

SIFAT PAPAN PARTIKEL DAUR ULANG RENDAH EMISI FORMALDEHIDA (*Properties of Low Emission Formaldehyde Recycled Particle board*)

Adi Santoso¹ & Gustan Pari¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu . 5, Bogor. 16610. Telp. (0251)-8633378, Fax. (0251)-8633413
e-mail: asanto10@yahoo.com

Diterima 5 Maret 2013, Disetujui 4 Februari 2015

ABSTRACT

Formaldehyde emission and physical-mechanical properties of particleboard bonded with urea formaldehyde (UF) could have negative effects on human health, specially when used in a room with limited ventilation. To reduce formaldehyde emission, an adsorbent can be added into adhesive mixture. This report describes the effect of imposing active charcoal into urea formaldehyde adhesive in terms of formaldehyde emission, physical-mechanical changes and economic aspect of the recycled particleboard. Results showed that the addition of active charcoal in particleboard production significantly changed the product properties. The charcoal addition as much as 3% to the UF adhesive could reduce formaldehyde emission and improve physical-mechanical properties of particleboard, and meet the Indonesian and Japanese Standards. The addition of active charcoal into particleboard is financially feasible.

Keywords: Recycled particleboard, formaldehyde emission, active charcoal, urea formaldehyde, financial aspect

ABSTRAK

Emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis dari papan partikel yang direkat dengan urea formaldehida (UF) dapat mengganggu kesehatan, terutama jika digunakan di dalam ruangan dengan ventilasi terbatas. Untuk mengurangi emisi formaldehida, dapat digunakan suatu adsorben ke dalam perekatnya. Dalam tulisan ini diuraikan pengaruh penggunaan arang aktif dalam campuran perekat urea formaldehida terhadap emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis papan partikel daur ulang serta aspek ekonominya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian arang aktif mempengaruhi emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis papan partikel. Aplikasi arang aktif sebanyak 3% pada perekat urea formaldehida mampu mengurangi emisi formaldehida dan meningkatkan sifat fisis-mekanis papan partikel serta memenuhi persyaratan standar Indonesia dan Jepang, dan layak secara finansial.

Kata kunci: Papan partikel daur ulang, emisi formaldehida, arang aktif, urea formaldehida, aspek finansial

I. PENDAHULUAN

Papan partikel merupakan produk panel kayu yang dibuat dengan menggunakan perekat urea formaldehida, dan menghasilkan sisa potongan produk yang relatif banyak. Potongan sisa ini merupakan limbah pabrik yang digunakan untuk

bahan bakar boiler. Perekat yang digunakan pada papan partikel ini menimbulkan emisi formaldehida yang berbahaya bagi kesehatan, apalagi pembakaran pada boiler akan meningkatkan emisi formaldehida yang berbahaya bagi operator dan lingkungan di sekitar pabrik. Limbah produk papan partikel mengandung

bahan kimia polimer organik yang berbahaya bagi kesehatan.

Hasil penelitian mengemukakan bahwa kandungan emisi formaldehida 0,1 ppm dapat menyebabkan gangguan kesehatan, dan pada konsentrasi tinggi dapat merusak fungsi paru serta menyebabkan kanker (Liteplo *et al.*, 2002; Rong, 2002; Dynea, 2005; dan CPSC, 2007).

Dalam menanggulangi emisi gas formaldehida dari produk, salah satu upaya yang dilakukan antara lain dengan membuat produk panel kayu secara non kimiawi yaitu dengan pencampuran arang aktif pada bahan baku panel (Santoso dan Pari, 2011) selain menggunakan komposisi perekat tertentu dengan penambahan bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan penangkap (Santoso dan Sutigno, 2004; Santoso *et al.*, 2005; Malik dan Santoso, 2006), yaitu dengan cara menurunkan perbandingan mol urea dengan formaldehida menjadi 1 : 1,1 atau menggunakan bahan kimia sebagai zat penangkapnya seperti urea, melamin, maupun campuran urea dengan melamin, serta garam-garam amonium seperti NH_4Cl dan NH_4OH .

Namun demikian upaya yang telah dilakukan seperti tersebut di atas masih menimbulkan kelemahan antara lain masih ada sifat-fisis mekanisnya yang menurun dan belum memenuhi persyaratan standar yang diinginkan, selain itu belum memecahkan masalah adanya limbah sisa potongan produksi papan partikel yang menurut hasil pantauan di lapangan dalam sehari bisa mencapai 6 ton (Santoso dan Pari, 2011).

Dalam tulisan ini dikemukakan teknologi reduksi emisi formaldehida produk panel kayu daur ulang yaitu dengan pencampuran arang aktif pada perekat urea formaldehida, dengan menggunakan bahan baku limbah partikel sisa produk. Logika penelitian adalah penangkapan formaldehida bebas dari perekat urea formaldehida oleh arang aktif sehingga berkurang, selanjutnya formaldehida

C. Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan faktor tunggal, di mana faktornya berupa kadar arang aktif dalam ramuan perekat urea formaldehida sebanyak (0, 1, 2 dan 3) %.

Pengujian sifat fisis-mekanis yang terdiri atas kadar air, kerapatan, keteguhan rekat internal, kuat pegang sekrup, keteguhan lentur (MOE), keteguhan patah (MOR), dan pengembangan tebal serta emisi formaldehida mengacu kepada BSN (2006) dan JSA (2003), serta konduktivitas dan daya serap papan partikel daur ulang terhadap beberapa jenis bahan kimia berbahaya seperti kloroform, aseton, benzena, hexana, premium, minyak tanah, etanol, asam asetat, HCl dan amoniak, dilakukan di Laboratorium Kimia dan Energi, dan Laboratorium produk majemuk Pusat

Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan (Pustekolah), Bogor. Selain itu dilakukan analisis kelayakan ekonomi dari pendirian industri papan partikel daur ulang dengan ramuan perekat UF yang mengandung arang aktif ini, menggunakan perhitungan sederhana yang terdiri atas analisis *Break Event Point* (BEP) dan kelayakan usaha dengan indikator investasi, yaitu *Net Present Value* (NPV), *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Internal Rate of Return* (IRR) (Effendi, 2001).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ikhtisar hasil pengukuran emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis dari papan partikel tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Emisi formaldehida dan sifat fisis-mekanis dari papan partikel *

Table 1. Formaldehyde emission and physical-mechanical properties of particle board

Kadar arang aktif, (<i>Activated charcoal content</i>), %	Parameter (<i>Parameter</i>)							Emisi formaldehid (<i>Formaldehyde emission</i>), mg/L
	KA (<i>Water content</i>), %	Kerapatan (<i>Density</i>), g/cm ³	IB (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	MOE (kg/cm ²)	Pengembangan Tebal (<i>Thickness swelling</i>) %	Kuat pegang Sekrup (<i>Screw holding</i>), Kg	
0	7,88 ^a	0,85 ^a	1,36 ^d	157,95 ^c	19.205 ^d	24,71 ^c	35,0 ^d	4,87 ^a
1	7,73 ^b	0,85 ^a	1,53 ^c	160,66 ^c	22.741 ^c	26,81 ^b	48,4 ^c	4,62 ^b
2	7,68 ^b	0,85 ^a	1,74 ^b	184,43 ^a	25.297 ^b	28,10 ^a	55,0 ^b	3,80 ^c
3	7,73 ^b	0,84 ^a	1,92 ^a	171,59 ^b	27.246 ^a	22,40 ^d	107,4 ^a	3,25 ^d
SNI (2006)	≤14	0,40 - 0,90	Tipe 8: 1,5 Tipe 13: 2 Tipe 18: 3,1	Tipe 8: 82 Tipe 13: 133 Tipe 18: 184	Tipe 8: 20400 Tipe 13: 25500 Tipe 18: 30600	Tipe 8: - Tipe 24-10 & 17,5-10,5 (t ≤12,7 mm): 25 Tipe 24-10 dan 17,5-10,5 (t >12,7 mm): 20	Tipe 8: 31 Tipe 13: 41 Tipe 18: 51	Tipe F****: 0,5 Tipe F***: 1,5 Tipe F**: 5

Keterangan (*Remarks*): *) Rata-rata dari 5x ulangan (*Average of 5 repetition*), MOE = *Modulus of Elasticity*, MOR = *Modulus of Rupture*, IB = Keteguhan rekat internal (*Internal Bond*), KA = Kadar Air (*Moisture content*), Huruf yang sama di belakang angka menyatakan tidak berbeda (*Same letter after number indicated that the values are not significantly different*).

A. Kadar Air dan Kerapatan

Kadar air papan partikel ditetapkan dengan metode oven. Nilai rata-rata penetapan kadar air papan partikel (Tabel 1) berkisar antara 7,68 - 7,88 %. Secara keseluruhan papan partikel daur

ulang ini memenuhi persyaratan standar Jepang dan Indonesia, karena nilainya kurang dari 14 % (BSN, 2006; JSA, 2003). Menurut hasil sidik ragam, pencampuran arang aktif ke dalam perekat UF berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air papan partikel daur ulang dibanding tanpa arang

aktif. Kadar air produk yang menggunakan arang aktif sebanyak 1-3 % satu sama lain tidak berbeda nyata.

Kerapatan papan partikel rata-rata berkisar antara 0,84-0,85 g/cm³ (Tabel 1). Secara keseluruhan papan partikel yang dibuat ini tergolong papan partikel berkerapatan sedang karena nilainya antara 0,4-0,9 g/cm³ (BSN, 2000; 2006, JSA, 2003). Secara statistik produk yang dibuat memiliki kerapatan yang seragam.

B. Keteguhan Rekat Internal dan Pengembangan Tebal

Keteguhan rekat internal atau dikenal juga dengan keteguhan tarik tegak lurus permukaan papan partikel, dimaksudkan untuk mengetahui kualitas perekat yang digunakan dalam mengikat adheren. Nilai rata-rata nilai keteguhan rekat internal papan partikel daur ulang berkisar antara 1,36-1,92 kg/cm² (Tabel 1), hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya di mana papan partikel dibuat dengan perekat UF yang dicampur dengan arang aktif yang memiliki nilai keteguhan rekat internal papan partikel 1,84-3,07 kg/cm² (Santoso dan Pari, 2011). Namun demikian, keteguhan rekat internal papan partikel dalam penelitian ini seluruhnya memenuhi persyaratan standar Jepang maupun Indonesia, karena nilainya > 1,5 kg/cm² (BSN, 2006; JSA, 2003).

Menurut hasil sidik ragam, penggunaan arang aktif berpengaruh sangat nyata terhadap keteguhan rekat internal papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, perlakuan terbaik dicapai pada papan yang menggunakan campuran UF dengan arang aktif sebanyak 3% dengan nilai keteguhan rekat internal 1,92 kg/cm², sementara penelitian pada terdahulu menunjukkan bahwa perlakuan terbaik dicapai pada papan partikel yang menggunakan campuran perekat UF dengan arang aktif sebanyak 0,5-1,5 %, dengan nilai keteguhan rekat internal 3,0-3,07 kg/cm² (Santoso dan Pari, 2011). Rendahnya keteguhan rekat internal produk ini kemungkinan disebabkan keberadaan arang aktif yang bersifat kurang polar dibanding partikel kayu dan perekat UF mengakibatkan berkurangnya ikatan antara perekat dengan partikel kayu, selain itu, partikel limbah yang digunakan masih terselimuti oleh perekat UF yang mengeras sehingga ikatan

antara ramuan perekat dengan partikel tidak maksimal.

Pengujian pengembangan tebal papan partikel setelah direndam dalam air dingin selama 24 jam dalam air dingin pada suhu kamar dimaksudkan untuk memenuhi kualitas perekat yang digunakan dan ketahanan produk tersebut terhadap kelembaban lingkungan. Nilai rata-rata pengembangan papan partikel daur ulang ini berkisar 22,40-28,10 % (Tabel 1), hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya di mana papan partikel dibuat dengan perekat UF yang dicampur dengan arang aktif memiliki nilai pengembangan tebal 27,96-48,20 % (Santoso dan Pari, 2011). Di dalam standar Indonesia (BSN, 2006), untuk papan partikel tipe 8 (atau tipe U menurut standar Jepang), yakni yang menggunakan perekat UF, pengembangan tebal papan partikel tidak dipersyaratkan, akan tetapi dalam BSN (2006) disyaratkan bahwa untuk papan partikel yang memiliki ketebalan ≤12,7 mm, pengembangan tebalnya maksimal 25 %. Dengan demikian produk daur ulang yang memenuhi syarat adalah yang menggunakan kadar arang aktif sebanyak 3% dalam perekat UF cairnya.

Menurut hasil sidik ragam, pemakaian arang aktif dalam perekat UF berpengaruh sangat nyata terhadap pengembangan tebal papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, pengembangan tebal terbaik dicapai pada papan partikel daur ulang yang menggunakan campuran arang aktif sebanyak 3% dalam perekat UF cairnya.

C. Keteguhan Patah dan Lentur

Keteguhan patah (*Modulus of rupture, MOR*) merupakan nilai yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh suatu beban persatuan luas sampai bahan tersebut patah (Haygreen dan Bowyer, 1993). Nilai rata-rata keteguhan patah papan partikel daur ulang ini berkisar 157,95-171,59 kg/cm² (Tabel 1). Nilai keteguhan patah papan partikel dalam penelitian ini seluruhnya memenuhi persyaratan standar Jepang (JSA, 2003) dan Indonesia (BSN, 2006) karena > 82 kg/cm² (tipe 8), dan > 133 kg/cm² (tipe 13). Kualitas keteguhan patah papan partikel ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian tahap 1 yang rata-rata mencapai 84,51-79,67 kg/cm² (Santoso dan Pari, 2011).

Menurut hasil sidik ragam, pemakaian arang

aktif dalam perekat UF berpengaruh sangat nyata terhadap keteguhan patah papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, keteguhan patah terbaik dicapai pada papan yang menggunakan campuran arang aktif sebanyak 3% dengan nilai keteguhan patah sebesar $171,59 \text{ kg/cm}^2$, sementara pada penelitian terdahulu yang terbaik adalah papan partikel yang menggunakan campuran perekat UF dengan arang aktif sebanyak 1,5% dengan nilai keteguhan patah $179,67 \text{ kg/cm}^2$.

Keteguhan lentur (*Modulus of elasticity/MOE*) merupakan ukuran kemampuan suatu bahan atau material untuk mempertahankan perubahan bentuk akibat beban yang mengenainya. Nilai rata-rata keteguhan lentur papan partikel daur ulang ini berkisar antara $19.205\text{-}27.246 \text{ kg/cm}^2$ (Tabel 3). Papan yang menggunakan limbah partikel dengan campuran arang aktif 1-3 % dalam perekat UF seluruhnya memenuhi persyaratan standar Jepang dan Indonesia, karena nilai MOE-nya $> 20.400 \text{ kg/cm}^2$ (BSN, 2000; JSA, 2003) dan $> 20.400 \text{ kg/cm}^2$ (BSN, 2006). Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya dengan MOE: $155,8\text{-}2.731 \text{ kg/cm}^2$ (Santoso dan Pari, 2011), keteguhan lentur papan partikel daur ulang ini jauh lebih tinggi. Keberadaan arang aktif dalam perekat UF dan adanya lapisan perekat UF pada limbah partikel bahan baku mampu meningkatkan keteguhan lentur papan partikel daur ulang tipe 8 ini menjadi setara dengan tipe 13 (BSN, 2006).

Menurut hasil sidik ragam, peramuan arang aktif dalam perekat UF sangat berpengaruh nyata terhadap keteguhan lentur papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, keteguhan lentur terbaik dicapai pada papan yang menggunakan campuran UF dengan arang aktif 3%, dengan nilai keteguhan lentur 27.246 kg/cm^2 .

D. Kuat Pegang Sekrup

Uji kuat pegang sekrup (BSN, 2006) menggambarkan kemampuan papan partikel untuk menahan sekrup dengan ukuran tertentu. Parameter ini berlaku bagi papan partikel yang memiliki ketebalan minimal 1,5 cm. Rata-rata kuat pegang sekrup papan partikel daur ulang ini $35,0\text{-}107,4 \text{ kg}$ (Tabel 1). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian tahap 1 yang rata-rata mencapai $51,14\text{-}80,87 \text{ kg}$ (Santoso dan

Pari, 2011). Tingginya nilai ikatan antara ramuan perekat yang mengandung arang aktif dengan limbah partikel disebabkan masih adanya lapisan perekat dalam partikel. Pemakaian ramuan perekat yang mengandung arang aktif mampu meningkatkan kualitas kuat pegang sekrup papan partikel dari tipe 8 sampai ke tipe 18 menurut persyaratan standar Jepang (JSA, 2003) dan Indonesia (BSN, 2006).

Menurut hasil sidik ragam, pemakaian arang aktif dalam perekat UF berpengaruh sangat nyata terhadap kuat pegang sekrup papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, kuat pegang sekrup terbaik dicapai pada papan partikel yang menggunakan campuran arang aktif sebanyak 3 % dengan nilai kuat pegang sekrup sebesar $107,4 \text{ kg}$. Sementara pada penelitian tahap 1, nilai kuat pegang sekrup terbaik dicapai pada papan partikel yang menggunakan campuran perekat dengan arang aktif sebanyak 2% dengan nilai kuat pegang sekrup $80,87 \text{ kg}$ (Santoso dan Pari, 2011).

E. Emisi Formaldehida

Salah satu sifat yang kurang disukai dari perekat yang mengandung formaldehida adalah emisi formaldehida dari produk perekatannya, karena dalam jumlah tertentu dapat mengganggu kesehatan (Roffael *et al.*, 1993). Berkenaan dengan hal tersebut, maka emisi formaldehida dari papan partikel perlu diuji, guna mengetahui tingkat keamanannya. Nilai rata-rata emisi formaldehida papan partikel daur ulang ini berkisar antara $3,25\text{-}4,87 \text{ mg/L}$ (Tabel 1). Sebagian besar papan partikel yang diteliti memiliki emisi formaldehida kategori E2 menurut standar Jepang (maks. 5 mg/L , JSA, 2003) atau tipe F** (BSN, 2006). Pencampuran arang aktif ke dalam perekat UF sebanyak 3% mampu menurunkan emisi formaldehida papan partikel sampai 33%.

Menurut hasil sidik ragam, peramuan arang aktif ke dalam perekat UF berpengaruh sangat nyata terhadap emisi formaldehida papan partikel daur ulang. Berdasarkan hasil uji beda, emisi formaldehida terbaik dicapai pada papan partikel daur ulang yang menggunakan campuran arang aktif ke dalam perekat UF sebanyak 3% dengan nilai emisi formaldehida $3,25 \text{ mg/L}$. Sementara pada penelitian sebelumnya, emisi formaldehida terbaik dicapai pada papan partikel yang menggunakan campuran perekat UF dengan

arang aktif sebanyak 2%, dengan nilai emisi formaldehida 0,39 mg/L (Santoso dan Pari, 2011), sehingga tergolong papan partikel dengan katagori E₀ (maks. 0,5 mg/L, JSA 2003). Rendahnya kemampuan reduksi ramuan perekat UF dengan arang aktif ini dikarenakan partikel limbah yang digunakan sebagai bahan baku masih

diselimuti oleh perekat UF.

Berdasarkan pada uraian di atas secara garis besar perbandingan karakteristik papan partikel terbaik hasil penelitian pada tahun 2010 (Santoso dan Pari, 2011) dengan hasil penelitian ini dapat dikemukakan seperti pada Tabel 2 di bawah ini:

Dibandingkan dengan hasil penelitian

Tabel 2. Perbandingan karakteristk papan partikel rendah emisi^{*)}

Table 2. Comparison on low emission on particleboard characteristics^{*)}

Sifat(<i>Properties</i>)	Tahun(<i>Year</i>) 2010	Tahun(<i>Year</i>) 2012
Kadar air (<i>Water content</i>), %	4,95	7,73
Kerapatan (<i>Density</i>), g/cm ³	0,73	0,84
Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i>), %	31,21 ^{**})	22,40
Keteguhan rekat internal (<i>Internal Bond</i>), kg/cm ²	2,42	1,92
Keteguhan lentur (<i>Modulus of Elasticity</i>), kg/cm ²	1.431 ^{**})	27.246
Keteguhan patah (<i>Modulus of Rupture</i>), kg/cm ²	84,51	171,59
Kuat pegang sekrup (<i>Screw holding</i>), kg	57,75	107,4
Emisi formaldehida (<i>Formaldehyde emission</i>), mg/L	0,39	3,25
Bahan baku (<i>Raw material</i>)	Partikel kayu karet (<i>Rubberwood particles</i>)	Partikel daur ulang (<i>Recycled particles</i>)
Tipe produk (<i>Product type</i>)	8	8,13, 18

Keterangan (Remarks): ^{*)}Rata-rata dari 5x ulangan (*Average of 5 repetition*), ^{**}Tidak memenuhi syarat (*Does not meet the Standard*)
Sumber (Source): ^{***} Santoso dan Pari (2010)

terdahulu (Santoso dan Pari, 2011), teknologi pembuatan papan partikel daur ulang rendah emisi ini lebih baik karena walaupun produknya masih tergolong E₂, namun produk daur ulang ini memiliki keunggulan dalam hal sifat mekanisnya yang selain memenuhi persyaratan, juga meningkatnya kelas produk, yaitu dari tipe 8 menjadi setara dengan tipe 13 bahkan tipe 18. Sementara papan partikel produk penelitian pada sebelumnya yang menggunakan bahan baku partikel karet meskipun tergolong E₀ - E₂, tetapi keteguhan lenturnya tidak memenuhi persyaratan.

F. Daya Serap Papan Partikel Daur Ulang terhadap Gas dari Bahan Kimia Berbahaya

Daya serap papan partikel daur ulang tanpa arang aktif dalam perekat UF (kontrol) terhadap gas/uap dari pelarut organik secara statistik sangat berbeda nyata dibanding dengan produk

yang sama yang menggunakan ramuan perekat UF dan arang aktif (Tabel 3), peningkatan daya serap produk daur ulang tersebut secara signifikan terhadap uap/gas kloroform (44,26%), etanol (48,53%), aseton (18,58%), benzena (65,97%), dan heksana (48,81%), sementara peningkatan daya serap terhadap gas/uap bahan bakar minyak (BBM) rata-rata 23,36% (premium) dan 75,56% (minyak tanah).

Hasil penelitian ini juga menunjukkan peningkatan daya serap produk daur ulang terhadap asam lemah (asam asetat: 23%), asam kuat (HCl: 25,82%), dan basa lemah (NH₄OH: 54,30%), sementara terhadap basa kuat (NaOH) hanya 8,55%.

Berdasarkan data tersebut dapat dikemukakan bahwa papan partikel daur ulang ini mampu menyerap gas/uap beberapa jenis bahan kimia berbahaya sehingga ramah lingkungan.

G. Konduktivitas Papan Partikel Daur Ulang

Tabel 3. Konduktivitas (W/mK) dan daya serap papan partikel daur ulang (%) terhadap bahan kimia^{*}

Table 3. Conductivity (W/mK) and absorption (%) of the recycle particleboard against chemical^{*}

Daya serap terhadap (Absorption against)	Kadar arang aktif (<i>Activated charcoal content</i>), %				Peningkatan (Increase), %
	0	1	2	3	
Chloroform 99,4 %	11,50 ^d	12,49 ^c	14,34 ^b	16,59 ^a	44,26
Ethanol 99,9 %	3,40 ^d	4,43 ^c	4,93 ^b	5,05 ^a	48,53
Acetone 99,8 %	7,32 ^d	8,11 ^c	8,57 ^b	8,99 ^a	18,58
Benzene 99,7 %	3,35 ^d	3,51 ^c	4,53 ^b	5,56 ^a	65,97
n-hexane 99%	5,06 ^d	5,35 ^c	5,57 ^b	7,53 ^a	48,81
Premium	2,44 ^d	2,57 ^c	2,80 ^b	3,01 ^a	23,36
Minyak tanah (<i>Carosene</i>)	2,25 ^d	2,83 ^c	3,26 ^b	3,95 ^a	75,56
Acetic acid 99%	4,00 ^d	4,07 ^c	4,27 ^b	4,92 ^a	23,00
HCl 4N	3,06 ^c	3,31 ^b	3,40 ^b	3,85 ^a	25,82
NH ₄ OH 25%	4,88 ^d	6,16 ^c	6,5b ^b	7,53 ^a	54,30
NaOH 5N	3,51 ^c	3,67 ^b	3,76 ^b	3,81 ^a	8,55
Conductivity	0,108 ^c	0,087 ^b	0,080 ^{ab}	0,074 ^a	31,48

Keterangan (Remarks): ^{*}Rata-rata dari 5x ulangan (*Average of 5 repetition*)

Pengujian papan partikel daur ulang terhadap konduktivitas termal (Tabel 3), ditujukan untuk mendapatkan daya hantar panas/listrik produk tersebut akibat penggunaan ramuan perekat yang mengandung arang aktif. Penambahan arang aktif pada perekat UF memberikan pengaruh yang positif terhadap nilai konduktivitas termal papan partikel daur ulang, di mana peningkatan kadar arang aktif dalam ramuan perekat UF menurunkan konduktivitas termal papan secara sangat nyata (31,48%) yakni dari 0,108 W/mK menjadi 0,079 W/mK.

Menurunnya nilai konduktivitas termal dari produk daur ulang dibandingkan dengan kontrol mengindikasikan bahwa arang aktif didominasi oleh muatan positif. Menurut Wibowo *et al.* (2008), papan partikel yang konduktivitas termalnya rendah adalah papan partikel yang baik

sebagai penghambat panas (isolator) dan sebaliknya apabila nilai konduktivitas termalnya tinggi tidak dapat menghambat panas (konduktor).

H. Analisis Finansial

Untuk mengetahui kelayakan produksi papan partikel yang menggunakan campuran arang aktif dalam perekatnya dilakukan analisis finansial secara sederhana (Effendi, 2001). Biaya komponen produksi 1m² papan partikel daur ulang ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan biaya produksi, pajak dan penerimaan selama 5 tahun disajikan pada Tabel 5.

Hasil analisis kajian finansil menunjukkan bahwa industri papan partikel rendah emisi yang menggunakan bahan baku limbah partikel

Tabel 4. Biaya komponen produksi 1 m³ papan partikel daur ulang
Table 4. Component cost for 1 m³ production of recycled particleboard

No.	Uraian (Descriptions)	Satuan (Unit)	Cost Ratio	Rp/Satuan (Unit)	Total (x Rp.1000,-)
1.	Kayu karet (<i>Rubberwood</i>)	m ³	3	200,-/kg	750
2.	Solar (<i>Diessel oil</i>)	liter	3	11.000,-	33
3.	Listrik (<i>Electricity</i>)	kwh	185	1.200,-	222
4.	Amonia (<i>Ammonia</i>)	liter	0,2	4.000,-	0,8
5.	Parafin (<i>Paraffine</i>)	kg	1	8.000,-	8
6.	Arang aktif (<i>Active charcoal</i>)	kg	37,5	15.000,-/kg	562,5
7.	Perekat UF (<i>UF glue</i>)	kg	142	3.000,-/kg	426
8.	Asam stearat (<i>Stearic acid</i>)	kg	0,2	9.000,-/kg	1,8
9.	NH ₄ Cl (<i>Ammonium chloride</i>)	kg	1,6	3.500,-/kg	5,6
10.	Ampelas (<i>Sander</i>)	lbr	600	34.000/lbr	34
11.	Pisau flaker (<i>Flaker knife</i>)	buah	0,06	120.000,-	7,2
Total					2.050.900,-

industri dengan ramuan perekat UF mengandung arang aktif layak untuk didirikan.

Biaya overhead
 (1% x biaya produksi) = Rp. 20.509,-
 Biaya variabel = Rp. 2.071.409,-
 Biaya tenaga kerja = Rp. 163.800.000,-
 Biaya pemeliharaan alat = Rp. 360.000.000,-
 Biaya tetap = Rp. 523.800.000,-

Penjualan akan mencapai titik impas produksi (BEP) = 1.594 m³/tahun

Pendapatan per tahun (kapasitas produksi 4.100 m³) = Rp. 9.840.000.000,-

Profil industri papan partikel daur ulang:

1. Jenis bahan baku : limbah papan partikel
2. Kapasitas terpasang : 5.000 m³
3. Kapasitas produksi : 4.100 m³
4. Jumlah shift : 3 shift/hari
5. Lama pembuatan : 24 jam (kontinyu)

Total biaya *variable* untuk produksi 8.250 m³ :
 Rp. 5.075.977.500,-/thn

Hasil kelayakan finansial:

Tabel 5. Biaya produksi, pajak dan penerimaan selama 5 tahun
(Table 5. Production cost, tax and revenue for 5 years)

Tahun ke- (years)	Biaya produksi (Production cost) (x Rp. 10 ⁶)	Pajak (Tax), %		Penerimaan (Revenue) (x Rp. 10 ⁶)		
		20	25	60%	80%	100%
1	5.076 + 3.000	9.691	10.095	4.920		
2	5.076	7.309	7.931	4.920		
3	5.076	8.771	9.914		9.840	
4	5.076	10.525	12.392		9.840	
5	5.076	12.631	15.490			19.680
Jumlah (Total)		48.927	55.822			49.200

1. *Net Present Value* (NPV) tahun ke-5 pajak (20%) = Rp. 3.273.000.000,-
NPV tahun ke-5 pajak (25%) = Rp. 3.622.000.000,-
Internal Rate of Return (IRR) = 20,47%
2. *Net Benefit Cost Ratio* (Net B/C)
Tahun 3 dan 4, Net B/C = 0,65
Tahun ke-5, Net B/C = 1,98
3. *Rate of Investment* (ROI)
Produksi 80%, ROI = 25,97%
Produksi 100%, ROI = 65,24%
Jangka pengembalian modal layak pada produksi 100% karena nilainya > dari bunga bank
4. *Pay Back Periode* (PBP) = 4,1 tahun

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas disimpulkan bahwa pencampuran arang aktif ke dalam perekat urea formaldehida mampu mereduksi emisi formaldehida sekaligus meningkatkan kualitas produk dengan sangat nyata terhadap kualitas papan partikel.

Penggunaan perekat tersebut pada papan partikel daur ulang, mampu menurunkan emisi formaldehida sebesar 33 %, dan kelas produk meningkat dari tipe 8 menjadi setara dengan tipe 18. Selain itu papan partikel meningkat kemampuannya dalam menyerap gas/uap beberapa jenis bahan kimia berbahaya.

B. Saran

Papan partikel daur ulang yang dibuat dengan perekat yang dicampur arang aktif merupakan produk ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai dinding penyekat isolator terhadap rambat panas/listrik.

Berdasarkan hasil kegiatan finansial, bahwa industri papan partikel rendah emisi yang menggunakan bahan baku limbah partikel industri dengan ramuan perekat UF mengandung arang aktif prospektif untuk didirikan.

CPSC.(1997). An update on formaldehyde: 1997. Revision. <http://www.cpsc.gov>. [27 Maret 2007].

Badan Standardisasi Nasional. (2000). Papan partikel. Standard Nasional Indonesia (SNI 03-210502000). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional

Badan Standardisasi Nasional. (2006). Papan Partikel. Standard Nasional Indonesia (SNI 03-2105-2006). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Dynea. (2005). Resin for ultra low formaldehyde emission according to the Japanese F**** quality. San Diego: Manfred Dunky.

Effendi, R. (2001). Kajian tekno-ekonomi industri MDF (Medium Density Fiberboard). *Info SosialEkonomi*. 2 (2), 103-112.

Haygreen, J.G & Bowyer, J.L. 1996. *Hasil Hutan dan Ilmu Kayu: Suatu Pengantar* (terjemahan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Japan Industrial Standard [JIS]. (2003). Particleboard. JIS A 5908. Tokyo : Japanese Standards Association.

Liteplo, R.G., Beauchamp R., Meek M.E. & Chenier R. (2002). Formaldehyde. Concise International Chemical Assessment Document 40. Geneva: WHO.

Malik J. & A Santoso. (2006). Emisi formaldehida kayu lamina dari tiga jenis kayu hutan tanaman dengan perekat tanin, lignin dan fenol. *Jurnal Nusa Kimia* 6(1): 34-39.

Roffael, E, (1993). Translated from German text and edited by K. C. Khoo, M. P. Koh & C.L. Ong. Formaldehyde Release From Particle Board and Other Wood Based Panel, Malaysia : Forest Research Institute Malaysia (FIRM) with technical assistance from Malaysia-German Forest West

DAFTAR PUSTAKA

- behavior for formaldehyde. *Carbon* 40: 2291-2300.
- Santoso, A. & Sutigno, P. (2004). Pengaruh fumigasi amonium hidroksida terhadap emisi formaldehida kayu lapis dan papan partikel. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 22(1), 9 - 16.
- Santoso, A., Hadi, YS. & Sutigno P. (2005). Pengaruh fumigasi dan penyemprotan amonia terhadap emisi formaldehida pada kayu lapis dan papan partikel. *Jurnal Nusa Kimia* 5(2), 36 - 41.
- Santoso, A. & Pari, G. (2011). Teknik pencampur-an arang aktif pada ramuan perekat urea formaldehida. Laporan Hasil Penelitian. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Sudjana. (2002). Desain dan Analisis Eksperimen. Bandung: Tarsito.
- Wibowo, H., Khairul, M., Toto, R. & Ellyawan, A. (2008). Konduktivitas Termal Papan Partikel Sekam Padi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*. Vol.1.