

**KAJIAN EKONOMI *BIOKRAFT* CAMPURAN BATANG DAN LIMBAH CABANG MANGIUM  
PADA BERBAGAI KONDISI PEMASAKAN *PULP*****DEVI SILSIA\*, RIDWAN YAHYA, MUCHARROMAH & JERRY ANTONIO**Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu Jl. Raya Kandang Limun, Bengkulu 38371  
E-mail: devisilsia@yahoo.co.id**ABSTRACT**

*Addition of *P. chrysosporium* fungus on chip mixture of mangium trunk and branch before pulping process could increase the efficiency of chemical used, save energy consumption and improve the quality of effluent. Before application in the pulp industry, it should be made sure that biokraft method of mangium trunk and branches mixture is economically feasible. This study aims to determine the proper biokraft process applied to the pulp industry. In this study, costs incurred from biokraft modified cooking methods (chemical reduction, energy reduction and the combination of chemicals and energy reduction) were calculated, capitalized and then compared with the cost incurred from conventional kraft process. The results showed that biokraft method with modifications on energy reduction was economically feasible to be applied in pulp industry because it has the smallest CC/ton of pulp (Rp. 50,952,915.15 /ton of pulp) on condition that an increase of biopulping operating cost is in the range of 5-30%.*

**Keywords:** *Biokraft, A. mangium, economic analysis, pulp.*

**INTISARI**

*Pemberian jamur *P. chrysosporium* pada serpih campuran batang dan cabang mangium sebelum dipulping (biopulping) mampu meningkatkan efisiensi penggunaan bahan kimia pemasak, menghemat penggunaan energi serta memperbaiki kualitas dari limbah cair pulp yang dihasilkan. Sebelum diaplikasikan dalam industri pulp maka metode ini harus dikaji secara ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan proses biokraft yang menguntungkan untuk diaplikasikan pada industri pulp. Dalam penelitian ini dilakukan penghitungan terhadap seluruh biaya yang dikeluarkan (capitalized cost) per ton pulp yang dihasilkan dari metode biokraft dengan modifikasi pemasakan pengurangan bahan kimia, pengurangan energi dan kombinasi pengurangan bahan kimia dan energi. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan pada proses kraft konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metoda biokraft dengan modifikasi pengurangan energi layak diaplikasikan pada industri pulp karena memiliki CC/ton pulp terkecil yaitu Rp. 50.952.915,15 /ton pulp sepanjang kenaikan biaya operasi biopulping dalam rentang 5 - 30%.*

**Keywords:** *Biokraft, A. mangium, analisis ekonomi, pulp.*

## PENDAHULUAN

Industri *pulp* dan kertas merupakan salah satu industri yang dapat menunjang perekonomian bangsa. Namun, perkembangan industri ini perlu diwaspadai karena membutuhkan energi yang tinggi serta menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Umumnya industri *pulp* di Indonesia menggunakan metode *kraft*. Dalam proses *kraft* zat kimia (larutan campuran antara sodium hidroksida dan sodium sulfida) digunakan untuk mendegradasi lignin dan senyawa lainnya. Limbah cair dari proses *kraft* ini sangat berbahaya sekali bagi lingkungan, dan hal ini masih menjadi permasalahan serius pada hampir semua industri *pulp* dan kertas.

Oleh karena proses pembuatan *pulp* yang berkembang saat ini relatif tidak efisien dan menyebabkan pencemaran lingkungan yang cukup tinggi, maka diperlukan proses baru yang lebih baik. Salah satu metode yang telah dikembangkan yaitu *biokraft pulping*. Pada metoda ini diberikan perlakuan awal pada serpih dengan jamur pelapuk putih (*white-rot fungi*) sebelum proses *kraft* dilakukan (Messner 1998 dalam Yahya *et al.*, 2007).

Yahya *et al.* (2007) telah mencoba menerapkan proses *biokraft* ini pada serpih campuran batang dan limbah cabang mangium. Jamur yang digunakannya adalah *Phanerochaete chrysosporium* yang merupakan jenis jamur pelapuk putih (*white-rot fungi*) dari filum *Basidiomycota*. Penggunaan jamur ini dengan konsentrasi 10% dan waktu inkubasi 45 hari dapat menurunkan kandungan lignin sebesar 22,60%. Perpanjangan waktu inkubasi hingga 75 hari mampu menurunkan kadar ekstraktif sebesar 36% (Silsia *et al.*, 2010). Lignin dan zat ekstraktif merupakan komponen kimia yang tidak diinginkan dalam proses pemasakan *pulp*.

Penurunan konsentrasi lignin pasca pemberian jamur tentunya memberikan kontribusi positif bagi proses pemasakan *pulp*. Zat kimia dan waktu pemasakan dapat dikurangi, karena esensi pemberian zat kimia dan waktu pemasakan terkait dengan kegiatan pengeluaran lignin pada serpih untuk menjadi *pulp*. Jika waktu dan suhu pemasakan terlalu lama dari waktu dan suhu optimum maka dapat menyebabkan terjadinya degradasi selulosa. Karena yang diharapkan terdegradasi dalam *pulping* sebenarnya hanyalah lignin. Degradasi selulosa tersebut dapat mengurangi daya ikatan primer dan sekunder dalam rantai molekul selulosa, sehingga keteguhan serat dan ikatan antar serat dalam lembaran *pulp* menjadi lemah. Hal ini dapat menyebabkan sifat-sifat lembaran *pulp* menjadi rendah (Simatupang, 1999).

Silsia *et al.* (2010) dan Silsia *et al.* (2011) telah melakukan modifikasi pemasakan *pulp* dengan melakukan pengurangan zat kimia, pengurangan energi dan kombinasi pengurangan zat kimia dan energi pada campuran batang dan limbah cabang *A. mangium* pasca pemberian jamur *Phanerochaete chrysosporium*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa rendemen dan kualitas *pulp* yang dihasilkan bervariasi pada masing-masing modifikasi pemasakan. Tetapi kualitas limbah cair yang dihasilkan proses *pulping* dengan perlakuan pendahuluan pemberian jamur *Phanerochaete chrysosporium* lebih baik dari kualitas limbah cair *pulp kraft* konvensional.

Untuk bisa menentukan proses modifikasi pemasakan *pulp* yang paling menguntungkan perlu dilakukan kajian dari aspek ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan proses *biokraft* yang menguntungkan untuk diaplikasikan pada industri *pulp* ditinjau dari aspek ekonomi.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pertanian dan Laboratorium Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan dan alat untuk pembuatan serpih kayu, bahan dan alat untuk proses *biopulping* dengan menggunakan jamur *P. chrysosporium*, dan bahan dan alat untuk pemasakan *pulp* metoda *kraft*. Penelitian ini dilakukan dua tahap. Tahap pertama adalah proses *pulping* dengan beberapa modifikasi kondisi pemasakan dan tahap kedua adalah analisis ekonomi untuk menentukan kondisi pemasakan yang terbaik.

### Penelitian tahap 1

Sampel pada penelitian ini adalah tumpukan-tumpukan serpih berukuran 2,5 x 2,5 x 0,2 cm seberat 85,31 g berat kering tanur (bkt). Tumpukan serpih tersebut terdiri dari dua kategori yaitu tumpukan serpih batang (sebagai kontrol) dan tumpukan serpih campuran batang dan cabang yang telah diberi jamur *P. chrysosporium* pada konsentrasi 10% dari berat kering tanur serpih. Proporsi cabang pada sampel adalah 10,43% (Supriadi, 2002). Sampel-sampel tersebut dipilih secara acak. Penelitian ini menggunakan faktor tunggal yaitu modifikasi kondisi pemasakan sebagai perlakuan. Penelitian ini dilakukan dengan tiga kali ulangan. Modifikasi

kondisi pemasakan dapat dilihat pada Tabel 1. Kebutuhan zat kimia, air dan energi pada setiap kondisi pemasakan dicatat dengan seksama. Selanjutnya, pulp yang dihasilkan dicuci dan disaring, kemudian ditentukan rendemen dan konsumsi alkalinnya. Penentuan nilai Konsumsi Alkali mengikuti prosedur yang digunakan oleh *Pulp and Paper Laboratory, Forest Product Research Development Institute (FPRDI) Philippines*.

### Penelitian tahap 2

Pada penelitian tahap 2 ini dilakukan analisis ekonomi pada tiap kondisi modifikasi *pulping* dengan teknik *capitalized cost*. Dalam melakukan analisis ekonomi semua data yang didapat dalam penelitian tahap 1 diubah menjadi skala pabrik. Biaya-biaya yang dihitung dalam penelitian meliputi biaya bahan kimia, kebutuhan air untuk pemasakan, energi, kayu dan biaya operasional *biopulping*. Biaya selain yang disebut diatas diabaikan. Tingkat suku bunga (i) yang digunakan sebesar 10%. Kapasitas olah pabrik yaitu sebesar 6.202 m<sup>3</sup>/hari atau 3.038,98 ton *chip*/hari). Jenis kayu yang digunakan adalah kayu *Acacia mangium* usia 7 tahun, dan persentase cabang yang dapat digunakan sebagai bahan baku *pulp* yaitu 10,43%. Jumlah hari kerja yang ditetapkan 312 hari dalam setahun (26 hari dalam 1 bulan). Biaya operasional *biopulping* merujuk kepada penelitian Scott *et al.* (1998).

Tabel 1. Spesifikasi modifikasi pemasakan

Kondisi pemasakan	Konvensional	Modifikasi		
		1	2	3
Alkali aktif %	16	14	16	14
Sulfidity %	25	20	25	20
Perbandingan cairan pemasak dan serpih	4 : 1	4 : 1	4 : 1	4 : 1
Temperatur maksimum pemasakan	170	170	160	160
Waktu menuju temperatur maks	90	90	90	90
Waktu pada Temperatur maks (menit)	120	120	90	90

Silsia *et al.* (2011)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen *pulp* dan nilai konsumsi alkali dari masing-masing kondisi *pulping* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa proses pemasakan *pulp* dengan pengurangan energi (M2) menghasilkan rendemen tertinggi bila dibandingkan dengan seluruh perlakuan. Berdasarkan kelas kualitas kayu daun lebar tropis, nilai rendemen *pulp* dan konsumsi alkali dari *pulp* campuran batang dan cabang yang telah diberi jamur *P. chrysosporium* dengan perlakuan pengurangan energi (M2) menunjukkan kelas kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan-perlakuan lainnya. Lebih tingginya rendemen yang diperoleh pada proses *pulping* M2, karena diduga bagi material yang telah diberi jamur pendegradasi lignin tidak memerlukan energi berupa waktu dan suhu pemasakan yang terlalu lama lagi untuk proses delignifikasi. Jika waktu dan suhu pemasakan tetap dipertahankan maka dikhawatirkan komponen kimia kayu selain lignin yang justru terdegradasi, sehingga menurunkan rendemen *pulp* yang diperoleh. Dugaan ini sejalan dengan pendapat Bray & Martin (1941) dalam Pasaribu & Silitonga (1974) bahwa pengolahan *pulp* pada suhu yang sangat tinggi atau kelebihan waktu pemasakan dapat menimbulkan pelarutan karbohidrat yang lebih besar dibandingkan

lignin. Sementara persentase karbohidrat material berbanding lurus dengan rendemen *pulp*.

Konsumsi alkali merupakan jumlah natrium hidroksida (NaOH) dan natrium sulfida (Na<sub>2</sub>S) dinyatakan dalam natrium oksida (Na<sub>2</sub>O) yang digunakan selama proses pengolahan *pulp*, atau dengan kata lain bahwa konsumsi alkali merupakan banyaknya bahan kimia yang diserap oleh serpih (*chips*) selama proses pemasakan hingga *chips* menjadi *pulp*. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan nilai konsumsi alkali yang diperoleh dapat dikatakan baik. Makin rendah nilai konsumsi alkali yang diperoleh berarti semakin rendah kebutuhan bahan kimia yang diperlukan untuk mengubah serpih menjadi *pulp*.

Konsumsi alkali yang rendah akan menyisakan bahan kimia yang relatif tinggi pada lindi hitam (*black liquor*). Umumnya lindi hitam didaur ulang dan dimanfaatkan kembali dengan pertimbangan ekonomis. Hal ini dilakukan karena mahalnya larutan pemasak berupa NaOH dan Na<sub>2</sub>S. Selain itu pemanfaatan kembali lindi hitam ini juga bertujuan untuk mengurangi beban pencemaran lingkungan (Siagian & Purba, 1994). Berdasarkan karakteristik sifat *pulp* kayu daun lebar dari hutan hujan tropis dalam Vadamecum Kehutanan (1976) kayu yang

Tabel 2. Nilai rendemen pulp pada masing-masing kondisi *pulping*, kualitas dan *Reject*

Perlakuan	Ulangan			Rendemen Rata-rata (%)	Kualitas*)	Reject (%)
	1	2	3			
K	39.93	43.93	43.92	42.59	II	13.14
M1	23.68	28.01	24.17	25.28	IV	41.53
M2	48.92	52.28	48.37	49.86	I	11.6
M3	28.93	29.63	32.51	30.35	IV	32.04

\*) Berdasarkan Kelas Kualitas Kayu Daun Lebar sebagai Bahan Baku pulp Sulfat untuk Pulp dan Kertas dalam Vadamecum Kehutanan (1976)

Keterangan:

K = *pulping* batang dengan metode konvensional

M1 = biopulping serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan bahan kimia

M2 = biopulping serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan energi

M3 = biopulping serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan bahan kimia dan energi

membutuhkan atau memiliki nilai konsumsi alkali  $\leq 18$  termasuk kualitas I.

Untuk analisis ekonomi, semua data yang diperoleh dalam penelitian tahap 1 dikonversi menjadi skala pabrik. Jenis-jenis biaya yang dihitung dalam penelitian ini meliputi biaya bahan kimia, biaya kebutuhan air, biaya jamur untuk *biopulping*, biaya kebutuhan energi dan biaya pembelian bahan baku. Biaya transpor bahan baku tidak diperhitungkan dalam penelitian ini. Kebutuhan zat kimia, air dan bahan baku untuk proses pertama pada masing-masing kondisi pemasakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Kebutuhan bahan kimia didasarkan pada jumlah alkali aktif dan *sulfidity* pada masing-masing kondisi pemasakan (Tabel 1). Perhitungan biaya bahan kimia dilakukan berdasarkan: harga NaOH 98% untuk

industri sebesar Rp.5.400/Kg, harga Na<sub>2</sub>S 60% untuk industri sebesar Rp.12.300/Kg (Anonim, 2011a) dan jumlah bahan baku untuk semua perlakuan yaitu 3038,98 ton *chip*/hari (BKT) (Dahlan *et al.*, 2010). Untuk produksi kedua dan seterusnya akan terjadi *recovery* bahan kimia yang digunakan (NaOH dan Na<sub>2</sub>S) yang didasarkan pada nilai konsumsi alkali masing-masing kondisi pemasakan (Tabel 3). Sehingga untuk produksi selanjutnya dibutuhkan biaya yang lebih kecil dari biaya produksi pertama.

Dalam penelitian ini, air dianggap sebagai barang ekonomi sehingga untuk mendapatkannya dibutuhkan biaya. Faktor penentu besarnya kebutuhan air pelarut adalah BKT *chip*, berat kering udara (BKU) *chip* dan rasio perbandingan antara air pelarut dan *chip* yaitu 4 : 1. Jumlah air yang dibutuhkan pada masing-masing kondisi *pulping* adalah sebanyak

Tabel 3. Nilai konsumsi alkali pada masing-masing kondisi *pulping* serta kualitasnya

Perlakuan	Ulangan			Konsumsi Alkali Rata-rata (%)	Kualitas*)
	1	2	3		
K	12.26	12.26	12.28	12.27	I
M1	15.07	14.99	15.03	15.03	I
M2	15.73	15.69	15.6	15.67	I
M3	14.82	14.78	14.99	14.86	I

\*) Berdasarkan Kelas Kualitas Kayu Daun Lebar sebagai Bahan Baku *pulp* Sulfat untuk *Pulp* dan Kertas dalam Vadameccum Kehutanan (1976)

Keterangan:

K = *pulping* batang dengan metode konvensional

M1 = *biopulping* serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan bahan kimia

M2 = *biopulping* serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan energi

M3 = *biopulping* serpih campuran batang dan limbah cabang dengan pengurangan bahan kimia dan energi

Tabel 4. Kebutuhan bahan kimia, air, dan bahan baku pada masing-masing kondisi *pulping*

Perlakuan <i>pulping</i>	Kebutuhan bahan kimia (ton)		Kebutuhan air (L)	Kebutuhan energi (kg/jam)	Kebutuhan bahan baku
K	NaOH	480,407	12.093.900	944,3	Batang : 6202 M <sup>3</sup>
	Na <sub>2</sub> S	255,071			
M1	NaOH	448,380	12.093.900	930,3	Batang : 5555,131 M <sup>3</sup> Cabang : 646,869 M <sup>3</sup>
	Na <sub>2</sub> S	178,550			
M2	NaOH	480,407	12.093.900	944,3	Batang : 5555,131 M <sup>3</sup> Cabang : 646,869 M <sup>3</sup>
	Na <sub>2</sub> S	255,071			
M3	NaOH	448,380	12.093.900	930,3	Batang : 5555,131 M <sup>3</sup> Cabang : 646,869 M <sup>3</sup>
	Na <sub>2</sub> S	178,550			

12.093.9001. Untuk menghitung biaya kebutuhan air diasumsikan bahwa harga air adalah Rp 500,00/l.

Dalam perhitungan biaya energi pemasakan diasumsikan bahwa bahan bakar yang digunakan adalah gas LPG untuk industri. Boiler yang digunakan jenis *water tube boiler* dengan kapasitas *steam* 12 ton/jam. Harga jual LPG Pertamina untuk industri (50kg) saat ini, yaitu Rp 7.355,00 per kilogram, efisiensi pembakaran + efisiensi *boiler* sebesar 80%, nilai kalor LPG : 45080 kJ/kg, panas laten air : 2250 kJ/kg, kapasitas panas air : 4,2 kJ/kg C, dan suhu awal air 30° C. Suhu uap air untuk pemasakan konvensional dan M1 adalah 170° C, untuk M2 dan M3 adalah 160° C. Waktu yang dibutuhkan untuk pemasakan konvensional dan M1 selama 210 menit dan untuk M2 serta M3 selama 180 menit. Dengan asumsi tersebut maka kebutuhan energi untuk masing-masing kondisi pemasakan adalah seperti pada Tabel 4.

Perhitungan biaya untuk proses *biopulping* untuk perlakuan M1, M2 dan M3, merujuk kepada hasil penelitian Scott *et al.* (1998), yaitu biaya operasional *biopulping* adalah sebesar \$ 8,78 per ton bahan baku. Dalam penelitian ini digunakan suku bunga 10%. Dari hasil perhitungan dan diasumsikan nilai tukar kurs dollar sebesar Rp.8.918/\$ (Anonim, 2011b), maka biaya *biopulping* pada modifikasi 1, 2 dan 3 adalah sebesar Rp. 873.214.435,00.

Harga tegakan *Acacia mangium* umur 7 tahun diasumsikan sebesar Rp.139.500,00/m<sup>3</sup>. Untuk metode konvensional bahan baku yang digunakan

adalah batang *Acacia mangium*. Sedangkan untuk metode modifikasi 1, 2, 3 selain batang juga digunakan cabang *A. mangium* sebanyak 10,43%. Jadi dari setiap total bahan baku yang digunakan pada metode modifikasi 1, 2 dan 3 terdapat 10,23% cabang *A. mangium*. Biaya kebutuhan bahan baku kayu yang digunakan masing-masing perlakuan (untuk 1 kali produksi) adalah sebesar Rp. 865.179.000,00 untuk metode konvensional dan Rp. 774.940.775,00 untuk metode modifikasi 1, 2, dan 3. Cabang ini biasanya hanya ditinggal saja di lokasi penebangan (menjadi limbah). Sehingga dengan penggunaan cabang sebanyak 10,43%, maka terjadi pengurangan biaya pembelian bahan baku untuk modifikasi 1, 2 dan 3. Seperti yang sudah dijelaskan pada metodologi, biaya transportasi dalam penelitian ini diabaikan.

Total biaya produksi pertama dari masing-masing kondisi *pulping* dapat dilihat pada Tabel 5 dan total biaya produksi kedua dan seterusnya dapat dilihat pada Tabel 6. Untuk biaya produksi tahun kedua dan seterusnya terjadi pengurangan biaya pembelian bahan kimia. Pengurangan ini sebanding dengan nilai konsumsi alkali pada masing masing kondisi pemasakan (Tabel 2). Konsumsi alkali adalah banyaknya alkali yang dikonsumsi oleh *chips* (BKT) selama proses pemasakan/*pulping*. Nilai ini dihitung/diperoleh dari *black liquor* (sisa cairan masak). Sisa bahan kimia setelah pemasakan adalah selisih antara bahan kimia awal dengan bahan kimia yang terkonsumsi (konsumsi alkali). Bahan kimia awal

Tabel 5. Total biaya produksi pertama dari masing-masing kondisi pemasakan

Kondisi Pemasakan	Biaya Produksi Pertama (Rp Juta)					Total
	Bahan Kimia	Energi	Jamur	Air	Kayu	
K	5.731,57	24,31	0	6.046,95	865,18	12.668,01
M1	4.617,42	24,31	873,21	6.046,95	774,95	12.336,83
M2	5.731,57	20,53	873,21	6.046,95	774,95	13.447,20
M3	4.617,42	20,53	873,21	6.046,95	774,95	12.333,05

dihitung berdasarkan alkali aktif dan *sulfidity* (yang telah ditetapkan) dan BKT material/kayu yang akan di-*pulping*. Untuk pemasakan kedua dan seterusnya, maka sisa bahan kimia di atas ditambah lagi dengan NaOH dan Na<sub>2</sub>S sampai mencapai persen alkali aktif dan *sulfidity* yang ditetapkan. Jumlah NaOH dan Na<sub>2</sub>S yang dibutuhkan untuk mencapai persen alkali aktif dan *sulfidity* yang ditetapkan dihitung berdasarkan BKT *chips* yang akan di-*pulping*. Karena jumlah riil NaOH dan Na<sub>2</sub>S yang disiapkan untuk pemasakan pertama maupun kedua dan seterusnya adalah sama maka konsumsi alkali antara pemasakan pertama, kedua dan seterusnya adalah sama. Kayu dan kondisi lainnya diasumsikan sama, maka *recovery* bahan kimia setelah pemasakan pertama, kedua, dan seterusnya akan relatif sama.

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa proses yang memiliki biaya bahan kimia harian tertinggi adalah proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 2 (pengurangan energi pemasakan). Hal ini disebabkan oleh tingginya nilai konsumsi alkali pada perlakuan tersebut sehingga bahan kimia yang dapat di-*recovery* lebih sedikit dibanding dengan

perlakuan lainnya. Biaya bahan kimia harian terendah yaitu proses *kraft* dengan kondisi pemasakan konvensional.

Setelah mengetahui biaya total maka dilakukan analisis ekonomi dengan menggunakan metode *Capitalized Cost*. Dalam perhitungan dengan menggunakan metode ini biaya-biaya yang ada diklasifikasikan menjadi ongkos awal dan deret seragam (*annual cost*). Ongkos awal diartikan sebagai besarnya biaya yang dikeluarkan diawal investasi dan dilakukan sekali sepanjang umur investasi, besarnya adalah selisih antara biaya bahan kimia produksi pertama dengan biaya bahan kimia harian. Deret seragam (*annual cost*) merupakan aliran kas yang memiliki besar yang sama tiap periode, yang merupakan total biaya bahan kimia harian, energi, jamur (*biopulping*), air dan kayu dalam satu tahun. Hasil perhitungan *capitalized cost* masing-masing kondisi pemasakan dapat dilihat pada Tabel 7.

Apabila *capitalized cost* masing-masing kondisi pemasakan dibandingkan dengan jumlah *pulp* yang dapat dihasilkan dalam 1 tahun produksi maka akan diperoleh data seperti Tabel 8. Dari Tabel 8 terlihat

Tabel 6. Total biaya produksi kedua dan seterusnya dari masing-masing kondisi pemasakan.

Kondisi Pemasakan	Biaya Produksi Kedua dan Seterusnya (Rp Juta)					
	Bahan Kimia	Energi	Jamur	Air	Kayu	Total
K	451,67	24,31	0	6.046,95	865,18	7.388,11
M1	470,97	24,31	873,21	6.046,95	774,95	8.190,39
M2	593,78	20,53	873,21	6.046,95	774,95	8.309,41
M3	465,65	20,53	873,21	6.046,95	774,95	8.181,28

Tabel 7. Hasil perhitungan *capitalized cost* pada masing-masing kondisi pemasakan

Kondisi Pemasakan	P	A	i	A/i	P + A/i
	(Ongkos Awal) (Rp M)	(Deret Seragam) (Rp M)		(Rp M)	(CC) (Rp M)
K	5,28	2.305,09	0,1	23.050,89	23.056,17
M1	4,15	2.555,40	0,1	25.554,00	25.558,15
M2	5,14	2.592,54	0,1	25.925,37	25.930,50
M3	4,15	2.552,56	0,1	25.525,59	25.529,74

bahwa kondisi pemasakan modifikasi 2 (pengurangan energi pemasakan) memiliki CC/ton *pulp* terkecil yaitu 54,87 juta rupiah/ton *pulp*, sedangkan untuk nilai yang terbesar yaitu modifikasi 1 sebesar 106,67 juta rupiah/ton *pulp*.

Dalam penelitian ini, proses *kraft* dengan kondisi pemasakan konvensional dijadikan sebagai pembandingan. Metode *kraft* dengan kondisi pemasakan konvensional memiliki *capitalized cost* sebesar 23.056,17 milyar rupiah. Bila dibandingkan dengan jumlah *pulp* yang dapat dihasilkan maka akan diperoleh nilai 56,60 juta rupiah/ton *pulp*. Proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 1 (M1, pengurangan bahan kimia) memiliki *capitalized cost* sebesar 25.558,15 milyar rupiah. Bila dibandingkan dengan jumlah *pulp* yang dapat dihasilkan maka akan diperoleh nilai 25.558,15 juta rupiah/ton *pulp*. Hal ini berarti proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 1 (M1) lebih tinggi biaya produksinya dibanding dengan proses *kraft* (K). Tingginya biaya produksi per ton *pulp* disebabkan rendahnya rendemen (selulosa) yang dihasilkan.

Proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 2 (M2, pengurangan energi pemasakan) memiliki *capitalized cost* sebesar 25.930,50 milyar rupiah. Sedangkan *capitalized cost/ton pulp* yaitu sebesar 54,87 juta rupiah. Bila dibandingkan dengan proses *kraft* (K) maka proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 2 memiliki biaya produksi per

ton *pulp* yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena rendemen *pulp* yang dihasilkan oleh proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 2 paling tinggi. Pada perlakuan ini, modifikasi hanya dilakukan dengan mengurangi energi pemasakan tanpa pengurangan pemakaian bahan kimia. Sehingga, lignin yang masih terkandung dalam *chip* kayu (sisa delignifikasi jamur) dapat dihilangkan oleh bahan kimia dengan lebih sempurna. Selain itu, pengurangan energi pemasakan juga berdampak pada berkurangnya degradasi selulosa yang tidak diharapkan.

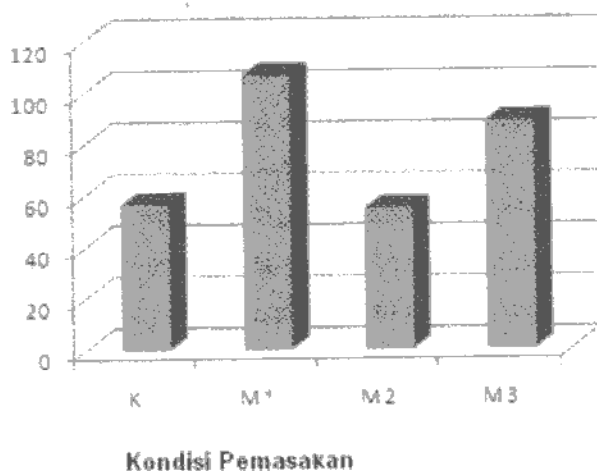
Proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 3 (M3, pengurangan bahan kimia dan energi pemasakan) memiliki *capitalized cost* sebesar 25.529,740 milyar rupiah. Bila dibandingkan dengan jumlah *pulp* yang dapat dihasilkan maka akan diperoleh nilai 88,69 juta rupiah/ton *pulp*. Bila dibandingkan dengan proses *kraft* (K), maka proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 3 memiliki biaya produksi per ton *pulp* yang lebih tinggi. Namun bila dibandingkan dengan modifikasi 1, maka perlakuan ini lebih murah karena rendemen yang dihasilkan lebih banyak. Pengurangan bahan kimia menyebabkan lignin yang masih tersisa dalam *chip* kayu tidak hilang secara sempurna sehingga selulosa yang didapat lebih sedikit. Namun dengan adanya pengurangan energi pemasakan maka degradasi selulosa dapat dikurangi.

Tabel 8. Perbandingan *capitalized cost/ton pulp* yang dihasilkan pada masing-masing kondisi pemasakan

Kondisi Pemasakan	Rendemen (%)	Bahan Baku (Ton)	Hari kerja	Bahan Baku 1 Tahun (Ton)	Pulp (Ton)	P + A/i (CC) (Rp M)	CC/Ton Pulp (Rp Juta/Ton)
K	42,96	3038,98	312	948161,76	407330,2921	23.056,17	56,60
M1	25,27	3038,98	312	948161,76	239600,4768	25.558,15	106,67
M2	49,84	3038,98	312	948161,76	472563,8212	25.930,50	54,87
M3	30,36	3038,98	312	948161,76	287861,9103	25.529,74	88,69



*Capitalized cost/ton pulp* yang dihasilkan dalam 1 tahun masing-masing kondisi pemasakan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari gambar 1, tampak perbedaan yang sangat jauh antara CC/ juta ton *pulp* M1 (modifikasi 1) dan M3 (modifikasi 3) terhadap K (pemasakan konvensional). Ini menunjukkan bahwa M1 dan M3 membutuhkan biaya produksi yang lebih tinggi untuk tiap juta ton *pulp* yang dihasilkan. Untuk M2 biaya produksi untuk tiap juta ton *pulp* yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan metoda konvensional (K), sehingga dapat disimpulkan bahwa proses *biokraft* dengan kondisi pemasakan modifikasi 2 secara ekonomi menguntungkan untuk diterapkan guna mengganti proses *kraft* dengan kondisi pemasakan konvensional.



Gambar 1. Perbandingan nilai *capitalized cost*/juta ton *pulp* yang dihasilkan dalam 1 tahun pada masing-masing kondisi pemasakan.

### KESIMPULAN

Dilihat dari rendemen dan kualitas *pulp* yang dihasilkan maka proses pemasakan *pulp* dengan pengurangan energi dan perlakuan awal pemberian jamur *P. chrysosporium* (M2) lebih baik dari perlakuan lain. Dari analisis ekonomi yang telah dilakukan metoda M2 ini lebih menguntungkan untuk diaplikasikan pada industri *pulp* karena

memiliki *capitalized cost* per ton *pulp* terkecil yaitu 56,60 juta rupiah/ton *pulp*.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional melalui DIPA Universitas Bengkulu tahun 2011, yang telah mendukung pembiayaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011a. Daftar harga bahan kimia, <http://indonrtwork.co.id/tohoma> (08-07-2011)
- Anonim. 2011b. Nilai tukar mata uang asing. [www.tempointeraktif.com](http://www.tempointeraktif.com). (06-10-2011)
- Dahlan, Hatta, Dimitri I, Roza N. 2010. *Pengolahan limbah cair PT TEL dengan kombinasi proses lumpur aktif dan media biofilter (briket arang dan arang aktif)*, Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Pasaribu RA & Silitonga T. 1974. *Pulp Campuran Kayu Daun Lebar dan Bambu*. Lembaga Penelitian Hasil Hutan. Dirjen Kehutanan. Departemen Pertanian. Bogor.
- Scott, Gary M, Masood A, Ross E. Swaney. 1998. Economic Evaluation Of Biopulping, *Proceeding on 7th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*.
- Siagian RM & Purba K. 1994. Uji coba pembuatan pulp dan kertas *Acacia mangium*. *Makalah Utama*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan. Cipayung, Mar 1994.
- Simatupang JC. 1999. *Pemanfaatan batang puar (Nicolaia speciosa, Horan) sebagai bahan baku substitusi untuk pulp dan kertas Kantong*. Skripsi. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Silsia D, Yahya R & Mucharromah. 2010. Optimasi biokraft jamur *P. chrysosporium* terhadap komponen kimia campuran batang dan limbah cabang *mangium* sebagai bahan baku pulp. *Jurnal Molekul* V(2).

- Silsia D, Yahya R & Mucharromah. 2011. Kualitas Limbah Cair Pulp Biokraft Campuran Batang Dan Limbah Cabang Mangium Pada Berbagai Kondisi Pemasakan, *Prosiding Semirata Bidang Ilmu Pertanian II*: 908-915.
- Supriadi B. 2002. Potensi Kayu Sisa Tebangan Berdiameter 4-8 cm serta Alternatif Pemanfaatannya. *Technical Notes*. (12)3. Research and Development HTI PT. Musi Hutan Persada.
- Yahya R, Mucharromah, Devi S. 2007. Pengaruh Pemberian Jamur *Phanerocochaeta chrysosporium* terhadap Perubahan Komponen Kimia Campuran Batang dan Limbah Cabang Mangium Sebagai Bahan Baku. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia (Indonesian Journal Of Agricultural Sciences)* Edisi Khusus Dies Natalis Ke 26 UNIB No.2 Hlm. 208-214.
- Vademekum Kehutanan.1976. Direktorat Jenderal Kehutanan. Jakarta.