DAUR ULANG BAHAN KIMIA PADA PROSES ORGANOSOLV BEBERAPA JENIS KAYU DAUN LEBAR CEPAT TUMBUH

Wasrin Syafii

Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan - IPB

ABSTRACT

A study on the chemical recovery of black liquor from organosolv pulping has been carried out. The wood species used in this study were *Paraserianthes falcataria* L. Nielsen, *Acacia mangium* Willd, and *Eucalyptus urophylla*. The results showed that the recovery rate of lignin and organic solvent were 54.45 – 61.59 % and 59.24 – 80.75 %, respectively.

PENDAHULUAN

Industri pulp di Indonesia pada umumnya menggunakan proses kimia terutama proses kraft (Indonesian Pulp and Paper Association, 1998). Proses ini memang diketahui memiliki beberapa keuntungan antara lain mampu mengolah hampir semua jenis bahan baku serta menghasilkan pulp dengan kekuatan yang baik. Disisi lain, proses ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu menimbulkan pencemaran udara (emisi gas hidrogen sulfida, dimetilsulfida dan metil merkaptan), untuk bisa beroperasi secara ekonomis memerlukan kapasitas produksi yang sangat besar, serta tingkat efisiensi pemanfaatan sumberdaya yang relatif rendah karena banyaknya komponen kayu (misalnya lignin dan hemiselulosa) yang terbuang selama proses produksinya. Untuk memecahkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan usaha-usaha pencarian teknologi baru yang lebih ramah lingkungan dan mampu memanfaatkan sumberdaya hutan secara lebih efisien.

Salah satu teknologi baru yang pada saat ini sedang dikembangkan di banyak negara adalah proses *organosolv*, yaitu proses pembuatan pulp dengan menggunakan pelarut organik sebagai bahan pemasaknya seperti misalnya etanol, metanol, asam asetat, dan aseton (Young dan Akhtar, 1998). Teknologi pulping *organosolv* dipilih untuk dikembangkan di banyak negara karena mempunyai banyak keuntungan yaitu tidak menggunakan unsur belerang dalam proses produksinya sehingga tidak menimbulkan *odour problem*, daur ulang bahan kimia dapat dilakukan dengan cara yang sangat sederhana dan dapat menghasilkan produk samping (*by-products)* berupa lignin dan hemiselulosa dengan tingkat kemurnian tinggi, serta dapat dioperasikan secara ekonomis pada kapasitas produksi yang relatif kecil (Aziz dan Sarkanen, 1989).

Dalam industri pulp dan kertas, dari proses unit pulping akan dihasilkan limbah cair berupa lindi hitam (*black liquor*). Dengan semakin meningkatnya produksi pulp, maka lindi hitam yang akan dihasilkan dari proses ini semakin meningkat pula. Salah satu cara pemanfaatan lindi hitam adalah dengan pemulihan kembali bahan kimia yang terdapat di dalam lindi hitam tersebut. Lindi hitam proses *organosolv* terdiri dari senyawa yang berasal dari kayu seperti misalnya lignin, alkohol, furfural, gula-gula turunan hemiselulosa serta campuran fenol dengan bobot molekul rendah.

Penelitian dan pengembangan teknologi *organosolv* sudah banyak dilakukan di banyak negara (Young dan Akhtar, 1998). Titik berat penelitian dan pengembangan teknologi ini antara lain adalah mencari kondisi pemasakan yang tepat, perbaikan sifat-sifat pulp yang dihasilkan, serta daur-ulang bahan kimia. Akan tetapi, hasil penelitian tersebut tidak bisa langsung diterapkan untuk jenis-jenis kayu tropis, karena sifat jenis-jenis kayu yang digunakan dalam percobaan tersebut berbeda (komponen kimia, struktur anatomi, dan sifat fisis) dengan sifat jenis-jenis kayu tropis. Oleh karena itu, penelitian aplikasi proses *organosolv* untuk jenis-jenis kayu tropis perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya laju perolehan kembali (*recovery rate)* lignin dan pelarut organik dalam lindi hitam dari proses *organosolv*.

BAHAN DAN METODA

Bahan dan Alat

Bahan Lindi Hitam

Lindi hitam diperoleh dari pemasakan proses *organosolv* (proses *alcell*, dan proses *organocell)* dengan menggunakan jenis-jenis kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen), kayu mangium (*Acacia mangium* Willd), dan kayu ampupu (*Eucalyptus urophylla*). Pemasakan pulp dilakukan dengan kondisi pemasakan sebagai berikut : rasio larutan pemasak : serpih = 12 : 1, suhu pemasakan 175^{0}C, waktu untuk mencapai suhu maksimum 2 jam, dan waktu pada suhu maksimum 1 jam.

Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan untuk analisis adalah H_2SO_4 1N, NaOH 0,1 N untuk isolasi lignin, larutan dioksan untuk penentuan kadar lignin dioksan, asam sulfat 72%, etanol 95% dan benzena untuk penentuan kadar lignin dalam kayu dan pulp, serta KBr untuk analisis lignin dengan spektrofotometer.

Alat

Alat-alat yang digunakan adalah chipper, rotary digester, pH meter, piknometer, penangas air, tanur pengering, alat penentuan kadar lignin, alat destilasi, spektrofotometer inframerah, dan alat-alat gelas lainnya.

Metoda

Isolasi Lignin

Isolasi lignin dilakukan dengan menggunakan metode isolasi yang dikembangkan oleh Kim *et. al* (1987). Sebanyak 100 ml larutan lindi hitam dimasukkan ke dalam gelas piala dan ligninnya diendapkan dengan asam sulfat 1 N. Selanjutnya endapan lignin dipisahkan dari larutan sisa pemasak dengan menggunakan corong dan kertas saring. Untuk meningkatkan kemurnian lignin, endapan lignin dilarutkan di dalam larutan NaOH 0,1 N dan kemudian disaring. Selanjutnya larutan diendapkan lagi dengan asam sulfat seperti proses pengendapan pertama. Prosedur isolasi tersebut secara skematik dapat dilihat pada Gambar 1.

Kadar lignin dihitung berdasarkan perbedaan antara berat lignin yang diperoleh dari isolasi (g) dengan jumlah lindi hitam yang digunakan (ml). Kadar lignin tersebut dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar lignin} = a/b \times 100\ \%$$

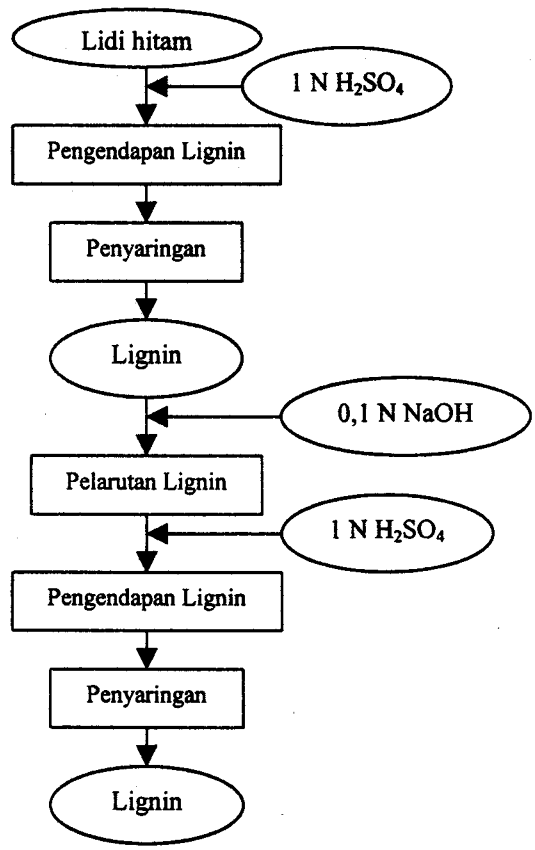
dimana ;
a = berat lignin (g)
b = volume lindi hitam (ml)

Sedangkan untuk mengetahui persentase lignin yang diperoleh kembali dari lindi hitam dihitung berdasarkan perbandingan antara berat lignin hasil isolasi (g) dengan berat lignin dalam lindi hitam (g).

Karakterisasi Lignin

Kadar lignin dioksan dihitung dengan menentukan persentase lignin yang larut dalam dioksan. Lignin hasil isolasi dilarutkan dalam dioksan, kemudian dioksan diuapkan, sisa cairan dikristalisasi dalam air es. Kristal lignin dioksan yang terbentuk dikeringkan dalam oven 100^{0}C selama 4 jam atau sampai beratnya tetap, kemudian ditimbang.

Untuk mengetahui karakteristik senyawa lignin yang terdapat dalam lindi hitam, dilakukan pengamatan dengan menggunakan spektrofotometer inframerah. Analisis spektrofotometer inframerah dilakukan terhadap lignin dioksan. Sebagai pembanding dilakukan analisis spektrofotometer pada lignin tipe seringil dan guaiasil. Contoh lignin dibuat pelet dengan campuran KBr dengan ratio 1 : 50, kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer inframerah.



Gambar 1. Diagram alir isolasi lignin

Isolasi Bahan Pemasak Bekas

Lindi hitam didestilasi dengan menggunakan alat destilasi sederhana pada titik didih masing-masing pelarut yaitu 79^{0}C untuk etanol dan 65^{0}C untuk metanol.

Karakterisasi Bahan Pemasak Bekas

Karakterisasi bahan kimia pemasak bekas dilakukan dengan menganalisis kadar pelarut, pH pelarut, dan bobot jenis pelarut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Lindi Hitam

Parameter lindi hitam yang diamati adalah nilai pH, massa jenis, kadar padatan total, kadar abu, dan kadar lignin. Hasil pengamatan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Nilai pH Lindi Hitam

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai pH lindi hitam berkisar antara 5,14-5,53. Nilai pH ini lebih rendah bila dibandingkan dengan pH pada saat pemasakan yaitu ± 7 (netral). Terjadinya penurunan nilai pH ini disebabkan oleh adanya pelepasan asam-asam organik dari kayu, terutama asam asetat, selama proses pemasakan yang menyebabkan meningkatnya keasaman larutan pemasak. Penurunan nilai pH larutan pemasak ini juga bisa mengakibatkan terjadinya kondensasi lignin yang pada akhirnya dapat menyebabkan bilangan kappa pulp yang dihasilkan menjadi tinggi.

Bobot jenis

Nilai bobot jenis lindi hitam untuk pemasakan ketiga jenis kayu berkisar antara 0,090 - 0,925 kg/l. Nilai bobot jenis ini menunjukkan bahwa lindi hitam proses *organosolv* ini lebih ringan disbandingkan dengan air (massa jenis ± 1,00 kg/l). Hal ini terjadi karena cairan pemasak yang digunakan adalah campuran antara pelarut organik dan air. Jenis kayu yang digunakan dalam penelitian ini tidak berpengaruh nyata pada nilai bobot jenis lindi hitam yang dihasilkan.

Kadar padatan total

Kadar padatan total lindi hitam dari pemasakan ketiga jenis kayu dengan proses *alcell* (etanol) dan *organocell* (metanol) bervariasi antara 1,08 - 1,74%. Kadar padatan total yang tertinggi diperoleh dari lindi hitam sisa pemasakan kayu *E.urophylla* yaitu sekitar 1,69% untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 1,74% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol. Tingginya kadar padatan total dalam lindi hitam disebabkan karena delignifikasi yang terjadi selama proses pemasakan kayu *E.urophylla* ini relatif lebih baik dibandingkan kedua jenis kayu lainnya. Proses delignifikasi yang baik berarti sebagian besar lignin dalam kayu terlarut dalam bahan pemasak yang menyebabkan kadar padatan total menjadi tinggi. Sedangkan kadar padatan total lindi hitam yang terendah terdapat pada kayu *P. falcataria* yaitu 1,13% untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 1,08% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol.

Secara keseluruhan, kadar padatan total lindi hitam ini tergolong rendah bila dibandingkan dengan kadar padatan total lindi hitam proses kraft yang berkisar antara 14 – 18 % (Hardiani, 1992). Rendahnya kadar padatan total lindi hitam proses *organosolv* ini bisa disebabkan karena rendahnya pH lindi hitam yaitu 5,14-5,53. Nilai pH yang rendah ini kemungkinan menyebabkan lignin mengalami kondensasi dan sebagian besar mengendap kembali yang akhirnya terbawa ke dalam pulp.

Kadar abu

Secara keseluruhan kadar abu lindi hitam dari pemasakan ketiga jenis kayu dengan proses *alcell* dan proses *organocell* ini tergolong rendah, yaitu berkisar antara 0,01-0,03%. Kadar abu ini menunjukkan jumlah senyawa anorganik di dalam lindi hitam proses *organosolv* ini. Rendahnya kadar abu di dalam lindi hitam ini disebabkan karena senyawa anorganik yang terdapat di dalam lindi hitam sebagian besar berasal dari kayu karena bahan kimia pemasak yang digunakan adalah pelarut organik. Nilai kadar abu lindi hitam ini memang lebih rendah dari kadar abu yang terdapat dalam kayu yang berkisar antara 0,1 – 1,0 % untuk jenis-jenis kayu sub-tropis, sedangkan untuk jenis-jenis kayu tropis bisa mencapai 5 % (Fengel dan Wegener, 1984).

Tabel 1. Karakteristik lindi hitam dari berbagai jenis kayu dan bahan pemasak

Parameter	*Paraserianthes falcataria*		*Acacia mangium*		*Eucalyptus urophylla*	
	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH
Nilai pH	5,220	5,160	5,290	5,360	5,140	5,530
Bobot jenis (kg/l)	0,918	0,925	0,914	0,909	0,914	0,911
Kadar padatan (%)	1,130	1,080	1,460	1,470	1,690	1,740
Kadar abu (%)	0,010	0,020	0,030	0,030	0,020	0,030
Kadar lignin (gr/ml)	0,300	0,280	0,450	0,450	0,580	0,590

Keterangan = Me-OH : proses *organocell* (metanol); Et-OH : proses *alcell* (etanol)

Kadar lignin

Dari Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa kadar lignin dalam lindi hitam bervariasi antara 0,28 - 0,59 %. Kadar lignin lindi hitam yang tertinggi terdapat pada lindi hitam dari pemasakan kayu *E. urophylla* yaitu 0,58% untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 0,59% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol. Tingginya kadar lignin ini kemungkinan disebabkan oleh laju delignifikasi yang lebih baik dibandingkan pada kedua jenis kayu lainnya. Delignifikasi yang baik menyebabkan sebagian besar lignin dalam kayu terlarut dalam lindi hitam.

Kadar lignin yang terendah terdapat pada lindi hitam dari pemasakan kayu *P. falcataria* yaitu 0,30% untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 0,28% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol. Kadar lignin yang rendah ini berkaitan dengan kadar padatan total lindi hitam dari pemasakan kayu *P. falcataria* yang rendah yaitu 1,13% untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 1,08% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol.

Hal lain yang mungkin bisa menyebabkan rendahnya kadar lignin dalam lindi hitam adalah metoda isolasinya. Isolasi lignin dengan pengasaman menggunakan H_2SO_4 dalam suasana pelarut alkohol mungkin kurang efektif karena tidak semua lignin dalam lindi hitam bisa diendapkan. Jika dibandingkan dengan kadar lignin dalam lindi hitam proses kraft yaitu 5,06 - 7,84% (Nurhayati dan Pasaribu, 1993), nilai kadar lignin lindi hitam proses *organosolv* ini tergolong rendah.

Dalam penelitian ini juga dilakukan *recovery* lignin dari lindi hitam. Nilai persentase lignin yang dapat diperoleh kembali dari lindi hitam tercantum pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa jumlah lignin yang dapat diperoleh kembali dari lindi hitam hasil pemasakan ketiga kayu bervariasi antara 54,45 - 61,59 %. Persentase lignin yang dapat diperoleh kembali dari lindi hitam yang tertinggi terdapat pada lindi hitam pemasakan kayu *E. urophylla* yaitu 61,10 % untuk pemasakan dengan menggunakan metanol dan 61,59% untuk pemasakan dengan menggunakan etanol. Secara umum persentase lignin yang dapat diperoleh kembali dalam penelitian ini tergolong rendah. Tirtowidjojo *et al* (1988) menyatakan bahwa *recovery* lignin dari lindi hitam proses *organosolv* dapat mencapai 85 %, sedangkan dari proses kraft padatan lignin yang dapat diperoleh kembali bisa mencapai 70 % (Syafii, 1999).

Tabel 2. Persentase lignin yang dapat diperoleh kembali dari lindi hitam

Jenis kayu	Jenis pelarut	
	Metanol	Etanol
Paraserianthes falcataria	54,45	56,59
Acacia mangium	55,70	57,47
Eucallyptus urophylla	61,10	61,59

Sifat Lignin

Kadar dan kemurnian lignin

Kemurnian lignin ditunjukkan oleh besarnya kadar lignin dioksan yang berhasil diisolasi. Nilai kadar lignin dioksan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa kadar lignin dioksan di dalam lindi hitam berkisar antara 0,21-0,38 gram/100 ml dengan tingkat kemurnian 55-65%. Pada umumnya lignin dioksan disebut lignin murni dan biasanya digunakan untuk menentukan karakteristik lignin secara fundamental. Sedangkan lignin di dalam lindi hitam yang diperoleh dengan cara isolasi tidak semuanya berupa lignin murni tetapi masih bercampur dengan senyawa-senyawa lain yang ikut mengendap dalam suasana asam. Lignin dioksan dari lindi hitam pemasakan kayu *P. falcataria* mempunyai nilai kemurnian yang lebih tinggi di bandingkan yang lainnya. Hal ini berarti lignin tersebut lebih mudah larut dalam dioksan sehingga lignin murni yang didapat lebih banyak.

Analisis spektrofotometri

Dari analisis spektrofotometri inframerah dan membandingkanya dengan data dari Silverstein *et. al* (1974) diperoleh informasi bahwa puncak serapan karakteristik terjadi pada jumlah gelombang 3350 cm^{-1} dan 3300 cm^{-1} untuk gugus hidroksil, jumlah gelombang 2900 cm^{-1}, 2800 cm^{-1} dan 2825^{-1} untuk gugus C-H dalam metil dan metilin, jumlah gelombang 1585 cm^{-1}, 1490 cm^{-1} dan 1415 cm^{-1} untuk regangan C-C cincin aromatik, jumlah gelombang 1310 cm^{-1} 1315 cm^{-1} untuk cincin siringil, 1260 cm^{-1}, 1210 cm^{-1} untuk cincin aromatik guaiasil

Tabel 3. Kadar dan kemurnian lignin dioksan dari berbagai jenis kayu dan bahan pemasak

Karakteristik	*Paraserianthes falcataria*		*Acacia mangium*		*Eucalyptus urophylla*	
	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH
Kadar (gr/100 ml)	0,21	0,20	0,35	0,25	0,33	0,38
Kemurnian (%)	66,76	71,19	64,63	55,11	57,38	64,96

Keterangan = Me-OH : proses *organocell* (metanol); Et-OH : proses *alcell* (etanol)

Adanya serapan pada jumlah gelombang 1310 cm^{-1} dan 1315 cm^{-1} menandakan bahwa lignin tersebut termasuk tipe siringil, sedangkan untuk tipe guaiasil terdapat puncak serapan pada jumlah gelombang 1260 cm^{-1} (Zule *et. al*, 1995). Dari informasi ini dapat dipastikan bahwa lignin tersebut termasuk ke dalam tipe lignin guaiasil-siringil yang memang merupakan karakteristik lignin dari kayu daun lebar.

Jika dibandingkan dengan spektrum infra merah dari lignin tipe siringil dan guaiasil, terdapat beberapa puncak serapan yang hilang yaitu pada jumlah gelombang 1780 cm^{-1} untuk gugus karbonil tidak terkonjugasi dan jumlah gelombang 1660 cm^{-1} untuk substitusi para aril keton. Hal ini diduga karena proses delignifikasi pada saat pemasakan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur senyawa lignin yang larut di dalam limbah cairan pemasakan (Zule *et. al*, 1995).

Sifat Pelarut

Kadar pelarut, nilai pH, dan massa jenis pelarut hasil destilasi dari berbagai jenis kayu dan bahan pemasak dapat dilihat pada Tabel 4.

Kadar Pelarut

Pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak yang dilakukan baik sebelum maupun sesudah isolasi lignin menunjukkan hasil yang hampir sama yaitu berkisar antara 59,24%-80,75% untuk kadar pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak sebelum isolasi lignin dan 59,53-79,37% untuk kadar pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak setelah isolasi lignin. Kadar pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak yang tidak jauh berbeda antara sebelum dan sesudah isolasi lignin disebabkan karena proses isolasi lignin hanya bersifat mengambil lignin yang mengendap akibat pengasaman, sehingga tidak mengurangi volume pelarutnya.

Nilai pH Pelarut

Nilai pH pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai pH bahan kimia pemasak yang digunakan yaitu pH 8,28 untuk bahan kimia pemasak etanol dan pH 8,35 untuk bahan kimia metanol. Penurunan nilai pH dalam larutan pemasak diakibatkan oleh larutnya asam-asam organik dari kayu selama proses pemasakan.

Bobot Jenis Pelarut

Bobot jenis pelarut hasil destilasi sisa cairan pemasak mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan nilai bobot jenis bahan kimia pemasak yang digunakan pada awal pemasakan yaitu 0,789 kg/l untuk etanol dan 0,791 kg/l untuk metanol. Peningkatan nilai bobot jenis ini menunjukkan bahwa pelarut yang bisa diperoleh kembali melalui destilasi tidak semurni bahan kimia pemasak yang digunakan pada saat pemasakan.

KESIMPULAN

Kadar padatan total, kadar lignin, nilai pH, dan bobot jenis lindi hitam dari hasil pemasakan ketiga jenis dengan proses organosolv masing-masing berkisar antara 1,08-1,74 %, 0,28-0,59 % (b/v), 5,11-5,53, dan 0,909-0,925 kg/l.

Secara umum bahan-bahan kimia di dalam lindi hitam proses organosolv yang sebagian besar berupa lignin dan bahan kimia pemasak dapat diperoleh kembali dengan proses yang sederhana.

Persentase lignin yang dapat diperoleh kembali dari lindi hitam berkisar antara 54,45-61,59 % dengan tingkat kemurnian berkisar antara 55,11-71,19 %, sedangkan pelarut yang diperoleh kembali dari hasil destilasi lindi hitam berkisar antara 59,24-80,75 %.

Tabel 4. Kadar pelarut, pH, dan bobot jenis pelarut yang diisolasi dari lindi hitam dari berbagai jenis kayu dan bahan pemasak

Karakteristik	*Paraserianthes falcataria*		*Acacia mangium*		*Eucalyptus urophylla*	
	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH	Me-OH	Et-OH
Kadar pelarut (%) [1)]	59,240	73,490	60,260	80,750	61,870	73,370
Kadar pelarut (%) [2)]	61,510	70,690	59,530	79,370	61,140	71,010
Nilai pH	6,930	6,540	6,620	6,240	6,440	6,510
Bobot jenis (kg/l)	0,835	0,830	0,830	0,834	0,833	0,837

Keterangan :
Me-OH : proses *organocell* (metanol)
Et-OH : proses *alcell* (etanol)
[1)] Kadar pelarut sebelum isolasi lignin
[2)] Kadar pelarut setelah isolasi lignin

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, S. and K. Sarkanen. 1989. Organosolv pulping - a review. TAPPI Journal, March 1989. 169-175.

Fengel, D and G. Wegener. 1984. Wood : chemistry, ultrastructure, and reactions. Walter de Gruyter. New York.

Hardiani, H. 1992. Pengembalian kembali bahan kimia (*Chemical Recovery*). Balai Besar Penelitian & Pengembangan Industri Selulosa. Bandung.

Indonesian Pulp and Paper Association. 1998. Statistics of pulp and paper industry 1998. Jakarta.

Kim, H., M.K. Hill and A.L. Fricke. 1987. Preparation of kraft lignin from black liquor. TAPPI Journal 12 : 112-115.

Nurhayati, T. dan R.A. Pasaribu. 1993. Isolasi dan sifat lignin dari larutan sisa pemasak pabrik pulp. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. 11 (3) : 110-116.

Silverstein, R.M., G.C. Bassler, T.C. Morrill. 1974. Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley & Sons, Inc.

Syafii, W. 1999. Pemanfaatan lignin sebagai bahan baku perekat untuk pembuatan papan partikel kayu mangium (*Acacia mangium* Willd). Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. Volume 8, Nomor 2, 1999.

Tirtowidjojo, S., K. Sarkanen, F. Pla, J.S. McCarthy. 1988. Kinetics of organosolv delignification in batch- and flow-through reactors. Holzforschung. Vol. 42 (3) : 177-183.

Zule, J., M. Likon, M. Oblak-Rainer, A. Moze, A. Perdih. The characteristics of lignin from haloacetic pulping. Proceeding of the 8th international symposium on wood and pulping chemistry. June 6-9, 1995. Helsinki, Finland.