

Studi Awal Desain Pabrik Bioetanol dari *Corn stover*

Gumelar Ahmad Muhlis, Nia Fauziah Lestari, dan Juwari Purwo Sutikno
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: joecheits@yahoo.com

Abstrak - Jagung (*Zea mays*) 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. Limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12,1juta ton. Potensi energi limbah pada komoditas jagung sangat besar dan diharapkan akan terus meningkat sejalan dengan program pemerintah dalam meningkatkan produksi jagung secara nasional yaitu program pengembangan peternakan secara terintegrasi (Crop Livestock System/CLS). Oleh karena itu, optimasi pemanfaatan limbah jagung sangat diperlukan untuk mendapatkan keuntungan yang optimal sehingga dalam studi ini diputuskan pemanfaatan sebanyak 50% limbah pertanian jagung yang ada di Kab. Tuban untuk selanjutnya diproses menjadi Bioetanol 95%. Ketersediaan bahan baku, letak strategis, transportasi yang mudah terletak di jalur pantura dan langsung terhubung dengan pelabuhan, serta potensi tenaga kerja yang cukup menjanjikan menjadikan alasan dalam pemilihan Kawasan Industri Kec. Jenu Kab. Tuban sebagai lokasi pabrik. Proses pembuatan bioetanol dari *corn stover* dengan proses fermentasi dibagi menjadi 4 tahap yaitu: penyimpanan dan penanganan bahan baku, hidrolisis, fermentasi, dan pemurnian. Desain konseptual yang disajikan mengacu pada Technical Report Pilot Plan National Renewable Energy Laboratory tahun 2011. Pabrik Bioetanol direncanakan dapat mengolah 484.625 ton *corn stover* kering/hari pada yield etanol (303 L/dry ton) dengan kapasitas produksi etanol 95% sebanyak 44.226 kL/tahun, harga jual adalah Rp13.500,00/L. Masa konstruksi pabrik yang didirikan 2 tahun dengan pembiayaan berupa modal tetap (FCI) Rp. 515.854.121.170; modal kerja (WCI) Rp. 91.033.080.207; investasi total (TCI) Rp. 606.887.201.377 ; total production cost (TPC) Rp. 345.715.009.709. Sehingga didapatkan IRR 23,37 % pertahun ; pay out time (POT) 6,98 tahun dengan project life 15 tahun ; BEP 43,23% kapasitas. Dari analisis ekonomi dan evaluasi teknis maka pabrik bioetanol dari *corn stover* ini layak didirikan.

Kata Kunci – Bioetanol, *corn stover*, fermentasi, limbah

I. PENDAHULUAN

BIOMASSA 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 [1].

Jagung (*Zea mays*) 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. Limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 12,1juta ton [4]. Dengan konversi nilai kalori 4370 kkal/kg potensi energi limbah batang dan daun jagung kering sebesar 66,35 GJ [5]. 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 [2]-[5]. Potensi energi tongkol jagung adalah 55,75 GJ [6].

Potensi energi limbah pada komoditas jagung sangat besar dan diharapkan akan terus meningkat sejalan dengan program pemerintah dalam meningkatkan produksi jagung secara nasional. 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 [6].

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. 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 [3].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Spesifikasi Bahan Baku

Komposisi *Corn stover* berdasarkan National Renewable Energy Laboratory pada tahun 2011 dapat dilihat pada Tabel 1 [8]:

Tabel 1.
Komposisi *Corn stover*

Komponen	Komposisi (%)
Glucan	37.40
Xylan	21.07
Lignin	17.99
Acetate	2.93
Arabinan	2.92
Galactan	1.94
Mannan	1.56
Water	8.60
Ash	5.59
Total	100

B. Penetapan Kapasitas

Pada tahun 2012, luas panen jagung menurut BPS Propinsi Jawa Timur adalah 92.443 hektar [11]. Limbah batang dan daun jagung kering adalah 3,46 ton/ha sehingga limbah pertanian yang dihasilkan sekitar 319.852 ton [4]. Dengan limbah pertanian yang dihasilkan tersebut, diputuskan untuk memanfaatkan sebanyak 50% limbah pertanian yang ada di Kab. Tuban dalam satu tahun. Ketersediaan bahan baku inilah yang menjadi dasar studi dalam menetapkan kapasitas pabrik bioetanol.

Berdasarkan NREL 2011 Design Report pilot plan bioethanol didapatkan etanol yield sebesar 80 gal/dry ton corn stover. Berdasarkan tabel II.4.1 banyaknya air yang terkandung dalam corn stover sebesar 8.6% maka:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Corn Stover} &= 50\% \times 319.852 \text{ ton} \\ &= 159926 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas produksi} &= \\ &50\% \times 319.852 \text{ ton} \times (1 - 0.086) \times 80 \text{ gal/dry ton} \times 3.78 \text{ L/gal} \\ &= 44.226 \text{ kL/tahun} \end{aligned}$$

C. Seleksi Proses Pretreatment

1. Autohydrolysis Steam Explosion

Proses dengan suhu tinggi dapat menyebabkan pirolisis yang signifikan, sehingga terbentuk komponen inhibitor. Pada suhu tinggi, perbandingan kecepatan hidrolisis selulosa lebih tinggi dibanding degradasi glukosa. Pada suhu rendah yield xylose lebih rendah dan produk yang terdegradasi lebih tinggi. Pada umumnya yield xylose pada proses autohydrolysis antara 30-50%. Proses ini digunakan sebagai pretreatment pada Separate Hydrolysis and Fermentation (SHF). Kondisi operasi pada suhu 200°C selama 10 menit, dengan yield xylose 35%.

Kebutuhan steam pada proses ini sangat bergantung pada kandungan moisture dari bahan baku. Bahan baku yang basah membutuhkan lebih banyak energi. Salah satu keuntungan dari proses autohydrolysis yaitu dapat memecah lignin menjadi bagian yang lebih kecil dan mudah larut dalam pelarut organik.

2. Dilute Acid Prehydrolysis

Suhu yang lebih rendah serta menurunnya tingkat degradasi glukosa diperoleh dengan cara menambahkan sedikit asam pada proses pretreatment. Asam dapat meningkatkan kecepatan reaksi pada suhu operasinya dan perbandingan

hidrolisis dengan degradasi menjadi lebih tinggi.

Kondisi operasi berlangsung antara suhu 100 °C selama beberapa jam hingga pada suhu 200 °C selama 10 detik dengan konsentrasi asam sulfat 0,5-4%. Yield Xylose pada umumnya antara 70-95%.

Pertimbangan pemilihan proses pretreatment dapat dilihat pada Tabel 2 [9]:

Tabel 2.
Seleksi Proses Pretreatment

No	Parameter	Autohydrolysis		Dilute Acid	
		Pembahasan	Nilai	Pembahasan	Nilai
1	Yield	30 - 50 %	0	70 - 95 %	1
2	Utilitas	Kebutuhan steam lebih banyak	0	Kebutuhan steam lebih sedikit	1
3	Degradasi glukosa	Degradasi glukosa tinggi	0	Degradasi glukosa rendah	1
4	Memecah Lignin	Mampu memecah ikatan lignin	1	Kemampuan memecah ikatan lignin rendah	0
Total			1	Total	3

Seleksi proses berdasarkan yield yang tinggi, kebutuhan utilitas yang rendah, serta kemudahan kondisi operasi, sehingga dipilih Dilute Acid Prehydrolysis sebagai pretreatment.

D. Seleksi Proses Hidrolisis

1. Hidrolisis Asam

Faktor penting dalam hidrolisis asam adalah perbandingan permukaan dan volume, konsentrasi asam, suhu, dan waktu. Perbandingan permukaan dan volume sangat penting dalam menentukan besarnya yield glikosa. Ukuran partikel yang kecil lebih baik untuk proses hidrolisis, berpengaruh pada kecepatan reaksi. Semakin tinggi perbandingan liquid-solid maka reaksi berjalan lebih cepat. Perbandingan 10:1 merupakan yang paling umum digunakan.

2. Hidrolisis Enzim

Selulosa, sebagai karbohidrat yang dapat difermentasi, berbeda dengan karbohidrat lain pada umumnya yang menjadi substrat untuk fermentasi. Selulosa tidak larut dan terpolimerisasi oleh ikatan glikosidik. Selulosa harus dipecah sehingga dapat melewati proses metabolisme sel. Proses pemecahan dilakukan dengan hidrolisis enzim oleh selulase dari bakteri dan jamur.

Pertimbangan pemilihan proses hidrolisis dapat dilihat pada Tabel 3 [7]:

Tabel 3.
Seleksi Proses Hidrolisis

No	Parameter	Hidrolisis Asam		Hidrolisis Enzim	
		Pembahasan	Nilai	Pembahasan	Nilai
1	Yield	Rendah	0	Tinggi	1
2	Produk samping	Terbentuk produk samping	0	Tidak terbentuk produk samping	1
3	Biaya Operasional	Asam lebih ekonomis dibanding enzim	1	Harga enzim lebih tinggi dibanding asam	0
4	Waktu Operasional	Waktu lebih cepat	1	Waktu lebih lama	0
5	Kondisi Operasional	Suhu tinggi, pH rendah, dan bersifat korosif	0	Suhu rendah dan tidak bersifat korosif	1
Total			2	Total	3

Seleksi proses berdasarkan kondisi operasi yang mudah, yield yang tinggi, serta tidak terbentuknya produk samping. Sehingga proses hidrolisis Enzim digunakan.

E. Penyimpanan dan Penanganan Bahan Baku

Tahapan pertama dalam proses pembuatan bioetanol dari *corn stover* ini bertujuan mempersiapkan bahan baku untuk meningkatkan efisiensi dalam proses hidrolisis. Pertama, bahan baku (*corn stover*) dari gudang penyimpanan diangkat menggunakan *belt conveyor* menuju *rotary knife cutter* untuk mereduksi ukuran *corn stover* menjadi < 0,2 inch. Pemotongan ini bertujuan untuk memudahkan dalam proses penyimpanan serta memperbesar luas permukaan. Selanjutnya bahan baku disimpan dalam gudang penyimpanan.

Bahan baku diangkat dari gudang penyimpanan menggunakan *overhead conveyor* dan akan dilanjutkan menggunakan *belt conveyor* menuju Dilute Acid Pretreatment Tank. Pada tahap ini akan terjadi proses pemecahan lignoselulosa yang mengandung 2 komponen utama yakni *Glucan* dan *Xylan* menjadi monosakaridanya masing-masing, dengan penambahan asam sulfat encer 0,5 % massa dan kondisi operasi pada suhu 158 °C. Untuk menjaga kondisi operasi, makan tangki dilengkapi dengan jaket pemanas yang dialiri steam. Proses ini berlangsung selama 10 menit, reaksi yang terjadi adalah [8]:

Tabel 4.
Reaksi Pada Dilute Acid Pretreatment

Reaksi	Reaktan	Konversi
$(Glucan)_n + n H_2O \rightarrow n Glucose$	<i>Glucan</i>	0,120
$(Glucan)_n \rightarrow n HMF + 2n H_2O$	<i>Glucan</i>	0,003
$(Xylan)_n + n H_2O \rightarrow n Xylose$	<i>Xylan</i>	0,900
$(Xylan)_n \rightarrow n Furfural + 2n H_2O$	<i>Xylan</i>	0,050
$Acetate \rightarrow Acetic Acid$	<i>Acetate</i>	1,000
$(Lignin)_n \rightarrow n Soluble Lignin$	<i>Lignin</i>	0,005
$(Arabinan)_n + n H_2O \rightarrow n Arabinose$	<i>Arabinan</i>	0,900
$(Arabinan)_n \rightarrow n Furfural + 2n H_2O$	<i>Arabinan</i>	0,050
$(Galactan)_n + n H_2O \rightarrow n Galactose$	<i>Galactan</i>	0,900
$(Galactan)_n \rightarrow n Furfural + 2n H_2O$	<i>Galactan</i>	0,050
$(Mannan)_n + n H_2O \rightarrow n Mannose$	<i>Mannan</i>	0,900
$(Mannan)_n \rightarrow n Furfural + 2n H_2O$	<i>Mannan</i>	0,050

Asam sulfat yang ditambahkan serta asam asetat yang terkandung menyebabkan tingkat keasaman tinggi, sehingga perlu dilakukan penurunan pH. Selanjutnya slurry dipompakan ke Ammonia Addition Tank, dengan tujuan untuk mereaksikan asam sulfat dan asam asetat dengan amonium hidroksida, pH optimum untuk proses selanjutnya yaitu 4-5. Setelah itu didinginkan menggunakan cooler untuk mendapatkan suhu keluaran 48 °C.

F. Hidrolisis

Proses Hidrolisis menggunakan enzim selulase untuk mengkonversi selulosa menjadi glukosa. Enzim selulase merupakan campuran enzim (protein) yang dapat memecah ikatan selulosa menjadi cellobiose yang pada akhirnya menjadi monomer glukosa. Hidrolisis berlangsung pada suhu 48 °C,

tekanan 1 atm, dan dalam waktu 3,5 hari. Reaksi yang terjadi selama proses hidrolisis enzim adalah [8]:

Tabel 5.
Reaksi Pada Proses Hidrolisis

Reaksi	Reaktan	Konversi
$(Glucan)_n + n H_2O \rightarrow n Glucose$	<i>Glucan</i>	0.90
$(Glucan)_n + 1/2n H_2O \rightarrow 1/2n Cellobiose$	<i>Glucan</i>	0.012
$Cellobiose + H_2O \rightarrow 2 Glucose$	<i>Cellobiose</i>	1.00

G. Fermentasi

Slurry dari Hydrolysis Tank dipompakan ke dalam dua tangki, yaitu Seed Fermentor Tank dan Fermentor Tank. Seed Fermentor Tank merupakan tempat menumbuhkan bakteri *Zymomonas Mobilis* yang kemudian dimasukkan ke dalam Fermentor Tank untuk mengkonversi glukosa dan xylosa menjadi etanol secara simultan. Volume seed fermentor sebesar 10% dari total volume fermentor. Reaksi yang terjadi dalam Seed fermentor Tank dapat dilihat pada Tabel 6 [8].

Tabel 6.
Reaksi Pada Proses Fermentasi

Reaksi	Konversi	Reaktan
$Glucose \rightarrow 2 Etanol + 2 CO_2$	<i>Glucose</i>	0.900
$Glucose + 2 H_2O \rightarrow 2 Glycerol + O_2$	<i>Glucose</i>	0.004
$Glucose + 2 CO_2 \rightarrow 2 Succinic Acid + O_2$	<i>Glucose</i>	0.006
$Glucose \rightarrow 2 Lactic Acid$	<i>Glucose</i>	0.003
$Xylose \rightarrow 5/3 Etanol + 5/3 CO_2$	<i>Xylose</i>	0.800
$Xylose + 5/3 H_2O \rightarrow 5 Glycerol + 2,5 O_2$	<i>Xylose</i>	0.003
$Xylose + 5/3 CO_2 \rightarrow 5/3 Succinic Acid + 2,5/3 O_2$	<i>Xylose</i>	0.009
$Xylose \rightarrow 5/3 Lactic Acid$	<i>Xylose</i>	0.003
$3 Arabinose \rightarrow 5 Lactic Acid$	<i>Arabinose</i>	0,003
$Galactose \rightarrow 2 Lactic Acid$	<i>Galactose</i>	0,003
$Mannose \rightarrow 2 Lactic Acid$	<i>Mannose</i>	0,003

Proses di dalam Seed Fermentor Tank berlangsung selama 1 hari dengan kondisi operasi pada suhu 32 °C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya slurry dimasukkan ke dalam Fermentor Tank untuk melalui proses fermentasi selama 1,5 hari pada kondisi 32 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi di dalam Fermentor Tank sama dengan reaksi di dalam Seed Fermentor Tank namun dengan konversi etanol 5 % lebih tinggi.

H. Pemurnian

Setelah keluar dari proses fermentasi, etanol hasil proses fermentasi atau biasa disebut dengan istilah bioetanol dimurnikan dalam proses distilasi untuk mencapai kemurnian yang diinginkan. Sebelum masuk ke proses distilasi, etanol ditampung didalam tangki penampung produk fermentasi dan akan ditambahkan amonium hidroksida untuk direaksikan dengan asam sulfat yang tersisa setelah proses fermentasi. Selanjutnya dengan menggunakan pompa akan dilanjutkan menuju rotary drum filter yang merupakan tahap filtrasi. Pada tahapan ini solid akan dipisahkan secara keseluruhan sehingga diperoleh liquid yang akan dimurnikan dalam tahapan distilasi. Filtrat kemudian ditampung dalam 2 tangki penampung yang digunakan secara bergantian sebelum diumpankan ke unit distilasi.

Sebelum etanol dimurnikan terlebih dahulu dipanaskan dalam heat exchanger menggunakan steam sehingga suhu

liquid akan naik dari semula 32,7 °C menjadi 110 °C. Kemudian etanol dimurnikan dengan menggunakan 2 buah kolom distilasi, pertama menggunakan Beer Still Column yang merupakan kolom distilasi I, di sini sebagian besar air akan terambil. Pada kolom pertama ini digunakan tipe kolom distilasi yang dilengkapi tray beserta parsial reboiler dan total kondensor. Dimana pada kolom distilasi I ini air berfungsi sebagai heavy key dan etanol sebagai light key Sehingga air dan produk samping lainnya yang merupakan komponen berat akan keluar sebagai produk bawah dan etanol beserta sedikit air akan keluar sebagai produk atas pada suhu 90,8 °C.

Etanol keluaran kolom pertama (overhead) menjadi feed kolom kedua atau biasa disebut rectification column yang juga menggunakan parsial reboiler dan total kondensor. Kolom distilasi kedua ini berfungsi memekatkan etanol sehingga mendekati komposisi azeotropnya yaitu 95,8 % v/v. Produk atas kolom distilasi II selanjutnya didinginkan menggunakan cooler hingga suhu 38 °C sebelum disimpan pada storage tank.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Produksi

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa *corn stover* yang berasal dari Kab. Tuban mampu menghasilkan Bioetanol yang memiliki kemurnian 95% dengan kapasitas sebesar 44.226 kL/tahun dan kebutuhan *Corn stover* sebanyak 159.926 ton/tahun.

B. Ekonomi

Setelah diperoleh analisis hasil produksi etanol maka selanjutnya dapat dilakukan analisis ekonomi sebagai berikut [10]:

Tabel 7.
Hasil Perhitungan Analisis Ekonomi

No	Keterangan	Unit	Jumlah
1	Total Capital Investment	Rupiah	606.887.201.377
2	Total Production Cost	Rupiah	345.715.009.709
3	Interest	% / Tahun	11
5	Internal Rate of Return	% / Tahun	23,376
6	Pay Out Time	Tahun	6,98
7	BEP	% Kapasitas	43,23
8	Harga Corn Stover	Rupiah/kg	440,23
9	Project Life	Tahun	15
10	Construction Periode	Tahun	2
11	Operation	Hari/Tahun	330

IV. KESIMPULAN

1) Produksi etanol dari *corn stover* pada Pra Desain Pabrik ini dilakukan dengan proses fermentasi. Dengan pengendalian menyeluruh yang baik pada proses akan menghasilkan etanol 95% dengan mutu yang terjaga. Bahan dasar yang diperlukan tersedia melimpah di pasaran dengan harga yang relatif sangat murah.

- 2) Laju Pengembalian Modal (*Rate Of Return*) sebesar 23,38 % pertahun. Hal ini menunjukkan bahwa ROR syang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai *i* untuk pinjaman modal pada bank dengan tingkat bunga 11%, sehingga pabrik layak didirikan.
- 3) Waktu pengembalian modal (*Pay Out Time*) = 6,98 tahun dengan project life 15 tahun.
- 4) Titik Impas (*Break Even Point*) = 43,23 %.
- 5) Pabrik Etanol 95% dari *corn stover* ini sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan.
- 6) Pra rencana ini telah layak didirikan dengan masa konstruksi 2 tahun dan umur pabrik 10 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis G.A.M. dan N.F.L. mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Juwari selaku pembimbing pada tugas akhir kami, Bapak Renanto sebagai Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses Teknik Kimia ITS, dan kepada pihak-pihak yang mendukung kelengkapan data yaitu National Renewable Energy Laboratory dan Badan Pusat Statistik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. E. Agustina, *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).
- [2] A. Koopmans and J. Koppejan, *Agricultural and Forest Residues-Generation, Utilization and Availability*. Paper presented at the Regional Consultation on Modern Application of Biomass Energy, , Kuala Lumpur, Malaysia (1997, January).
- [3] A. Lachke, *Biofuel from D-xylose the Second Most Abundant Sugar*, (2002).
- [4] T. Prasetyo, J. Handoyo, C. Setiani, *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 (2002).
- [5] R. Sudrajat, *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 (2004).
- [6] T. W. Widodo, A. Asari, Ana, R. Elita, *Bio Energi Berbasis Jagung dan Pemanfaatan Limbahnya*, Balai Besar Pengembangan Pertanian Serpong (2004).
- [7] Taherzadeh dan Karimi, *Enzyme Based Ethanol*, Bio Resource, 2 (4), 707-708 (2007).
- [8] D. Humbird, *Dilute Acid Pretreatment and Enzymatic Hydrolysis of Corn stover*, National Renewable Energy Laboratory (2011).
- [9] S. Lee, *Handbook of Alternative Fuel Technology*, New York:CRC Press (2007).
- [10] K. D. Timmerhaus, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*, New York:The McGraw-Hill Companies.Inc (2003).
- [11] Badan Pusat Statistik, *Luas Panen Tanaman Palawija*, Jawa Timur (2012).