

Pembuatan Pulp Pelepah Sawit dengan Pelarut Asam Formiat

Zulfansyah*, Muhammad Iwan Fermi, Said Zul Amraini,
Hari Rionaldo, Meilany Sri Utami

Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

*Email: zulfansyah@unri.ac.id

Abstract

The pulping of oil palm fronds with formic acid medium has been studied in an effort to develop an efficient and environmentally safe process. This research is conducted to study the effect of pulping conditions on the pulp yield and lignin content. The experiment was run at concentration of formic acid in cooking liquor of 65, 75, 85%-wt, hydrogen peroxide concentration in cooking liquor of 1, 3, 5%-wt, cooking time of 1, 2, and 3 hours. The cooking of oil palm fronds was accelerating in a reactor batch at the boiling temperature of formic acid in standard condition. The effects of dependent variables on the independent variables were studied by statistical modelling using a second-order incomplete factorial design. The empirical models were deduced to satisfactorily fit experimental data with the values of independent variables and allow quantifying the effects of each variables. The most influential factor on yield pulp was formic acid concentration. Whereas, the cooking time has greater influence on lignin content.

Keywords: oil palm fronds, lingocelulose, pulping, pulp organosolv, formic acid

1. Pendahuluan

Agroindustri sawit berkembang pesat di Indonesia dalam dua dekade terakhir. Namun seiring dengan perkembangan tersebut, timbul persoalan baru yaitu dihasilkannya sejumlah limbah padat, baik yang berasal dari aktifitas perkebunan maupun pabrik crude palm oil (CPO). Pelepah sawit merupakan salah satu contoh limbah yang berasal dari perkebunan sawit, sebagai hasil samping panen tandan buah segar (TBS). Selama ini pelepah sawit hanya tertinggal dan dibiarkan membusuk di lahan perkebunan. Padahal untuk 1 hektar perkebunan sawit, diperkirakan bisa menghasilkan hampir 10,5 ton pelepah per tahun [Budiman et al. 1985].

Sebagai bahan berlignoselulosa, yang sebagian besar terdiri dari selulosa, sebenarnya pelepah sawit sangat berpotensi untuk dijadikan bahan baku pulp. Penelitian-penelitian pembuatan pulp berbahan baku pelepah sawit belum banyak dilakukan. Joedodibroto [1982], Khoo dan Lee [1991], Wan Rosli et al. [2004], dan Wanrosli et al. [2007] melaporkan hasil pembuatan pulp dengan proses konvensional (soda, sulfit, soda-sulfit dan kraft). Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa pelepah sawit dapat dijadikan pulp dengan kualitas yang seimbang dengan pulp dari bahan non-kayu lainnya. Namun demikian, penggunaan proses konvensional dalam pembuatan pulp dari pelepah belum tepat, gkungan.

Pembuatan pulp dengan pelarut organik (*organosolv pulping*) merupakan salah satu proses alternatif dalam pembuatan pulp. Prinsip proses *organosolv* adalah memilah komponen utama biomassa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dengan tanpa banyak merusak dan mengkonversinya menjadi sejumlah produk tertentu [Muurinen 2000]. Selain itu, proses *organosolv* juga memiliki beberapa keunggulan, seperti prosesnya yang relatif mudah, ramah lingkungan dan membutuhkan energi lebih sedikit dibanding proses pembuatan pulp konvensional. Beberapa pelarut organik yang digunakan sebagai larutan pemasak dalam pembuatan pulp adalah alkohol, asam organik, amina, keton, ester dan fenol [Shatalov and Pereira 2006, Jahan et al. 2007].

Asam formiat merupakan salah satu pelarut organik yang sering digunakan sebagai larutan pemasak dalam pembuatan pulp. Keunggulan utama asam formiat dibanding pelarut organik lain sebagai larutan pemasak adalah proses pembuatan pulp dapat dilakukan pada suhu dan tekanan lebih rendah dan selektifitas tinggi untuk mempertahankan selulosa terdegradasi [Muurinen 2000]. Beberapa peneliti telah membuktikan bahwa asam formiat, sebagai larutan pemasak dalam pembuatan pulp, mampu menyisahkan lignin secara selektif untuk berbagai biomassa dan menghasilkan pulp dengan kualitas yang baik [Kham et al. 2005, Jahan et al. 2007, Ligerio et al. 2008]. Karena itu, upaya pemanfaatan pelepah sawit sebagai bahan baku pulp dengan pelarut asam formiat sangat menarik, mengingat penggunaan proses ini tidak hanya dapat menanggulangi limbah perkebunan sawit, tetapi juga mampu menghasilkan produk dengan proses yang ramah lingkungan.

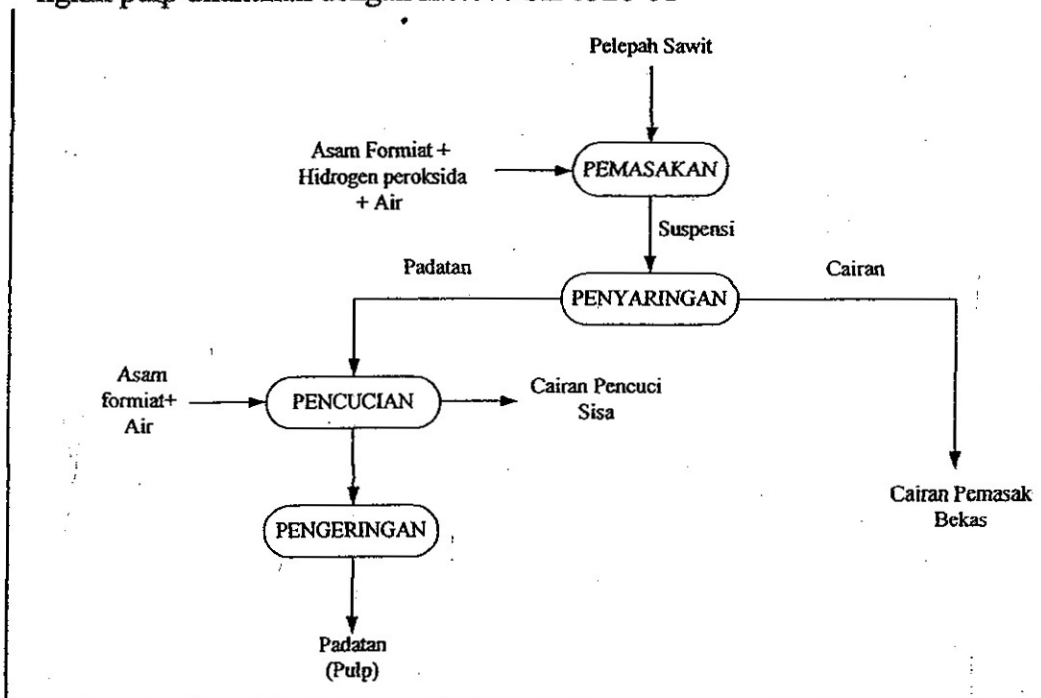
Pengembangan proses pembuatan pulp *organosolv* berbasis asam formiat dengan katalis hidrogen peroksida dikenal dengan proses Milox. Katalis hidrogen peroksida menambah kelarutan lignin dan meningkatkan selektifitas delignifikasi [Muurinen 2000]. Sebagaimana proses pembuatan pulp *organosolv* lainnya, pada proses pembuatan pulp menggunakan asam formiat terjadi proses delignifikasi dan hidrolisis polisakarida secara serempak. Kedua proses tersebut akan mempengaruhi yield dan kemurnian pulp. Salah satu cara mengefektifkan proses pembuatan pulp berbasis asam formiat adalah dengan melakukan proses dalam beberapa tahap. Namun demikian, Azman et al. [2002] menunjukkan bahwa tahap kedua proses pemasakan tidak berpengaruh terhadap kualitas pulp, pada pembuatan pulp tandan kosong sawit (TKS) dengan proses Milox dua tahap. Kemudian, Fermi et al. [2010] membuktikan bahwa proses pembuatan pulp TKS dengan asam formiat dalam dilakukan dalam tahap tunggal dan menghasilkan pulp yang kualitasnya berimbang.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat. Pengaruh kondisi operasi terhadap kualitas pulp, baik yield maupun kadar lignin pulp, dipelajari dengan pemodelan statistik menggunakan disain percobaan faktorial tak-lengkap (*incomplete factorial*). Upaya ini dilakukan untuk mengembangkan proses pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat, sehingga diperoleh cara penanggulangan limbah perkebunan sawit yang lebih ramah lingkungan dan efisien.

2. Bahan dan Metode

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah sawit yang I V Sei. Galuh. Sebelum digunakan, pelepah sawit dipotong dengan panjang ± 2 cm, kemudian

dikeringkan di bawah sinar matahari. 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 dkk. [2002]. Tahap-tahap percobaan meliputi, pemasakan, penyaringan, pencucian padatan, pengeringan dan analisa kualitas pulp 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 pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat

3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian percobaan pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat dilakukan berdasarkan disain eksperimen $3 \times 3 \times 3$ *incomplete factorial*, dengan 14 run percobaan dan satu replikasi. Variasi kondisi operasi dan kualitas pulp yang dihasilkan, baik yield maupun kadar lignin ditampilkan pada Tabel 1. Yield yang dihasilkan dari percobaan berkisar antara 33,30 – 50,09%, dengan kadar lignin pulp 11,20 – 19,12%. Secara umum pulp pelepah sawit yang dihasilkan dengan pelarut asam formiat ini kualitasnya belum sebanding pulp komersil, kadar lignin pulp relatif masih tinggi. Namun, jika dibandingkan dengan pulp pelepah sawit proses *ethanosolv* [Adisalamun et al. 2001], pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat relatif lebih bagus, baik yield maupun kadar ligninnya. Kemudian, yield yang dihasilkan sudah termasuk dalam rentang pulp kimia dan menunjukkan terjadinya proses delignifikasi dan hidrolisis polisakarida dari bahan baku.

Tabel 1. Kondisi operasi dan hasil percobaan pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat

Run	Variabel Proses			Variabel Kode			Kualitas Pulp	
	[HCOOH] l (%- berat)	[H ₂ O ₂] (%- berat)	t (jam)	x ₁	x ₂	x ₃	Yield (%)	Lignin (%)
1	65	1	2	-1	-1	0	48,32	11,16
2	65	3	1	-1	0	-1	50,09	19,12
3	65	3	3	-1	0	1	36,47	13,46
4	65	5	2	-1	1	0	41,46	13,10
5	75	1	1	0	-1	-1	43,10	13,72
6	75	1	3	0	-1	1	42,29	13,17
7	75	3	2	0	0	0	34,59	10,95
8	75	3	2	0	0	0	34,94	11,20
9	75	5	1	0	1	-1	38,33	18,37
10	75	5	3	0	1	1	34,17	14,83
11	85	1	2	1	-1	0	27,03	10,44
12	85	3	1	1	0	-1	29,22	13,14
13	85	3	3	1	0	1	33,30	11,91
14	85	5	2	1	1	0	33,63	11,77

Pengaruh variabel operasi terhadap yield dan kadar lignin dimodelkan dengan persamaan polinomial orde dua. Koefisien-koefisien model dianalisis statistik dengan uji-*t* pada tingkat signifikansi 95%, sedangkan kesahihan model dianalisis dengan uji *F*. Model empirik yang dihasilkan dapat memperkirakan respon yield (Y_1) maupun kadar lignin pulp (Y_2) dengan koefisien determinasi, $R^2 > 90\%$. Hasil analisis statistik pengujian model diberikan dalam Tabel 2, sedangkan model respon yang dibentuk dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2). Persamaan yang dibentuk hanya memuat variabel yang memenuhi tingkat signifikansi statistik, dan menggambarkan pengaruh variabel konsentrasi asam formiat (x_1) konsentrasi hidrogen peroksida (x_2) dan nisbah waktu pemasakan (x_3), maupun interaksi antar variabel terhadap yield dan kadar lignin pulp.

Secara umum seluruh variabel proses berpengaruh terhadap yield dan kadar lignin pulp. Konsentrasi asam formiat merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap yield, diikuti dengan waktu pemasakan dan konsentrasi hidrogen peroksida. Waktu pemasakan menjadi variabel yang paling berpengaruh terhadap kadar lignin pulp, diikuti dengan konsentrasi hidrogen peroksida dan asam formiat. Yield juga dipengaruhi interaksi beberapa variabel proses, seperti konsentrasi asam formiat dan hidrogen peroksida (x_1x_2) dan interaksi konsentrasi hidrogen peroksida dan waktu pemasakan (x_2x_3). Sebaliknya, kadar lignin pulp hanya dipengaruhi oleh interaksi variabel proses konsentrasi hidrogen peroksida

dan kuadrat variabel proses juga terlihat pada model yang dibentuk. Kadar lignin pulp juga dipengaruhi oleh kuadrat konsentrasi

hidrogen peroksida (x_2^2) dan waktu pemasakan (x_3^2). Sedangkan kadar lignin hanya dipengaruhi oleh kuadratik variabel proses waktu pemasakan (x_3^2). Pengaruh variabel proses terhadap yield dan kadar lignin pulp digambarkan dalam grafik *response surface* pada Gambar 2 sampai 6.

Tabel 2. Analisis statistik model regresi dan koefisien model yield dan kadar lignin pulp

Faktor	yield pulp	kadar lignin
Intersep	34,761	11,071
b ₁	-6,679	-1,071
b ₂	-1,643	1,198
b ₃	-1,784	-1,249
b ₄	0,356*	-0,161*
b ₅	3,365	-0,153*
b ₆	4,358	0,854
b ₇	2,489	0,705*
b ₈	-0,840*	-0,747*
b ₉	2,221	2,243
Probabilitas >F	0,021	0,030
R ²	0,957	0,948
Standar Error	2,509	1,014

*NS = tidak signifikan

$$Y_1 = 34,76 - 6,67x_1 - 1,64x_2 - 1,78x_3 + 3,36x_1x_2 + 4,35x_2x_3 + 2,48x_2^2 + 2,22x_3^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 11,07 - 1,07x_1 + 1,19x_2 - 1,24x_3 + 0,85x_2x_3 + 2,24x_3^2 \quad (2)$$

dengan,

Y_1 = yield, %

Y_2 = kadar lignin pulp, %

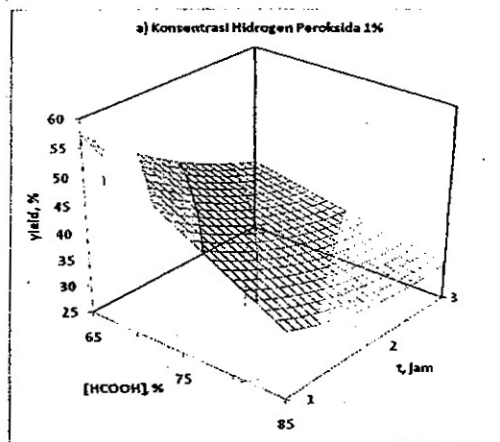
x_1 = konsentrasi asam formiat tak berdimensi, $[C(\%)-75]/10$

x_2 = konsentrasi hidrogen peroksida tak berdimensi, $[C(\%)-3]/2$

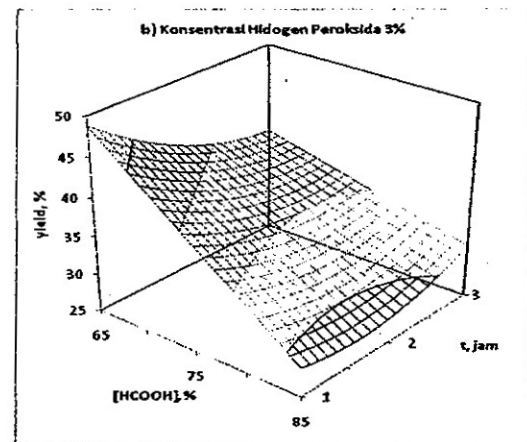
x_3 = waktu pemasakan tak berdimensi, $[t(\text{jam})-2]/1$

Secara umum yield pulp cenderung berkurang dengan bertambahnya konsentrasi asam formiat dan hidrogen peroksida. Namun, yield pulp cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu pemasakan, kecuali pada pemakaian konsentrasi hidrogen peroksida 5%. Yield diperkirakan berkisar antara 25,5-57,03%, bervariasi menurut kondisi pemakaian. Yield tertinggi dihasilkan pada kondisi menggunakan asam formiat 65%, lama pemasakan 1 jam dan konsentrasi katalis hidrogen peroksida 1%. Sedangkan yield pulp terendah terjadi pada kondisi pemasakan menggunakan asam formiat 85%, lama pemasakan 1 jam dan konsentrasi katalis hidrogen peroksida 5%.

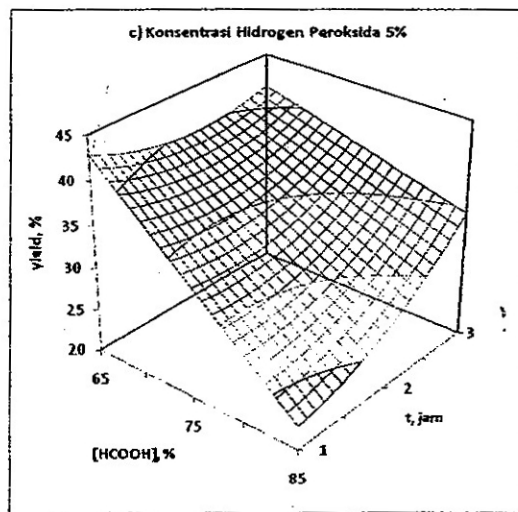
Kadar lignin pulp pelepah sawit yang dihasilkan dengan pemasakan menggunakan larutan asam formiat cenderung berkurang dengan bertambah lamanya pemasakan, pada setiap konsentrasi asam formiat yang digunakan. Kadar lignin pulp diperkirakan berkisar antara 5,8-16%, yang bervariasi menurut kondisi operasi. Pulp dengan kadar lignin terkecil dihasilkan pada kondisi pemasakan dengan asam formiat 85%, katalis hidrogen peroksida 1%, dan lama pemasakan sekitar 2 jam. Sedangkan pulp dengan kadar lignin terbesar dihasilkan dengan kondisi pemasakan dengan asam formiat 65%, konsentrasi katalis hidrogen peroksida 5%, dengan lama pemasakan 1 jam.



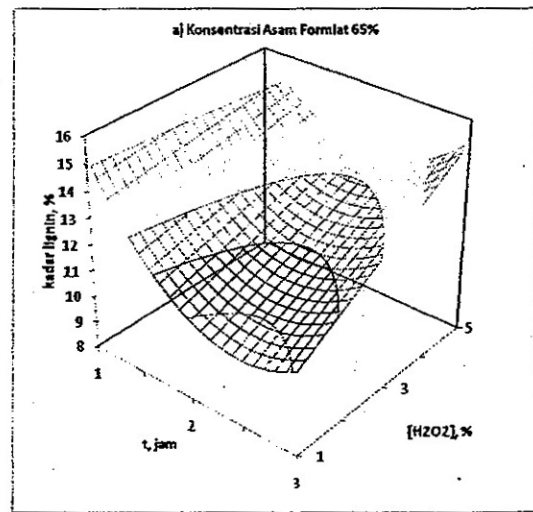
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi asam formiat dan waktu pemasakan terhadap yield pulp pada konsentrasi hidrogen peroksida 1%.



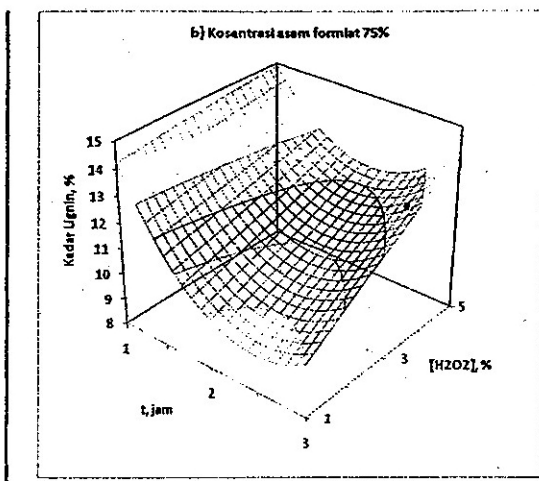
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi asam formiat dan waktu pemasakan terhadap yield pulp konsentrasi hidrogen peroksida 3%.



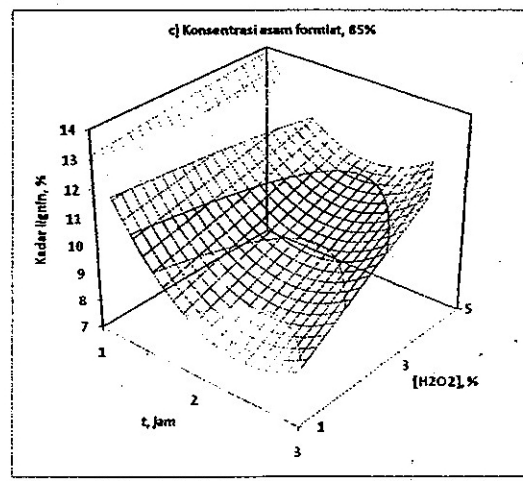
Gambar 4. Pengaruh konsentrasi asam formiat dan waktu pemasakan terhadap



Gambar 5. Pengaruh waktu pemasakan dan hidrogen peroksida kadar lignin pada konsentrasi asam formiat 65%



Gambar 6. Pengaruh waktu pemasakan dan hidrogen peroksida kadar lignin pada konsentrasi asam formiat 75%.



Gambar 7. Pengaruh waktu pemasakan dan hidrogen peroksida kadar lignin pada konsentrasi asam formiat 85%.

3.1. Pengaruh konsentrasi asam formiat

Peningkatan konsentrasi asam formiat dari 65 hingga 85% pada setiap konsentrasi katalis hidrogen peroksida memberikan pengaruh yang berarti terhadap yield. Yield pulp berkurang tajam dengan bertambah pekatnya asam formiat dalam larutan pemasak. Namun, pada pemakaian katalis hidrogen peroksida 5%, peningkatan konsentrasi asam formiat dari 65 menjadi 85% justru meningkatkan yield. Penurunan yield akibat bertambahnya konsentrasi asam formiat akan semakin berkurang lajunya dengan bertambahnya waktu pemasakan.

Berkurangnya yield pada proses *pulping organosolv* disebabkan adanya proses delignifikasi dan hidrolisis polisakarida [Sarkanen 1990 dan Murinen 2000]. Yield yang ideal untuk suatu pemasakan dalam pembuatan pulp adalah sebanding dengan kadar selulosa bahan baku. Konsentrasi asam formiat yang terlalu pekat ternyata kurang begitu baik untuk menghasilkan pulp dengan yield yang memadai. Biasanya proses pembuatan pulp kimia konvensional menghasilkan yield berkisar antara 40-55%. Tingginya konsentrasi asam formiat tidak hanya melarutkan lignin ke dalam pelarut organik, tetapi selulosa juga turut terdegradasi. Kadar selulosa bahan baku pelepah sawit sekitar 47% [Wanrosli et al. 2007], sehingga rendahnya yield dibanding kadar selulosa bahan baku disebabkan terjadinya degradasi selulosa.

Peningkatan konsentrasi asam formiat dalam cairan pemasak dari 65 menjadi 85% berpengaruh positif terhadap kadar lignin pulp. Pada semua kondisi waktu pemasakan dan konsentrasi hidrogen peroksida, penurunan kadar lignin pulp berkisar antara 1-2%, dengan naiknya konsentrasi asam formiat dalam cairan pemasak. Pemakaian konsentrasi asam organik yang lebih pekat cenderung embali lignin yang telah larut dalam

cairan pemasak, sehingga kadar lignin pulp kembali meningkat [Sarkanen 1990, Parajo et al. 1993, Muurinen 2000]. Namun, peningkatan konsentrasi asam formiat dari 65 menjadi 85% pada pembuatan pulp pelepah sawit tidak menyebabkan terjadinya polimerisasi kembali lignin. Meningkatnya kadar lignin pulp pada sebagian kondisi proses mungkin disebabkan faktor pemasakan lainnya ataupun banyaknya polisakarida yang terdegradasi. Karena, yield yang dihasilkan cenderung turun, sehingga kadar lignin dalam pulp menjadi besar

3.2. Pengaruh konsentrasi katalis hidrogen peroksida

Peningkatan konsentrasi katalis hidrogen peroksida memberikan pengaruh yang terkecil terhadap yield pulp. Sebaliknya, kenaikan konsentrasi hidrogen peroksida sangat berpengaruh terhadap kadar lignin. Kenaikan konsentrasi hidrogen peroksida dari 1 menjadi 5% sedikit menurunkan yield. Sedangkan kadar lignin pulp cenderung meningkat dengan bertambahnya konsentrasi hidrogen peroksida.

Bertambahnya konsentrasi hidrogen peroksida dalam larutan pemasak akan meningkatkan jumlah ion hidrogen (H^+) dalam media pemasak, dan mempercepat reaksi penyisihan lignin [Sarkanen 1990]. Selain mempercepat reaksi penyisihan lignin, adanya katalis juga mendorong terjadinya reaksi polimerisasi kembali lignin yang telah larut [Parajo et al. 1993]. Peningkatan yield dan kadar lignin pulp dengan bertambahnya konsentrasi hidrogen peroksida menjadi 5% dalam media asam formiat 75 dan 85%, menunjukkan reaksi polimerisasi kembali lignin atau hidrolisis selulosa telah terjadi. Penggunaan konsentrasi katalis hidrogen peroksida sampai 3% ternyata cukup untuk mempertahankan selulosa terdegradasi. Pada pemasakan menggunakan media asam formiat 85%, bertambahnya waktu pemasakan sampai 2 jam menurunkan kadar lignin pulp dengan tajam dan yield relatif tidak berubah.

3.3. Pengaruh waktu pemasakan

Lama waktu pemasakan sangat berpengaruh terhadap yield dan kadar lignin pulp. Pada seluruh konsentrasi hidrogen peroksida yang digunakan dan pemakaian asam formiat 65 dan 75% , bertambahnya waktu pemasakan dari 1 menjadi 3 jam cenderung menurunkan yield. Tetapi, pada pemakaian asam formiat 85%, yield akan meningkat dengan bertambahnya waktu pemasakan. Pada penggunaan konsentrasi asam formiat 65%, turunnya yield seiring dengan bertambahnya waktu reaksi, terlihat lebih tajam dibanding pada media pemasak dengan konsentrasi asam formiat 75%. Penurunan yield sekitar 12% pada pemakaian media asam formiat 65%, dan hanya turun sekitar 3% pada media pemasak dengan konsentrasi asam formiat 75%. Sedangkan pada media pemasak dengan asam formiat 85% yield cenderung meningkat sekitar 5% dengan waktu dari 1 menjadi 3 jam.



Kadar lignin akan menurun dengan bertambahnya waktu pemasakan dari 1 menjadi 2 jam, tetapi meningkat kembali jika waktu pemasakan ditambah menjadi 3 jam. Perubahan kadar lignin pulp dengan bertambahnya waktu pemasakan dari 1 sampai 3 jam, memperlihatkan pola kuadratik. Pola ini menunjukkan bahwa lamanya waktu pemasakan dalam pembuatan pulp pelepah sawit dalam media asam formiat memiliki waktu optimum untuk kadar lignin yang minimal, dan pola tersebut semakin jelas terlihat pada pemakaian media asam formiat yang lebih pekat. Sehingga penentuan lamanya pemasakan pulp pelepah sawit dalam media asam formiat menjadi penting.

Dengan bertambahnya waktu pemasakan, jumlah lignin yang terlarut dalam cairan pemasak akan lebih banyak, sehingga yield dan kadar lignin cenderung menurun. Tetapi, jika lama pemasakan diperpanjang menjadi 3 jam, akan mengakibatkan kadar lignin pulp naik, pada seluruh konsentrasi asam formiat yang digunakan sebagai media pemasak. Sedangkan yield, akan menurun pada media asam formiat 65%, relatif tetap pada media asam formiat 75%, dan cenderung naik pada media asam formiat 85%. Peningkatan kadar lignin pulp pada waktu pemasakan yang lebih lama mengindikasikan terjadinya reaksi polimerisasi lignin yang telah larut

4. Kesimpulan

Pembuatan pulp pelepah sawit dengan pelarut asam formiat dapat dilakukan dan menghasilkan pulp dengan yield 33,03-50,09% dan kadar lignin pulp 11,20-19,12%. Model empirik yang dihasilkan dapat digunakan untuk memperkirakan kualitas pulp dengan tingkat signifikansi statistik >95%. Konsentrasi asam formiat merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap yield. Sedangkan waktu pemasakan menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap kadar lignin pulp. Waktu pemasakan yang lebih lama dan konsentrasi hidrogen peroksida yang tinggi, akan menyebabkan terjadinya polimerisasi kembali lignin.

Daftar Pustaka

- Adisalamun, Mustafa, Mahidin, N. Auda, (2001), Pulping pelepah sawit dengan proses *ethanosolv*”, *Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia 2001*, FTI UPN Yogyakarta.
- Azman, N, A.E Putra, Zulfansyah, P.S Utama, (2002)”Pembuatan pulp tandan kosong sawit dengan proses Milox” *Prosiding Seminar Skripsi Terbaik Universitas Riau 2002*, Lembaga Penelitian Universitas Riau Pekanbaru.
- Budiman, A.F.S, F.G Winarno, T Silitonga, B Soewardi, (1985) “Potensi pemanfaatan limbah dan pemanfaatan hasil perkebunan”, Kantor Menteri Negara Muda Urusan Produksi Pangan.

- Fermi, M.I, Zulfansyah, S.K. Dewi, (2010) "Pembuatan pulp tandan kosong sawit dengan proses Milox tahap tunggal", *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi III*, Bandar Lampung 18 – 19 Oktober 2010.
- Jahan, M.S, D.A.N Cowdhury and M.K Islam, (2007) "Atmospheric formic acid pulping and TCF bleaching of dhaincha (*Sesbania aculeata*), kash (*Saccharum spontaneum*) and banana stem (*Musa Cavendish*)", *Industrial Crops and Products* 26, 3: 324-331
- Joedodibroto, R, (1982) "Palm plantation residue as an alternate source of cellulose for pulp and paper industry", *Berita Selulosa XVIII*, 4
- Kham L., Y.L. Bigot, M. Delmas, G. Avignon, (2005) "Delignification of wheat straw using a mixture of carboxylic acids and peroxyacids", *Industrial Crops and Products* 21, 1: 9-15.
- Khoo, K.C and T.W Lee, (1991) "Pulp paper from oil palm", *Appita Journal* 44, 6: 385-388.
- Ligero, P, J.J Villaverde, M.A Vega, M Bao, (2008) "Pulping cardoon (*Cynara cardunculus*) with peroxiformic acid (Milox) in one single stage", *Bioresource Technology* 99, 13: 5687-5693.
- Muurinen, E, (2000) "Organosolv pulping: a review and distillation study related to peroxy acid pulping", *PhD Thesis, University of Oulu, Finland*.
- Parajo, J.C, J.L Alonso, D. Vaquez, (1993) "On the behaviour of lignin and hemicellulose during acetosov processing", *Bioresource Technology* 46, 233-240.
- Shatalov, A.A and H. Pereira, (2006) "Papermaking fibers from giant reed (*Arundo Donax L.*) by advanced ecologically friendly pulping and bleaching technologies", *Bio-resource* 1, 1: 45-61.
- Wan Rosli, W.D, K.N Law, Z. Zainuddin, 2004, (2004) "Effect of pulping variables on the characteristics of oil-palm frond-fiber", *Bioresurce Technology* 93, 3: 233-240.
- Wanrosli, W.D, Z. Zainuddin, K.N Law, R. Asro, (2007), "Pulp from oil palm fronds by chemical process", *Industrial Crops and Products* 25, 1: 89-94

