

Delignifikasi Batang Jagung dengan Proses *Organosolv* Menggunakan Pelarut Asam Formiat

Shelviana Hanika Puspitasari, Zulfansyah*, Hari Ronaldo
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293
*Email: zulfansyah@unri.ac.id

Abstrak

Batang jagung merupakan limbah padat pertanian yang belum dimanfaatkan dengan optimal. Selama ini batang jagung hanya digunakan untuk pakan ternak dan pupuk hijau. Percobaan delignifikasi batang jagung dimaksudkan untuk mengkaji kemungkinan pemanfaatan batang jagung sebagai bahan baku alternatif bagi industri pulp, serta untuk mengetahui kehandalan asam formiat sebagai media fraksionasi dan delignifikasi batang jagung dalam proses *organosolv*. Percobaan delignifikasi batang jagung dilakukan secara *batch* pada skala laboratorium. Variabel percobaan yang dipelajari, yaitu konsentrasi asam formiat 70; 80; 90%-berat, waktu reaksi 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 menit dan nisbah cairan-padatan 10/1, dengan konsentrasi katalis asam klorida 0,2%. Hasil percobaan menunjukkan bahwa batang jagung dapat dijadikan pulp dengan proses *organosolv* dan menghasilkan *yield* pulp 31,88-47,01% dan kadar lignin pulp 10-14,31%, yang bervariasi menurut kondisi proses dengan tingkat kesesuaian data percobaan dengan model melebihi 95% ($R\text{-square} > 95\%$). Seluruh variabel proses berpengaruh terhadap *yield* dan kadar lignin, dan kualitas pulp yang dihasilkan memenuhi standar industri pulp.

Kata kunci: delignifikasi, *organosolv*, asam formiat, lignoselulosa, batang jagung

Abstract

Corn stalk is agricultural solid waste which has not been utilized to the optimum. So far only used for fodder and green manure. Corn stalk delignification experiments intended to study the possibility of utilization of corn stalks as an alternative raw material for the pulp industry, as well as to determine the reliability of formic acid as a medium delignification fractionation and corn stalks in the organosolv process. Corn stalk delignification experiment is carried out at a laboratory scale batch. Experimental variables studied, the concentration of formic acid 70; 80; 90% by weight, the reaction time of 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 minutes and the ratio of liquid-solid 10/1, with a catalyst concentration of 0.2% hydrochloric acid. The experimental results showed that the corn stalks can be used as a pulp with organosolv process and produce pulp yield from 31.88 to 47.01% and from 10 to 14.31% pulp lignin content, which varies according to the condition of the experimental data with the level of compliance with the model exceeds 95% ($R\text{-square} > 95\%$). The whole process variables influential in yield and lignin content, and the quality of the resulting pulp pulp industry standards.

Keywords: delignification, *organosolv*, formic acid, lignocelulose, corn stalk

PENDAHULUAN

Kertas (*paper*) telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia. Setiap tahunnya tingkat pengguna kertas di Indonesia mengalami kenaikan yaitu sekitar 0,5% pertahun. Pada tahun 2012 tingkat pengguna kertas di Indonesia mencapai 4,2% dengan tingkat konsumsi kertas per kapita 32 kg atau sekitar 7,8 juta ton [Saputra, 2012]. Sedangkan kapasitas produksi kertas di Indonesia hingga akhir tahun 2012 tercatat sebesar 13 juta ton, dimana 50% hasil produksinya untuk melayani pasar ekspor, sisanya 6,5 juta ton untuk kebutuhan dalam negeri [Ekarina, 2012]. Sehingga Indonesia mengalami kekurangan pasokan kertas sebesar 1,3 juta ton. Kebutuhan yang besar ini menjadi pemicu maraknya kasus pembalakan liar di Indonesia karena semakin berkurangnya pasokan kayu alam sebagai bahan baku utama industri pulp.

Penggunaan bahan baku alternatif dalam industri pulp diyakini dapat menjamin keberlangsungan industri pulp nasional dan mengantisipasi kerusakan hutan alam. Biomassa yang dapat dijadikan bahan baku alternatif untuk pembuatan pulp adalah bahan bukan kayu (*non-wood*). Sumber bahan *non-wood* ini berasal dari limbah pertanian dan perkebunan, maupun rumput-rumputan [Rionaldo *et al.*, 2008].

Batang jagung merupakan salah satu sumber biomassa dengan kadar selulosa yang cukup tinggi yaitu sekitar 42,43%, kadar lignin yang relatif rendah sekitar 21,73% dan hemiselulosa 25,06% [Susanto, 1998], sehingga batang jagung cocok untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia seperti pabrik pulp, kertas dan rayon. Potensi batang jagung di Indonesia cukup bagus untuk dikembangkan, karena ketersediaannya yang cukup banyak. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi jagung tahun 2010 sebesar 18,36 juta ton pipilan kering, dengan kenaikan luas panen seluas

67,83 ribu hektar (1,63%) [BPS, 2010]. Diperkirakan untuk menghasilkan setiap 1 ton jagung pipilan kering juga dihasilkan 1,5 ton limbah batang jagung [Bamualim dan Wirdahayanti, 2006], sehingga potensi batang jagung nasional yang tersedia pada tahun 2010 mencapai 27,49 juta ton.

Proses delignifikasi batang jagung dengan proses *organosolv* merupakan salah satu metoda alternatif dalam pembuatan pulp yang lebih ramah lingkungan. Proses *organosolv* memberikan beberapa keuntungan antara lain *yield* (perolehan) pulp yang dihasilkan tinggi, tidak menggunakan unsur sulfur sehingga aman terhadap lingkungan, dapat menghasilkan *by-product* (hasil samping) berupa lignin dan hemiselulosa dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Secara ekonomis metode ini dapat mengurangi biaya produksi, dan dapat dioperasikan pada kapasitas yang relatif kecil.

Pelarut organik yang sering digunakan dalam pembuatan pulp *organosolv* adalah pelarut asam organik, seperti asam formiat. Keunggulan pelarut asam formiat sebagai larutan pemasak yaitu dapat digunakan pada suhu dan tekanan rendah atau tinggi, pada penambahan katalis ataupun tanpa katalis, harga yang relatif lebih murah dan energi aktifasi yang relatif rendah pada berbagai biomassa. Jahan *et al.*, [2005], Zhang *et al.*, [2008] dan Villaverde *et al.*, [2009] melaporkan bahwa asam formiat sebagai cairan pemasak dalam pembuatan pulp mampu menyisahkan lignin secara selektif untuk berbagai biomassa dan menghasilkan *yield* pulp yang cukup berimbang dengan standar perolehan pulp komersil (35-45%) [Bierman, 1996]. Karena itu, pemanfaatan batang jagung sebagai bahan baku pulp dengan pelarut asam formiat menarik untuk dipelajari, mengingat penggunaan proses ini tidak hanya dapat menanggulangi permasalahan

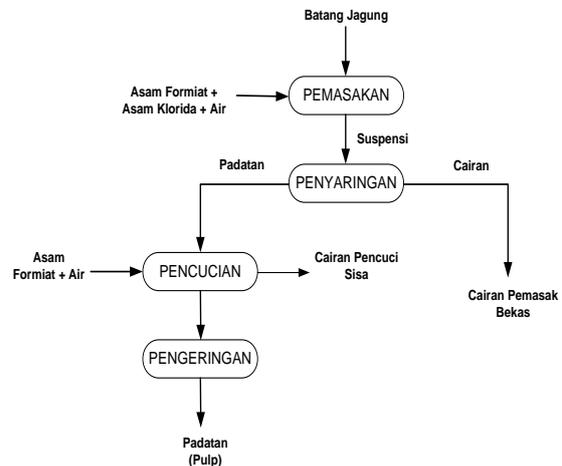
lingkungan yang dihadapi industri *pulp* dan kertas saat ini, tetapi juga mampu menghasilkan produk dengan proses yang relatif lebih murah.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses delignifikasi batang jagung dengan proses *organosolv* dalam media asam formiat, karena informasi tentang delignifikasi diperlukan untuk perancangan kinetika reaksi yang terjadi. Untuk mendapatkan kinetika reaksi yang terjadi dibutuhkan informasi tentang mekanisme perilaku delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat. Pengaruh kondisi operasi terhadap kualitas pulp, baik *yield* maupun kadar lignin pulp dilihat dengan variasi variabel percobaan. Upaya ini dilakukan untuk mengembangkan proses pembuatan pulp dari limbah padat pertanian khususnya limbah batang jagung dengan proses *organosolv* berbasis asam formiat. Sehingga diharapkan cara penanggulangan limbah padat pertanian yang lebih ramah lingkungan dan efisien dapat tercapai. Selain itu juga untuk mengetahui kehandalan asam formiat sebagai media fraksionasi dan delignifikasi batang jagung dalam proses *organosolv*.

METODE PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah batang jagung (*corn stalk*) yang diperoleh dari kebun warga Jalan Kartama, Marpoyan. Bahan kimia yang digunakan adalah asam formiat sebagai pelarut, asam klorida sebagai katalis dan aquades. Sebelum digunakan, batang jagung dibersihkan terlebih dahulu dan dirajang dengan panjang ± 2 cm, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar airnya. Percobaan pembuatan pulp dilakukan dalam reaktor *bacth* bervolume 1000 ml, yang dilengkapi dengan pendingin balik dan pemasok energi, rangkaian alat percobaan seperti yang digunakan Azman *et al.*, [2002]. Tahap-tahap percobaan

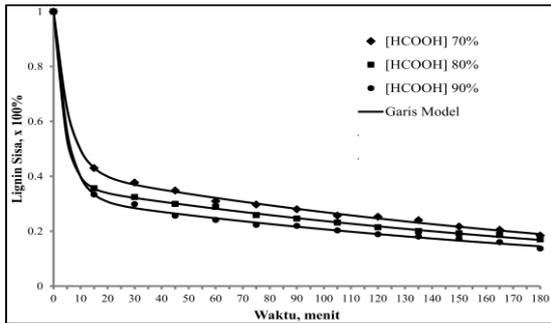
meliputi, pemasakan, penyaringan, pencucian padatan dan pengeringan dapat dilihat pada Gambar 1. Analisa kadar air dan *yield* pulp dilakukan secara gravimetri, sedangkan kadar lignin pulp dilakukan dengan metode SII 0528-81.



Gambar 1. Skema percobaan delignifikasi batang jagung dengan pelarut asam formiat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat menghasilkan perilaku delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat yang disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara persentase lignin sisa batang jagung terhadap waktu reaksi pada berbagai variasi konsentrasi asam formiat (Gambar 2). Perhitungan persentase lignin sisa dilakukan dengan cara *yield* pulp dan kadar lignin pulp dikoreksi terhadap lignin awal batang jagung sebelum delignifikasi. Persentase lignin sisa dalam batang jagung menunjukkan jumlah lignin yang masih tersisa dalam batang jagung sekaligus menggambarkan jumlah lignin yang berhasil disisihkan dari lignin awal batang jagung.



Gambar 2. Perilaku Delignifikasi Batang Jagung Dalam Media Asam Formiat

Pada Gambar 2. menunjukkan bahwa persentase lignin sisa terhadap waktu reaksi cenderung terus melandai, artinya tidak terjadi rekondensasi lignin terlarut selama delignifikasi berlangsung. Penyisihan lignin berlangsung sangat cepat pada tahap awal reaksi yaitu 15 menit pertama dan cenderung melambat pada tahap berikutnya hingga batas asimptot (*asymptotic limit*) pada waktu 180 menit. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat terjadi dalam dua tahap dengan laju yang berbeda, yaitu adanya fraksi lignin bereaksi cepat dan fraksi lignin bereaksi lambat. Delignifikasi berlangsung sangat cepat pada tahap awal reaksi (0-15 menit) sebagai *bulk* delignifikasi dan berlangsung lambat pada tahap berikutnya sebagai *residual* delignifikasi. Perilaku ini merupakan *trend* umum dalam delignifikasi biomassa, baik proses konvensional maupun proses *organosolv* [Parajo *et al.*, 1993, Fadhlah *et al.*, 2002 dan Villaverde *et al.*, 2009].

Sebagai langkah untuk mendapatkan parameter delignifikasi yang menggambarkan perilaku delignifikasi batang jagung maka model delignifikasi disesuaikan dengan data percobaan. Model delignifikasi yang digunakan berdasarkan model teoritis yang diajukan Parajo *et al.*, [1993]. Analisa data hasil percobaan dengan model delignifikasi untuk memperoleh data parameter delignifikasi dilakukan dengan

perhitungan analisa regresi non-linier menggunakan *software Minitab 16 Trial Version*. Hasil regresi non-linier menggunakan model delignifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Regresi Non-Linier Menggunakan Model Delignifikasi

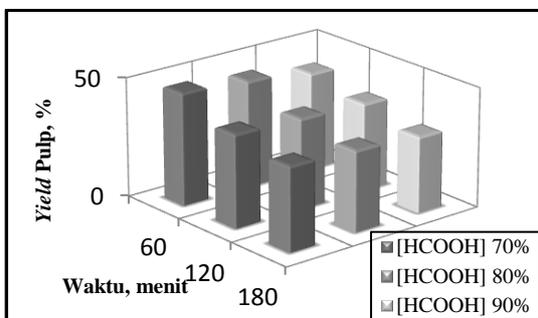
Parameter Delignifikasi	Konsentrasi Asam Formiat (%-berat)		
	70	80	90
α	0.581061	0.634420	0.676980
k_f	0.179916	0.255690	0.201797
k_s	0.004407	0.004310	0.004441
R^2	98,4	99,7	99,2

Hasil regresi non-linier pada Tabel 1. menunjukkan bahwa model Parajo *et al.*, [1993] memiliki tingkat kesesuaian data percobaan dengan model delignifikasi melebihi 95% ($R\text{-square} > 95\%$). Dari hasil parameter delignifikasi yang diperoleh menguatkan kembali dugaan asumsi mekanisme model delignifikasi Parajo *et al.*, [1993] yaitu lignin bereaksi terdiri dari fraksi lignin cepat bereaksi (L_f) dan fraksi lignin lambat bereaksi (L_s), sehingga diyakini sesuai untuk delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat. Dari Tabel 1. juga terlihat nilai k_f (koefisien fraksi lignin bereaksi cepat) lebih tinggi dari nilai k_s (koefisien fraksi lignin bereaksi lambat) yaitu, $0.179916 > 0.004407$ pada konsentrasi asam formiat 70%-berat. Artinya, kedua fraksi tersebut mengalami depolimerisasi dengan kelajuan berbeda menghasilkan lignin terlarut (L_d) yang mengikuti jalannya reaksi paralel orde satu.

Hasil penelitian delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat menghasilkan *yield* (perolehan pulp) yang bervariasi menurut kondisi percobaan. *Yield* pulp terendah yaitu 31,88% yang diperoleh pada waktu reaksi 180 menit dan konsentrasi asam formiat 90%-berat. Sedangkan *yield* pulp tertinggi didapat pada waktu reaksi 60 menit dan

konsentrasi asam formiat 70%-berat, yaitu 47,01%. Dalam media pelarut yang sama, *yield* pulp batang jagung lebih rendah dibandingkan dengan *yield* pulp hasil penelitian Zhang *et al.*, [2008] dan Villaverde *et al.*, [2009], dimana masing-masing *yield* pulp yang dihasilkan adalah 47,6% menggunakan tongkol jagung dan 62,02-71,25% menggunakan rumput M.x giganteus. Sedangkan pada biomassa sama dan pelarut berbeda, *yield* pulp yang didapat juga lebih rendah dibanding *yield* pulp sebesar 55-63,5% dari penelitian Ronaldo *et al.*, [2008]. Selain itu, *yield* pulp menurut standar industri pulp berkisar 40-55% [Parajo *et al.*, 1993], sehingga hasil yang diperoleh memenuhi standar untuk digunakan sebagai bahan baku kertas.

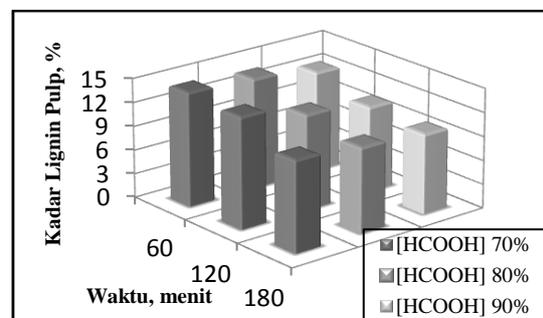
Yield pulp terhadap variasi konsentrasi asam formiat dan waktu reaksi ditampilkan pada Gambar 3. pada rentang variabel yang dipilih, yaitu waktu reaksi 60, 120 dan 180 menit untuk berbagai variasi konsentrasi asam formiat. Perolehan pulp (*yield*) cenderung menurun seiring meningkatnya waktu reaksi dan konsentrasi asam formiat. Kenaikan konsentrasi asam formiat dari 70% menjadi 90% menyebabkan turunnya *yield* pulp. Artinya peningkatan konsentrasi asam formiat akan meningkatkan derajat delignifikasi karena pemakaian konsentrasi asam formiat yang tinggi dapat mempercepat proses delignifikasi.



Gambar 3. *Yield* Pulp Terhadap Variasi Konsentrasi Asam Formiat dan Waktu Reaksi

Dari segi waktu reaksi, percobaan yang dilakukan dengan waktu reaksi 60 menit hingga 180 menit memberikan *yield* pulp yang cenderung menurun. Penurunan *yield* pulp relatif lebih besar pada waktu reaksi dari 60 ke 120 menit, yang mana penurunan mencapai 8% pada konsentrasi 70%-berat. Sesuai dengan laporan Parajo *et al.*, [1993] dan Villaverde *et al.*, [2009] bahwa untuk waktu reaksi lebih dari 180 menit *yield* pulp semakin berkurang. Naiknya waktu reaksi diiringi dengan konsentrasi pelarut yang lebih tinggi akan memperbesar terjadinya pemutusan ikatan lignin oleh pelarut karena pelarut bereaksi dengan lignin semakin lama sehingga semakin banyak ikatan lignin dapat diputus dan semakin banyak lignin tersisihkan sehingga *yield* pulp berkurang.

Kadar lignin pulp yang diperoleh terhadap variasi konsentrasi asam formiat dan waktu reaksi diperlihatkan pada Gambar 4. Pada rentang variabel waktu reaksi yang dipilih yaitu 60 menit hingga 180 menit dan konsentrasi asam formiat 70-90%-berat menghasilkan kadar lignin pulp rata-rata 12,76%. Kenaikan waktu reaksi pada berbagai variasi konsentrasi asam formiat cenderung menurunkan kadar lignin pulp. Kadar lignin pulp terendah sebesar 10% diperoleh pada waktu reaksi 180 menit dengan konsentrasi asam formiat 90%. Sedangkan kadar lignin pulp tertinggi yaitu 14,31% didapat pada waktu reaksi 60 menit dengan konsentrasi asam formiat 70%.



Gambar 4. Kadar Lignin Pulp Terhadap Variasi Konsentrasi Asam Formiat dan Waktu Reaksi

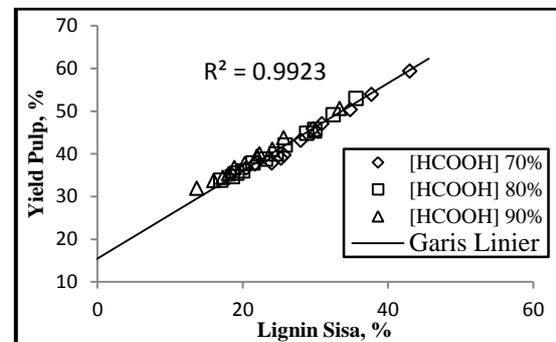
Kenaikan konsentrasi asam formiat dari 70% hingga 90% menyebabkan terjadinya peningkatan derajat delignifikasi sehingga kadar lignin dalam pulp menurun karena semakin banyak lignin yang berhasil disisihkan dan larut dalam pelarut. Berkurangnya kadar lignin pulp disebabkan terjadinya pemutusan ikatan α -aryl eter dalam makromolekul lignin oleh ion hidrogen (H^+) dari asam formiat (HCOOH) sebagai cairan pemasak sehingga lignin yang lepas dari makromolekul lignoselulosa larut dalam cairan pemasak.

Dari segi waktu reaksi, proses penyisihan lignin dalam jangka waktu relatif lama akan menghasilkan kadar lignin pulp yang rendah. Penurunan kadar lignin pulp relatif lebih besar ketika waktu reaksi naik dari 120 menit ke 180 menit pada konsentrasi asam formiat 70%-berat, dengan besar penurunannya mencapai 2,52%. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa lamanya waktu reaksi membuat asam formiat bereaksi lebih lambat dengan lignin karena semakin banyak pemutusan ikatan lignin sehingga memperbesar jumlah lignin tersisihkan. Sehingga penentuan waktu reaksi dalam delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat merupakan faktor penting terhadap keberhasilan proses delignifikasi.

Dalam media pelarut yang sama, kadar lignin pulp batang jagung lebih rendah dibandingkan dengan kadar lignin pulp hasil penelitian Zhang *et al.*, [2008] dan Villaverde *et al.*, [2009], dimana masing-masing kadar lignin pulp yang dihasilkan adalah 14,72% menggunakan tongkol jagung dan 26,1% menggunakan rumput *M.x giganteus*. Perbedaan kadar lignin dikarenakan berbedanya variabel operasi yang digunakan dan tahapan proses yang dilakukan. Jika dibandingkan dengan kadar lignin pulp untuk standar industri pulp yang berkisar antara 4,3-14,4% [Parajo *et al.*, 1993], maka kadar

lignin pulp yang diperoleh memenuhi standar untuk bahan baku kertas.

Keberhasilan proses delignifikasi selain ditunjukkan oleh derajat delignifikasi juga dilihat dari selektifitas fraksionasi yang dilakukan. Selektifitas merupakan perbandingan banyaknya selulosa terhadap lignin dalam pulp. Selektifitas tinggi menunjukkan maksimalnya lignin yang dapat disisihkan dan minimalnya terjadi kerusakan polisakarida [Parajo *et al.*, 1993]. Selektifitas delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat pada hasil penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5. dibawah ini.



Gambar 5. Selektifitas Delignifikasi Batang Jagung dalam Media Asam Formiat

Selektifitas delignifikasi pada Gambar 5. didapat dari perbandingan *yield* pulp dengan lignin sisa batang jagung pada berbagai variasi konsentrasi asam formiat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam formiat terhadap selektifitas berupa plot garis lurus (linier). Nilai perbandingan *yield* pulp dan lignin sisa untuk setiap konsentrasi asam formiat cenderung sama. Namun secara keseluruhan selektifitas pada konsentrasi asam formiat cukup tinggi. Terlihat bahwa pada delignifikasi 43%, *yield* pulp pada konsentrasi asam formiat 70%-berat mencapai 59,34% dibandingkan *yield* pulp pada konsentrasi asam formiat 80% dan 90%-berat. Jadi proses delignifikasi

batang jagung dalam media asam formiat yang berlangsung pada kondisi relatif mudah (tekanan atmosfer dan suhu titik didih normal cairan pemasak) mampu memberikan selektifitas baik dalam mempertahankan selulosa terdegradasi.

KESIMPULAN

Delignifikasi batang jagung dengan pelarut asam formiat dapat dilakukan dan menghasilkan pulp dengan *yield* 31,88-47,01% dan kadar lignin pulp 10-14,31%. Hasil regresi non-linier menunjukkan bahwa model Parajo *et al.*, [1993] memiliki *R-square* > 95% dan dan hasil parameter delignifikasi yang diperoleh menguatkan kembali dugaan asumsi mekanisme model delignifikasi Parajo *et al.*, [1993] yaitu lignin bereaksi terdiri dari fraksi lignin cepat bereaksi (L_f) dan fraksi lignin lambat bereaksi (L_s), sehingga diyakini model tersebut sesuai untuk delignifikasi batang jagung dalam media asam formiat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2010, Statistik Produksi Padi, Jagung dan Kedelai di Indonesia, <http://www.bps.go.id/>, Jakarta. [diakses 6 Maret 2012]
- Bamualim, A dan Wirdahayanti, 2006, *Potensi Masalah dan Pengembangan Ternak Sapi di Lahan Kering*. Prosiding Seminar Nasional Komunikasi Hasil-Hasil Pertanian Tanaman Pangan, Perkebunan dan Peternakan dalam Sistem Usaha Tani Lahan Kering, Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian (BBP2TP) Bogor, ISBN 978-979-3566-57-3.
- Bierman, C. J., 1996. *Handbook Of Pulping And Paper Making*, 2nd ed. Academic Press, USA.
- Ekarina, 2012, Produksi Kertas Diproyeksi Capai 13 juta Ton, <http://www.indonesiainancetoday.com/>, Jakarta. [diakses 11 Februari 2013]
- Fadhlah, S., A. Indra, Zulfansyah, M.P. Sembiring, 2002, *Delignifikasi Sisa Ketaman Kayu dalam Media Asetat*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia-Pengembangan Teknologi Proses dan Pemanfaatannya, Medan.
- Jahan, M.S., Z.Z. Lee dan Y. Jin., 2005. *Organic Acid Pulping of Rice Straw. I: Cooking*, Pulp and Paper Research Division, BCSIR Laboratories, Dhaka - 1205, Bangladesh.
- Parajo, J.C., J.L. Alonso., and D. Vazquez, 1993, *On The Behavior Of Lignin and Hemiselulose During Asetosolv Processing*, *Bioresource Technology*, 46:233-240.
- Rionaldo. H, Edison, Zulfansyah dan M. I. Fermi, 2008, *Pembuatan Pulp Batang Jagung Dengan Larutan Pemasak Ekstrak Abu Tandan Kosong Sawit*, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardoyo, Kampus Institut Teknologi Bandung, 3-4 November 2008.
- Saputra, S.M., 2012, *Industri Pulp dan Kertas*, <http://www.bisnis.com/>, Jakarta. [diakses 11 Februari 2013].
- Villaverde, J. J., P. Ligerio dan A. de Vega, 2009, *Formic and Acetic Acid as Agents for a Cleaner Fractionation of Miscanthus x Giganteus*. *Journal Of Cleaner Production* 18 (2010) 395-401. Spain.
- Zhang, M., W. Qi, R. Liu, R. Su, S. Wu dan Z. He, 2008. *Fractionating lignocellulose by formic acid: Characterization of major components*. *Article biomass and bioenergy* 34 (2010) 525 –532. China.