

PENGARUH RADIASI BERKAS ELEKTRON DAN KIMIA PADA PEMBUATAN GLUKOSA DARI TANDAN KOSONG SAWIT

(SYNTHESIS OF GLUCOSE FROM PALM EMPTY FRUIT BUNCH USING EFFECT OF ELECTRON RADIATION WASTE AND CHEMICAL)

Darsono, Sugiarto Danu, Made Sumarti Kardha, dan Harsojo

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta-Selatan

E-mail: darsono@batan.go.id

Received : 5 April 2013 ; revised : 19 April 2013; accepted : 29 April 2013

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pembuatan glukosa dari tandan kosong sawit (TKS) dengan 2 tahap, yaitu perlakuan pendahuluan iradiasi berkas elektron dilanjutkan dengan alkali dan asam, diikuti dengan proses sakarifikasi. Serat TKS kering diiradiasi menggunakan berkas elektron pada variasi dosis 0, 200, dan 400 kGy. Hasil iradiasi berkas elektron selanjutnya digiling dan diayak untuk mendapatkan butiran berukuran antara 40/60 mesh. Perlakuan pendahuluan dengan NaOH dilakukan pada suhu 121°C selama 30 dan 60 menit, sedangkan perlakuan dengan H₂SO₄ dilakukan pada suhu 121°C selama 30 menit dengan menggunakan otoklaf. Sakarifikasi dilakukan menggunakan enzim amilase dan selubiose. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada dosis iradiasi 0, 200 dan 400 kGy dengan perlakuan NaOH 0, 4, 8, dan 16% telah menghasilkan glukosa maksimum 14,0% sampai 14,2%. Perlakuan H₂SO₄ dengan konsentrasi 1, 2, dan 4% menghasilkan glukosa sekitar 6% sampai 8,5%.

Kata kunci: Iradiasi, Berkas elektron, Sakarifikasi, Glukosa

ABSTRACT

Research on preparation of glucose from palm empty fruit bunch (PEFB) was carried out in 2 steps, that was electron beam, alkaline and acid pretreatment, followed by saccharification processes. Dried PEFB fiber was irradiated using an electron beam at the doses variation of 0, 200 and 400 kGy. The results of electron beam irradiation further milled and sieved to obtain particle sizes 40/60 mesh. NaOH pretreatment was performed at 121°C for 30 and 60 minutes, whereas pretreatment with H₂SO₄ was performed at temperature of 121°C for 30 minutes using an autoclave. Saccharification was done using amylase and selubiose enzymes. The results obtained indicate that at irradiation doses of 0, 200, and 400 kGy with NaOH treatment of 0, 4, 8 and 16 %, the maximum glucose yield was 14.0% until 14.2%. The use of H₂SO₄ treatment of 1, 2, and 4%, glucose yield around 6% until 8.5%.

Key words: Irradiation, Electron beam, Saccharification, Glucose.

PENDAHULUAN

Sejak Oktober 2005 Indonesia dilanda krisis bahan bakar minyak, harga bahan bakar yang berasal dari minyak bumi meningkat hingga tiga kali lipat. Ketergantungan minyak dapat merugikan karena selain potensinya yang akan habis juga tidak terbarukan dan menyebabkan pencemaran udara yang cukup tinggi. Oleh karena itu perlu dicari bahan bakar alternatif yang salah satunya adalah bioetanol (Irawati 2006).

Menurut Brunce and Palfreman (1998) bioetanol dapat diproduksi dari sumber daya yang dapat diperbarui seperti biomassa yang dikategorikan ke dalam bahan-bahan yang

berbasis gula (gula tebu, bit, dan sorgum manis), pati (jagung, gandum, beras), serta ubi-ubian (kentang, singkong, ubi jalar) dan lignoselulosa (kayu, jerami, bagas, dan sebagainya). Bahan baku berbasis gula dan pati memang lebih mudah pada proses pembuatan etanol, akan tetapi penggunaan bahan baku tersebut bersaing dengan pemanfaatannya yang lebih utama yaitu sebagai sumber bahan makanan. Penggunaan bahan baku lignoselulosa, selain lebih murah, potensinya lebih besar dan tidak bersaing dengan pemanfaatan lain.

Salah satu bahan yang mengandung lignoselulosa adalah tandan kosong sawit (TKS). TKS merupakan limbah padat terbesar pada industri kelapa sawit, yaitu 25% sampai 27% dari buah segar (Subiyanto *et al.* 2004, Peni 1995). Oleh karena itu perlu diupayakan pemanfaatan limbah TKS menjadi produk yang lebih berguna, misalnya etanol (Sudiyani *et al.* 2008). TKS mengandung lignoselulosa tinggi, dengan komponen utama adalah selulosa (44,14%), hemiselulosa (19,28%), dan lignin (16,19%). Selulosa merupakan komponen terbesar di antara tiga komponen dan sangat potensial dipakai sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol.

TKS mempunyai potensi untuk digunakan sebagai sumber glukosa melalui proses hidrolisis dengan asam atau enzim. Larutan gula yang dihasilkan selanjutnya dapat dikonversi menjadi berbagai produk seperti etanol, aseton, butanol atau melalui biopolimer yang mempunyai nilai lebih tinggi (Brenner *et al.* 1979). Faktor-faktor struktur kristalin, bobot molekul yang tinggi, dan ikatan hidrogen, serta kandungan lignin pada lignoselulosa menyebabkan reaktivitasnya menjadi rendah pada proses hidrolisis dan fermentasi (Darnoko 1992). Faktor-faktor penghambat tersebut perlu dihilangkan atau dikurangi dengan perlakuan pendahuluan. Perlakuan pendahuluan tersebut dapat dilakukan dengan cara enzimatis dan kimia. Selain dengan proses-proses kimia, fisika, dan panas, setiap proses mempunyai keunggulan dan kelemahan (Yang and Wyman 2008, Hendriks and Zeeman 2009). Selain dengan proses-proses tersebut, perlakuan pendahuluan pada pembuatan glukosa dan bioetanol dapat dilakukan dengan teknik radiasi. Beberapa penelitian pembuatan bioetanol berbasis lignoselulosa dengan bantuan radiasi telah dilakukan, misalnya penggunaan iradiasi berkas elektron dan sinar-gamma pada jerami, sekam padi, dan kulit jagung dapat meningkatkan hidrolisis selulosa secara signifikan (Della Rossa *et al.* 1983). Sebagai contoh, penggunaan radiasi berkas elektron dapat memecah rantai (degradasi) dan mengubah struktur mikro serat nanas (*Cannabis Sativa* L) sehingga meningkatkan hidrolisis dan fermentasi (Shin and Sung 2008). Penggunaan berkas elektron pada perlakuan pendahuluan TKS untuk proses degradasi dapat memecah ikatan hidrogen pada selulosa sedang penggilingan menurunkan bobot molekul dan kristalinitas (Sugiarto Danu *et al.* 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh iradiasi berkas elektron, konsentrasi NaOH dan H₂SO₄ pada proses hidrolisis untuk menghasilkan glukosa. Percobaan dilakukan dengan variasi dosis iradiasi 0, 200, dan 400 kGy, konsentrasi NaOH 0, 4, 8, dan 16% dan H₂SO₄ 1, 2, dan 4%. Sakarifikasi dilakukan

menggunakan enzim amilase dan selubiasie. Parameter yang diukur adalah kelarutan TKS dalam NaOH, H₂SO₄, dan kadar glukosa yang dihasilkan diukur menggunakan alat refraktometer.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Serat TKS diperoleh dari PTP VIII, Pandeglang, Banten. H₂SO₄, NaOH, natrium sitrat, amonium sitrat, enzim selulosa dengan nama dagang meiselase produksi PT. Meiji, dan selubiasie dari PT. Dipa Jakarta. Buffer natrium sitrat pH 5,5 dibuat dengan mencampur natrium sitrat 0,05 M dan asam sitrat 0,05 M.

Peralatan yang digunakan adalah mesin berkas elektron (2 MeV, 10 mA), penggiling, ayakan, otoklaf, *water bath* yang dilengkapi dengan *orbital shaker*, dan Master Refractometer merk Atago.

Metode

a. Persiapan Sampel

Serat TKS dicuci, dipotong sepanjang 1 cm sampai 2 cm kemudian dikeringkan. Potongan dikemas dalam plastik, kemudian diiradiasi berkas elektron pada dosis 200 kGy dan 400 kGy. Sampel hasil iradiasi selanjutnya digiling dan diayak. Sebagian sampel dilakukan pemasakan menggunakan larutan NaOH 4, 8 dan 16%, serta H₂SO₄ dengan konsentrasi 1, 2 dan 4%. Pemasakan dilakukan pada suhu 121°C menggunakan alat otoklaf, waktu pemasakan menggunakan NaOH adalah 30 menit dan 60 menit, sedangkan H₂SO₄ waktunya 30 menit. Kelarutan TKS dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ Kelarutan} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

W₁ = berat kering serat tandan kosong sawit
W₂ = berat sampel setelah pemasakan.

b. Pembuatan Larutan Buffer Dengan pH 5,5

Larutan buffer pH 5,5 dibuat dari campuran asam sitrat 0,05 M sebanyak 76 ml dan natrium sitrat 0,05 M sebanyak 435 ml. Campuran tersebut diukur pHnya menggunakan pH meter.

c. Proses Sakarifikasi (Hidrolisis)

Serat TKS ditimbang sebanyak 1 gram, dimasukkan dalam tabung reaksi dan ditambah enzim selulosa 20 FPU dan selubiasie 100 CBU kemudian ditambah larutan buffer 7 ml. Kemudian diletakkan dalam *water bath* yang dilengkapi dengan *orbital shaker*, dengan suhu pemanasan 50°C dan *shaker* digerakkan dengan kecepatan 80 rpm. Waktu inkubasi divariasi selama 0, 4, 8, 12, 24, dan 48 jam.

d. Pengukuran Kadar Glukosa

Penetapan kadar glukosa dilakukan dengan menggunakan alat refraktometer. Sampel hasil sakarifikasi disaring, kemudian ditetaskan 2 tetes sampai 3 tetes di permukaan lensa. Dari ujung lubang diamati dan akan terlihat batas antara gelap dan terang pada suatu skala yang menunjukkan nilai Brix.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh dosis iradiasi dan perendaman menggunakan larutan NaOH terhadap kelarutan TKS ditampilkan pada Tabel 1.

Larutan NaOH mengekstraksi lignin dan sebagian hemiselulosa serta selulosa yang terdegradasi dalam TKS. Kelarutan TKS oleh NaOH menunjukkan tingkat degradasi oleh iradiasi berkas elektron. Semakin tinggi tingkat degradasi semakin tinggi kelarutannya. Iradiasi meningkatkan kelarutan dalam NaOH 4% dari 33,01% (0 kGy) menjadi 67,38% (200 kGy) dan 77,18% (400 kGy). Data tersebut menunjukkan kelarutan TKS meningkat hampir 2 kali atau sekitar 200% pada dosis iradiasi 200 kGy dan 230% (400 kGy) bila dibandingkan dengan dosis 0 kGy. Kenaikan konsentrasi NaOH dari 4% menjadi 8% meningkatkan kelarutan TKS dari 33,01% menjadi 39,64% (0 kGy) dan 67,38% menjadi 76,24% (200 kGy). Data tersebut mengisyaratkan bahwa TKS pada dosis iradiasi 200 kGy nilai kelarutannya pada perendaman NaOH 4% dan 8 % tidak jauh berbeda.

Perendaman dalam NaOH 16% pada dosis 400 kGy kelarutannya meningkat dari 77,10% menjadi 86,96%. Perlakuan asam menggunakan larutan H₂O₂ pada batas kelarutan zat ekstraktif maksimum 60,42% (Dawson and Boopathy 2003). Kelarutan yang

Tabel 1. Pengaruh dosis iradiasi dan konsentrasi NaOH terhadap kelarutan pada suhu perendaman 121°C

Dosis (kGy)	Konsentrasi NaOH, %	Kelarutan, %	
		30 menit	60 menit
0	4	32.01	33.00
200		67.38	68.05
400		77.18	77.68
0	8	39.64	39.70
200		76.24	76.90
400		77.74	78.00
0	16	39.90	38.95
200		79.44	79.97
400		86.96	88.00

sangat tinggi akan mempengaruhi pada proses selanjutnya, karena yang larut bukan hanya lignin tetapi sebagian selulosa akan larut dalam alkali. Pada percobaan ini kenaikan waktu perendaman dari 30 menit menjadi 60 menit tidak tampak pengaruhnya. Penelitian lain (Foldvary Tacacs and Ojonarovits 2003) menunjukkan bahwa iradiasi dan alkali meningkatkan kelarutan selulosa dalam serat kapas (katun). Lignin lebih mudah dihilangkan dengan alkali dan selulosa lebih mudah digiling menjadi partikel yang lebih kecil setelah iradiasi dengan berkas elektron (Sugiarto *et al.* 2012). Perlakuan dengan alkali menyebabkan larutnya hemiselulosa dan sebagian lignin dalam biomassa (Mosier *et al.* 2005).

Lignin merupakan komponen kimia kayu yang selalu bergabung dengan selulosa dan bukan merupakan karbohidrat, melainkan didominasi gugus aromatik. NaOH yang digunakan dapat mengekstrak karbohidrat berbobot molekul rendah dan merusak selulosa. Besarnya bahan yang terlarut dalam NaOH dapat digunakan sebagai indikator tingkat degradasi kayu akibat pelapukan, panas, radiasi, cahaya, oksidasi, dan sebagainya.

Pengaruh dosis iradiasi terhadap hasil perendaman dengan H₂SO₄ disajikan pada Tabel 2. Larutan asam menghidrolisis fraksi hemiselulosa dan mendegradasi sebagian glukosa. Radiasi menyebabkan degradasi komponen-komponen tersebut sehingga menyebabkan kelarutannya meningkat. Dari tabel tersebut terlihat bahwa pada umumnya iradiasi berkas elektron dan konsentrasi H₂SO₄ meningkatkan kelarutannya dan paling tinggi diperoleh pada dosis 400 kGy dan konsentrasi H₂SO₄ 4% yaitu sebesar 36,68%. Perlakuan pendahuluan iradiasi berkas elektron dan perendaman NaOH 4% lebih baik bila dibandingkan dengan perendaman menggunakan H₂SO₄ 4%.

Sakarifikasi menggunakan enzimatik terhadap sampel kontrol tanpa perlakuan kimia menghasilkan glukosa sekitar 5% (0 kGy); 6,5% (200 kGy); dan 6,7% (400 kGy), hal ini

Tabel 2. Pengaruh dosis iradiasi terhadap kelarutan TKS dengan perendaman H₂SO₄ pada suhu 121°C selama 30 menit

Dosis, kGy	Konsentrasi H ₂ SO ₄ , %	Kelarutan, %
0	1	21.03
200		25.25
400		28.24
0	2	26.03
200		25.25
400		35.78
0	4	26.12
200		27.64
400		36.68

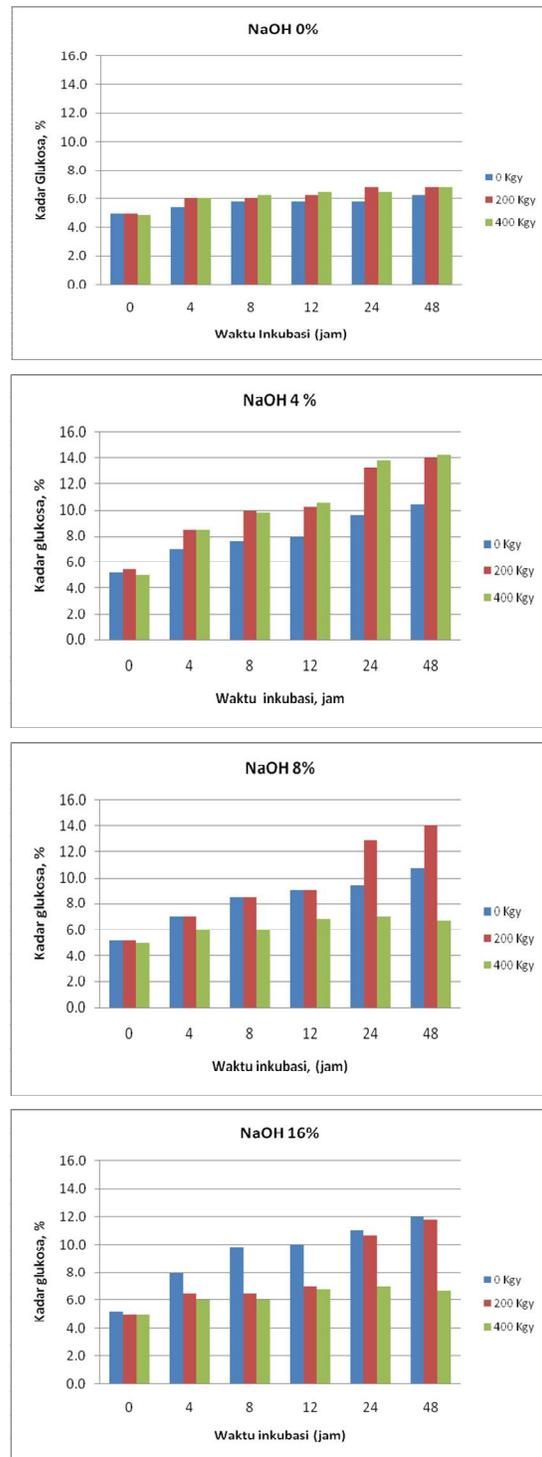
menunjukkan bahwa glukosa yang dihasilkan masih rendah, sehingga diperlukan proses lebih lanjut. Untuk meningkatkan kadar glukosa dilakukan kombinasi iradiasi dan perlakuan kimia sehingga diperoleh glukosa yang lebih tinggi.

Proses perlakuan awal dilakukan dengan tujuan untuk mengecilkan ukuran, menghilangkan lignin, memecah selulosa dan hemiselulosa, serta menurunkan derajat kristalinitas sehingga dapat meningkatkan luas bidang kontak sampel pada saat sakarifikasi. Pengaruh dosis iradiasi dan waktu sakarifikasi pada sampel hasil perendaman NaOH terhadap glukosa disajikan pada Gambar 1.

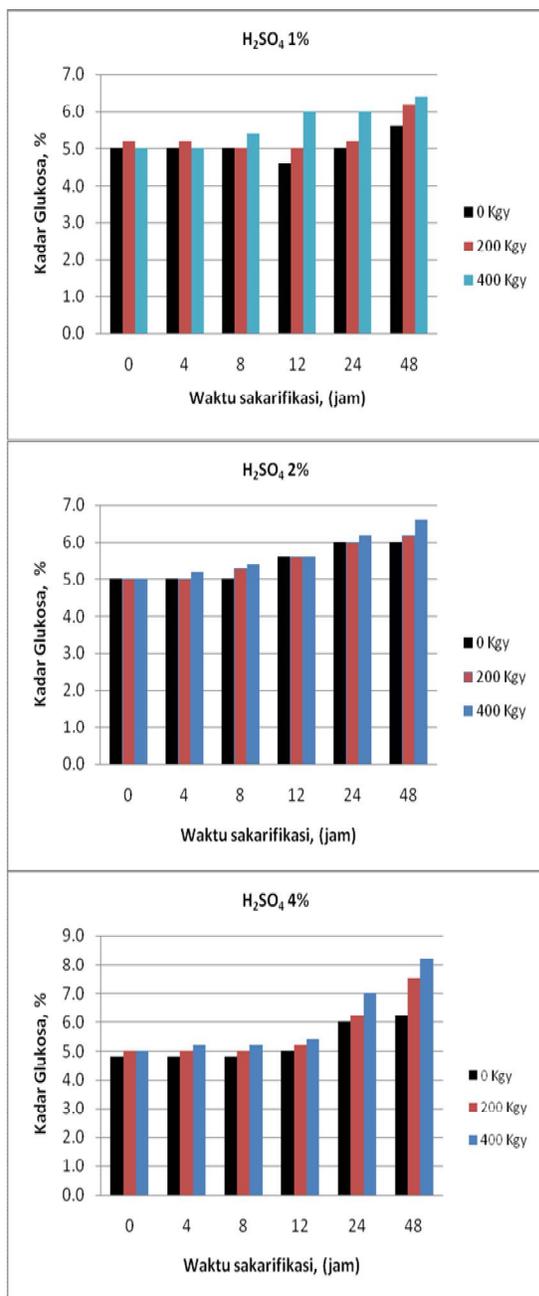
Pada perlakuan perendaman NaOH 4%, menunjukkan bahwa kenaikan dosis iradiasi dan waktu inkubasi (sakarifikasi) meningkatkan konsentrasi glukosa yang dihasilkan. Pada perlakuan tersebut konsentrasi glukosa adalah sekitar 14%. Tetapi, pada konsentrasi NaOH 8% dan 16%, dosis 400 kGy, kadar glukosa yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi sekitar 6,7%. Hal ini disebabkan pada dosis iradiasi 400 kGy dan konsentrasi NaOH 8% dan 16% nilai kelarutan sangat tinggi yaitu sekitar 86% sampai 88%. Kelarutan yang tinggi diduga sebagian selulosa larut sehingga pembentukan glukosa saat sakarifikasi kurang efektif.

Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum adalah pada dosis iradiasi 200 kGy, konsentrasi NaOH 4% dengan waktu pemasakan selama 30 menit pada suhu 121 °C dan waktu sakarifikasi 48 jam.

Glukosa hasil sakarifikasi secara enzimatik pada sampel iradisai berkas elektron dengan perlakuan perendaman menggunakan asam sulfat 1, 2, dan 4% disajikan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kenaikan dosis iradiasi, konsentrasi H₂SO₄, dan waktu sakarifikasi tidak begitu besar pengaruhnya. Secara umum terlihat bahwa glukosa yang dihasilkan masih rendah, baik dengan perendaman H₂SO₄ 1% maupun 2%. Hasil hidrolisis diperoleh glukosa 5% sampai 6% (0 kGy), 5% sampai 6% (200 kGy), dan 5% sampai 6,4% (400 kGy). Pada konsentrasi H₂SO₄ 4% sedikit meningkat dari 5% menjadi 7,6% (0 kGy), 5% sampai 8,2% (200 kGy), dan 5% sampai 8,5% (400 kGy). Hasil percobaan menunjukkan bahwa kombinasi iradiasi berkas elektron dan NaOH menghasilkan glukosa lebih tinggi bila dibandingkan dengan perlakuan perendaman dengan asam.



Gambar 1. Pengaruh dosis iradiasi terhadap kadar glukosa pada TKS dengan perendaman NaOH 30 menit, suhu 121°C.



Gambar 2. Pengaruh dosis iradiasi dan waktu sakarifikasi terhadap kadar glukosa.

KESIMPULAN

Iradiasi berkas elektron pada umumnya meningkatkan kelarutan TKS dalam larutan NaOH dan H₂SO₄. Kombinasi iradiasi dosis 200 kGy dan NaOH 4% pada sakarifikasi menggunakan enzim selulosa dan selubiose dengan waktu inkubasi selama 48 jam menghasilkan glukosa sebesar 14%, sedang dengan larutan H₂SO₄ 4% menghasilkan glukosa maksimum sebesar 8,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas peran serta Sdr Santoso Prayitno, SST dan Mamat Yasin dalam penyiapan sampel TKS serta Sdr Jumsah, Marapendi Hasibuan SST., dan Bilter Sinaga atas layanan iradiasi berkas elektron.

DAFTAR PUSTAKA

- Brenner, W., Ruug, B., and Aron, J., (1979). Radiation pretreatment for optimization the sugar yield in the acid hydrolysis of waste sellulose, *Radiat. Phys. Chem.*, 14:299-308
- Brunce, Palfryman, (1998). *Forest Products Biotechnology*, Taylor and Francis Ltd., London.
- Darnoko, (1992). Potensi limbah lignosellulosa kelapa sawit. *Berita Penelitian Perkebunan Medan*, 2:85-95
- Dawson, L. and Boopthy, R., (2008) Cellulosic ethanol production sugarcane bagasse without enzymatic saccharification, *Biore-sources*, 3 (2): 452 - 460.
- Della Rosa, A.M, Dela Mines, A. S., Banzon, R.B., and Simbul Nuguid, Z.F , (1983). Radiation pretreatment of cellulose for energy production, *Radiat. Phys.Chem.* 22 (3-5):901-906.
- Foldvary, C. M. , Tacacs, E., Ojonarovits, L., (2003). Effect of high Energy radiation and alkali treatment on the properties of cellulose, *Rad. Phys. Chem.*, 67 : 505- 508.
- Hendriks and Zeeman, G.E., (2009) Pretreatments to enhance the digestibility of lignosellulosic biomass, *Bioresource Tech.* 100 (1):10-18.
- Irawati,D., (2006). Pemanfaatan serbuk kayu untuk produksi etanol, Thesis FMIPA, nstitut Teknologi Bogor.
- Mosier, N., Wymand, B., Dale, R., LANDER, Y.Y. M, Holt Zapple and Ladislh, (2005). Features of promoting treatment of lignocellulosic biomass, *Bioresources Tech.*, 96 (6) : 673-686.
- Peni, S.P., Tandan kosong sawit untuk kertas kraf, *Trubus*, 311, 1995, hal. 52-54.
- SHIN, S.J., and SUNG,S.J., Improving, (2008). Enzymatic hydrolysis of industrial hemp, (*Cannabis sativa* L.) by electron beam irradiation *Radiat. Phys. Chem.* 77 (9): 1034-1038
- Subiyanto, B., Subiyakto, B., Sudiyono, Gopar, M., and MUNAWAR, S.S. (2004). Pemanfaatan limbah kosong tandan sawit Dari Industri pengolahan kelapa sawit untuk papan partikel dengan perekat penol formaldehida,

- Journal Ilmu dan Teknologi kayu tropis 2, (2): 99-102.
- Sudiyani, Y., Alawiyah, S., and Sembiring, K.C., (2008) Alkali pretreatment and Enzymatic saccharification of oil palm empty fruit bunch, Proc. Int. Sem. Chem., 3:643-647.
- Sugiarto Danu, Harsojo, Darsono, Made Sumarti, K., Marsongko dan Oktaviani (2012). Electron beam degradation of oil Palm empty fruit bunch, International Journal of Environment and Bioenergy, 3 (3) :168-179
- Yang, B., and Wyman, (2008) Pretreatments : The key to unlocking low-cost cellulosic ethanol, Biofuel, Bioprod. 2:26-40