

PENGARUH TEKANAN PENGEPRESAN TERHADAP KEKUATAN GESER TEKAN DAN *BENDING* KOMPOSIT LIMBAH KERTAS HVS-SEKAM PADI

Willy Saputra, Kuncoro Diharjo, Wijang Wisnu Raharjo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

e-mail: kuncorodiharjo@ft.uns.ac.id

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the effect of pressing pressure on the MOR, MOE and shear press strength of the waste HVS paper-rice husks composite. Composites material was made from waste HVS paper and rice husks. The composite was produced by using a press mold method for 10 minutes of pressing time. The composition of composite were 10 % of PVAc, 70 % of waste HVS paper and 20 % of rice husks (w/w). The variation of pressing pressure were determined at 0.79 MPa, 1.18 MPa, 1.58 MPa and 1.97 MPa. The specimens were conducted to Universal Testing Machine for bending dan shear press tests referring to ASTM D-1037. The fracture surface of the specimens were obtained by using SEM (scanning electron microscopy). The increasing of pressing pressure increased the surface bonding between biofiber of waste HVS paper dan rice husks particles. The increasing of pressing pressure at 1,97 MPa increased MOR (108.08%), MOE (92.22%) and shear press strength (85.09%) to that specimens at 0.79 MPa of pressing pressure.

Keywords : Composite, PVAc, waste HVS paper, rice husks, pressing pressure

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tekanan pengepresan terhadap MOR, MOE dan kekuatan geser tekan komposit limbah kertas HVS-sekam padi. Bahan komposit dibuat dari limbah kertas HVS dan sekam padi. Komposit ini diproduksi dengan menggunakan metode press mold selama 10 menit waktu pengepresan. Komposisi komposit yang digunakan adalah 10% PVAc, 70% limbah kertas HVS dan 20% sekam padi (w/w). Variasi tekanan pengepresan ditentukan pada 0,79 MPa, 1,18 MPa, 1,58 MPa dan 1,97 MPa. Spesimen dilakukan pengujian menggunakan Universal Testing Machine untuk uji bending dan uji geser tekan mengacu pada ASTM D-1037. Pengamatan permukaan patahan spesimen diperoleh dengan menggunakan SEM (scanning electron microscope). Meningkatnya tekanan pengepresan meningkatkan ikatan antar muka antara biofiber limbah kertas HVS dan partikel sekam padi. Peningkatan tekanan pengepresan pada 1,97 MPa meningkatkan MOR (108.08%), MOE (92.22%) and kekuatan geser tekan (85.09%) terhadap spesimen dengan tekanan pengepresan 0,79 MPa.

Kata kunci : Komposit, PVAc, kertas HVS bekas, sekam padi, tekanan pengepresan

PENDAHULUAN

Dewasa ini dampak pemanasan global makin terasa sebagai akibat dari pemakaian teknologi secara berlebihan tanpa banyak mempertimbangkan pengaruh lingkungan. Hal ini terbukti dengan kebutuhan kayu di Indonesia yang setiap tahunnya makin bertambah. Perlu ditemukan material pengganti kayu yang lebih ramah lingkungan. Penelitian tentang komposit sebagai material pengganti kayu sudah cukup banyak, tetapi komposit ini masih banyak tergantung pada kayu itu sendiri sebagai material pengisi (*filler*). Serat alam dari sampah pertanian sebagai

material *filler* komposit mulai dilirik penggunaannya karena murah dan dapat diuraikan dengan alam sehingga komposit ini mampu mengatasi permasalahan lingkungan serta tidak membahayakan kesehatan (Rowell, 1997) [1].

Sejumlah sumber serat alam, limbah kertas HVS merupakan sumber yang ketersediaannya melimpah. Kertas HVS mengandung serat selulosa yang mempunyai beberapa kelebihan yaitu tidak mengandung kimia berbahaya dan tidak menimbulkan iritasi. Grigoriou (2003) [2] menyatakan bahwa penggunaan kertas

HVS memiliki sifat mekanik yang baik untuk pembuatan komposit. Proses untuk menjadi sebuah komposit, kertas HVS dan sekam padi memerlukan bahan lain yang berfungsi sebagai matrik atau pengikat. *Polyvinile Asetat* (PVAc) yang digunakan sebagai pengikat untuk bahan-bahan berpori, misalnya dalam industri kayu lapis. PVAc mempunyai banyak kelebihan diantaranya mudah didapat dan mudah penanganannya.

Pembuatan komposit dapat dilakukan dengan metode cetak tekan (*press mold*). Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan bahan antara lain adalah: ukuran dan kandungan *filler*, tekanan pengepresan, temperatur, lamanya waktu penahanan, dan volume zat pengikat. Masturi dkk (2011) melakukan proses pengepresan yang diaplikasikan pada pembuatan komposit mampu meningkatkan kekuatan komposit. Proses pengepresan pada komposit sampah dengan matrik PVAc akan meningkatkan kekuatan tekan dari komposit [3]. Meningkatkan tekanan akan mengakibatkan terjadinya kontak yang lebih intim antara permukaan *adhesi* dengan permukaan pengisi yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan kekuatan mekanik.

Metode cetak tekan (*press mold*) yang diaplikasikan pada pembuatan komposit dengan menaikkan tekanan pengepresan diharapkan mampu meningkatkan kekuatan komposit. Masturi dkk (2010) meneliti pengaruh fraksi volume matrik dan tekanan pengepresan pada komposit sampah kota dengan matrik PVAc terhadap kekuatan tekan komposit [4]. Kekuatan tekan komposit meningkat seiring dengan peningkatan tekanan pengepresan yang diberikan. Menaikkan tekanan pengepresan dimungkinkan terjadinya interaksi yang lebih baik antara permukaan *adhesi* dengan permukaan pengisi (*filler*) yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan kekuatan mekaniknya. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Kurt dkk (2012)

meneliti tentang penggunaan lem sebagai matrik pada komposit *laminated veneer lumber* dengan formaldehida fenol. Penelitian tersebut menggunakan variasi tekanan pengepresan 2,5 kg/cm², 5 kg/cm², 7,5 kg/cm², 10 kg/cm² dan 12,5 kg/cm². Penelitian ini menunjukkan peningkatan kekuatan MOR dan MOE [5].

Atuanya dkk (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu dan tekanan menggunakan daur ulang *polyethylene* pada komposit papan kayu. Penelitian ini menggunakan variasi suhu yaitu 140°C dan 180°C sedangkan tekanan yang digunakan sebesar 30 kg/cm², 40 kg/cm² dan 50 kg/cm². Hasil penelitiannya menunjukkan peningkatan kekuatan mekanik terutama untuk nilai kekuatan MOR dan MOE [6].

Tekanan pengepresan pada pembuatan komposit akan mempengaruhi kekuatan dan nilai densitas komposit. Hakim (2009) meneliti tentang pengaruh variasi tekanan pengepresan komposit tepung kanji-serbuk kulit kacang terhadap densitas, kekuatan *bending* dan kekuatan tarik paku. Hasil pengujian didapatkan nilai densitas, kekuatan *bending* dan kekuatan tarik paku meningkat seiring bertambahnya tekanan pengepresan [7]. Penelitian tentang peningkatan tekanan terhadap densitas komposit juga dilakukan oleh Chang dkk (2007) yang melakukan penelitian tentang pengaruh fraksi berat dan tekanan pada komposit nano partikel ZrO₂. Penelitian tersebut menggunakan variasi fraksi berat ZrO₂ yaitu 0%, 1%, 3% dan 5% sedangkan untuk tekanan yang digunakan yaitu 1000 MPa dan 1100 MPa. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan densitas dan kekerasan komposit [8].

Lykidis dan Grigoriou (2011) melakukan penelitian tentang variasi tekanan *hot-press* dengan menggunakan komposit limbah kertas dengan *white melamine*. Penelitian tersebut diperlakukan dalam tiga kondisi tekanan yang berbeda yaitu 0,42 bar, 1,69 bar dan 3,74 bar. Peningkatan tekanan pengepresan akan

meningkatkan kekuatan mekanik dari komposit kertas daur ulang [9].

Penelitian matrik PVAc dengan variasi fraksi berat akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik komposit. Ganguli (2009) melakukan penelitian tentang komposit serat alam dengan matrik *polyvinyl acetate* (PVAc) dengan variasi fraksi berat PVAc yaitu 6%, 9%, dan 12%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan mekanik meningkat seiring penambahan kadar PVAc dimana sifat mekanik dari komposit mengalami kenaikan linier [10]. Masturi dkk (2011) melakukan penelitian tentang komposit sampah rumah tangga dan nanosilika dengan matrik PVAc. Proses pembuatan spesimen uji dengan menggunakan metode cetak tekan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya tekanan pengepresan berpengaruh pada meningkatnya kekuatan tekan komposit [3].

MATERIAL DAN METODE

Proses penyiapan bahan dasar adalah dengan pengumpulan limbah sekam padi dari tempat penggilingan padi di daerah Palur, sedangkan kertas HVS bekas yang dipakai berasal dari lingkungan sekitar kampus UNS. Pembuatan bahan dasar komposit, kertas HVS bekas dan sekam padi di *crushing*. Proses *crushing* menggunakan mesin *crusher*. Serbuk kertas HVS bekas dan sekam padi dari hasil *crushing* selanjutnya akan disaring, ukuran serbuk kertas HVS yang digunakan adalah lolos *mesh* 50 dan tidak lolos *mesh* 60, sedangkan ukuran serbuk sekam padi yang digunakan adalah lolos *mesh* 10 dan tidak lolos *mesh* 16.

PVAc dengan kandungan wf = 0,1 ditimbang selanjutnya dilarutkan dalam air dengan perbandingan fraksi berat air terhadap komposit adalah 0,45 (wf) dan diaduk dengan kecepatan 50 r/min selama 15 min. Kemudian serbuk kertas HVS di *mixing* dengan serbuk sekam padi bersama dengan larutan PVAc pada kecepatan 500 r/min selama 20 min. Hasil *mixing*

selanjutnya dimasukkan dalam cetakan dengan luas cetakan 25 cm x 16 cm, lalu dilakukan proses pengepresan dengan metode cetak tekan (*press mold*) dan ditahan selama 10 min. Pengeringan spesimen dilakukan pada suhu ruangan selama 3 hari. Selanjutnya dilakukan proses *post curing* pada suhu 60° C selama 1 jam dalam oven. Parameter yang diubah-ubah adalah tekanan pengepresan yaitu 0,79 MPa, 1,18 MPa, 1,58 MPa dan 1,97 MPa.

TAHAP PENGUJIAN

Pengujian spesimen yang dilakukan adalah:

a. Pengujian *Bending*

Pengujian ini mengacu pada ASTM D-1037.

$$\text{MOR} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\text{MOE} = \frac{P^1L^3}{4bd^2y^1}$$

dengan, P: beban maksimal (N), P' : beban pada batas proposional (N), y' : defleksi terhadap P'(mm), L: panjang *span* (mm), b: lebar spesimen (mm), d : tebal spesimen (mm).

b. Pengujian Geser Tekan

Pengujian geser tekan mengacu pada ASTM D-1037.

$$T = \frac{P}{\sqrt{2}A}$$

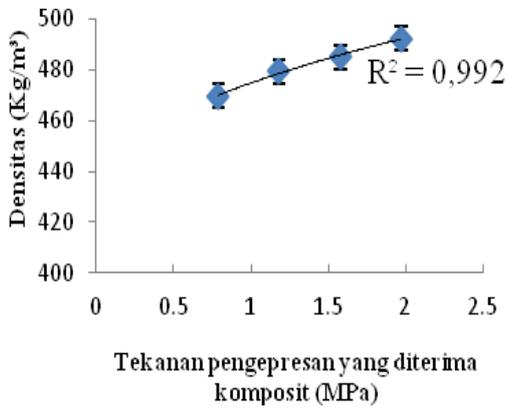
dengan: P : beban maksimum (N), A : luas penampang spesimen (mm²).

HASIL DAN ANALISA

1. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Densitas Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui tingkat keseragaman komposit dan memprediksi kekuatan suatu komposit. Hasil pengujian densitas komposit limbah kertas HVS-sekam padi dengan variasi

tekanan pengepresan yaitu 0,79 MPa, 1,18 MPa, 1,58 MPa dan 1,97 MPa yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Densitas Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi.

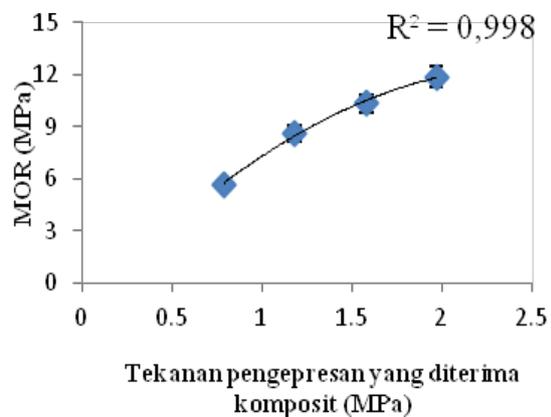
Gambar 1 menunjukkan peningkatan nilai densitas pada komposit. Nilai densitas tertinggi pada tekanan pengepresan 1,97 MPa sebesar 492,42 kg/cm³, sedangkan nilai densitas terendah pada tekanan pengepresan 0,79 MPa sebesar 469,83 kg/cm³.

Peningkatan tekanan pengepresan mengakibatkan jarak antar partikel pengisi makin dekat sehingga terjadi peningkatan interaksi antara matrik dengan pengisi. Proses tersebut menyebabkan pori pada komposit menjadi lebih kecil dan sedikit. Fakta tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan pada tekanan pengepresan sebesar 1,97 MPa pori yang terbentuk sedikit dan lebih kecil. Fakta ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Chang dkk [8] yang menunjukkan peningkatan densitas seiring dengan penambahan tekanan yang diberikan pada komposit. Peningkatan tekanan pengepresan ini menyebabkan porositas komposit menurun, densitasnya meningkat dan susunan partikel menjadi lebih solid [4].

2. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Kekuatan *Bending* Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi

a. *Modulus of Rupture* (MOR)

MOR adalah nilai ukuran kekuatan lentur yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh komposit per satuan luas hingga komposit tersebut patah. Hasil pengujian MOR komposit limbah kertas HVS-sekam padi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Nilai MOR Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi.

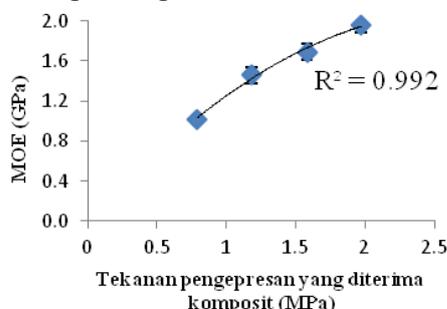
Nilai MOR tertinggi dihasilkan pada komposit dengan tekanan pengepresan 1,97 MPa sebesar 11,88 MPa, sedangkan nilai MOR terendah dihasilkan pada tekanan pengepresan 0,79 MPa sebesar 5,69 MPa. Nilai kekuatan MOR meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan pengepresan yang diberikan dan tekanan pengepresan 0,79 MPa sampai dengan 1,97 MPa terjadi peningkatan nilai MOR sebesar 108,08%.

Meningkatnya nilai MOR yang dihasilkan karena dengan bertambahnya tekanan pengepresan maka terjadi peningkatan interaksi antara matrik dengan pengisi serta meningkatkan ikatan antar muka material penyusun sehingga mengurangi pori yang terbentuk pada komposit. Ikatan antar muka yang menguat akan menyebabkan ketahanan daya lengkung komposit meningkat sehingga

mengurangi terjadinya retakan awal yang dapat memicu terjadinya patahan. Fakta ini dapat dilihat pada Gambar 4 yang merupakan gambar penampang patahan *bending* yang menunjukkan kekuatan ikatan antar muka dipengaruhi oleh gaya *adhesi* yang terjadi antara matrik dengan pengisi yang ditandai dengan permukaan pengisi yang dilapisi dengan lapisan tipis partikel matrik. Ikatan antar muka memungkinkan transfer tegangan *bending* yang lebih baik antara pengisi dan matrik, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan *bending* komposit. Kajian analisis di atas didukung oleh pendapat dari penelitian Masturi dkk [3] bahwa dengan menaikkan tekanan mengakibatkan terjadi interaksi yang lebih baik antara matrik dan pengisi yang pada akhirnya berdampak pada meningkatnya kekuatan mekanik dan diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Atuanya dkk [6] yang menyebutkan dengan peningkatan tekanan pengepresan mempunyai efek positif pada kekuatan mekanik komposit karena akan memperkuat ikatan antar muka antara matrik dan pengisi yang menyebabkan kekuatan *bending* komposit meningkat.

b. Modulus of Elasticity (MOE)

MOE adalah ukuran kekakuan suatu komposit, semakin kecil regangan elastis yang terjadi maka akan semakin kaku komposit tersebut. Nilai MOE komposit limbah kertas HVS-sekam padi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Nilai MOE Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi.

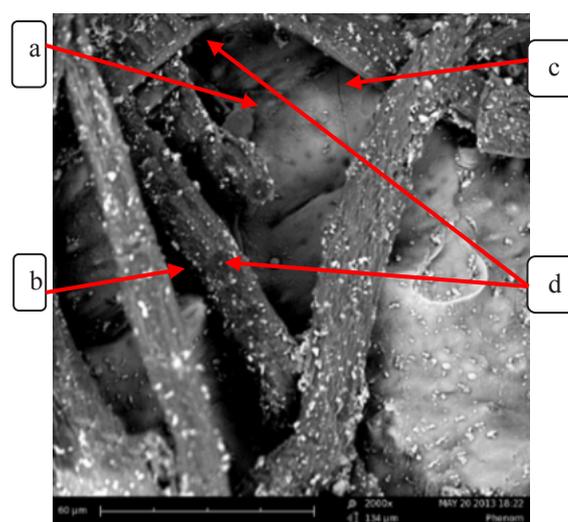
Nilai rata-rata MOE komposit disajikan pada Gambar 3. Nilai MOE

komposit tertinggi dihasilkan pada tekanan pengepresan 1,97 MPa sebesar 1,96 GPa, sedangkan nilai MOE terendah pada tekanan pengepresan 0,79 MPa sebesar 1,02 GPa. Peningkatan nilai MOE dari tekanan pengepresan 0,79 MPa sampai dengan 1,97 MPa meningkat sebesar 92,22 %.

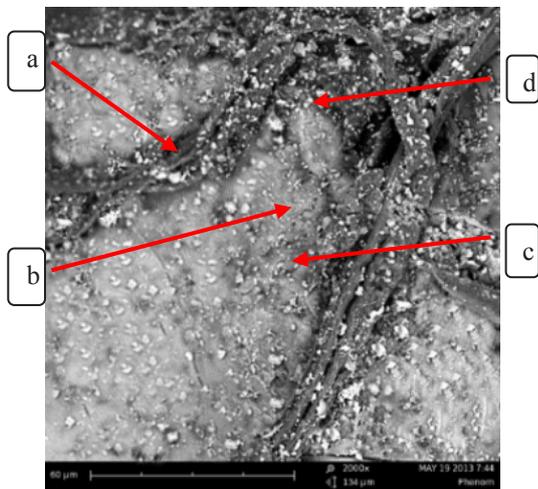
Nilai MOE komposit makin meningkat seiring dengan tekanan pengepresan yang diberikan, kekuatan *bending* komposit juga akan makin tinggi. Hal ini disebabkan karena pori yang terdapat pada komposit semakin berkurang. Ikatan antar partikel pengisi menjadi lebih baik, sehingga kekuatan komposit juga lebih tinggi. Fakta ini didukung oleh penelitian Atuanya dkk [6] yaitu meningkatnya tekanan pengepresan akan memperkuat ikatan antar muka pada komposit serta meningkatkan ketahanan terhadap deformasi sehingga akan meningkatkan kekakuan papan komposit serta modulus elastisitas.

c. Pengamatan Patahan *Bending*

Pengamatan permukaan patahan ini dilakukan pada spesimen uji *bending* dengan menggunakan foto SEM. Hasil pengamatan permukaan patahan komposit limbah kertas HVS-sekam padi ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 4. Pengamatan SEM

- (a) variasi tekanan pengepresan 0,79 MPa
- (b) variasi tekanan pengepresan 1,97 MPa

Keterangan Gambar 4:

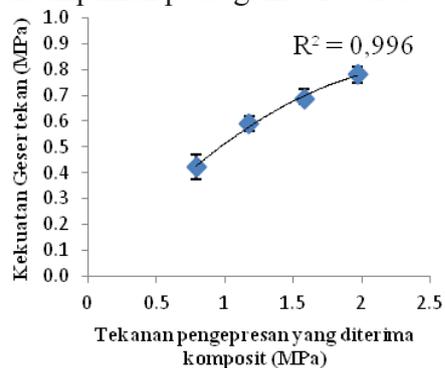
- a. Sekam padi
- b. *Biofiber* kertas HVS
- c. PVAc
- d. Pori

Gambar 4 menunjukkan permukaan patahan *bending* pada komposit dengan variasi tekanan pengepresan yang dibandingkan menggunakan pengamatan foto SEM. Pengamatan foto SEM Gambar 4.a menunjukkan kegagalan ikatan antar muka ditandai dengan permukaan serat yang bersih, *debonding* antara pengisi dan matrik yang terlihat jelas pada gambar dimana matrik tidak merekat sempurna pada serat sehingga serat terpisah. Pengamatan foto SEM Gambar 4.b menunjukkan kekuatan ikatan antar muka dipengaruhi oleh gaya *adhesi* yang terjadi antara matrik dengan pengisi ditandai dengan permukaan pengisi yang dilapisi dengan lapisan tipis partikel matrik dan terlihat jelas pada permukaan pengisi. Ikatan antar muka memungkinkan transfer tegangan *bending* yang lebih baik antara pengisi dan matrik, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan *bending* komposit [11]. Peningkatan tekanan pengepresan menyebabkan kemampuan matrik untuk menyebar akan menjadi lebih baik,

sehingga menghasilkan ikatan antar muka yang lebih kuat. Ikatan antar muka yang kuat maka kekuatan *bending* akan semakin tinggi.

3. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Kekuatan Geser Tekan Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi

Hasil pengujian geser tekan komposit limbah kertas HVS-sekam padi ditampilkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Pengaruh Tekanan Pengepresan Terhadap Kekuatan Geser Tekan Komposit Limbah Kertas HVS-Sekam Padi

Peningkatan kekuatan geser tekan meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan pengepresan yang diberikan. Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya tekanan pengepresan maka kekuatan geser tekannya akan mengalami peningkatan. Nilai kekuatan geser tekan komposit tertinggi pada tekanan pengepresan 1,97 MPa sebesar 0,78 MPa, sedangkan nilai kekuatan geser tekan terendah pada tekanan pengepresan 0,79 MPa sebesar 0,42 MPa sehingga terjadi peningkatan nilai kekuatan geser tekan dari tekanan pengepresan 0,79 MPa sampai 1,97 MPa meningkat sebesar 89,09%.

Kenaikan nilai kekuatan geser tekan dipengaruhi oleh kerapatan partikel penyusunnya. Bahan yang mempunyai kerapatan tinggi maka nilai kekuatan geser tekannya akan tinggi. Peningkatan tekanan pengepresan maka ikatan antar muka antara matrik dan pengisi akan makin tinggi sehingga kerapatan partikel

komposit makin baik dan pori yang terbentuk menurun. Fakta ini bisa dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan tekanan pengepresan 0,79 MPa pori yang terbentuk lebih besar dan banyak dibandingkan pada tekanan pengepresan pada 1,97 MPa. Pernyataan ini didukung dengan penelitian Hakim [7] yang mengkaji tentang pengaruh variasi tekanan pada komposit, hasil penelitiannya menunjukkan penambahan tekanan pengepresan yang diberikan mengakibatkan ikatan antara matrik dan pengisi akan makin tinggi dan kerapatan partikelnya pun makin baik. Ikatan yang makin baik akan menurunkan porositas sehingga kekuatan geser tekan komposit akan meningkat.

KESIMPULAN

Pengaruh bertambahnya tekanan pengepresan menyebabkan ikatan antar muka antara matrik dan pengisi menjadi meningkat dan mengurangi jumlah pori yang terbentuk, akibatnya kekuatan *bending* dan kekuatan geser tekan menjadi meningkat. Peningkatan tekanan pengepresan pada 1,97 MPa meningkatkan MOR (108,08%), MOE (92,22%) and kekuatan geser tekan (85,09%) terhadap spesimen dengan tekanan pengepresan 0,79 MPa.

Pengamatan foto SEM menunjukkan kekuatan ikatan antar muka dipengaruhi oleh gaya *adhesi* yang terjadi antara matrik dengan pengisi ditandai dengan permukaan pengisi yang dilapisi dengan lapisan tipis partikel matrik. Peningkatan tekanan pengepresan menyebabkan kemampuan matrik untuk menyebar akan menjadi lebih baik, sehingga menghasilkan ikatan antar muka yang lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Rowell, R., Sanadi, A.R., Caulfield, D.F., and Jacobson, R.E., *Utilization of Natural Fibers in Plastic*

Composites: Problems and Opportunities, Lignocellulosic-Plastics Composites, USP and UNESP, Brazil. 1997.

- [2] Grigoriou, A.H., *Waste paper-wood composites bonded with isocyanate*, Wood Sci Technol 37 (2003) 79–89.
- [3] Masturi, Mikrajuddin, Khairurijal, *High Compressive Strength of Home Waste and Polyvinyl Acetate Composites Containing Silica Nano Particle Filler*, Bandung Institute of Technology, 2011, Vol. 13: 225-231.
- [4] Masturi, Mikrajuddin, Khairurijal, *Efektivitas Polyvinyl Acetate (PVAc) sebagai Matriks Pada Komposit Sampah*, ITB, 2010, Vol.13, No.2, : 61-66.
- [5] Kurt, R., Cil, M., *LVL glue line & pressure*. BioResources 7(4), 5346-5354. 2012.
- [6] Atuanya, C.U., Ibadode, A.O.A., Igboanugo, A.C., *Potential of Using Recycled Low-Density Polyethylene in Wood Composites Board*, Tribology in Industry, Vol. 33, No.1. 2011.
- [7] Hakim, F.A., *Pengaruh Variasi Tekanan Pengepresan Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Tepung Kanji-Kulit Kacang Tanah*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. 2009.
- [8] Chang, L.J., Young, J.H., Jiang, B.C., Jang, J.S.C., Huang, J.C., Tsa, C.Y.A., *Mechanical properties of the MG- based amorphous/nano zirconia composite alloy*, Materials Science Forum, 2007, Vol. 539-543, pp. 925 - 930.
- [9] Lykidis, C., Grigoriou, A., *Quality characteristics of hydrothermally recycled particleboards using various wood recovery parameter*, The Wood Technology Society of the Institute of Materials, 2011, Vol. 2: No.1.
- [10] Ganguli, P.K., *Composite Laminates From Caddies an Industrial Waste*, Regent Park, 2009, Vol. 68, pp. 560-562.
- [11] Mallick, P.K., *Fiber Reinforced Composites*, University of Michigan, USA. 1988.