

# **Pengembangan Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Resin *Biodegradable***

Peneliti : Sujito<sup>1</sup>, Sumarji<sup>2</sup>, E. Purwandari<sup>1</sup>, E. Hidayah<sup>3</sup>  
Mahasiswa Terlibat : Riska Dwi A<sup>1</sup>, Noviana Wulantika<sup>1</sup>, Zam Zam SA<sup>1</sup>  
Sumber Dana : BOPTN Universitas Jember Tahun 2013

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

## ABSTRAK

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk memperoleh bahan komposit ramah lingkungan berpenguat modifikasi serat ampas tebu dan *biodegradable* resin *polylactid acid* (PLA) yang memiliki sifat fisis baik, sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan untuk keperluan manusia. Untuk mencapai tujuan tersebut telah berhasil dilakukan sintesis bahan komposit dengan orientasi arah serat/penguat ampas tebu longitudinal, transversal, dan campuran dengan resin PLA. Kekuatan tarik dan bending bahan komposit hasil sintesis diuji dengan standar ASTM D-638 menggunakan mesin uji Instron universal (Model 5567). Sementara itu, kemampuan biodegradasi bahan komposit hasil sintesis dengan metode penguburan. Dari hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik, modulus elastisitas, kekuatan dan modulus bending terbesar dimiliki oleh bahan komposit hasil sintesis dengan orientasi arah serat/penguat longitudinal dan berturut-turut diikuti oleh bahan komposit hasil sintesis dengan arah orientasi serat/penguat campuran dan transversal. Di samping itu, bahan komposit hasil sintesis semuanya merupakan bahan komposit yang dapat terdegradasi secara alami sehingga merupakan bahan komposit yang ramah lingkungan.

***Kata kunci:*** Komposit ramah lingkungan, kekuatan tarik, kekuatan bending, kemampuan biodegradasi, PLA, ampas tebu

# Pengembangan Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Resin *Biodegradable*

Peneliti : Sujito<sup>1</sup>, Sumarji<sup>2</sup>, E. Purwandari<sup>1</sup>, E. Hidayah<sup>3</sup>  
Mahasiswa Terlibat : Riska Dwi A<sup>1</sup>, Noviana Wulantika<sup>1</sup>, Zam Zam SA<sup>1</sup>  
Sumber Dana : BOPTN Universitas Jember Tahun 2013

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jember

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

## Latar Belakang dan Tujuan Penelitian

Penggunaan serat alami untuk memperkuat polimer biodegradabel sebagai alternatif untuk serat sintesis atau kaca telah dan terus menjadi subyek penelitian oleh para peneliti bahan komposit. Keuntungan dari penggunaan serat alam dan polimer *biodegradable* untuk menghasilkan bahan komposit yang ramah lingkungan atau *green composites* telah didokumentasikan dengan baik dan pada umumnya dilakukan dengan dasar pertimbangan pada faktor ramah lingkungan serta faktor kesehatan dan keselamatan (Avela, 2009). Hingga kini, berbagai serat alam yang ada telah digunakan untuk membuat bahan komposit ramah lingkungan, seperti misalnya serat bambu (Takagi et.al., 2004; Sujito dan Takagi, 2011; Sujito, 2012; Lee, 2005), kenaf (Ochi, 2008), rami (Badros, 2007), ganja (Garcia, 2008), jute (Hu et.al., 2007), serat kayu (Huda, 2006), dan serat ampas tebu (Yuda & Jadmiko, 2008 dan Rahman et.al, 2011).

Sejalan dengan penggunaan serat ampas tebu dalam pembuatan bahan komposit, studi pengaruh fraksi volume serat terhadap kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dan resin poliester telah dilakukan (Rahman et.al., 2011). Hasil pengujian kekuatan tarik bahan komposit berpenguat serat ampas tebu dengan arah orientasi unidireksional dan resin poliester menunjukkan bahwa dengan bertambahnya fraksi volume serat mengakibatkan penurunan kekuatan tarik dan regangan tarik namun meningkatkan modulus elastisitasnya. Kekuatan tarik tertinggi pada  $V_f = 0\%$  sebesar 32,19 MPa dan terendah pada  $V_f = 40\%$  sebesar 18,58 MPa dan. Regangan tarik mengalami penurunan dengan nilai tertinggi pada  $V_f = 0\%$  sebesar 9,11% dan terendah pada  $V_f = 40\%$  sebesar 4,31%. Modulus elastisitas mengalami kenaikan dengan harga terendah pada  $V_f = 0\%$  yaitu 356,60 MPa dan tertinggi pada  $V_f = 40\%$  sebesar 485,60 MPa. Hasil pengamatan patahan menunjukkan patah tunggal pada fraksi volumen 0%, 10%, 20% dan 40%, sedangkan pada fraksi volume 30% terjadi patah banyak.

Sementara itu, salah satu polimer *biodegradable* yang telah banyak digunakan karena ketersediaan dari sumber daya alam yang terbarukan seperti jagung, gandum, bit

gula dan tapioka adalah poli-asam laktat (PLA). PLA adalah polimer termoplastik *biodegradable* dengan titik leleh yang relatif tinggi dan memiliki sifat mekanik yang baik. Biasanya, PLA yang merupakan polimer asam laktat disintesis dengan cara polimerisasi kondensasi dari L-asam laktat yang merupakan asam organik yang penting di industri, terutama di industri makanan (Datta et al., 1995).

Produksi asam laktat pada umumnya dilakukan dengan fermentasi gula (*glucose*) oleh *lactic acid bacteria*, seperti *Lactobacillus*, yang memiliki *high acid tolerance* dan bisa direkayasa genetika untuk menghasilkan D-(-) atau L-(+) *optical isomers* dari asam ini secara selektif (Svensson et.al., 2005). Namun bakteri jenis ini memerlukan medium kompleks yang bisa membuat proses pemurnian (*downstream processing*) sulit dan mahal. Selain itu, bakteri ini juga tidak mampu mengfermentasi gula pentosa dengan efektif. Solusinya adalah penggunaan bakteri lain jenis *Escherichia coli* yang telah direkayasa genetika guna produksi asam laktat secara optimum. Sayangnya, PLA dan juga sebagian besar polimer *biodegradable* memiliki kekuatan yang relatif rendah, sehingga tidak mungkin polimer *biodegradable* digunakan sebagai komponen bahan struktural dengan kekuatan tinggi. Oleh karena itu penggunaan serat alam yang memiliki kekuatan cukup baik, seperti serat rami, manila, jute, ampas tebu dan bambu sebagai bahan penguat pada pembuatan bahan komposit dengan polimer *biodegradable* menjadi salah satu bidang penelitian yang menarik. Umumnya, sifat mekanik dari bahan komposit dapat ditingkatkan secara signifikan dengan menggunakan serat alam tunggal dan pendek. Berdasarkan fenomena di atas penelitian yang mengarah pada pengembangan bahan komposit ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan manusia masih sangat diperlukan.

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari pelaksanaan kegiatan penelitian ini adalah memperoleh bahan komposit ramah lingkungan berpenguat serat ampas tebu yang telah dimodifikasi dan resin *poly-lactic acid* - PLA yang memiliki sifat fisis (mekanis dan thermal) sangat baik sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan untuk keperluan pembuatan papan panel-panel bagian interior rumah maupun panel interior industri transportasi (mobil, kereta api dan pesawat terbang). Dengan tercapainya tujuan khusus tersebut diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis ampas tebu yang pada gilirannya juga diharapkan mampu meningkatkan taraf hidup buruh tani atau petani tebu.

### **Metode Penelitian**

Sintesis bahan komposit dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan apa yang telah dilakukan oleh Sujito *et. al.* (2011) sebelumnya. Pertama, persiapan bahan komposit diperoleh dengan menuangkan resin PLA, yang telah diencerkan dengan aquades dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 400 putaran/menit selama 30 menit, di atas permukaan lembaran ampas tebu dan mengeringkannya pada oven konveksi dengan suhu 70<sup>0</sup>C selama 12 jam.. Selanjutnya, spesimen bahan komposit difabrikasi melalui *hot pressing* dengan

menggunakan mesin pengepres. Dalam proses ini, bahan ditempatkan di dalam cetakan dari logam dan kemudian dipanaskan hingga temperatur 130<sup>0</sup>C. Kemudian, cetakan logam dibiarkan pada suhu 130<sup>0</sup>C selama 5 menit dan spesimen kemudian ditekan dengan tekanan 10 MPa selama 10 menit. Cetakan selanjutnya dikeluarkan dari alat pengepres dan didinginkan hingga temperatur ruangan untuk mengambil bahan komposit dari cetakan. Spesimen bahan komposit hasil sintesis dalam penelitian ini memiliki dimensi panjang 100,0 mm, lebar 10,0 mm lebar, dan tebal 2,0 mm ketebalan dibuat dan digunakan untuk pengujian kekuatan tarik. Sedangkan, spesimen dengan dimensi panjang =100,0 mm, lebar 10,0 mm lebar, dan tebal 4,0 mm dibuat dan digunakan untuk pengujian kekuatan lentur/bending. Dalam hal ini disintesis tiga jenis bahan biokomposit dengan arah orientasi serat masing-masing adalah longitudinal, transversal, dan longitudinal.

Pengujian tarik bahan komposit dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D-638 dan dilakukan dengan mesin uji Instron universal (Model 5567). Hasil uji tarik dari spesimen dilakukan pada kecepatan *crosshead* sebesar 1,0 mm/menit dengan jarak *gauge* 30,0 mm. Uji bending bahan komposit juga dilakukan dengan menggunakan mesin yang sama dengan menggunakan metode 3-titik dengan panjang bentang 50,0 mm. Data hasil uji kemudian dianalisis untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan bending, modulus elastisitas dan modulus bending bahan komposit hasil sintesis.

Uji degradasi bahan komposit hasil sintesis dilakukan dengan metode penguburan bahan komposit hasil sintesis sebagai bahan uji ke dalam tanah kompos yang diletakkan di dalam pot, untuk mengetahui kemampuan degradasi bahan komposit hasil sintesis. Perubahan massa bahan komposit setelah dikubur dan sebelum dikubur diukur sebagai fungsi waktu. Kemampuan biodegradasi bahan komposit hasil sintesis ditentukan dengan menggunakan persamaan seperti yang telah dilakukan oleh pengusul (Sujito, 2010). Pengamatan morfologi permukaan bahan komposit hasil sintesis setelah dilakukan penguburan dengan mikroskop optik. Sementara itu morfologi internal bahan komposit diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM) Inspect S50*.

## **Hasil dan Pembahasan**

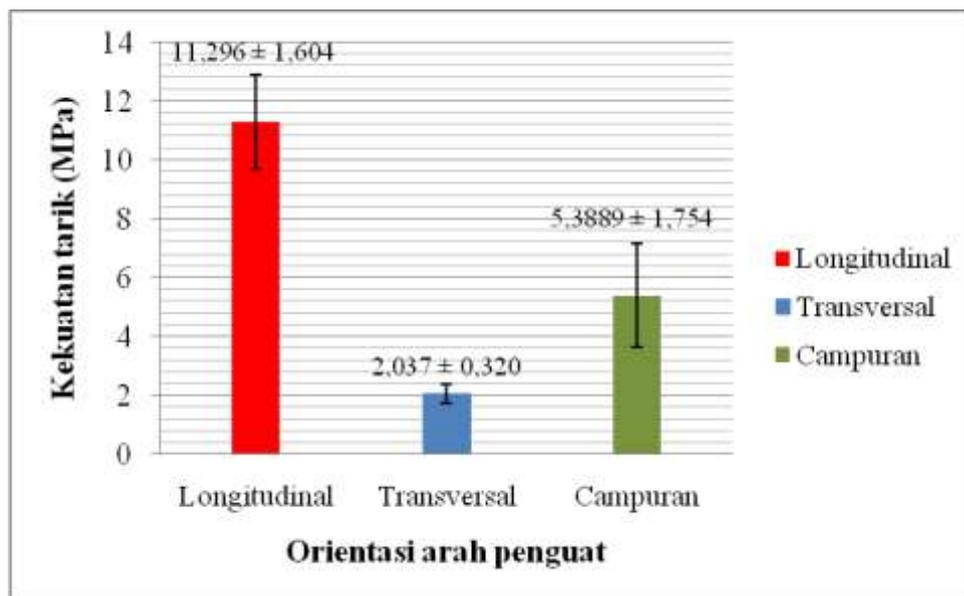
Gambar 1 menunjukkan bahan biokomposit hasil sintesis. Secara umum bahan komposit yang dihasilkan memiliki permukaan rata dan bentuk fisik yang relatif sama, dengan dimensi 10,0 cm x 1,0 cm x 0,5 cm.

Gambar 2 menunjukkan kekuatan tarik bahan komposit hasil sintesis sebagai fungsi dari orientasi arah penguat. Berdasarkan Gambar 2 tampak bahwa masing-masing bahan biokomposit hasil sintesis memiliki kekuatan tarik yang berbeda. Kekuatan tarik maksimum dimiliki oleh bahan biokomposit dengan orientasi arah serat longitudinal, yaitu sebesar  $(11,296 \pm 1,604)$ MPa sebelum mengalami kegagalan (putus) dan regangan maksimum yaitu  $(6,758 \pm 0,398)\%$ . Sementara itu, kekuatan tarik minimum dimiliki oleh bahan biokomposit hasil sintesis dengan orientasi arah serat transversal yaitu sebesar  $(2,037 \pm 0,320)$  MPa dan dengan regangan maksimum  $(2,159 \pm 0,031)\%$ . Sementara itu, bahan biokomposit hasil sintesis dengan arah orientasi serat campuran memiliki kekuatan

tarik dan regangan maksimum masing-masing adalah  $(5,389 \pm 1,754)$ MPa dan  $(2,159 \pm 0,031)\%$ .



**Gambar 1** Tipikal bahan biokomposit hasil sintesis sebelum dilakukan uji kekuatan tarik.



**Gambar 2** Kekuatan tarik ( $\sigma$ ) bahan komposit hasil sintesis sebagai fungsi dari orientasi arah penguat.

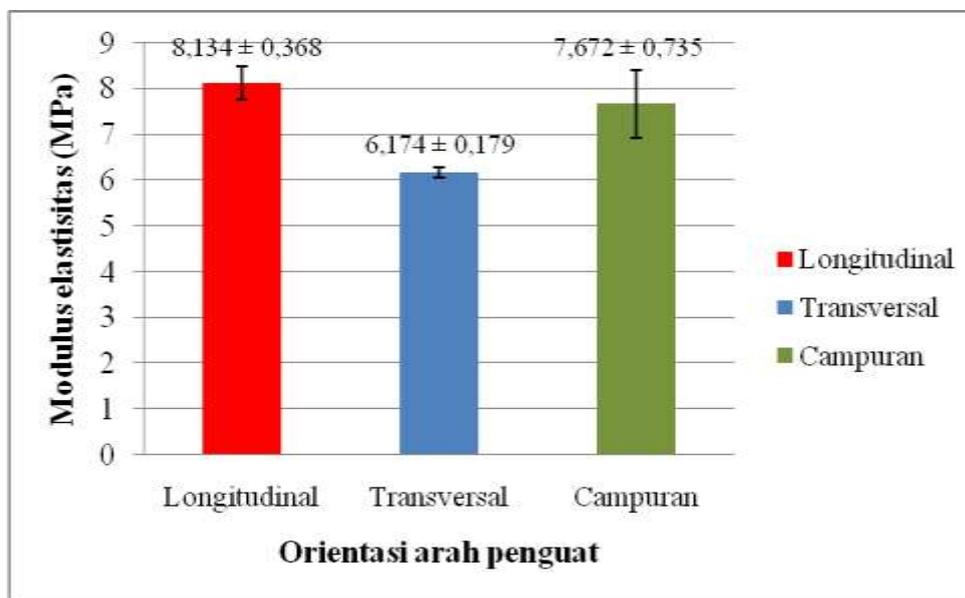
Jika suatu bahan memiliki nilai kekuatan maksimum (UTS) semakin besar maka regangan maksimum yang dimiliki bahan komposit juga semakin besar. Regangan maksimum menunjukkan nilai keuletan atau besarnya deformasi plastis yang dimiliki bahan pada saat bahan tersebut patah. Ini berarti bahwa semakin besar nilai keuletan bahan komposit maka bahan biokomposit hasil sintesis semakin tidak mudah putus pada saat dilakukan uji tarik.

Bervariasinya kekuatan tarik bahan biokomposit hasil sintesis di atas dalam menerima beban bergantung pada orientasi arah penguatnya, dimana

untuk bahan biokomposit dengan orientasi arah penguat longitudinal memiliki kekuatan menahan beban yang paling tinggi dibandingkan dengan bahan komposit dengan orientasi arah penguat transversal dan campuran.

Nilai modulus elastisitas bahan komposit hasil sintesis ditentukan dengan menggunakan metode *offset* dengan cara menarik garis lurus yang sejajar dengan garis linier, kemudian menggeser garis tersebut sampai di titik regangan 0,2% hingga memotong grafik, titik potong tersebut menyatakan titik luluh bahan

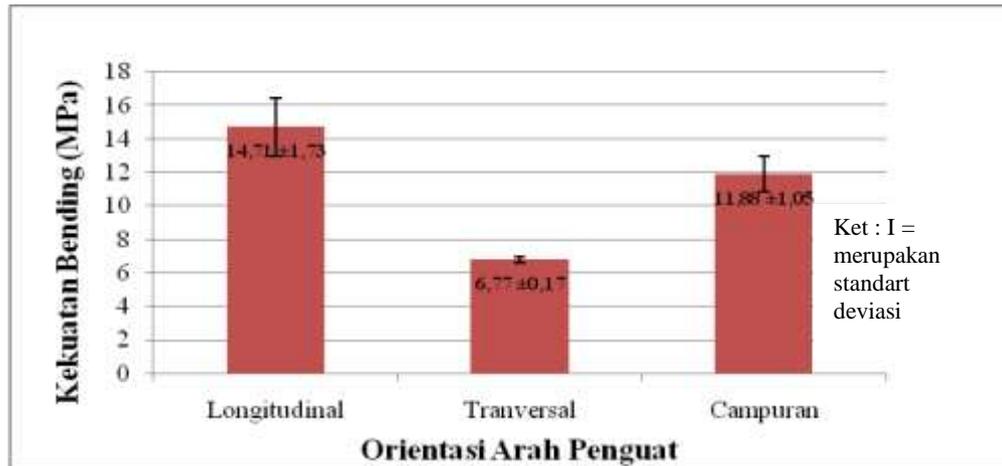
Gambar 3 merupakan nilai modulus elastisitas bahan sebagai fungsi orientasi arah serat. Modulus elastisitas menunjukkan kekakuan yang dimiliki oleh suatu bahan. Oleh karena itu semakin besar modulus elastisitas suatu bahan komposit hasil sintesis maka semakin besar sifat kekakuan bahan komposit tersebut atau bersifat semakin tidak elastis.



**Gambar 3** Histogram hubungan antara modulus elastisitas (E) terhadap orientasi arah serat.

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa terjadi interseksi antara nilai modulus elastisitas minimum bahan komposit dengan orientasi arah serat pada penguat longitudinal ( $E = 7,766$  MPa) dan nilai modulus elastisitas maksimum bahan komposit dengan orientasi arah serat pada penguat campuran ( $E = 8,407$  MPa). Hal ini menunjukkan bahwa kedua bahan komposit tersebut memiliki perbedaan nilai modulus elastisitas yang tidak signifikan.

Kekuatan bending bahan komposit hasil sintesis ditentukan melalui pengujian bending. Kekuatan bending bahan komposit hasil sintesis sebagai fungsi orientasi arah penguat ditunjukkan pada Gambar 4.



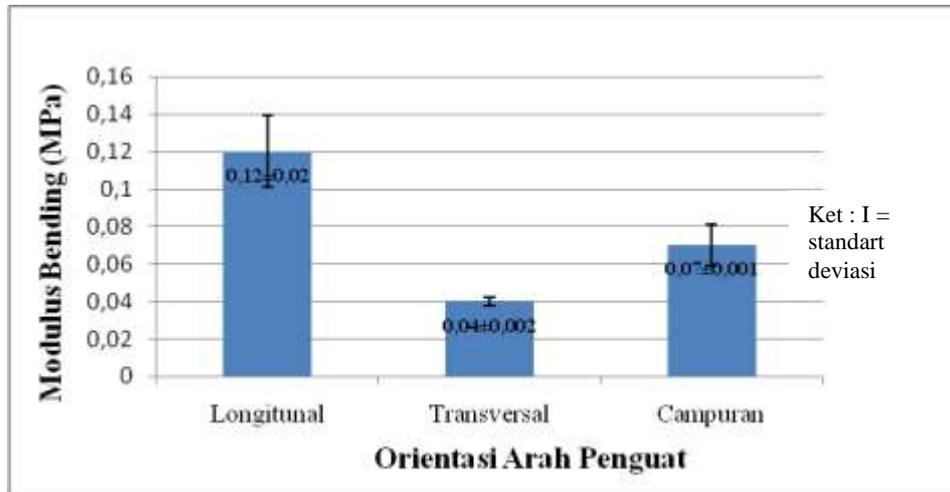
**Gambar 4** Histogram hubungan antara kekuatan bending terhadap orientasi arah serat/penguat.

Berdasarkan Gambar 4 tampak bahwa nilai kekuatan bending bahan biokomposit hasil sintesis dengan orientasi arah penguat longitudinal, transversal, dan campuran masing-masing sebesar  $(14,71 \pm 1,73)$  MPa,  $(6,77 \pm 0,17)$  MPa, dan  $(11,88 \pm 1,05)$  MPa. Seperti halnya hasil uji tarik, berdasarkan data di atas diperoleh bahwa nilai kekuatan bending maksimum dan minimum masing-masing dimiliki oleh bahan biokomposit hasil sintesis dengan arah orientasi penguat longitudinal dan transversal. Hal ini menunjukkan bahwa kedua bahan komposit tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda dan dengan demikian tampak jelas bahwa orientasi arah penguat pada sintesis bahan biokomposit menentukan besarnya kekuatan bending bahan biokomposit tersebut. Selain itu, secara umum kekuatan bending suatu bahan komposit yang rendah juga diakibatkan oleh rendahnya kualitas morfologi internal bahan komposit itu sendiri. Rendahnya kualitas morfologi internal bahan komposit tersebut ditandai oleh adanya *void*/lubang pada bagian dalam bahan komposit hasil sintesis sehingga ikatan antara penguat dan resin kurang begitu kuat.

Dari hasil uji bending juga diperoleh data besar sudut defleksi maksimum bahan komposit saat uji bending dilakukan. Besarnya sudut defleksi maksimum yang diperoleh digunakan untuk menentukan besarnya modulus bending bahan komposit hasil sintesis. Gambar 5 menunjukkan besar modulus bending bahan biokomposit hasil sintesis sebagai fungsi dari orientasi arah serat. Berdasarkan gambar tersebut tampak bahwa besar modulus bending bahan komposit hasil sintesis dengan orientasi arah penguat longitudinal, transversal, dan campuran masing-masing adalah  $(0,12 \pm 0,02)$  MPa,  $(0,04 \pm 0,002)$  MPa, dan  $(0,07 \pm 0,01)$  MPa. Nilai modulus bending terbesar dimiliki oleh bahan komposit dengan orientasi arah penguat longitudinal dan nilai modulus bending terendah dimiliki oleh bahan komposit dengan penguat pada orientasi arah transversal.

Nilai tersebut sesuai dengan kekuatan bending yang telah diuraikan di atas bahwa pada serat dengan orientasi arah longitudinal memiliki nilai kekuatan bending lebih besar maka nilai modulusnya juga lebih besar dibandingkan dengan serat pada orientasi baik arah campuran maupun transversal. Hal tersebut dikarenakan pada serat dengan orientasi

arah longitudinal lebih kaku dan lebih kuat dibandingkan dengan penguat dengan arah campuran dan arah transversal. Semakin kaku bahan biokomposit hasil sintesis maka nilai modulus bendingnya semakin besar. Sebaliknya jika semakin elastis bahan biokomposit hasil sintesis maka nilai modulus bendingnya semakin kecil.



**Gambar 5** Histogram hubungan antara modulus bending terhadap orientasi arah serat/penguat

Untuk mengetahui kemampuan bahan komposit hasil sintesis terdegradasi secara alami dilakukan dengan melakukan metode penguburan. Massa bahan komposit hasil sintesis sebelum dan sesudah penguburan disajikan pada tabel 1.

**Tabel 1** Massa bahan komposit hasil sintesis sebelum dan sesudah dikubur

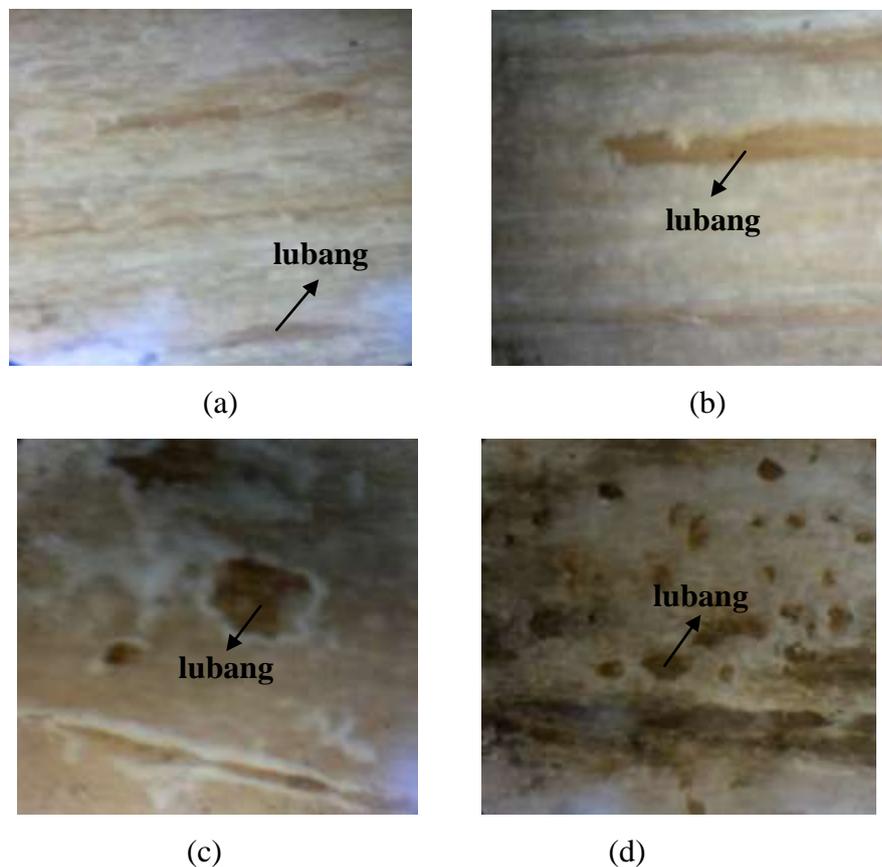
Lama Penguburan (minggu)	Massa mula-mula, $m_0$ (gr)	Rerata Massa setelah dikubur, $m_1$ (gr)	Rerata Perubahan massa, $\Delta m$ (gr)	Massa yang terbiodegradasi (%)
1	0,73	0,716	0,014	1,9
2	0,73	0,696	0,034	4,7
3	0,73	0,684	0,046	6,3
4	0,73	0,672	0,058	7,9

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh bahwa bahan komposit hasil sintesis yang sebelum dikubur memiliki massa yang sama yaitu sebesar 0,73 gram tetapi setelah dikubur pada minggu ke-1, minggu ke-2, minggu ke-3, dan minggu ke-4 masing-masing memiliki massa 0,716 gram; 0,696 gram; 0,684 gram; dan 0,672 gram. Dari hasil tersebut tampak bahwa bahan komposit hasil sintesis setelah dikubur selama satu minggu ke-1 hingga minggu ke-4 mengalami penurunan massa. Penurunan massa tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme yang ada pada pupuk organik/kompos dapat menguraikan bahan komposit. Selain itu, penurunan massa bahan komposit hasil sintesis dengan penguat

lembaran tipis limbah pengolahan kayu sengon dan resin *Poly Lactic Acid* (PLA) menunjukkan bahwa bahan biokomposit tersebut dapat terdegradasi secara alami. Sehingga bahan komposit hasil sintesis dikatakan bahwa bahan komposit tersebut bersifat ramah lingkungan.

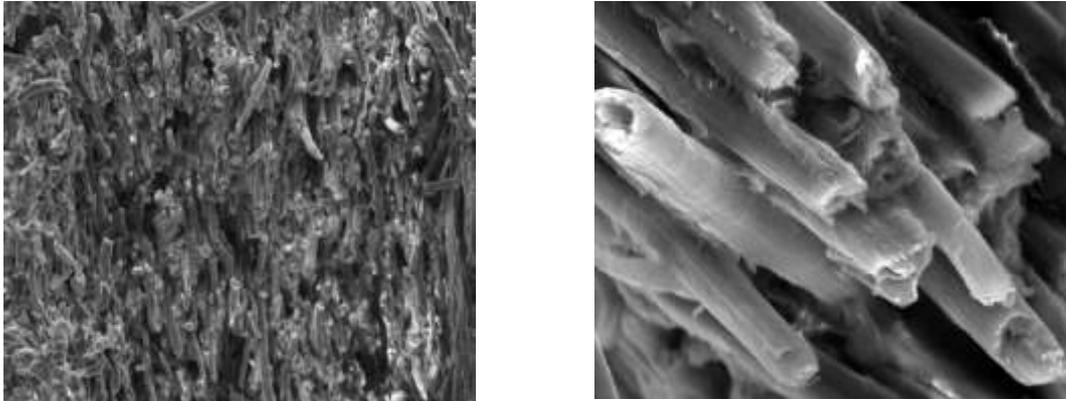
Meningkatnya nilai persentase massa bahan komposit yang terbiodegradasi seiring dengan lamanya waktu penguburan disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan komposit sehingga bahan komposit menjadi rapuh. Sehingga semakin lama waktu penguburan bahan komposit maka bahan tersebut akan semakin berkurang massa dan kekuatannya karena terbiodegradasi secara alami saat dilakukan penguburan.

Perubahan warna dan kerusakan bahan hasil uji biodegradasi dilihat menggunakan mikroskop optik Carton dengan perbesaran 40 kali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Foto mikrograf morfologi permukaan bahan komposit hasil sintesis setelah dilakukan penguburan: (a) minggu ke-1; (b) minggu ke-2; (c) minggu ke-3; dan (d) minggu ke-4.

Gambar 7 menunjukkan tipikal internal morfologi bahan komposit hasil sintesis hasil pemotretan dengan menggunakan SEM Inspect S50.



**Gambar 7** Tipikal foto morfologi internal bahan komposit hasil sintesis dengan perbesaran 500x (kiri) dan 4000x (kanan).

Berdasarkan gambar 7 tampak bahwa masih tampak adanya kekosongan antara serat yang satu dan yang lain atau antara sekelompok serat dengan sekelompok serat yang lain. Ini diduga terjadi karena proses sintesis yang telah dilakukan. Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik dan bending bahan komposit hasil sintesis nilainya cukup rendah.

### **Kesimpulan**

Kesimpulan sementara yang dapat diperoleh dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan dengan hasil seperti diuraikan pada bab sebelumnya adalah:

- Telah berhasil dilakukan sintesis bahan komposit dengan orientasi arah penguat serat ampas tebu longitudinal, transversal dan campuran, dan resin *biodegradable* PLA.
- Bahan komposit dengan arah orientasi penguat/serat longitudinal memiliki sifat mekanik (kekuatan tarik dan bending) lebih baik dibandingkan dengan dua bahan komposit ramah lingkungan yang lain yang dihasilkan dalam sintesis bahan komposit di penelitian ini.
- Bahan komposit yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan bahan komposit yang dapat terbiodegradasi secara alami dengan demikian bahan biokomposit tersebut merupakan bahan komposit yang ramah lingkungan.

**Kata kunci:** Komposit ramah lingkungan, kekuatan tarik, kekuatan bending, kemampuan biodegradasi, PLA, ampas tebu

## Daftar Pustaka

- Avella M., A. Buzarovska, M.E. Errico, G. Gentile and A. Grozdanov, 2009, "Review-eco-challenges of bio-based polymer composites". *Materials*, Vol. 2, pp 911-925.
- Badros E., I.Pillin, N. Montrelay and C. Baley, 2007, "Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibres be used in structural applications", *Compos. Sci. Technol.*, Vol. 67, No. 3-4, pp 462-470.
- Datta R, Tsai SP, Bonsignore P, Moon SH, Frank JR., 1995, "Technological and Economic-Potential of Poly(Lactic Acid) and Lactic-Acid Derivatives", *Fems Microbiology Reviews* 16(2-3), 221-231.
- García M., I. Garmendia and J. García, 2008, "Influence of natural fiber type in eco-composites", *J Appl. Polym. Sci.*, Vol. 107, No. 5, 2994-3004.
- Hu R., and J-K. Lim, 2007, "Fabrication and mechanical properties of completely biodegradable hemp reinforced PLA composites", *J. Compos. Mater*, Vol. 41, No. 13, pp 1655-1669.
- Huda M.S., L.T. Drzal, A.K. Mohanty and M. Misra, 2006, "Wood-fiber-reinforced poly(lactic acid) composites: Evaluation of the physicochemical and morphological properties", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 102, No.5, pp 4856-4869.
- Lee S., and S. Wang, 2005, "Biodegradable polymers/bamboo fiber bio-composite with bio-based coupling agent", *Composites Part A: Appl. Sci. and Manufact.*, Vol. 37, No. 1, pp 80-91.
- Ochi S., 2008, "Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites", *Mechanics of Material*, Vol. 40, No. 4-5, pp 446-452.
- Rahman M.B.N. dan Kamil B.P., 2011, Pengaruh fraksi volume serat terhadap sifat-sifat tarik komposit diperkuat unidirectional serat tebu poliester, *J. Ilm. Semester Teknik*, Vol. 14, No. 2, 133-138.
- Sujito** and Takagi H., 2011, Flexural Strength and Impact Energy of Microfibril Bamboo Fiber Reinforced Environment-Friendly Composites Based on Poly-Lactic Acid Resin, *Int. J of Mod. Phys. B*, Vol. 25, No. 31, 4195-4198.
- Sujito**, 2012, *Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas Bahan Komposit Ramah Lingkungan Berbasis Serat Bambu dan Matriks Asam Poli Laktad*, Flux, Vol. 9, No. 1, 49-58.
- Svensson, A., et al., 2005, Bacterial cellulose as a potential scaffold for tissue engineering of cartilage. *Biomaterials*, Vol. 26(4): p. 419-431.
- Takagi H. and Y. Ichihara, 2004, "Effect of fiber length on mechanical properties of "green" composites using a starch-based resin and short bamboo fibers". *JSME Intl. J.*, Series A, Vol. 47, No. 4, 551-555, 2004.
- Yuda H. dan Jadmiko S., 2008, "Analisa teknis kekuatan mekanis material komposit berpenguat serat ampas tebu ditinjau dari kekuatan tarik dan impak", *Kapal*, Vol. 5, No. 2, 95-101.