

ANALYSIS OF FOURIER TRANSFORMS INFRA RED SPECTROSCOPY (FTIR) AND THE CHANGES IN THE COLOUR OF *Imperata cylindrica* LIGNOCELLULOSE AFTER PRETREATMENT USING DILUTED ACID

Asma Fauziah, Rodiansono, Sunardi*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km. 35,8 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia 70714

* E-mail corresponding author: sunardi@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 17-02-2019 Received in revised form: 22-02-2019 Accepted: 21-03-2019 Published: 14-04-2019</p> <p><i>Keywords:</i> <i>Imperata cylindrica</i> <i>Hydrothermal</i> <i>Dilute acid</i> <i>FTIR</i></p>	<p><i>Imperata cylindrica (L) Beauv (in Indonesia commonly known as alang-alang), it's consists of up to 59% holocellulose, which can be used for bioethanol feedstocks. This work aim is to evaluate a diluted acid pretreatment effect to chemical structure changes of I. cylindrica lignocellulose. This process was conducted using 1, 2, 3, and 4% sulfuric acid at temperature 210 °C in an autoclave for 45 min. Analysis of the color changes was carried out by measuring CIELAB parameters. Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR) was used to study chemical structure changes in I. cylindrica lignocellulose during dilute acid pretreatment The result from FTIR spectra indicated that dilute acid deconstructed the chemical structures of I. cylindrica by removing hemicellulose during the pretreatment process. Color changes (ΔE) correlate well with modification chemical structure lignocellulose.</i></p>

ANALISIS SPEKTROKOPI INFRAMERAH TRANSFORMASI FOURIER (FTIR) DAN PERUBAHAN WARNA LIGNOSELULOSA ALANG-ALANG (*Imperata cylindrica*) SETELAH PRETREATMENT MENGGUNAKAN ASAM ENCIER

Abstrak. Alang-alang (*Imperata cylindrica*) mengandung sekitar 59% holoselulosa dan dapat digunakan sebagai bahan baku bioetanol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pretreatment menggunakan asam encer terhadap karakteristik struktur kimia pada lignoselulosa alang-alang. Pretreatment dilakukan menggunakan asam encer dengan konsentrasi H₂SO₄ 1%, 2%, 3% dan 4% pada suhu 210°C dalam autoclave selama 45 menit. Analisis perubahan struktur secara kimia setelah pretreatment dengan asam encer dilakukan menggunakan Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR). Analisis perubahan warna dilakukan dengan metode CIELAB. Hasil yang diperoleh dari spektra FTIR mengindikasikan bahwa asam encer mendekonstruksi struktur kimia dari alang-alang dengan melarutkan hemiselulosa selama proses pretreatment. Perubahan warna (ΔE) berkorelasi dengan modifikasi struktur kimia pada lignoselulosa alang-alang.

Kata kunci: *Imperata cylindrica*, hidrotermal, asam encer, FTIR

PENDAHULUAN

Alang-alang (*Imperata cylindrica*) merupakan gulma yang keberadaannya di Kalimantan Selatan mencapai 830.648 Ha. (Pemprov Kalsel, 2010). Luas lahan alang-alang non produktif dari tahun ke tahun terus bertambah dan sulit dikendalikan, luas lahan alang-alang meningkat sekitar 150 hingga 200

ribu hektar setiap tahunnya (Pujiwati, 2011). Alang-alang sebagai sumber lignoselulosa mengandung beberapa komponen utama antara lain α -selulosa 40,22%, hemiselulosa 18,40%, dan lignin 31,29% (Sutiya *et al.*, 2012). Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang lebih dari 50% menunjukkan potensi alang-alang sebagai bahan dasar pembuatan bioetanol.

Proses konversi bahan lignoselulosa menjadi bioetanol memerlukan beberapa tahapan yaitu *pretreatment*, hidrolisis, dan fermentasi. Tahap *pretreatment* merupakan salah satu kendala utama dalam produksi bioetanol generasi kedua karena membutuhkan biaya yang mahal (Moiser *et al.*, 2005) dan mencapai 40% dari biaya produksi (Lynd *et al.*, 2011). Proses *pretreatment* pada bahan lignoselulosa perlu dilakukan untuk mempermudah proses hidrolisis. Proses *pretreatment* akan mengubah struktur lignoselulosa, struktur akan terbuka dan selulosa akan lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polisakarida menjadi bentuk monomer (Waldron, 2010). Kondisi tersebut dapat mengurangi penggunaan enzim yang harganya mahal (Hamelinck *et al.*, 2005).

Proses *pretreatment* dapat dilakukan melalui perlakuan secara mekanik (Harun *et al.*, 2010), kimia (Redding *et al.*, 2011), fisiko-kimia (Petersen *et al.*, 2009) serta *pretreatment* secara biologi (Zeng *et al.*, 2011). Proses *pretreatment* secara mekanik dilakukan dengan melakukan penggerusan sehingga ukuran partikel substrat menjadi lebih kecil, kekurangan metode ini adalah memerlukan energi yang besar serta pemecahan xilan dan lignin kurang optimal (Mais *et al.*, 2002; Chung *et al.*, 2012). *Pretreatment* secara biologi memerlukan reaksi yang cukup lama dan pengontrolan akan kontaminasi mikroba (Wyman *et al.*, 2005; Talebnia *et al.*, 2010; Agbor *et al.*, 2011). *Pretreatment* dengan asam encer umumnya lebih disukai dibandingkan metode lainnya dalam produksi bioetanol (Sun & Cheng, 2002). Bobleter (1984) melaporkan *pretreatment* menggunakan asam dapat menyebabkan pelepasan sekitar 60-80% hemiselulosa. Selain itu metode ini tidak hanya melarutkan hemiselulosa, akan tetapi juga mengkonversi hemiselulosa menjadi gula sehingga mengurangi penggunaan enzim hemiselulase (Lu dan Mosier, 2008).

Pada penelitian ini dilakukan *pretreatment* alang-alang menggunakan asam encer 1, 2, 3 dan 4%. Selanjutnya perubahan warna dan struktur kimia pada lignoselulosa dianalisis dengan FTIR dan metode CIELAB.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, batang pengaduk, *autoclave*, stirer, aluminium foil, neraca analitik dan oven. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah alang-alang (*Imperata cylindrica*) yang diperoleh dari daerah bati-bati, Kalimantan Selatan; larutan H₂SO₄ dan aquades.

Preparasi Sampel Alang-alang

Alang-alang pada penelitian ini diperoleh dari Barabai, Kalimantan Selatan. Alang-alang kering yang diperoleh dicuci, kemudian dipotong sampai berukuran ±1 cm, selanjutnya alang-alang dikeringkan. Alang-alang kering kemudian diblender dan diayak dengan pengayak ukuran 60 mesh. Serbuk alang-alang dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam dan kemudian disimpan pada suhu ruang sebelum digunakan.

Pretreatment secara Hidrotermal

Sebanyak 5 gram serbuk alang-alang dan 50 ml asam sulfat encer (1%, 2%, 3% dan 4%) dimasukkan kedalam reaktor hidrotermal. Setelah dilakukan *pretreatment* campuran disaring dengan kertas Whatman No. 4 untuk memisahkan filtrat dan residunya. Residu yang diperoleh dibilas beberapa kali dengan akuades hingga pH netral kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 4 jam. Residu selanjutnya disebut sebagai substrat.

Pengurangan Massa Substrat

Serbuk alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment* ditimbang untuk menentukan presentase pengurangan massa menggunakan neraca analitik.

$$\text{Pengurangan massa (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W₀ = Massa serbuk sebelum *pretreatment*

W₁ = Massa serbuk setelah *pretreatment*

Analisa FTIR

Analisa menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada substrat alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment*. Spektra inframerah direkam dengan ATR Platinum Diamond Bruker Universal. Serbuk alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment* diletakkan pada permukaan diamond FTIR untuk dianalisis dengan transmisi yang diukur pada bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹.

Perubahan Warna

Perubahan warna yang terjadi pada substrat alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment*. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan sampel pada plat putih kemudian diukur warna sampel menggunakan kolorimeter. Perubahan warna alang-alang secara kuantitatif diukur menggunakan metode CIELAB. Perubahan warna yang dihasilkan berasal dari perubahan koordinat kromatis *a** (merah-hijau), *b** (kuning-biru), dan *L** (gelap-terang).

Hasil yang diperoleh dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta E = [(L_{\text{standar}} - L_{\text{sampel}})^2 + (a_{\text{standar}} - a_{\text{sampel}})^2 + (b_{\text{standar}} - b_{\text{sampel}})^2]^{0.5}$$

dimana ΔE adalah perubahan warna total.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengurangan Massa Sampel Alang-alang.

Perubahan pada pengurangan massa setelah *pretreatment* dengan variasi konsentrasi asam encer dianalisis secara gravimetri ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1. Presentasi pengurangan massa lignoselulosa alang-alang meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam encer. Peningkatan pengurangan massa meningkat secara signifikan dari 0% menjadi 31,25% pada *pretreatment* asam sulfat 1%. Presentase pengurangan massa kemudian meningkat menjadi 31,95%, 35,80% dan 37,07% pada masing-masing konsentrasi 2%, 3% dan 4%.

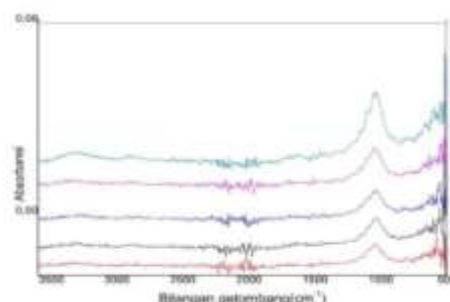
Tabel 1. Presentase pengurangan massa substrat setelah proses *pretreatment*

Konsentrasi H ₂ SO ₄	Pengurangan massa (%)
UT	-
1%	31,25%
2%	31,95%
3%	35,80%
4%	37,07%

Pretreatment menggunakan asam encer menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada lignoselulosa alang-alang, asam encer mengkatalisis proses modifikasi pada struktur lignoselulosa (Ruiz *et al.*, 2008). Bobleter (1984) melaporkan *pretreatment* menggunakan asam menyebabkan solubilisasi biomassa sehingga terjadi perpindahan massa.

Pengaruh *pretreatment* asam encer terhadap struktur lignoselulosa alang-alang

Perubahan struktur lignoselulosa berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin dianalisis menggunakan FTIR. Perbedaan absorbansi pada spektra sebelum dan sesudah *pretreatment* masing-masing variasi konsentrasi ditunjukkan Gambar 1. dan data perbedaan absorbansi dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 1. Spektra FTIR alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment* hidrotermal

Berdasarkan spektra FTIR terlihat pada bilangan gelombang 1033 cm⁻¹ terjadi peningkatan absorbansi setelah proses *pretreatment*. Nilai absorbansi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam encer. Hal ini terjadi karena adanya modifikasi ikatan C-O, C-C, C=C pada selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Pandey, 1998; Xu *et al.*, 2013). Selain adanya peningkatan nilai absorbansi, *pretreatment* dengan asam sulfat 1% menyebabkan adanya pembelahan puncak pada bilangan gelombang 1033 cm⁻¹ menjadi dua puncak kecil pada bilangan gelombang 1033 dan 1045 cm⁻¹. Hal ini menandakan adanya perubahan vibrasi molekul yang terjadi karena modifikasi ikatan pada lignoselulosa alang-alang (Hon & Chang, 1984; Fan *et al.*, 2015).

Pada bilangan gelombang 1158 cm⁻¹ terjadi peningkatan absorbansi seiring dengan semakin besarnya konsentrasi asam encer pada *pretreatment*. Hal ini menunjukkan adanya regangan asimetrik C-O-C pada selulosa dan hemiselulosa (Pandey *et al.*, 1998) karena adanya pelepasan hemiselulosa. Hal ini diperkuat oleh nilai absorbansi pada bilangan 1098 cm⁻¹ (ikatan glikosida) yang mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya konsentrasi asam encer pada proses *pretreatment* (Pandey, 1998).

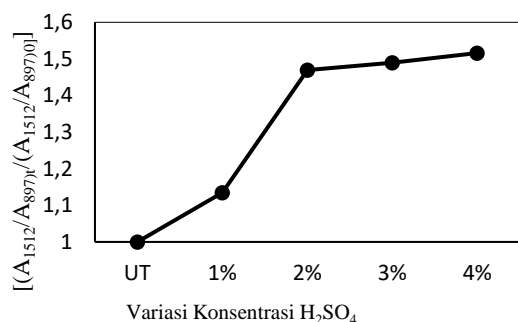
Pada bilangan gelombang 1427 cm⁻¹ terjadi peningkatan absorbansi seiring meningkatnya konsentrasi asam encer, hal ini diperkirakan terjadi karena adanya regangan C-O hemiselulosa dan lignin yang terjadi setelah proses *pretreatment*. Regangan pada ikatan tersebut terjadi karena pelepasan hemiselulosa (Fang *et al.*, 2015).

Pada bilangan gelombang 1512 cm⁻¹ terjadi peningkatan absorbansi yang disebabkan perubahan komposisi lignin karena adanya redeposisi lignin pada permukaan substrat (Li *et al.*, 2007). Hal ini diperkuat oleh peningkatan absorbansi pada bilangan gelombang 1631 dan 3352 cm⁻¹ sebagai akibat dari konjugasi keton termasuk kuinon (Rosu *et al.*, 2010) serta regangan OH pada lignin (Fang *et al.*, 2015).

Analisis Komposisi Lignin dan Indeks Kristalinitas secara Semikuantitatif Menggunakan FTIR

Secara semikuantitatif, komposisi lignin pada lignoselulosa dapat dianalisis dengan spektra FTIR (Rosu *et al.*, 2010). Perhitungan rasio lignin dilakukan dengan membandingkan regangan C=C aromatik lignin pada bilangan gelombang 1512 cm⁻¹ (A₁₅₁₂) dan absorbansi untuk regangan glukosa pada bilangan gelombang 897 cm⁻¹ (A₈₉₇). Rasio lignin [(A₁₅₁₂/A₈₉₇)/(A₁₅₁₂/A₈₉₇)] dihitung dengan “t” sebagai keadaan setelah *pretreatment*

dan “0” sebagai keadaan sebelum *pretreatment* (Rosu *et al.*, 2010).



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi asam encer terhadap komposisi lignin

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam, semakin tinggi komposisi lignin secara relatif dalam lignoselulosa. Hal ini menunjukkan bahwa *pretreatment* menggunakan asam encer menyebabkan penambahan komposisi lignin secara relatif yang disebabkan pelepasan hemiselulosa (Fang *et al.*, 2015).

Tabel 2. Lateral Order Index (LOI) alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment*

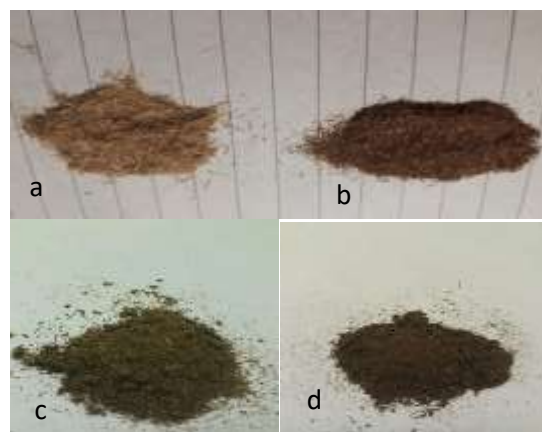
Konsentrasi H ₂ SO ₄	LOI A ₁₄₂₇ /A ₈₉₇
UT	0,61
1%	0,55
2%	0,51
3%	0,52
4%	0,65

Tabel 2 menunjukkan nilai *Lateral Order Index* (LOI) yang merupakan rasio antara komposisi selulosa kristalin dan selulosa amorf pada lignoselulosa. (Fan *et al.*, 2012). LOI sebagai pendekatan sifat kristalinitas selulosa diperoleh melalui perbandingan antara absorbansi pada bilangan gelombang 1427 cm⁻¹ yang menunjukkan ikatan simetris CH₂ dan 897 cm⁻¹ menunjukkan

regangan ikatan C-H dan CH₂ A₁₄₂₇/A₈₉₇ (O'Connor *et al.*, 158; Nelson & O'Connor, 1964). Hasil yang diperoleh menunjukkan nilai LOI meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam encer pada *pretreatment*. Hal ini menunjukkan peningkatan rasio selulosa amorf karena berkurangnya rasio selulosa kristalin.

Perubahan Warna Lignoselulosa Alang-alang setelah *Pretreatment*

Gambar 3 menunjukkan perubahan warna pada lignoselulosa alang-alang, sampel alang-alang sebelum *pretreatment* memiliki struktur dan warna yang berbeda jika dibandingkan dengan sampel alang-alang setelah *pretreatment*. Sampel alang-alang sebelum *pretreatment* berwarna coklat muda, sedangkan substrat alang-alang setelah hidrolisis menjadi coklat tua.



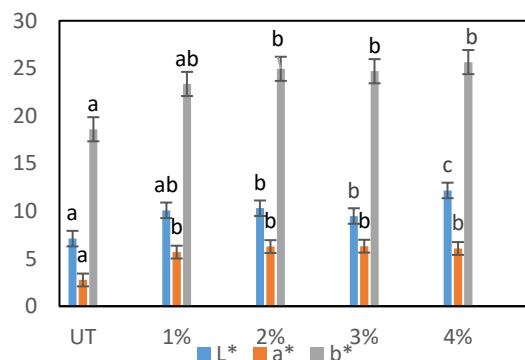
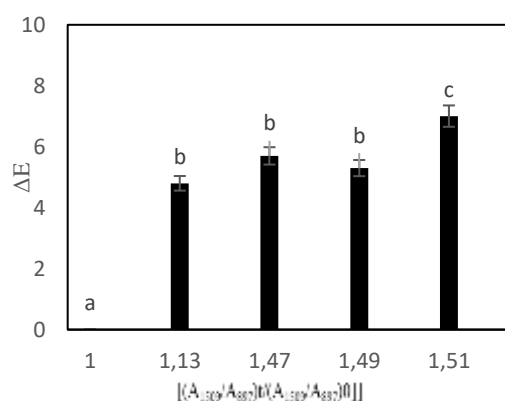
Gambar 3. Lignoselulosa alang-alang sebelum dan setelah *pretreatment* dengan asam sulfat (a) sebelum *pretreatment* (b) H₂SO₄ 1% (c) H₂SO₄ 2% (d) H₂SO₄ 3% (e) H₂SO₄ 4 %

Tabel 3. Data absorbansi FTIR alang-alang dan substrat pada masing-masing variasi konsentrasi

Bil.	Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Absorbansi				
			UT	H ₂ SO ₄ 1%	H ₂ SO ₄ 2%	H ₂ SO ₄ 3%	H ₂ SO ₄ 4%
897		Regangan glukosa, C-H deformasi selulosa, regangan <i>out of plane</i> C-H senyawa aromatik	0,00283	0,00441	0,00427	0,00468	0,008
1033		Regangan C-O, C=C, C-C pada selulosa, hemiselulosa, dan lignin	0,00726	0,0102	0,0102	0,0123	0,0241
1098		Ikatan glikosida (selulosa kristalin)	0,0050	0,0071	0,007	0,08	0,018
1158		Regangan asimetrik C-O-C pada selulosa dan hemiselulosa	0,0038	0,0048	0,00531	0,0068	0,0120
1427		Regangan C-O pada hemiselulosa dan lignin	0,00175	0,00223	0,00205	0,00244	0,00523
1512		Regangan C=C aromatik pada lignin	0,00112	0,00198	0,00257	0,00227	0,00469
1631		Konjugasi keton termasuk kuinon	0,00107	0,00198	0,00156	0,00229	0,00439
2919		Regangan C-H lignin	0,0013	0,0018	0,0019	0,00254	0,00254
3352		Regangan O-H pada lignin	0,00179	0,00156	0,00197	0,00256	0,00586

Gambar 4. menunjukkan hubungan variasi konsentrasi asam encer terhadap nilai L^* , a^* dan b^* . Hasil yang diperoleh menunjukkan konsentrasi asam yang semakin besar pada proses *pretreatment* menyebabkan terjadi peningkatan nilai L^* , a^* dan b^* .

Nilai L^* yang semakin besar menunjukkan semakin gelapnya warna lignoselulosa alang-alang. Hal ini terjadi karena degradasi dari senyawa polisakarida dalam sampel (Hon & Chang, 1984). Nilai a^* menunjukkan adanya akumulasi kromofor merah dan b^* menunjukkan adanya akumulasi kromofor kuning. Meningkatnya nilai a^* dan b^* diduga karena terbentuknya struktur kuinon dan kuinoida akibat adanya depolimerisasi dan oksidasi lignin (Fan *et al.*, 2010).

**Gambar 4.** Hubungan variasi konsentrasi asam encer terhadap nilai L^* , a^* dan b^* **Gambar 5.** Hubungan rasio lignin dan nilai ΔE

Gambar 5 menunjukkan hubungan perubahan warna total lignoselulosa alang-alang dan komposisi lignin pada lignoselulosa alang-alang. Secara kuantitatif perubahan warna pada alang-alang berkisar antara 0-10,9. Nilai rasio lignin secara relatif berbanding lurus dengan perubahan warna total pada lignoselulosa alang-alang. Hal ini terjadi karena adanya penambahan komposisi lignin dipermukaan sampel sehingga konstituen lignin lebih mudah untuk menyerap cahaya dibanding konstituen lainnya.

KESIMPULAN

Pretreatment alang-alang (*Imperata cylindrica*) telah dilakukan menggunakan asam sulfat 1,2,3 dan 4%. Hasil karakterisasi perubahan

struktur kimia menggunakan FTIR dan perubahan warna dengan metode CIELAB menunjukkan kolerasi. Redeposisi lignin menyebabkan lignin menyebar pada permukaan sampel. Sehingga warna sampel menjadi semakin gelap.

DAFTAR PUSTAKA

- AGBOR, V.B., N. CICEK, R. SPARLING, A. BERLIN, & D.B. LEVIN. 2011. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances*. 29: 675-685.
- BOBLETER, O. 1994. Hydrothermal Degradation of Polymers Derived from Plants. *Progress in Polymer Science*. 19: 797-841.
- CHANDEL, F. A. F. ANTUNES & V. ANJOS. 2014. Multiscale structural and chemical analysis of sugarcane bagasse in the process of sequential acid-base pretreatment and ethanol production by *Saccharomyces c.* *Biotechnology for Biofuels*. 7: 1-17.
- CHUNG BY, LEE JT, BAI HW, KIM UJ, BAE HJ, WI SG & CHO JY. 2012. Enhanced enzymatic hydrolysis of poplar bark by combined use of gamma ray and dilute acid for bioethanol production. *Radiation Physics and Chemistry*. 81: 1003-1007.
- FAN, S. P. ZHANG. F. LI. S. JIN. S. WANG & S. ZHOU. 2016. A Review of Lignocellulose Change During Hydrothermal Pretreatment for Bioenergy Production. *Current Organic Chemistry*. 20: 1-11.
- FANG C, J. EJBYE, SCHMIDT, I. CYBULSKA, P. GRZEGORZ, BRUDECKI, C.G. FRANGKAER & M.H. THOMSEN. 2015. Hydrothermal pretreatment of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaflets and rachis to enhance enzymatic digestibility and bioethanol potential. *BioMed Research International*. 215: 1-13.
- HAMELINCK, C.N., G.V. HOOIJDONK, & A.P.C. FAIJJ. 2005. Ethanol from lignocellulosic Biomass: Techno-economic Performance in Short-, Middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy*. 28: 384-410.
- SEMINAR TJIPTOUTOMO 2010 Institut Teknologi Nasional, Malang.
- HARUN, A.B.D. RADIAH, Z.Z. ABIDIN & R. YUNUS R. 2011. Effect of physical pretreatment on dilute acid hydrolysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresource Technology*. 102:5193-5199.
- HON & CHANG. 1984. Surface Degradation of Wood by Ultraviolet Light. *Journal of Polymer Science*. 22: 2227-2241.
- LI, M.F. CHEN, C.Z. & SUN, R.C. 2014. Effect of pretreatment severity on the enzymatic hydrolysis of bamboo in hydrothermal deconstruction. *Cellulose*. 21: 4105-4117.
- LIN Z, H. HUANG, H. ZHANG, L. ZHANG, L. YAN & J. CHEN. 2010. Ball milling pretreatment of corn stover for enhancing the efficiency of enzymatic hydrolysis. *Applied Biochemistry Biotechnology*. 162: 1872-1880
- LYND, L. R. 1996. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy. *Annual Review of Energy and the Environment*. 21: 403-465.
- MAIS U, ESTEGHLALIAN AR, SADDLER JN & MANSFIELD SD. 2002. Enhancing the enzymatic hydrolysis of cellulosic materials using simultaneous ball milling. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 98: 815-832
- MOSIER N, WYMAN C, DALE B, ELANDER R, LEE YY & HOLTZAPPLE M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic. *Bioresource Technology*. 96: 673-686.
- NELSON, M.L., & R.T. O'CONNOR. 1964. Relation of certain infrared bands to cellulose crystallinity and crystal lattice type. Part II. A new infrared ratio for estimation of crystallinity in cellulose I and II. *Journal of Applied Polymer Science*. 8:1325-1341.
- O'CONNOR, R.T., E.F. DUPRE, & D. MITCHAM. 1985. Application of infrared absorption spectroscopy to investigations of cotton and modified cottons: Part I: Physical and crystalline modifications and oxidation. *Textile Research Journal*. 28: 382-392.
- PANDEY, K.K. 2005. Study of effect photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability*. 90: 9-20.
- PEMROV KALSEL, 2010. *Rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) provinsi Kalimantan Selatan tahun 2011-2015*. Banjarmasin
- REDDING, Z. WANG, D. R. KESHWANI & J. J. CHENG. 2011. High temperature dilute acid pretreatment of coastal Bermuda grass for enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*. 102: 1415-1424.
- ROSU, D., C.A. TEACA, R. BODIRLAU & ROSU. 2010. FTIR and color change of the modified wood as result of artificial light

- irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 99: 144-149.
- RUIZ, A.H., R.M. RODRÍGUEZ-JASSO, B.D. FERNANDE, A.A. VICENTE & J.A. TEIXEIRA. 2013. Hydrothermal Processing, as an Alternative for Upgrading Agriculture Residues and Marine Biomass according to the Biorefinery Concept: a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 21: 35-61.
- SUN & CHENG J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*. 83 :1–11
- SUTIYA, B., W.T ISTIKOWATI., A RAHMADI., & SUNARDI. 2012. Kandungan kimia dan sifat serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai gambaran bahan baku pulp dan kertas. *Jurnal Bioscientiae*. 9: 8-19.
- TALEBNIA, F., D. KARAKASHEV, & I. ANGELIDAKI. 2010. Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*. 101: 4744–4753.
- WALDRON K. 2010. *Biochemical conversion of lignocellulosic biomass*. Woodhead Publishing Series in Energy, Newdelhi, India.
- WAYMAN, M. 1980. *Alcohol from cellulose: The autohydrolysis-extraction process*. Proceedings of the IV International Symposium on Alcohols Fuel Technology, Brazil.
- WENZL, H K.J. 1990. *The chemical technology of wood*. Academic Press Inc, New York.
- ZENG J, D SINGH & S CHEN. 2010. Biological pretreatment of wheat straw by *Phanerochaete chrysosporium* supplemented with inorganic salts. *Bioresource Technology*. 102: 3206-3214.