penelitian 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Pengabdian Masyarakat
- Penerima Pendanaan Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Kewirausahaan
- Juara II Lomba Penulisan Ilmiah Agroindustri (PIMAGRIN) se-Indonesia Himalogin IPB 2007
- Juara I Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional BEM FMIPA UNS 2007
- Juara III Lomba Karya Ilmiah Produktif bidang Kehutanan Himasiltan Fakultas Kehutanan IPB 2006
- Juara III Lomba Penulisan Esai Departemen Manajemen Sumberdaya Lahan, Faperta IPB 2006
- Finalis Lomba Karya Tulis Mahasiswa bidang pendidikan tingkat IPB 2007

Lampiran 3

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS III

Nama Lengkap : Fauzan Amin
Tempat, Tanggal lahir : Serang, 28 Maret 1986
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat Asal : Jl. Raya Cilegon KM 07 No.56 RT 01/ RW 01 Pelamunan, Kramat Watu, Serang Banten.
Alamat di Bogor : Jl. Babakan Lio RT 02/08 No.7 Kel. Balumbang Jaya, Kec. Kota Bogor Barat 16680.
HP/e-mail : 081318615412/Fau_min@yahoo.com
Riwayat Pendidikan :

- SDN Pelamunan tahun 1992-1998
- MTs. Daar El-Qolam tahun 1999-2002
- SMA Daar El-Qolam tahun 2002-2005
- Departemen Kimia Institut Pertanian Bogor tahun 2005-sekarang

Pengalaman Organisasi :

- Wakil Ketua Creative English Course
- Moslem Intercity Basic
- Bendahara Pramuka SMA Daar El-Qalam
- Divisi Pembinaan Anak BIRENA DKM Al-Hurriyah IPB
- Anggota International Association of Agriculture on Related Science (IAAS) IPB
- Sekretaris Umum Dewan Perwakilan Mahasiswa FMIPA IPB

Prestasi :

- Juara I Kompetisi Karya Tulis Mahasiswa Bidang Pendidikan Tingkat IPB Tahun 2008
- Juara III Lomba Inovasi Teknologi Lingkungan ITS Tingkat Perguruan Tinggi Nasional 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Penelitian Tahun 2008
- Penerima Dana Hibah Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Pengabdian Masyarakat Tahun 2008
- Juara II Penulisan Ilmiah Agroindustri (Pimagrin) se-Indonesia IPB 2007
- Juara I Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional BEM FMIPA UNS 2007
- Finalis Lomba Karya Tulis Mahasiswa bidang pendidikan tingkat IPB 2007
- Finalis Debat Bahasa Arab Pimnas XIX Malang 2006
- Juara I Olimpiade Matematika tingkat SMA Daar El-Qolam tahun 2004