

## **Bio Energi Berbasis Jagung dan Pemanfaatan Limbahnya**

Teguh Wikan Widodo, A. Asari, Ana N. dan Elita, R.

Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong  
Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian  
Tromol Pos 2 Serpong, Tangerang 15310 BANTEN  
Tel.: (021) 537 6780, Fax: (021) 537 6784  
Email: teguh\_wikan\_widodo@yahoo.com

### *Abstrak*

*Berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya, tanaman jagung (Zea mays) memiliki banyak kegunaan, berpotensi sebagai sumber bio energi dan produk samping yang bernilai ekonomis tinggi. Pemanfaatan jagung dan limbahnya sebagai sumber bio energi dengan teknologi konversi energi yang ada saat ini, di antaranya adalah (1) sebagai bahan bakar tungku untuk proses pengeringan atau pemanasan, (2) sebagai bahan bakar padat untuk proses pirolisis dan gasifikasi, (3) sebagai bahan baku pembuatan ethanol dan (4) sebagai bahan baku potensial pembuatan biodiesel. Meskipun pemanfaatan limbah jagung dan turunan produk berbahan baku jagung sebagai sumber energi terbarukan cukup potensial untuk dikembangkan di Indonesia, namun penggunaan secara optimal perlu dikaji agar diperoleh keuntungan yang maksimal. Pemanfaatan limbah jagung masih menghadapi banyak kendala seperti lokasi produksi jagung yang tersebar dan densitas kamba yang kecil sehingga biaya transportasi untuk mengumpulkan bahan baku cukup tinggi. Dengan sistem kawasan terintegrasi diharapkan dapat mengatasi kendala tersebut. Keberhasilan dalam meningkatkan produktivitas tanaman jagung, diperlukan pula diversifikasi pemanfaatan produknya agar nilai ekonomisnya meningkat. Oleh karena itu, tulisan ini diharapkan dapat memberikan wacana untuk keperluan tersebut.*

*Kata kunci: energi terbarukan, teknologi konversi energi, biomasa, jagung*

## **Bio- Energy (Corn based) and The Utilization Its Waste**

Teguh Wikan Widodo, Ana N., A.Asari and Elita R.

Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development  
(ICAERD), AARD, Ministry of Agriculture  
Tromol Pos 2 Serpong, Tangerang 15310 BANTEN  
Tel.: (021) 537 6780, Fax: (021) 537 6784  
Email: teguh\_wikan\_widodo@yahoo.com

### *Abstract*

*Based on its physical and chemical properties, corn (Zea mays) has some potential uses as bio-energy material and by products. The possible utilizations of corn and its waste as bio – energy with available conversion technology such as (1) fuel stove for drying and heating process (2) fuel for pirolysis and gasification (3) material for ethanol production and (4) material for bio-diesel production. Although the utilization of corn waste and other corn based products as renewable energy are potential to be developed in Indonesia, the economic should be studied. The utilization of corn waste still faces some barriers such as the scattered production area and the density of corn is bulky and therefore the transportation cost of collecting the product may be expensive. Integrated system of production location, its processing unit and users may reduce the barriers. The corn productivity should also be increased and the diversification of product should be promoted. This paper will discuss the possible utilization of corn based bio-energy and its barriers to be developed in Indonesia.*

*Keywords: renewable energy, energy conversion technology, biomass, corn*

### **1. Pendahuluan**

Kenaikan harga bahan bakar minyak dan menipisnya cadangan sumber minyak bumi di Indonesia dapat menjadi penghambat pembangunan pertanian berkelanjutan. Atas dasar masalah tersebut, maka diperlukan upaya untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Salah satu potensi energi alternatif adalah limbah biomasa yang dihasilkan dari aktivitas produksi pertanian yang jumlahnya sangat besar.

Biomasa bersifat mudah didapatkan, ramah lingkungan dan terbarukan. Secara umum potensi energi biomassa berasal dari limbah tujuh komoditi yang berasal dari sektor kehutanan, perkebunan dan pertanian. Potensi limbah biomassa terbesar adalah dari limbah kayu hutan, kemudian diikuti oleh limbah padi, jagung, ubi kayu, kelapa, kelapa sawit dan tebu. Secara keseluruhan potensi energi limbah biomassa Indonesia diperkirakan sebesar 49.807,43 MW. Dari jumlah tersebut, kapasitas terpasang hanya sekitar 178 MW atau 0,36 % dari potensi yang ada (Hendrison, 2003; Agustina, 2004). Selain sebagai sumber energi biomasa, limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan pupuk kompos.

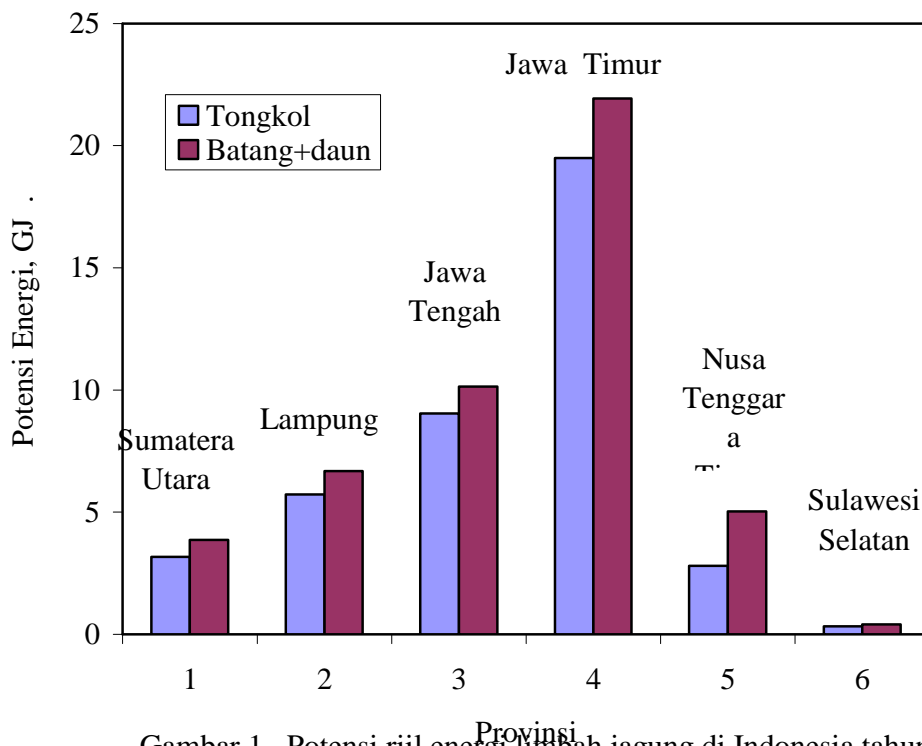
Beberapa kendala dalam pengembangan energi terbarukan adalah ketersediaan bahan, keamanan *supply*, harga, kemudahan penanganan dan penggunaannya. Faktor-faktor eksternal seperti pengembangan teknologi, subsidi, isu-isu lingkungan dan perundang-undangan memainkan peranan dalam pengembangan energi terbarukan (Koopmans, 1998). Dengan mempertimbangkan potensi limbah pertanian dan penggunaannya di pedesaan, penelitian-penelitian energi terbarukan dalam hal pengelolaan konservasi energi dan penggunaan secara efisien adalah penting untuk dilakukan untuk mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui potensi limbah jagung, produk turunannya sebagai sumber bio energi dan potensi lain limbah jagung sebagai bahan baku industri.

## **2. Potensi Limbah Jagung Untuk Energi Terbarukan**

Jagung (*Zea mays*) adalah merupakan tanaman pangan yang penting di Indonesia. Pada tahun 2006, luas panen jagung adalah 3,5 juta hektar dengan produksi rata-rata 3,47ton/ha, produksi jagung secara nasional 11,7 juta ton. Menurut Prasetyo (2002) limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12.1juta ton. Dengan konversi nilai kalori 4370 kkal/kg (Sudradjat, 2004) potensi energi limbah batang dan daun jagung kering sebesar 66,35 GJ. Energi tongkol jagung dapat dihitung dengan menggunakan nilai

*Residue to Product Ratio (RPR)* tongkol jagung adalah 0,273 (pada kadar air 7,53%) dan nilai kalori 4451 kkal/kg (Koopmans and Koppejan, 1997; Sudradjat, 2004). Potensi energi tongkol jagung adalah 55,75 GJ.

Potensi energi limbah pada komoditas jagung sangat besar dan diharapkan akan terus meningkat sejalan dengan program pemerintah dalam meningkatkan produksi jagung secara nasional. Namun, limbah jagung memiliki banyak kegunaan, diantaranya adalah untuk pakan ternak, dalam hal ini pemerintah telah mencanangkan program pengembangan peternakan secara terintegrasi (Crop Livestock System/CLS). Oleh karena itu, optimasi pemanfaatan limbah jagung sangat diperlukan untuk mendapatkan keuntungan yang optimal. Untuk memperkirakan potensi riil energi limbah jagung, penggunaan tongkol jagung untuk keperluan bahan bakar sekitar 90% sedangkan limbah batang dan daun sekitar 30% dari potensi yang ada.



Gambar 1. Potensi riil energi limbah jagung di Indonesia tahun 2006

### 3. Bentuk-Bentuk Energi Terbarukan Dari Jagung

Sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Studi mengenai pengembangan potensi sumber energi terbarukan yang berasal dari komoditas jagung telah dilakukan di berbagai negara. Potensi pemanfaatan dan pengembangan sumber energi terbarukan tersebut di antaranya adalah sebagai berikut:

#### 3.1. Bahan Bakar Padat

Sifat tongkol jagung yang memiliki kandungan karbon yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung kering per jam (Alkuino 2000).

Tabel 1. Analisis kimia tongkol jagung (Lachke, 2002)

Kadar air <sup>a)</sup>	13,9
Abu <sup>b)</sup>	1,17
Analisa kandungan zat kimia <sup>c)</sup>	
C	43,42
H	6,32
O	46,69
N	0,67
S	0,07
Abu	2,30
HHV (MJ/kg)	14,7 – 18,9

<sup>a)</sup> ASTM E 1756-95, <sup>b)</sup> ASTM E-1755-95,  
<sup>c)</sup> jasa analisa komersial (Huffman Labs, Inc. USA).

Dalam bentuk arang (*char*), efisiensi penggunaan energi tongkol jagung dapat ditingkatkan. Proses pembentukan arang (*carbonization*) menggunakan prinsip dasar proses pirolisa cepat/karbonasi cepat, dimana terjadi proses pembakaran pada suhu

berkisar 150–600°C dengan udara yang sangat terbatas. Hasil *Flash Carbonization* dari tongkol jagung (Lachke, 2002), adalah sebagai berikut:

Kandungan (%)

Kadar air	13,6
Karbon tetap (fixed carbon)	83,7
Abu	2,7
$y_{char}$ (%)	33,1
$y_{fc}$ (%)	28,0
HHV (MJ/kg)	32,0
$y_{char} =$	$m_{char} / m_{bio}$
$y_{fc} =$	$y_{char} \{ \% fc / (100 - \% ash) \}$

- $y_{char}$  : produktivitas arang
- $m_{char}$  : masa kering arang
- $m_{bio}$  : masa kering bahan
- $y_{fc}$  : produktivitas *fixed-carbon*
- $y_{char}$  : produktivitas arang
- % fc : persentase kandungan *fixed-carbon*
- % ash : persentase kandungan abu
- HHV : Higher Heating Value

Karbonisasi pada tekanan 1,2 Mpa, menyala setelah 2 menit pemanasan dan aliran udara pada autoclave dihentikan setelah 18 menit. Produktivitas *fixed-carbon* mencapai 100%.

Kandungan energi tongkol jagung: 3.500–4.500 kkal/ kg atau 14.7–18.9 MJ/kg, suhu pembakaran dapat mencapai 205°C Sedangkan sumber pustaka lain menyebutkan bahwa dengan karbonisasi tongkol jagung, kandungan energinya dapat

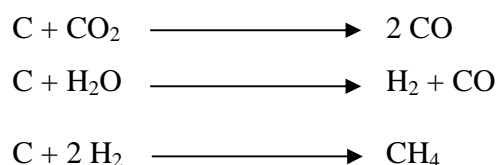
mencapai 32 MJ/kg (Watson, 1988 dalam Prostowo, *dkk.*, 1998; Mochidzuki, *et al.*, 2002).

Energi termal dari hasil pembakaran merupakan teknologi konversi biomasa yang paling tua, dan menghasilkan efisiensi panas hanya sekitar 12% (Manurung, 2004). Pemanfaatan panas langsung yang paling banyak dilakukan orang adalah untuk memasak atau pengeringan dengan menggunakan tungku. Jika panas yang dihasilkan dipergunakan untuk memanaskan ketel uap maka dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga mekanis atau listrik.

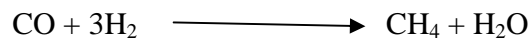
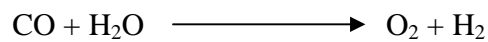
### 3.2. Bahan Padat Untuk Proses Pirolisa dan Gasifikasi

Pirolisa merupakan proses pemanfaatan limbah dengan cara pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif rendah yaitu sekitar 400–500°C. Proses pirolisa menghasilkan gas dengan nilai kalor 4000 kJ/Nm<sup>3</sup> gas, minyak cair (bio-oil) dengan nilai kalor 16000–17000 kJ/kg dan arang. Gas yang terbentuk dapat dipergunakan untuk menghasilkan udara panas, menggerakkan motor atau membangkitkan tenaga listrik.

Limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat untuk proses thermal gasifikasi. Pada proses gasifikasi, terjadi pembakaran tidak sempurna pada suhu yang relatif tinggi, yaitu sekitar 900–1200°C. Proses gasifikasi menghasilkan produk tunggal berupa gas dengan nilai kalori 4000–5000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Gas yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan udara panas, menggerakkan motor dan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Konversi energi dengan cara gasifikasi efisiensi panasnya mencapai 50–70%. Proses pembentukan gas pada sistem ini merupakan kelanjutan dari proses pirolisa di mana reaksi yang terjadi adalah:



Pada fase gas beberapa reaksi tambahan dapat terjadi:



Penelitian pendahuluan mengenai kemungkinan penggunaan tongkol jagung sebagai bahan padatan proses gasifikasi telah dilakukan dan presentasi gas, abu arang, tar dan likuida terkondensasi pada berbagai suhu pembakaran adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Gas, abu arang, tar dan likuida terkondensasi pada proses karbonisasi tongkol jagung.

Temperature (°K)	550	650	750	850	950	1050	1150
Abu arang (%)	31.8	26.0	23.2	21.5	20.2	19.8	19.1
Gas (%)	20.2	24.4	24.4	39.8	61.4	64.7	72.0
Liquida terkondensasi (%)	36.7	40.2	40.2	31.7	13.3	12.3	6.0
Tar	11.3	10.5	10.5	7.0	5.1	3.2	1.7

### 3.3. Ethanol dan 2,3 butanadiol

Biomasa mengandung selulosa dan hemiselulosa. Produk akhir dari hidrolisa selulosa adalah glukosa. Glukosa dikenal sebagai gula dengan 6 gugus karbon (dapat difermentasi), sedangkan bagian hemiselulosa adalah D-xyloza adalah gula dengan 5 gugus karbon. D-xyloza adalah jumlah gula nomor dua terbanyak di alam dan bahan potensial untuk makanan dan bahan bakar. Gula hemiselulosa (D-xyloza) dapat diperoleh dengan produktivitas 80–90% dari xylan dengan asam atau hidrolisa enzimatik. Penggunaan D-xylose pada produksi komersial dari zat-zat kimia bernilai ekonomis tinggi seperti ethanol, asam asetat, 2,3-butanadiol, aseton, isopropanol dan n-butanol dengan menggunakan mikroorganisme (Lachke, 2002).

Riset dalam rangka mempelajari peranan mikroorganisme pada gula pentosa masih dalam taraf pengembangan. Peneliti dari universitas Purdue-AS telah mengembangkan ragi dengan modifikasi genetika, dimana diharapkan dapat memfermentasikan selulosa menjadi etanol secara efisien. Ragi hasil rekayasa genetika paling tidak mampu menghasilkan lebih dari 30% etanol dari sejumlah

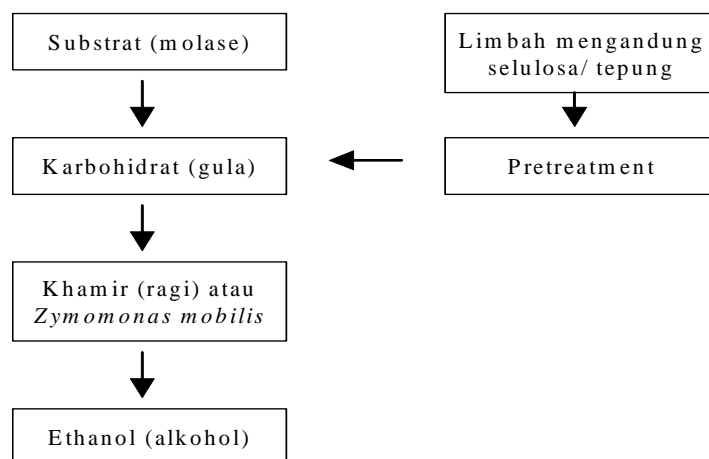


bahan tanaman. Tujuannya adalah membuat etanol dengan harga yang kompetitif dengan bensin (Anon, 2002; Lachke, 2002).

Ethanol dan 2,3 butanediol merupakan bahan bakar alkohol yang berasal dari proses fermentasi gula atau molase (Gambar 2). Ethanol mempunyai nilai energi 122 MJ/kg, sedangkan 2,3-butanediol nilai energinya 114 MJ/kg.

Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar baik sebagai campuran bahan bakar bensin dan solar atau sebagai pengganti bensin telah dilakukan di beberapa negara. Sebagai contoh dalam rangka kebijakan penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan, Australia telah mengeluarkan kebijakan pencampuran ethanol pada bensin untuk konsumsi kendaraan bermotor pada rasio 1:14. Sumber ethanol di Australia dihasilkan dari limbah industri penghasil gula, pati dan gluten. Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar pengganti bensin dan solar sebagai program nasional pernah berhasil dilakukan oleh Brazil pada tahun 70-an yang sumber utamanya berasal dari limbah pengolahan tebu.

Kajian produksi bahan bakar alkohol ini perlu terus dilakukan, mengingat secara ekonomi ongkos produksi untuk konsumsi masal pada saat ini masih cukup tinggi sehingga belum mampu bersaing dengan bahan bakar fosil (Aye, 1999).



Gambar 2. Proses produksi ethanol secara ringkas

### **3.4. Biodiesel**

Biodiesel merupakan alternative energi bahan bakar solar yang sumber-sumbernya berasal dari minyak sayur (*vegetable oil*) dan lemak hewani (*animal fat*). Minyak dan lemak secara umum bersifat water-insoluble; namun terdapat kandungan bahan-bahan hydrophobic yang berasal glycerol dan fatty acids yang dikenal dengan nama triglycerides (Ma & Hanna,1999).

Secara umum ada empat cara pemanfaatan dan pembuatan biodiesel, yaitu: (1) minyak digunakan langsung atau sebagai bahan campuran, (2) microemulsi, (3) pirolisa, (4) transesterifikasi (Ma & Hanna,1999). Proses yang paling umum dilakukan adalah proses transesterifikasi. Pada proses transesterifikasi, reaksi bertahap dari triglycerida menjadi diglycerida, kemudian menjadi monoglycerida dan monoglycerida diubah menjadi fatty acid esters. Penggunaan minyak atau minyak bekas (*used oil*) secara langsung dapat dilakukan, namun dapat mengkontaminasi oli pelumas dan dapat mengakibatkan tingginya karbon deposit yang disebabkan oleh viskositas bahan yang cukup tinggi.

Komoditas jagung merupakan salah satu sumber potential penghasil biodiesel, namun seiring dengan bertambahnya populasi, kebutuhan untuk sumber pangan dan pakan akan semakin meningkat. Kebutuhan untuk sumber pangan dan pakan yang berasal dari komoditas jagung di Indonesia dan beberapa negara di Asia sangat besar dan harga minyak jagung cukup mahal, sehingga pengembangannya untuk biodiesel tidak dapat diperlakukan sebagai sumber utama bahan bakar.

### **3.5. Pemanfaatan limbah jagung dan pengembangan produk samping**

Jagung memiliki banyak kegunaan, diantaranya yaitu: daun sebagai hijauan pakan ruminansia, biji jagung sebagai sumber energi ternak unggas, sedangkan limbah jagung lainnya seperti kulit jagung, bonggol jagung dan dedak jagung dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Pemanfaatan tongkol jagung untuk pakan ternak

melalui proses fermentasi dengan cara mencampur tongkol jagung dengan bakteri *trikoderma* dan gula pasir (Prasetyo, 2002; Ditjen. Peternakan, 2003).

Sebuah perusahaan di Iowa, AS berhasil memanfaatkan tongkol jagung sebagai berbagai produk yang ramah lingkungan. Tongkol memiliki sifat-sifat seperti salah satu bagiannya keras dan sebagian bersifat menyerap (*absorbent*), juga sifat-sifat yang merupakan gabungan beberapa sifat, seperti: tidak terjadi reaksi kimia bila dicampur dengan zat kimia lain (*inert*), dapat terurai secara alami dan ringan sehingga tongkol jagung merupakan bahan ideal campuran pakan, bahan campuran insektisida dan pupuk. Serta dapat digunakan sebagai alas hewan peliharaan karena alami, bersih dan dapat mengurangi bau tidak sedap ([www.ciras.iastate.edu/iof](http://www.ciras.iastate.edu/iof)).

Beberapa ragi seperti *Candida polymorpha* dan *Pichia miso* secara aerob dapat merubah D-xylose mejadi xylitol sebagai produk utamanya dengan efisiensi konversi mencapai 90%. Penemuan ini membanggakan karena xylitol adalah suatu gula alkohol yang merupakan pemanis alami yang terdapat dalam jumlah kecil pada berbagai varietas buah-buahan dan sayuran. Xylitol tidak membentuk asam dan digunakan sebagai gula substitusi bagi penderita diabetes. Xylitol sering dipakai sebagai bahan permen karet dan pasta gigi. Macam-macam gula dalam residu tongkol jagung (% berat kering) adalah xylose: 65, arabinose: 10 dan glukose: 25 (Lachke, 2002).

#### **4. Kesimpulan**

Dari uraian diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 4.1. Tanaman jagung (*Zea mays*) adalah merupakan tanaman pangan terpenting kedua di Indonesia. Berdasarkan karakteristik fisik dan kimianya, tanaman jagung memiliki banyak kegunaan, berpotensi sebagai sumber energi terbarukan dan produk samping yang bernilai ekonomis tinggi.
- 4.2. Pemanfaatan jagung dan limbahnya sebagai sumber energi terbarukan dengan teknologi konversi energi yang ada saat ini, di antaranya adalah (1) sebagai bahan bakar tungku untuk proses pengeringan atau pemanasan, (2) sebagai

- bahan bakar padat untuk proses pirolisis dan gasifikasi, (3) sebagai bahan baku pembuatan ethanol dan (4) sebagai bahan baku potential pembuatan biodiesel.
- 4.3. Pemanfaatan limbah jagung dan turunan produk berbahan baku jagung sebagai sumber energi terbarukan cukup potensial untuk dikembangkan di Indonesia, namun penggunaan secara optimal perlu dikaji agar diperoleh keuntungan yang maksimal.
  - 4.4. Pemanfaatan limbah jagung masih menghadapi banyak kendala seperti lokasi produksi jagung yang tersebar dan densitas kamba yang kecil sehingga biaya transportasi untuk mengumpulkan bahan baku cukup tinggi. Untuk itu, dengan sistim kawasan terintegrasi diharapkan dapat mengatasi kendala tersebut.

## 5. Daftar Pustaka

Agustina, S. E. 2004. Biomass Potential as Renewable Energy Resources in Agriculture. Proceedings of International Seminar on Advanced Agricultural Engineering and Farm Work Operation. Bogor, 25-26 August 2004.

Alkuino E.L. 2000. Gasifying farm wastes as source of cheap heat for drying paddy and corns. International Rice Research Organisation. Philipines.

Anon. 2002. Melirik Ethanol Sebagai Alternatif Bahan Bakar.  
[http://www.indomedia.com/Intisari/2002/01/khas\\_infotekno\\_tebar1.htm](http://www.indomedia.com/Intisari/2002/01/khas_infotekno_tebar1.htm)

Aye, L., Charters W.W.S., Suwono, A. 1999. Biomass Fuels and Usage Patterns in Australia. Proceeding International Power and Energy Conference (INT-PEC). 26 Nov – 6 Dec 1999.

Ditjen. Pengembangan Peternakan, Dirjen. Bina Produksi Peternakan, Departemen Pertanian, 2003. Pengembangan Kawasan Agribisnis Berbasis Peternakan.  
<http://www.bangnak.djennak.go.id/>

Euken, Jill and Sullivan, Tim. Using Corn Cob Creatively. [www.ciras.iastate.edu/iof](http://www.ciras.iastate.edu/iof).

Hendrisson M., Rahayu Dwi Hartati, Endang Lestari. 2003. Untung Rugi Indonesia Meratifikasi Protokol Kyoto Ditinjau Dari Sektor Energi. Majalah P3TEK.  
<http://www.p3tek.com/content/publikasi/2003/publikasi03.htm>.

Koopmans, A. 1998. Trend in Energy Use. Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health. 7–9 October, 1998, Phuket, Thailand.

Koopmans, A. and Koppejan, J. 1997. Agricultural and Forest Residues-Generation, Utilization and Availability. Paper presented at the Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy, 6–10 January 1997, Kuala Lumpur, Malaysia.

Lachke, Anil. 2002. Biofuel from D-xylose the Second Most Abundant Sugar. <http://www.iisc.ernet.in/academy/resonance/May2002/pdf/May2002p50-58.pdf>.

Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology* vol. 70: pp115.

Manurung, R. 2004. Teknologi Konversi Limbah Pertanian Sebagai Sumber Energi Terbarukan di Indonesia. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian, di Balai Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong, 12 Agustus 2004.

Mochidzuki, K. Lloyd S. Paredes, and Michael J. Antal, Jr. 2002. Flash Carbonization of Biomass. [Http://www.hnei.hawaii.edu/flash\\_carb\\_biomass.pdf](http://www.hnei.hawaii.edu/flash_carb_biomass.pdf).

Prasetyo, T, Joko Handoyo, dan Cahyati Setiani. 2002. Karakteristik Sistem Usahatani Jagung-Ternak di Lahan Irigasi. Prosiding Seminar Nasional: Inovasi Teknologi Palawija, Buku 2- Hasil Penelitian dan Pengkajian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian, Badan Litbang Pertanian, hal. 581-605.

Prastowo, B.; R. Hanif; T.M. Lando. 1998. Rekayasa Teknologi Pengeringan dan Penyimpanan Jagung di Daerah Tadah Hujan. [http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th\\_1998/tek\\_pengeringan\\_penyimpanan\\_jagung.htm](http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th_1998/tek_pengeringan_penyimpanan_jagung.htm).

Sudradjat, R. 2004. The Potential of Biomass Energy Resources in Indonesia for the Possible Development of Clean Technology Process (CTP). Proceedings (Complete Version) International Workshop on Biomass & Clean Fossil Fuel Power Plant Technology: Sustainable Energy Development & CDM, pp. 36–59.