

**SIFAT FISIK DAN MEKANIK PAPAN PARTIKEL
DARI BUNGKIL BIJI JARAK PAGAR**

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLE BOARD
FROM CAKE OF JATROPHA SEED**

Ika Amalia Kartika^{1)*}, Farah Fahma¹⁾, Mohamad Yani¹⁾, Dede Hermawan²⁾

¹⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002
E-mail: ikatk@yahoo.com

²⁾Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB
Jl. Lingkar Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ABSTRACT

The cake of jatropha seed is a by-product from production of jatropha oil and biodiesel. It is a potential material for particle board because of high contents of protein (18%) and fiber (39%). The purpose of this study were to determine the physical and mechanical properties of the particle board produced from the cake of jatropha seed and to investigate the effect of the variation level of the cake moisture contents (7%, 20%), glycerol concentrations (0%, 4%) and steaming times (0, 30, 60 min) to the quality of the particle board. The physical and mechanical properties of the particle board were examined by using JIS A 5908-2003. The results show that the cake moisture content, glycerol concentration and steaming time affected the physical and mechanical properties of the particleboard. The cake moisture content significantly improved the quality of particle board. For the two levels of cake moisture content tested, an increase of cake moisture content increased density, modulus of elasticity and modulus of rupture of particle board, and decreased its water absorption. Most of the physical and mechanical properties of the jatropha seed cake particle board obtained in this study had not met JIS A 5908-2003 and had not been appropriate to be used as a construction material.

Keywords: particle board, cake, jatropha seed, modulus of elasticity, modulus of rupture

ABSTRAK

Bungkil biji jarak pagar adalah salah satu produk samping (*by-product*) dari pengolahan biji jarak pagar menjadi minyak jarak dan biodiesel, yang saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagai *by-product* dengan kandungan protein (18%) dan serat (39%) yang tinggi, bungkil biji jarak pagar memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik papan partikel yang diproduksi dari bungkil biji jarak pagar, dan mengetahui pengaruh perlakuan variasi kadar air bungkil (7%, 20%), konsentrasi gliserol (0%, 4%) dan waktu pengukusan bungkil (0, 30, 60 menit) terhadap mutu papan partikel. Adapun standar pengujian yang digunakan adalah JIS A 5908-2003. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air bungkil, konsentrasi gliserol dan waktu pengukusan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel. Namun demikian, hanya peningkatan kadar air bungkil yang berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan mutu papan partikel. Pada 2 taraf kadar air bungkil yang diuji dalam studi ini, semakin tinggi kadar air bungkil, kerapatan, kekuatan lentur dan keteguhan patah papan partikel semakin meningkat, sedangkan daya serap airnya cenderung menurun. Sifat fisik dan mekanik papan partikel dari bungkil biji jarak pagar secara umum belum memenuhi standar JIS A 5908-2003 dan belum sesuai untuk pemanfaatannya sebagai material konstruksi.

Kata kunci: papan partikel, bungkil, jarak pagar, kekuatan lentur, keteguhan patah

PENDAHULUAN

Permintaan papan partikel dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan papan partikel di berbagai sektor terutama sektor perumahan, bangunan dan *furniture*. Papan partikel pada umumnya diproduksi dari partikel kayu atau bahan berserat lainnya yang diikat dengan perekat organik atau sintesis (Maloney, 1993). Industri papan partikel umumnya menggunakan urea formaldehida (UF) atau fenol formaldehida (PF) sebagai perekat dalam pembuatannya.

Dengan semakin terbatas dan tingginya harga kayu, saat ini bahan baku untuk memproduksi papan partikel tidak sebatas dari kayu ataupun limbah kayu. Pemanfaatan bahan berlignoselulosa lainnya terutama bahan-bahan yang dianggap limbah maupun hasil ikutan (*by product*) telah banyak dikembangkan sebagai bahan baku papan partikel, contohnya seperti dari tandan kosong kelapa sawit (Hashim *et al.*, 2010; Hashim *et al.*, 2011a,b; Baskaran *et al.*, 2012), jerami gandum (Mo *et al.*, 2001; Mo *et al.*, 2003), sekam padi (Ciannamea *et al.*, 2010), bungkil tanaman bunga matahari (Evon *et al.*, 2010), sabut kelapa (van Dam *et al.*, 2004a,b), dan lain-lain. Selain itu, isu pencemaran lingkungan

dan gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh emisi formaldehida telah mendorong penggunaan bahan-bahan organik sebagai perekat dalam pembuatan papan partikel. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa protein dari berbagai jenis tanaman sangat potensial dimanfaatkan sebagai perekat papan partikel, contohnya seperti protein biji pea (Gueguen *et al.*, 1998), protein biji bunga matahari (Rouilly *et al.*, 2006), protein kedelai (Mo *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2002; Mo *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2009; Ciannamea *et al.* 2010), protein biji jarak pagar (Lestari *et al.*, 2011; Diebel *et al.*, 2012), protein gandum (Cho *et al.*, 2011), dan lain-lain.

Studi tentang pembuatan papan partikel dari serat kayu dengan perekat protein kedelai (Li *et al.*, 2009) menunjukkan bahwa kadar air bahan baku, suhu dan waktu pengempaan berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan fisik dan mekanik papan partikel yang dihasilkan. Kondisi operasi optimum untuk pembuatan papan partikel diperoleh pada kadar air bahan baku sebesar 35%, suhu pengempaan antara 192-200°C dan waktu pengempaan antara 13-14,5 menit. Pada kondisi operasi tersebut, papan partikel yang dihasilkan mempunyai kerapatan 0,8 g/cm³, MOR 33,7 MPa, MOE 2847 MPa, pengembangan tebal dan penyerapan air masing-masing 23,9% dan 64,3%. Lebih lanjut studi tentang pembuatan papan partikel dari bungkil tanaman bunga matahari dengan kadar serat 59% dan kadar protein 7%, yang merupakan *by product* dari proses ekstraksi minyak bunga matahari (Evon *et al.*, 2010), menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, tekanan dan waktu pengempaan kekuatan mekanik papan partikel yang dihasilkan semakin baik. MOR (*modulus of rupture*) dan MOE (*modulus of elasticity*) papan partikel maksimum, yaitu 11,3-11,5 MPa dan 2,11-2,22 GPa, diperoleh pada kondisi proses suhu pengempaan 180-200°C, tekanan pengempaan 320 kg/cm², dan waktu pengempaan 60 detik. Pemanfaatan selanjutnya bungkil hasil ekstraksi minyak bunga matahari menunjukkan bahwa bungkil biji bunga matahari dengan kandungan protein (36%) dan serat tinggi (37%) dapat dimanfaatkan untuk pembuatan biokomposit (*injection-moldable composite material*) dengan sifat-sifat mekanik (MOR) yang sangat baik (27-37 MPa) dan penyerapan air maksimum 60%, tanpa perlakuan penambahan bahan aditif dan perekat (Rouilly *et al.*, 2006).

Berdasarkan hasil studi tersebut, bungkil biji jarak pagar memiliki potensi dan peluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan papan partikel tanpa perekat sintesis dengan memanfaatkan protein yang terkandung didalamnya sebagai bahan perekat alami, serta kandungan seratnya dapat dipakai untuk mensubstitusi serat kayu. Bungkil biji jarak pagar mengandung 59,1% protein, 17,9% total NDF (*Neutral Detergent Fiber*) – ADF (*Acid Detergent Fiber*) dan 1,7% lignin (Martin *et al.*, 2010). Selama ini bungkil biji jarak pagar belum

dimanfaatkan secara optimal sehingga nilai tambahnya masih rendah. Beberapa pemanfaatan yang telah dilakukan antara lain untuk pupuk organik (Rivaie, 2006), pupuk kompos (Hariani, 2010), pakan ternak (Wina *et al.*, 2010), dan bahan campuran biobriket (Budiman *et al.*, 2010).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik papan partikel yang diproduksi dari bungkil biji jarak pagar, dan mengetahui pengaruh perlakuan variasi kadar air bungkil, konsentrasi gliserol dan waktu pengukusan bungkil terhadap mutu papan partikel.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah bungkil biji jarak pagar hasil samping dari proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi *in situ*. Biji jarak pagar untuk proses pembuatan biodiesel diperoleh dari Kebun Induk Jarak Balitri-Deptan, Pakuwon-Sukabumi. Gliserol yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *by product* dari proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi *in situ*, dan mempunyai karakteristik sebagai berikut: kadar air 18,54%, kadar minyak 0,33%, kadar protein 7,56%, kadar abu 7,46%, kadar serat 0,01%, densitas dan viskositas pada suhu ruang masing-masing sebesar 1,196 g/cm³ dan 273 cP. Alat-alat yang digunakan adalah cetakan papan, plat aluminium, pengempa panas, oven, inkubator, desikator, alat pemotong, jangka sorong, *Universal Testing Machine* merk Instron, alat-alat untuk analisis proksimat dan alat-alat gelas lainnya. Pelarut dan bahan-bahan kimia yang digunakan adalah teknis dan *analytical grade*, yang diperoleh dari Sigma-Aldrich, AppliChem dan J.T. Baker, Indonesia.

Metode

Bahan baku dipersiapkan dengan pengeringan bungkil biji jarak pagar pada suhu 40-50°C selama 24 jam untuk mengurangi kadar airnya hingga 6-7%. Bungkil biji jarak pagar kering kemudian dikarakterisasi dengan menganalisis kadar air (AOAC 1995, 950.46), kadar minyak (SNI 01-2891-1992), kadar abu (AOAC 1995, 923.03), kadar protein (AOAC 1995, 991.20), kadar serat kasar (SNI-01-2891-1992), serta kadar lignin dan selulosa (metode ADF-NDF).

Bungkil biji jarak pagar dengan ukuran partikel 20 mesh pada berbagai kadar air (7 dan 20%) diberi perlakuan pendahuluan pengukusan (0, 30, dan 60 menit) dan penambahan gliserol (0 dan 4%). Gliserol dapat berfungsi sebagai plastisizer untuk meningkatkan plastisitas produk yang dihasilkan (Gueguen *et al.*, 1998; Orliac *et al.*, 2003; Sreekumar *et al.*, 2010). Untuk mendapatkan bungkil biji jarak pagar dengan kadar air 20%, sejumlah tertentu air ditambahkan ke dalam bahan dan dicampur secara merata. Penentuan jumlah air

yang ditambahkan ke dalam bahan didasarkan atas perhitungan keseimbangan massa air dalam bahan. Campuran selanjutnya dikondisikan dalam kemasan tertutup selama 12 jam pada suhu ruang. Perlakuan pendahuluan pengukusan bahan dilakukan untuk memfasilitasi proses denaturasi protein (Kumar *et al.*, 2002) dan hidrolisis lignin (Anglès *et al.*, 2001; Quintana *et al.*, 2009), sehingga dapat meningkatkan daya adhesi kedua komponen tersebut. Setelah proses pengukusan ini, kadar air bungkil akan meningkat dari kondisi awalnya, tetapi pada studi ini jumlah uap air yang terserap oleh bungkil diasumsikan sama baik untuk bungkil dengan kadar air 7% maupun 20%.

Ketiga parameter perlakuan (kadar air bungkil, konsentrasi gliserol dan waktu pengukusan) divariasikan untuk mendapatkan kondisi proses yang optimum. Campuran bungkil (40 g) dan gliserol (0-1,6 g) yang telah dikukus sebelumnya dimasukkan ke dalam cetakan berukuran 10 x 10 x 0,5 cm, dan dikempa dengan menggunakan *hot press* selama 10 menit pada tekanan 200 kg_f/cm² dan suhu 200°C. Pada saat pembentukan lembaran diusahakan seluruh campuran bungkil dan gliserol tersebar merata agar dihasilkan kerapatan papan yang seragam. Adapun kerapatan papan partikel yang diinginkan adalah 0,8-0,9 g/cm³ tergantung dari kombinasi perlakuan yang diuji.

Papan partikel yang dihasilkan kemudian dikondisikan pada suhu 30°C selama 14 hari. Papan partikel yang telah mengalami *conditioning* kemudian dipotong sesuai dengan tujuan pengujian yang dilakukan. Ukuran contoh uji disesuaikan dengan standar pengujian ASTM D 143:2007 dan JIS A 5908:2003 tentang papan partikel masing-masing untuk pengujian sifat mekanik dan sifat fisik papan partikel jarak pagar. Parameter-parameter fisik dan mekanik yang diuji meliputi kadar air, kerapatan, pengembangan tebal, daya serap air, keteguhan patah (MOR), dan kekuatan lentur (MOE).

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan 2 kali ulangan dan masing-masing ulangan dilakukan secara duplo. Faktor-faktor yang diteliti adalah kadar air bahan [7%, 20%], waktu pengukusan [0 menit, 30 menit, 60 menit] dan konsentrasi gliserol (% b/b, basis massa bahan) [0%, 4%]. Analisis keragaman (ANOVA) dan uji lanjut Duncan pada $\alpha = 0,05$ selanjutnya dilakukan untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap sifat fisik dan mekanik papan partikel. Untuk mengetahui mutunya, sifat fisik dan mekanik papan partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan sifat fisik dan mekanik papan partikel yang dipersyaratkan oleh JIS A 5908:2003.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bungkil biji jarak pagar yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kadar air 6,6%,

kadar minyak 7,6%, kadar protein 18,1%, kadar abu 6,1%, dan kadar serat kasar 38,6%. Dengan demikian bungkil yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar didominasi oleh komponen-komponen serat dan protein. Serat merupakan komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung dalam suatu bahan. Dari hasil analisa komponen serat, bungkil biji jarak pagar memiliki kadar lignin dan selulosa masing-masing sebesar 23,2% dan 23,0%. Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (Martin *et al.*, 2010), kadar lignin (< 20%) bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih besar, sedangkan kadar selulosanya relatif sama ($\pm 23\%$). Pada kasus pembuatan *binderless* papan partikel dari serat kayu, lignin yang terdiri dari molekul-molekul senyawa polifenol dapat berfungsi sebagai perekat sel-sel kayu (Okuda dan Sato, 2004; van Dam *et al.*, 2004a). Pada umumnya bahan berlignoselulosa dapat dibentuk menjadi papan partikel dengan pengempaan panas saja, tanpa penambahan bahan perekat atau resin. Komponen-komponen serat, khususnya lignin dan hemiselulosa, akan teraktifkan selama proses pengempaan panas sehingga dapat menyatukan sel-sel kayu dan meningkatkan kekuatan papan partikel.

Selain serat, kandungan protein yang tinggi pada bungkil biji jarak pagar memberikan keuntungan tersendiri dalam pembuatan papan partikel. Protein dapat berfungsi sebagai pengikat (*binder*) serat, dengan membentuk kompleks yang meningkatkan daya kohesi antar permukaan serat (Evon *et al.*, 2010). Protein secara umum mempunyai struktur dengan grup polar dan non polar, sebagai akibat dari ikatan internal yang dihasilkan dari gaya van der Waals, ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik (Kumar *et al.*, 2002). Daya rekat protein tergantung pada kemampuannya untuk terdispersi dalam air, dan pada interaksi antara grup polar protein (grup hidroksi, amida dan karboksil) dan grup polar serat (grup hidroksi) (Mo *et al.*, 2001). Di lain pihak, air yang terkandung dalam bungkil dapat berperan sebagai plastisizer, yang dapat mengurangi suhu eksotermik protein dan meningkatkan pergerakan rantai polipeptida protein, sehingga hal tersebut memungkinkannya untuk berinteraksi lebih mudah dengan polimer lain (Li *et al.*, 2009).

Dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (> 20%) (Martin *et al.*, 2010; Lestari *et al.*, 2011; Diebel *et al.*, 2012), kadar protein bungkil biji jarak pagar yang digunakan dalam penelitian ini nilainya lebih rendah, sedangkan kadar serat kasarnya jauh lebih tinggi. Perbedaan tersebut tentunya akibat perbedaan varietas, umur panen dan kondisi tempat tumbuh tanaman jarak tersebut, serta perlakuan awal yang dilakukan terhadap biji jarak pagar. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bungkil yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *by product* dari proses pembuatan biodiesel melalui

transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar, dan tentunya akan berbeda karakteristiknya dengan bungkil yang dihasilkan dari proses ekstraksi minyak secara mekanik.

Papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dalam penelitian ini mempunyai mutu dengan sifat fisik dan mekanik sebagai berikut:

Kerapatan

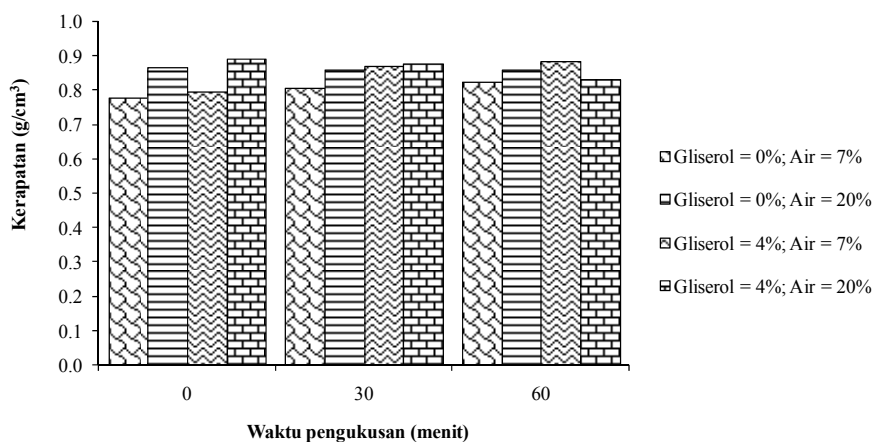
Kerapatan merupakan ukuran kekompakan partikel dalam suatu papan partikel, semakin tinggi kerapatan papan partikel maka akan semakin tinggi sifat keteguhannya (Bowyer *et al.*, 2003). Lebih jauh, kerapatan merupakan salah satu faktor penting yang sangat mempengaruhi sifat-sifat papan yang dihasilkannya dan menjadi dasar dalam penggunaan suatu produk. Kerapatan papan partikel sangat tergantung pada kerapatan bahan yang digunakan dan tekanan yang diberikan selama pengempaan, selain pada porositasnya, yaitu proporsi volume rongga kosong. Hasil penelitian Diebel *et al.* (2012) menunjukkan bahwa kerapatan bungkil biji jarak pagar nilainya lebih kecil dari 1 g/cm³, yaitu sebesar 0,668 g/cm³. Hal tersebut memfasilitasi pemanfaatannya sebagai bahan baku untuk pembuatan komposit untuk berbagai macam aplikasi.

Kerapatan papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 0,7-0,9 g/cm³. Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa kadar air bungkil dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan terhadap bungkil berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel. Interaksi kedua perlakuan tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel. Berdasarkan uji lanjut Duncan, papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 20% dan penambahan gliserol sebesar 4% mempunyai kerapatan lebih tinggi dibandingkan dengan papan yang dibuat dari bungkil dengan kadar

air 7% dan tanpa penambahan gliserol (0%). Dengan demikian, peningkatan kadar air bungkil dan konsentrasi gliserol meningkatkan secara signifikan kerapatan papan partikel (Gambar 1). Pada kadar air bungkil tinggi (20%), gliserol kemungkinan dapat bercampur lebih merata dengan bahan dan jumlah gliserol yang dapat larut dalam air pun lebih besar, sehingga proporsi volume rongga kosong di antara bahan menjadi lebih kecil dan jumlah gliserol yang dapat bertahan di dalam jaringan protein pun menjadi lebih besar. Penelitian Li *et al.* (2009) menunjukkan bahwa kerapatan papan partikel meningkat seiring dengan peningkatan kadar air bahan (maksimum 35%). Pemberian perlakuan pengukusan selama 30 dan 60 menit sebelum bungkil dikempa menjadi papan partikel tidak mempengaruhi kerapatan papan partikel, dan hal ini juga teramati pada seluruh interaksinya dengan perlakuan lainnya.

Disamping memanfaatkan lignin dan protein yang terkandung dalam bungkil, penambahan gliserol dimaksudkan untuk meningkatkan daya rekat protein, selain sebagai plastisizer. Gliserol memiliki titik didih yang tinggi (290°C), tekanan uap air dan bobot molekul yang rendah (92 g/mol) dimana hal tersebut dapat memfasilitasi gliserol untuk tetap bertahan di dalam jaringan protein, berinteraksi dengan sejumlah protein, serta mempertahankan sifat fisik dan mekanik produk dalam waktu yang relatif lebih lama (Orliac *et al.*, 2003).

JIS A 5908-2003 mensyaratkan kerapatan papan partikel berkisar antara 0,40-0,90 g/cm³. Pada penelitian ini, seluruh papan partikel yang dihasilkan memenuhi syarat tersebut. Papan partikel yang dibuat dari bungkil biji jarak pagar dengan kadar air 20% dan penambahan gliserol sebesar 4% tanpa perlakuan pengukusan sebelumnya merupakan papan partikel dengan kerapatan tertinggi (0,89 g/cm³).



Gambar 1. Kerapatan papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan

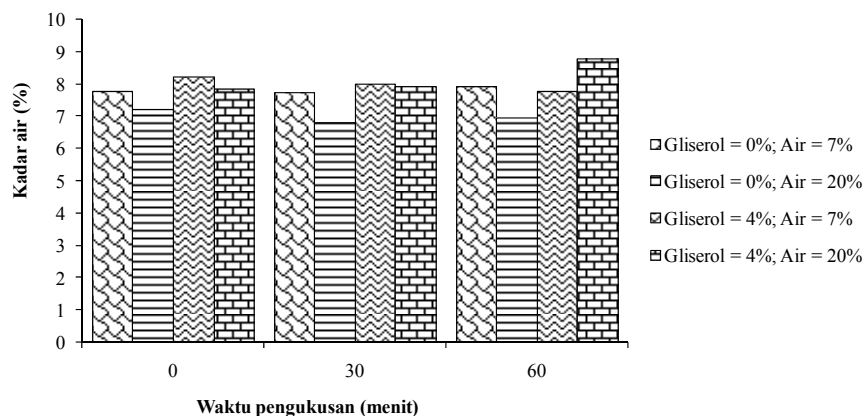
Kadar Air

Kadar air papan partikel bungkil biji jarak pagar berkisar antara 6-9%. Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) dan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa penambahan gliserol terhadap bahan berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan kadar air papan partikel yang dihasilkan (Gambar 2). Peningkatan kadar air bungkil dari 7% menjadi 20% dan pengukusan bungkil selama 30 dan 60 menit tidak mempengaruhi dan meningkatkan kadar air papan partikel yang dihasilkan. Dengan demikian, hanya perlakuan konsentrasi gliserol yang berpengaruh secara nyata terhadap kadar air papan partikel, sedangkan perlakuan kadar air bungkil, waktu pengukusan dan interaksi-interaksinya tidak berpengaruh secara nyata terhadap kadar air papan partikel. Ketika proses pengempaan papan pada suhu 200°C selama 10 menit, air yang terkandung dalam bungkil sebagian besar akan menguap, dan hal ini terjadi pada seluruh perlakuan dan kombinasinya. Kadar air papan partikel akan mencapai kesetimbangan ketika papan partikel tersebut dikondisikan selama 14 hari pada suhu 30°C. Peningkatan kadar air bungkil dan waktu pengukusan tidak mempengaruhi kadar air kesetimbangan papan partikel tersebut, sehingga kadar airnya stabil meskipun kadar air bahan baku dan waktu pengukusannya ditingkatkan. Sebaliknya peningkatan konsentrasi gliserol mempengaruhi dan meningkatkan kadar air kesetimbangan papan partikel.

Kadar air papan partikel sangat bergantung pada kondisi udara di sekelilingnya. Papan partikel terbuat dari bahan yang berlignoselulosa sehingga bersifat higroskopis, yang akan mengabsorbir atau mendesorbir uap air dari atau ke udara sekelilingnya. Selain itu, gliserol juga bersifat hidrofilik sebagai akibat dari adanya gugus polar (-OH) dalam struktur molekulnya sehingga keberadaannya dalam papan partikel akan meningkatkan permeabilitas air (Gueguen *et al.*, 1998; Orliac *et al.*, 2003), dan memberikan sumbangan secara signifikan terhadap peningkatan kadar air.

Pada penelitian ini, seluruh perlakuan menghasilkan papan partikel dengan kadar air sesuai persyaratan JIS A 5908-2003 (5-13%). Papan partikel yang dibuat dari bungkil biji jarak pagar dengan kadar air 20% dan tanpa penambahan gliserol (0%) merupakan papan partikel dengan kadar air terendah (6,8%). Selain mempengaruhi kekuatan mekanik, kadar air juga mempengaruhi ketahanannya terhadap serangan jamur, rayap dan sebagainya.

Kadar air papan partikel menjadi faktor penting terutama dalam menjaga stabilitas dimensi papan. Fenomena yang umumnya terjadi adalah semakin tinggi kerapatan papan partikel, maka kadar air yang terkandung di dalamnya semakin rendah (Setiawan, 2008). Fenomena serupa juga ditemukan pada penelitian ini, khususnya pada papan partikel yang dibuat dari perlakuan tanpa penambahan gliserol (0%) dengan berbagai perlakuan kadar air bungkil dan waktu pengukusan (Gambar 2). Untuk seluruh perlakuan waktu pengukusan, kerapatan papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 20% lebih tinggi dibandingkan dengan yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 7%, tetapi kadar air papan partikel yang dihasilkannya lebih kecil. Xu *et al.* (2004) menyatakan bahwa stabilitas papan partikel meningkat signifikan seiring meningkatnya kerapatan papan. Papan partikel yang memiliki kerapatan yang tinggi, partikelnya akan semakin kompak dan padat sehingga tidak banyak terdapat rongga atau pori di antara jalinan partikel yang dapat diisi oleh air (Kollman *et al.*, 1975). Dalam penelitian ini, papan partikel dengan kerapatan tertinggi (0,89 g/cm³) mempunyai kadar air relatif tinggi (7,9%). Papan tersebut diperoleh dari perlakuan kadar air bahan 20% dengan penambahan gliserol sebesar 4%. Keberadaan gliserol pada satu pihak meningkatkan kerapatan papan partikel, tetapi pada lain pihak juga dapat meningkatkan kadar air papan partikel. Namun demikian, pengaruhnya terhadap kadar air papan partikel lebih besar dibandingkan terhadap kerapatan.



Gambar 2. Kadar air papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan

Daya Serap Air

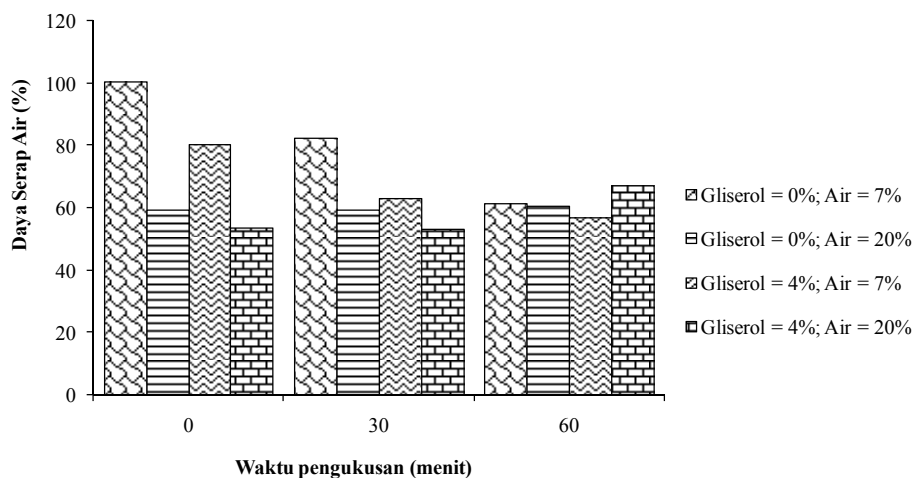
Daya serap air merupakan salah satu sifat fisik dari papan partikel yang menunjukkan kemampuan papan partikel dalam menyerap air. JIS A 5908-2003 tidak menetapkan standar untuk daya serap air, akan tetapi uji ini perlu dilakukan untuk mengetahui ketahanan papan partikel terhadap air terutama apabila penggunaannya untuk keperluan eksterior dimana papan mengalami kontak langsung dengan kondisi cuaca (kelembaban dan hujan). Hasil pengujian daya serap air papan partikel setelah perendaman selama 24 jam berkisar antara 50-100%. Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa kadar air bungkil, konsentrasi gliserol, dan waktu pengukusan berpengaruh nyata terhadap daya serap air papan partikel (Gambar 3). Berdasarkan uji lanjut Duncan, papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air tinggi (20%) mempunyai daya serap air jauh lebih rendah dibandingkan papan yang dibuat dari bungkil dengan kadar air rendah (7%). Penambahan gliserol 4% ke dalam bahan dapat menurunkan secara signifikan daya serap air papan partikel. Selain itu, pemberian perlakuan pendahuluan pengukusan bungkil juga dapat menurunkan daya serap air papan partikel. Dengan demikian, daya serap air papan partikel dapat diturunkan dengan penambahan gliserol, pemberian perlakuan pendahuluan pengukusan, dan utamanya dengan peningkatan kadar air bahan baku. Fenomena serupa juga teramati oleh Li *et al.* (2009) bahwa daya serap air papan partikel menurun seiring dengan peningkatan kadar air bahan.

Penyerapan air papan partikel sangat dipengaruhi oleh faktor volume ruang kosong yang dapat menampung air diantara partikel, adanya saluran kapiler yang menghubungkan ruang kosong, dan luas permukaan partikel yang dapat ditutupi perekat serta dalamnya penetrasi perekat ke dalam partikel (Maloney, 1993). Papan partikel dengan daya serap air rendah akan lebih tahan lama dan disukai konsumen. Pada penelitian ini, papan

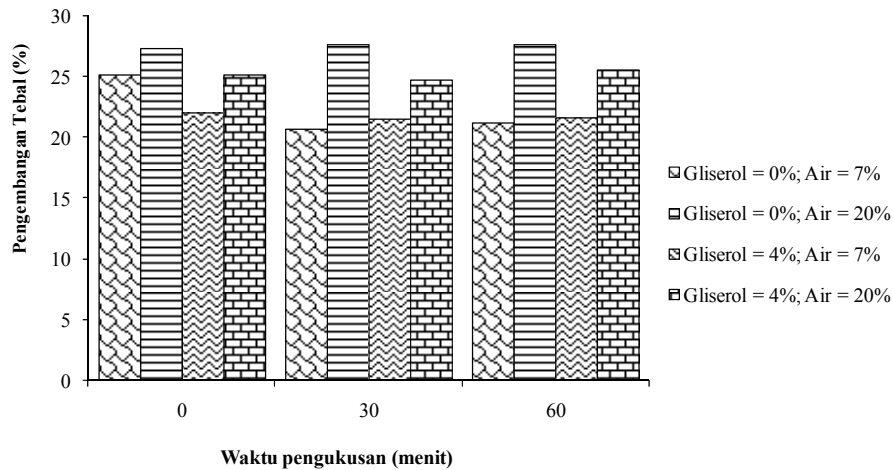
partikel dengan daya serap air terendah (53%) diperoleh dari perlakuan kadar air bungkil 20%, penambahan gliserol 4% dan perlakuan pengukusan selama 30 menit. Aksi simultan dari ketiga faktor tersebut diatas memungkinkan volume ruang kosong yang dapat menampung air diantara partikel menurun secara signifikan. Hal tersebut didukung dengan kerapatan papan partikel yang dihasilkan dari perlakuan tersebut nilainya tinggi, yaitu sebesar $0,88 \text{ g/cm}^3$. Selain itu, menurut Gueguen *et al.* (1998), penggunaan gliserol sebagai plastisizer dapat menghasilkan permukaan produk yang lebih hidrofobik, seperti yang ditunjukkan oleh nilai sudut kontak yang tinggi (40°). Li *et al.* (2009) menambahkan bahwa setelah proses pengempaan panas, bentuk serat papan partikel yang dibuat dari bahan dengan kadar air tinggi menjadi lebih pipih, dan daya adhesi antara serat-seratnya menjadi lebih kuat. Air merupakan promotor untuk daya adhesi antara protein dan serat selama proses pengempaan panas.

Pengembangan Tebal

Regangan balik merupakan hal yang tidak dapat dihindari pada pengembangan tebal. Peningkatan pengembangan tebal pada papan partikel lebih besar daripada bahan awalnya pada keadaan normal. Hal ini disebabkan adanya pembebasan tegangan sisa dari nisbah kempa yang dikenakan pada papan selama proses pengempaan panas (Maloney, 1993). Semakin tinggi pengembangan tebal papan partikel, maka semakin rendah kestabilan dimensinya, demikian pula sebaliknya. Sifat pengembangan tebal papan partikel digunakan sebagai dasar untuk mengetahui penggunaan papan untuk eksterior atau interior. Pengembangan tebal papan partikel yang tinggi tidak dapat digunakan untuk keperluan eksterior karena stabilitas produk yang rendah, dan sifat mekanik akan menurun secara drastis dalam jangka waktu yang singkat.



Gambar 3. Daya serap air papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan



Gambar 4. Pengembangan tebal papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan

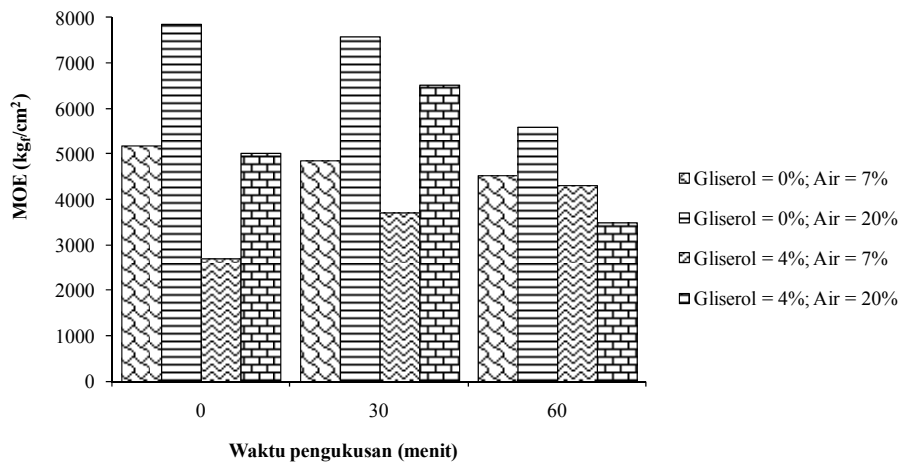
Hasil pengujian pengembangan tebal papan partikel setelah perendaman selama 24 jam berkisar antara 20-28%. Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) dan uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa peningkatan kadar air bungkil berpengaruh secara nyata terhadap peningkatan pengembangan tebal papan partikel yang dihasilkan (Gambar 4). Fenomena ini bertolakbelakang dengan yang teramati oleh Li *et al.* (2009) dimana pengembangan papan partikel menurun seiring dengan peningkatan kadar air bahan. Penambahan gliserol sebesar 4% dan pengukusan bungkil selama 30 dan 60 menit tidak mempengaruhi pengembangan tebal papan partikel. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, keberadaan gliserol pada satu pihak meningkatkan hidrofobisitas produk, tetapi pada pihak lain juga dapat meningkatkan permeabilitas air (Gueguen *et al.*, 1998). Mekanisme interaksi antara rantai polipeptida (protein) dengan gliserol relatif lebih rumit dibandingkan dengan etilen glikol. Hal ini mungkin disebabkan oleh karena gliserol tersusun atas 3 grup OH dengan struktur asimetrik.

Sifat pengembangan tebal sangat berkorelasi dengan sifat daya serap air. Semakin tinggi daya serap air papan partikel, semakin tinggi pula pengembangan tebalnya. Hal ini karena air yang diserap papan partikel akan mempengaruhi pengembangan volume partikelnya. Pada penelitian ini, perlakuan yang menghasilkan papan partikel dengan daya serap air terendah (53%), juga mempunyai pengembangan tebal relatif rendah (24%). Perlakuan tersebut juga menghasilkan papan partikel dengan kerapatan yang tinggi, yaitu sebesar $0,88 \text{ g/cm}^3$. Perlakuan tersebut adalah kadar air bungkil 20%, penambahan gliserol 4% dan perlakuan pengukusan selama 30 menit. Standar JIS A 5908-2003, mensyaratkan pengembangan tebal papan partikel maksimum 12%. Dengan demikian, papan partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini belum memenuhi persyaratan JIS A 5908-2003 untuk parameter pengembangan tebal.

Kekuatan Lentur (*Modulus of Elasticity*)

Keteguhan lentur atau MOE merupakan ukuran ketahanan produk dalam mempertahankan perubahan bentuk akibat adanya beban (Bowyer *et al.*, 2003). Lebih jauh, keteguhan lentur menunjukkan perbandingan antara tegangan dan regangan benda untuk kembali ke bentuk semula apabila beban dilepaskan di bawah batas elastisnya (Mardikanto *et al.*, 2009). Keteguhan lentur dipengaruhi oleh kandungan dan jenis bahan perekat yang digunakan, daya ikat rekat dan panjang serat (Maloney, 2003). Hasil pengujian MOE papan partikel berkisar antara $2700-8000 \text{ kg/cm}^2$. Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa kadar air bungkil dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan terhadap bahan berpengaruh nyata terhadap MOE papan partikel. Berdasarkan uji lanjut Duncan, papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 20% dan tanpa penambahan gliserol (0%) mempunyai MOE lebih tinggi dibandingkan dengan papan yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 7% dan penambahan gliserol sebesar 4%. Dengan demikian, peningkatan kadar air bungkil meningkatkan secara signifikan MOE papan partikel, sedangkan penambahan gliserol justru menunjukkan fenomena sebaliknya (Gambar 5).

Dalam kasus ini, air memberikan daya plastisitas lebih baik daripada gliserol. Fenomena serupa juga teramati oleh peneliti lainnya (Mo *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2009) dimana MOE papan partikel meningkat seiring dengan peningkatan kadar air bahan (maksimum 35%). Li *et al.* (2009) menyatakan bahwa air yang terkandung dalam bungkil dapat berfungsi sebagai plastisizer, yang berperan mengurangi suhu eksotermik protein dan meningkatkan pergerakan rantai polipeptida protein. Pemberian perlakuan pengukusan selama 30 dan 60 menit sebelum bungkil dikempa menjadi papan partikel tidak mempengaruhi MOE papan partikel, dan hal ini juga teramati pada seluruh interaksinya dengan perlakuan lainnya.



Gambar 5. Modulus of elasticity (MOE) papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan

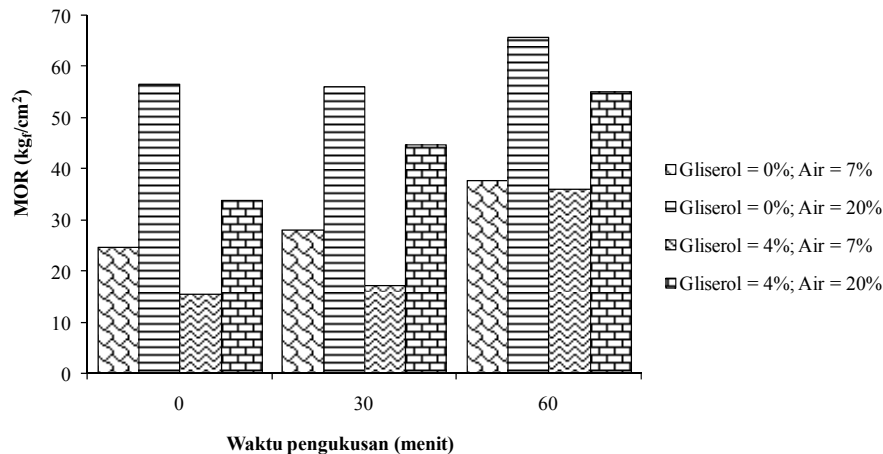
Berdasarkan standar JIS A 5908-2003 yang mensyaratkan nilai MOE papan partikel minimal 20000 kg_f/cm², papan partikel yang dihasilkan dari penelitian ini masih jauh dari persyaratan tersebut untuk seluruh perlakuan yang diuji. Pada penelitian ini, papan partikel dengan MOE tertinggi (7855 kg_f/cm²) diperoleh dari perlakuan kadar air bungkil 20%, tanpa penambahan gliserol (0%) dan perlakuan pengukusan (0 menit).

Keteguhan Patah (Modulus of Rupture)

Keteguhan patah MOR merupakan kekuatan lentur maksimum material hingga material tersebut patah (Mardikanto *et al.*, 2009). Hasil pengujian MOR papan partikel berkisar antara 15-66 kg_f/cm². Hasil analisis keragaman ($\alpha = 0,05$) menunjukkan bahwa kadar air bungkil, konsentrasi gliserol, dan waktu pengukusan berpengaruh nyata terhadap MOR papan partikel (Gambar 6). Berdasarkan uji lanjut Duncan, papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air tinggi (20%) mempunyai MOR 2 kali lebih tinggi dibandingkan papan yang dibuat dari bungkil dengan kadar air rendah (7%). Pada penelitian ini peningkatan kadar air bahan baku hingga 20% memberikan efek positif terhadap sifat mekanik papan partikel. Selain meningkatkan plastisitas papan partikel, air juga dapat meningkatkan daya adhesi protein dan memfasilitasi protein untuk menjadi lebih besar ukurannya (Mo *et al.*, 2001). Selama proses kempa panas, protein akan terjepit di antara serat dan air akan teruapkan, sehingga hal tersebut akan menghasilkan daya ikat yang lebih kuat antara protein dan serat. Lebih jauh, sifat adhesif protein meningkat dengan meningkatnya kadar air bahan (Li *et al.*, 2009), sehingga fungsinya sebagai perekat meningkat seiring dengan peningkatan kadar air bahan.

Penambahan gliserol 4% ke dalam bahan menurunkan MOR papan partikel yang dihasilkan. Pada satu pihak penambahan gliserol mengurangi proporsi volume rongga kosong sehingga dapat meningkatkan kerapatan papan partikel (Gambar 1), tetapi di lain pihak gliserol bersifat hidrofilik yang mempengaruhi dan meningkatkan lebih signifikan kadar air papan partikel (Gambar 2) yang berefek lebih signifikan pula pada penurunan MORnya. Papan partikel dengan kadar air tinggi akan lebih rapuh dan mudah patah dibandingkan dengan yang berkadar air rendah, walaupun papan tersebut mempunyai kerapatan lebih tinggi. Sebagai contoh, fenomena tersebut teramati pada papan partikel yang dibuat dari bungkil dengan kadar air 20%, tanpa perlakuan pengukusan (0 menit) dan tanpa penambahan gliserol (0%) (MOR 57 kg_f/cm², kerapatan 0,87 g/cm³, kadar air 7,2%) dibandingkan dengan yang dibuat dari perlakuan dengan penambahan gliserol 4% (MOR 34 kg_f/cm², kerapatan 0,89 g/cm³, kadar air 7,9%). Pemberian perlakuan pendahuluan pengukusan bungkil meningkatkan secara signifikan MOR papan partikel. Dengan demikian, MOR papan partikel dapat ditingkatkan dengan peningkatan kadar air bungkil dan pemberian perlakuan pendahuluan pengukusan.

Berdasarkan standar JIS A 5908-2003 yang mensyaratkan nilai MOR papan partikel minimal 80 kg_f/cm², papan partikel yang dihasilkan dari penelitian ini belum memenuhi persyaratan tersebut untuk seluruh perlakuan yang diuji. MOR tertinggi (66 kg_f/cm²) diperoleh dari perlakuan kadar air bungkil 20%, tanpa penambahan gliserol (0%), dan waktu pengukusan selama 60 menit. Pada perlakuan tersebut, papan partikel mempunyai kerapatan yang cukup tinggi (0,86 g/cm³) dan kadar air yang rendah (7%).



Gambar 6. *Modulus of rupture* (MOR) papan partikel bungkil biji jarak pagar yang dihasilkan dari berbagai perlakuan

Pada penelitian ini, suhu, tekanan dan waktu pengempaan yang diterapkan masing-masing adalah 200°C, 200 kg_f/cm² dan 10 menit. Berdasarkan hasil penelitian Diebel *et al.* (2012), suhu degradasi bungkil biji jarak pagar adalah 172°C, sedangkan suhu denaturasi protein secara umum adalah 70-90°C (Li *et al.*, 2009). Selama denaturasi protein oleh panas, struktur protein berubah menjadi relatif lebih longgar dan acak, sehingga hal tersebut meningkatkan daya rekat protein dengan serat. Namun demikian, ketika suhu protein meningkat hingga ≥ 200°C, protein akan terdegradasi menjadi fragmen-fragmen kecil dan akan kehilangan kemampuan untuk meningkatkan daya rekatnya sehingga kemampuan protein untuk berikatan dengan molekul lain pun akan berkurang. Dengan demikian, pada suhu 200°C protein yang terkandung di dalam bungkil biji jarak pagar telah terdenaturasi, dan kemungkinan juga sudah terdegradasi sebagian sehingga nilai MOR papan partikel yang dihasilkan relatif lebih rendah dibandingkan dengan papan partikel yang dihasilkan dari bungkil tanaman bunga matahari (115 kg_f/cm²) (Evon *et al.*, 2010) dan dari serat kayu dengan perekat protein kedelai (337 kg_f/cm²) (Li *et al.*, 2009).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Papan partikel dari bungkil biji jarak pagar mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan, serta mempunyai sifat fisik dan mekanik yang cukup memadai tetapi belum memenuhi standar JIS A 5908-2003, kecuali kadar air dan kerapatannya. Kadar air bungkil, konsentrasi gliserol dan waktu pengukusan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik papan partikel yang dihasilkan. Namun demikian, hanya peningkatan kadar air bungkil yang berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan mutu papan partikel.

Pada 2 taraf kadar air bungkil yang diuji dalam studi ini (7 dan 20%), semakin tinggi kadar air bungkil, sifat mekanis papan partikel (kekuatan lentur dan keteguhan patah) semakin meningkat, sedangkan sifat fisiknya, khususnya daya serap air, cenderung menurun. Pada kadar air bungkil tinggi (20%), sifat fisik dan mekanik papan partikel terbaik yang diperoleh adalah kerapatan 0,89 g/cm³, kadar air 6,8%, pengembangan tebal 25%, daya serap air 53%, kekuatan lentur 7855 kg_f/cm², dan keteguhan patah 66 kg_f/cm².

Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan peningkatan kadar air bungkil lebih tinggi dari 20%, penambahan formaldehida dan penurunan suhu pengempaan menjadi 170°C untuk mencegah degradasi protein, serta penambahan pulp kayu jarak pagar dan bahan aditif berupa parafin, sehingga papan partikel yang dihasilkan lebih tinggi kekuatan mekaniknya dan tahan terhadap air.

DAFTAR PUSTAKA

- Anglès MN, Ferrando F, Farriol X, Salvado J. 2001. Suitability of Steam Exploded Residual Softwood for the Production of Binderless Panels: Effect of the Pre-Treatment Severity and Lignin Addition. *Biomass and Bioenergy* 21:211-224.
- Baskaran M, Hashim R, Said N, Raffi SM, Balakrishnan K, Sudesh K, Sulaiman O, Arai T, Kosugi A, Mori Y, Sugimoto T, Sato M. 2012. Properties of Binderless Particleboard from Oil Palm Trunk With Addition of Polyhydroxyalkanoates. *Composites: Part B* 43:1109-1116.
- Bowyer JL, Shmulsky R, dan Haygreen JG. 2003. *Forest Product and Wood Science*. USA: Blackwell Publishing Professional.
- Budiman S, Sukrido, dan Harliana A. 2010. Pembuatan Biobriket dari Campuran

- Bungkil Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan Sekam Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Cho SW, Gällstedt M, Johansson E, Hedenqvist MS. 2011. Injection-Molded Nanocomposites and Materials Based on Wheat Gluten. *Int J Biol Macromolecules* 48: 146-152.
- Ciannamea EM, Stefani PM, dan Ruseckaite RA. 2010. Medium-Density Particleboard from Modified Rice Husk and Soybean Protein Concentrate-Based Adhesives. *Bioresource Technol.* 101:818-825.
- Diebel W, Reddy MM, Misra M, Mohanty A. 2012. Material Property Characterization of Co-Products from Biofuel Industries: Potential Uses in Value-Added Biocomposites. *Biomass and Bioenergy* 37:88-96.
- Evon PH, Vandenbossche V, Pontalier PY, Rigal L. 2010. Thermo-Mechanical Behaviour of The Raffinate Resulting from The Aqueous Extraction of Sunflower Whole Plant in Twin-Screw Extruder: Manufacturing of Biodegradable Agromaterials by Thermo-pressing. *Adv Materials Res.* 112:63-72.
- Gueguen J, Viroben G, Noireaux P, Subirade M. 1998. Influence of Plasticizer and Treatment on the Properties of Film from Pea Proteins. *Ind Crops and Prod.* 7:149-157.
- Hariani R. 2010. Pemanfaatan Bungkil Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) sebagai Bahan Baku Kompos [Skripsi]. Riau: Universitas Riau.
- Hashim R, Saari N, Sulaiman O, Sugimoto T, Hiziroglu S, Sato M, Tanaka R. 2010. Effect of Particle Geometry on the Properties of Binderless Particleboard Manufactured from Oil Palm Trunk. *Materials and Design* 31:4251-4257.
- Hashim R, Nadhari WNAW, Sulaiman O, Kawamura F, Hiziroglu S, Sato M, Sugimoto T, Seng TG, Tanaka R. 2011a. Characterization of Raw Materials and Manufactured Binderless Particleboard from Oil Palm Biomass. *Materials and Design* 32:246-254.
- Hashim R, Said N, Lamaming J, Baskaran M, Sulaiman O, Sato M, Hiziroglu S, Sugimoto T. 2011b. Influence of Press Temperature on the Properties of Binderless Particleboard Made from Oil Palm Trunk. *Materials and Design* 32:2520-2525.
- Kollman FFP, Kuenzi EW, dan Stamm AJ. 1975. *Principle of Wood Science and Technology*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kumar R, Choudhary V, Mishra S, Varma IK, Mattiason B. 2002. Adhesives and Plastics Based on Soy Protein Products. *Ind Crops and Prod.* 16:155-172.
- Li X, Li Y, Zhong Z, Wang D, Ratto JA, Sheng K, Sun XS. 2009. Mechanical and Water Soaking Properties of Medium Density Fiberboard With Wood Fiber and Soybean Protein Adhesive. *Biores Technol.* 100:3556-3562.
- Lestari D, Mulder WJ, dan Sanders JPM. 2011. *Jatropha* Seed Protein Functional Properties for Technical Applications. *Biochem Eng J.* 53:297-304.
- Maloney TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. San Francisco: Miller Freeman, Inc.
- Mardikanto TR, Karlinasari L, Bahtiar ET. 2009. *Sifat Mekanis Kayu*. Bogor: Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Martin C, Moure A, Martin G, Carrilo E, Dominguez H, Parajo J. 2010. Fractional Characterisation of *Jatropha*, Neem, Moringa, Trisperma, Castor And Candelnut Seeds as Potential Feedstocks for Biodiesel Production in Cuba. *Biomass and Bioenergy* 34:533-538.
- Mo X, Cheng E, Wang D, Susan Sun X. 2001. Compression and tensile strength of low-density straw-protein particleboard. *Ind Crops and Prod.* 14:1-9.
- Mo X, Cheng E, Wang D, dan Susan Sun X. 2003. Physical Properties of Medium-Density Wheat Straw Particleboard using Different Adhesives. *Ind Crops and Prod.* 18:47-53.
- Okuda N dan Sato M. 2004. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *J Wood Sci.* 50:53-61.
- Orliac O, Rouilly A, Silvestre F, Rigal L. 2003. Effects of Various Plasticizers on the Mechanical Properties, Water Resistance and Aging of Thermo-Moulded Films Made from Sunflower Proteins. *Ind Crops and Prod.* 18:91-100.
- Quintana G, Velasquez J, Betancourt S, Ganán P. 2009. Binderless Fiberboard from Steam Exploded Banana Bunch. *Ind Crops and Prod* 29:60-66.
- Rivaie AA. 2006. Potensi Ampas Biji Jarak Pagar sebagai Pupuk Organik. *Informasi Teknologi Jarak Pagar* 1(3):9-12.
- Rouilly A, Orliac O, Silvestre F, Rigal L. 2006. New Natural Injection-Moldable Composite Material from Sunflower Oil Cake. *Biores Technol.* 97:553-561.
- Setiawan B. 2008. Papan Partikel Dari Sekam Padi [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Sreekumar PA, Gopalakrishnan P, Leblanc N, Saiter JM. 2010. Effect of Glycerol and Short Sisal Fibers on the Viscoelastic Behavior of Wheat Flour Based Thermoplastic. *Composites: Part A* 41:991-996.
- Xu J, Sugawara R, Widyorini R, Han G, Kawai S. 2004. Manufacture and Properties of Low-Density Binderless Particle Board from Kenaf Core. *J Wood Sci.* 50:62-67.
- Van Dam JEG, van den Oever MJA, Teunissen W, Keijsers ERP, Peralta AG. 2004a. Process for Production Of High Density/High Performance Binderless Boards from Whole Coconut Husk. *Ind Crops and Prod.* 19:207-216.
- Van Dam JEG dan van den Oever MJA, Keijsers ERP. 2004b. Process production for high performance binderless boards from whole coconut husk. *Ind Crops and Prod.* 20:97-101.
- Wina E, Tangendjaja B, Pasaribu T, Purwadaria T. 2010. Performa Ayam Pedaging yang diberi Bungkil Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) didetoksifikasi dengan Perlakuan Fermentasi, Fisik dan Kimia. *JITV* 15(3):174-181.