

Analisis Kekuatan Tarik dan Lentur pada Komposit Epoxy/Serat Batang Melinjo dan Polyester/Serat Batang Melinjo untuk Aplikasi Komponen Otomotif (Analysis of Tensile and Flexure Strength on Epoxy/gnetum gnemon fibre and Polyester/gnetum gnemon fibre Composites for Automotive Component Application)

Sri Chandrabakty¹, Leo Soemardji², Bakri³, Anwar Badaruddin⁴, Sadri⁵ dan Zulkifli⁶

Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako
Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu, 94118
E-mail : chandrabakty@untad.ac.id; chandrabakty@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan material bio-komposit yang baru dengan bahan dasar dari alam, selain itu untuk mengeksplorasi kekuatan serat batang melinjo (*gnetum gnemon*) sebagai penguat komposit dengan menggunakan matrik epoxy-resin dan polyester untuk diaplikasikan sebagai material pada bagian interior komponen otomotif. Proses penelitian diawali dengan memberikan perlakuan permukaan pada serat batang melinjo, yaitu perendaman dengan media air dan NaOH 5% selama 24 jam. Proses selanjutnya adalah pembuatan komposit serat batang melinjo dengan matrik masing-masing resin epoxy merk AVIAN dan polyester YUKALAC dengan volume fraksi 30%. Sebagai variabel dalam pengujian ini, spesimen dilakukan dalam dua kondisi yaitu tanpa pemanasan (NT) dan pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam (T6 60C) dalam oven. Spesimen pengujian tarik dibuat dengan mengacu pada standard ASTM D638 dan spesimen pengujian lentur mengacu pada standard ASTM D790. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) TN20MD Controlab kapasitas 200 kN. Untuk mengoptimalkan analisis terhadap *bonding interface*, dilakukan pengamatan foto SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa tegangan tarik tertinggi di dapatkan pada komposit polyester-serat batang melinjo yang tanpa perlakuan sebesar 25,57 MPa dan terjadi penurunan pada komposit yang mendapatkan perlakuan sebesar 10,32%. Hal serupa juga terjadi pada komposit epoxy-serat batang melinjo di mana terjadi penurunan kekuatan sebesar 0,64%, dari 23,45 MPa pada komposit tanpa perlakuan setelah mendapatkan perlakuan. Kekuatan lentur lebih baik diperoleh pada komposit resin epoxy-serat batang melinjo sebesar 110,48 MPa dan hanya mengalami penurunan kekuatan sebesar 11,20% setelah mengalami pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam. Matrik resin epoxy dan polyester memiliki kemampuan rekat yang baik dengan serat batang melinjo hal ini terlihat dari perilaku kerusakan yang terjadi dari hasil pengamatan foto SEM.

Keywords: komposit, serat batang melinjo, epoxy-resin, polyester, kekuatan tarik, kekuatan lentur

Pendahuluan

Penggunaan material komposit diperkuat oleh serat sintetik dalam aplikasi komponen otomotif masih mendominasi dalam industri tersebut. Bahkan dalam skala industri kecil yaitu pada bengkel-bengkel “variasi”, pembuatan komponen kendaraan, seperti *bumper*, *dashboard*, *panel door* depan dan belakang serta *trim door* masih menggunakan material komposit yang berbahan sintetik. Serat sintetik memiliki kekurangan yaitu tidak ramah lingkungan karena tidak dapat terurai di alam (*un-biodegradability*) serta dalam proses pembuatannya menghasilkan emisi CO² di udara. Dalam bidang otomotif, pada tahun 1942 Henry Ford telah mengembangkan prototipe mobil komposit yang pertama yang terbuat dari serat *hemp*. Antara tahun 1950 hingga 1990 mobil

“Trabant” produksi Jerman Timur mengembangkan kendaraan yang dibangun dari material yang mengandung serat alam, dalam kasus ini menggunakan penguat serat katun dan matrik pengikat dari polyester. Sejak tahun 1991, Daimler-Benz telah mengembangkan ide menggantikan serat gelas dengan serat alami dalam komponen otomotif. Perusahaan yang merupakan anak perusahaan dari Mercedes-Benz, memelopori konsep ini dengan “proyek Beleem” yang berbasis di São Paolo, Brazil. Mereka menggunakan serat sabuk kelapa dalam komponen kendaraan komersial selama periode 9 tahun. Pada tahun 1996, Mercedes pertama kali menggunakan serat jute sebagai penguat pintu panel pada kendaraan tipe *E-Class*. Dan pada September 2000, Daimler Chrysler mulai menggunakan serat alam untuk produksi kendaraan mereka yang berbasis di East London, Afrika Selatan (Suddell dan Evans, 2005). Pada tahun 2000, Toyota telah menggunakan serat kenaf

yang dipadukan dengan matrik *polypropylene* (PP) sebagai material untuk door trim pada kendaraan produksi mereka, karena mempunyai kekuatan yang tinggi dan mampu mereduksi berat dari serat sintetik. Pemilihan serat kulit batang melinjo (*gnetum gnemon*) sebagai penguat pada komposit dikarenakan serat ini memiliki struktur serat yang kontinyu dan anyaman alami yang kuat tetapi pemanfaatannya masih sangat terbatas.. Hal yang paling penting dari serat batang pohon ini dalam hal aplikasi otomotif adalah serat tersebut berasal kelompok kulit kayu. Serat kulit batang kayu terdiri dari inti kayu bagian dalam dikelilingi oleh kumpulan serat berongga panjang dan dilindungi kulit terluar, biasanya mempunyai sifat mekanis yang lebih baik dari kelompok serat alat lainnya. Menurut Suddell dan Evans (2005), keuntungan lain yang bisa di dapatkan dari serat kulit batang kayu (*bast fiber*) sebagai penguat komposit antara lain:

- a. Sumbernya yang terbarukan dan berkelanjutan
- b. Mampu di daur ulang.
- c. Mampu mereduksi berat antara 10% hingga 30% (merupakan hal yang utama dalam perancangan otomotif)
- d. Menghemat biaya produksi.
- e. Pasokan yang berlimpah dan mudah di akses oleh industri komponen otomotif.

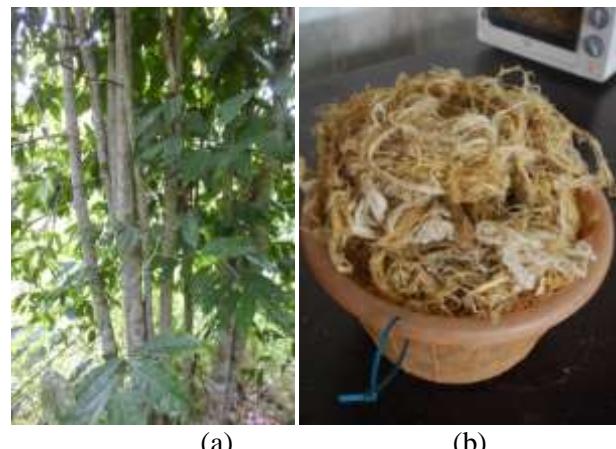
Berdasarkan hal ini maka kami akan meneliti kekuatan tarik dan kekuatan lentur komposit yang diperkuat oleh serat kulit batang melinjo dengan matrik resin epoxy dan polyester untuk keperluan pembuatan aplikasi komponen otomotif, yang memiliki keunggulan yaitu ringan, kuat, biodegradable, terbarukan serta keberadaannya melimpah.

Metoda Eksperimental

Material

Serat batang melinjo punya potensi untuk dijadikan penguat komposit karena mempunyai densitas yang cukup ringan yaitu 1.2087 g/cm^3 - 1.8069 g/cm^3 serta kekuatan tarik serat tunggal yang memadai yaitu 735.4 MPa - $1,043.04 \text{ MPa}$. Komposisi kimia dari serat batang melinjo adalah hemiselulosa sebesar 24.02%, alfaselulosa sebesar 39.3%, lignin sebesar 9.82% dan ekstraktif benzene sebesar 3.08%, (Chandrabakty, 2009).

Pada penelitian ini sebagai penguat, menggunakan serat batang melinjo yang di ambil pada bagian dahan yang berdiameter $\pm 5 \text{ cm}$. Untuk menyeragamkan sifat fisik serat, maka umur pohon melinjo di sesuaikan yaitu yang berumur 5-7 tahun.



(a) (b)

Gambar 1. (a) Pohon melinjo (*gnetum gnemon*); (b) serat batang melinjo yang telah diurai

Bila ditinjau dari topografi serat batang melinjo memiliki 3 (tiga) jenis yang tercakup dalam tiga kategori diameter. Untuk serat bagian cortex 1 dengan nilai rata-rata diameter $21\mu\text{m}$, untuk serat pada bagian cortex 2 dengan nilai rata-rata diameter $51.5 \mu\text{m}$ sedangkan untuk serat pada bagian phloem dengan nilai rata-rata diameter $27\mu\text{m}$, (Tomlinson. 2003).

Sebagai pengikat komposit, pada penelitian ini menggunakan matrik resin–epoxy merk "AVIAN" dan matrik resin polyester merk "YUKALAC" 157BQTN yang di campur dengan *catalyst*.

Penyiapan serat alam

Serat batang melinjo yang akan dijadikan sebagai penguat, setelah dikuliti terlebih dahulu direndam dalam air selama 24 jam untuk memudahkan penguraian serat. Penguraian serat dilakukan secara manual menggunakan tangan.

Mohanty dkk, (2001) melaporkan, bahwa kualitas dan sifat dari serat tergantung dari beberapa faktor seperti ukuran, kematangan (umur) dan proses/metode yang digunakan untuk mengekstrak serat. Kekurangan yang bisa didapatkan dari serat alam adalah dari komposit yang diperkuat serat dan matrik alami antara lain disebabkan adanya ketidaksesuaian antara *hydrophobic polymer matrix* dengan *hydrophilic* serat. Hal ini menyebabkan lemahnya formasi *interface*, yang berakibat terhadap rendahnya sifat mekanis dari komposit.

Agar dapat meminimalkan kekurangan ikatan *interface* antara serat dan matrik dilakukan perendaman dengan media alkali larutan NaOH 5% selama 24 jam untuk membersihkan serat dari *lignin*, *wax* dan impuritas lainnya. Setelah perendaman media alkali NaOH 5% serat batang melinjo dipanaskan dalam oven pada temperatur 100°C selama 15 menit untuk menghilangkan kandungan air pada serat.

Pencetakan komposit dan pembuatan spesimen

Komposit dicetak dengan fraksi volume 30% dalam cetakan berbentuk pelat berukuran $300 \times 300 \times 5 \text{ mm}$,

menggunakan cetakan dengan kekuatan tekan 2 ton. Orientasi serat yang digunakan adalah serat acak/“mat”.

Waktu *curing* yang dibutuhkan oleh masing-masing pelat komposit adalah yaitu untuk matrik resin epoxy dan *hardener* dengan perbandingan 1 : 1 membutuhkan waktu 3 (tiga) jam sedangkan untuk matrik polyester dengan campuran *catalyst* butuh waktu 6 (enam) jam. Sampel komposit kemudian dibagi dalam dua kondisi yaitu spesimen tanpa perlakuan (NT) dan diberikan perlakuan berupa pemanasan dalam oven selama 6 jam pada temperatur 60°C untuk mendekatkan pada kondisi “real” dalam kendaraan (T6 60C).



Gambar 2. Serat batang melinjo (*Gnetum gnemon*) dengan orientasi acak.

Pengujian Densitas

Densitas atau berat jenis merupakan salah satu sifat fisik dari material yang mampu menjelaskan ‘ratio kekuatan material terhadap berat’ di mana merupakan media penguatan pada komposit yang membutuhkan kriteria ringan dan kuat untuk aplikasi teknik. Densitas dapat diperoleh dari persamaan:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Pengujian Tarik

Industri otomotif membutuhkan material yang memenuhi kriteria-kriteria setelah melalui tahapan-tahapan pengujian. Demi menjawab kebutuhan pasar, maka komponen produk haruslah memenuhi kriteria dan melewati beberapa tahapan pengujian diantaranya kekuatan tarik dan elongasi (*tensile strength*) serta kekuatan lengkung (*flexural strength*). Kedua pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) type TN20MD Controlab kapasitas 200 kN.

Untuk mengetahui kekuatan tarik dan elongasi mengacu pada standard pengujian tarik ASTM 638-02 dengan bentuk spesimen tipe I. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Sementara elongasi atau Regangan bisa di dapatkan dari persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Besarnya nilai modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma_f}{\epsilon} \quad (4)$$

Pengujian Lentur

Pengujian kekuatan lentur mengacu pada standard pengujian lentur ASTM D790-02. Kekuatan lentur dapat dianalisa dengan melakukan pengujian lentur yang mengacu pada teori dasar kekuatan lentur balok, yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot w \cdot t^2} \quad (5)$$

Pengamatan dan analisis SEM (Scanning Electron Microscope)

Pengamatan SEM dilakukan untuk menganalisis struktur permukaan serat batang melinjo dan hasil patahan dan perilaku kerusakan pada material komposit. Pengujian SEM dilakukan di laboratorium SEM Fakultas MIPA Institut Teknologi Bandung menggunakan mesin type JEOL-JSM-6510LV.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Densitas

Densitas merupakan sifat fisik paling dasar dari suatu material. Untuk aplikasi teknis seperti halnya dalam aplikasi otomotif, sangat dibutuhkan suatu material yang ringan, kuat dan memiliki ketstabilan dimensi yang baik. Dari hasil perhitungan densitas dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. Densitas komposit serat batang melinjo (*Gnetum gnemon*)

Tipe Komposit	Densitas (gr/cm ³)
Epoxy/serat batang melinjo tanpa perlakuan (Epoxy + NT)	1,2
Epoxy/serat batang melinjo pemanasan oven selama 6 jam T 60°C (Epoxy + T6 60C)	1,03
Polyester / serat batang melinjo tanpa perlakuan (PE + NT)	1,13

Polyester serat batang melinjo pemanasan oven selama 6 jam T 60°C (PE + T6 60C)	1,053
---	-------

Dari hasil tersebut terlihat bahwa komposit serat batang melinjo mampu mereduksi berat jika dibandingkan dengan berat aluminium sheet seri 6xxx yang biasa di gunakan sebagai *panel door* otomotif yaitu $2,7 \text{ gr/cm}^3$ (ASM Metal Handbook volume 2, 1990).

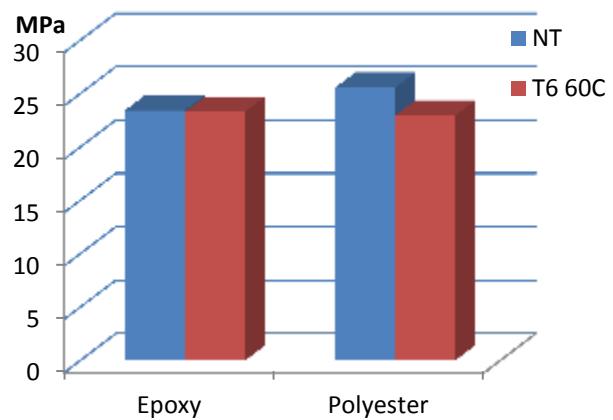
Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik pada material komposit yang diperkuat serat batang melinjo dapat terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengujian tarik spesimen

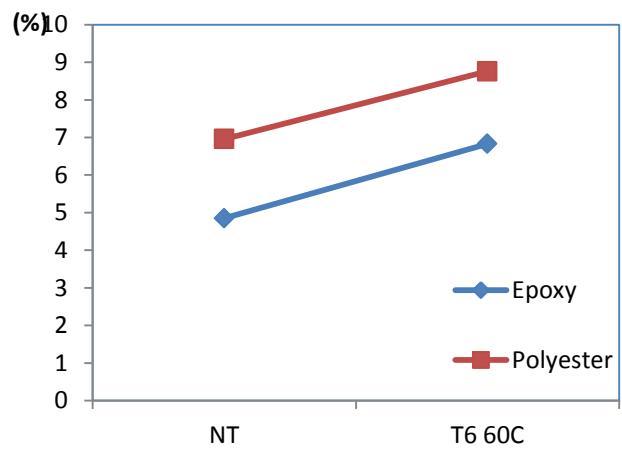
Tipe Komposit	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
Epoxy + NT	23,45	4,85	0,505
Epoxy + T6 60C	23,30	6,83	0,410
PE + NT	25,57	6,96	0,369
PE + T6 60C	22,93	8,76	0,280

Dari tabel di atas, terlihat tegangan tarik tertinggi di dapatkan pada komposit polyester/serat batang melinjo yang tidak mengalami perlakuan (PE+NT) sebesar 25,57 MPa dan mengalami penurunan setelah mendapatkan perlakuan pemanasan oven selama 6 jam pada temperatur 60°C (PE+T6 60C) sebesar 10,32%. Hal serupa juga terjadi pada komposit epoxy/serat batang melinjo di mana terjadi penurunan kekuatan sebesar 0,64%, dari 23,45 MPa pada komposit tanpa perlakuan (Epoxy + NT) menjadi 23,30 MPa pada komposit yang mendapatkan perlakuan pemanasan oven selama 6 jam pada temperatur 60°C (Epoxy + T6 60C). Hal ini menunjukkan bahwa keterikatan antar-muka (*bonding interface*) antara serat batang melinjo dengan matrik resin epoxy lebih baik dibandingkan dengan matrik resin polyester. Resin epoxy mampu menjalankan perannya sebagai matrik yang berfungsi sebagai pengikat dan pelindung serat sehingga penurunan kekuatan pada komposit menjadi tidak terlalu signifikan (gambar 3).



Gambar 3. Kekuatan tarik pada komposit yang diperkuat serat batang melinjo

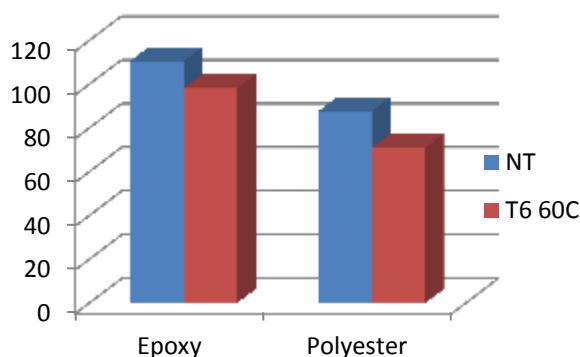
Sementara pada hasil perhitungan regangan komposit, menunjukkan terjadinya kenaikan nilai regangan pada komposit setelah mendapatkan perlakuan pemanasan dengan temperatur 60°C selama 6 jam yaitu pada komposit dengan matrik resin epoxy sebesar 28,99% dan pada matrik resin polyester sebesar 20,55% (gambar 4).



Gambar 4. Regangan pada komposit yang diperkuat serat batang melinjo

Hasil Pengujian Lentur

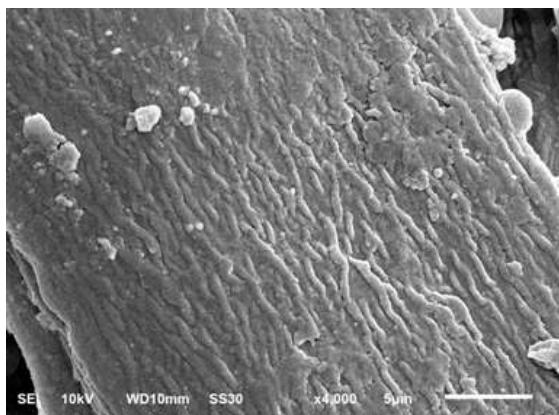
Hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa nilai tertinggi didapatkan pada komposit resin epoxy/serat batang melinjo yang tidak mengalami perlakuan (Epoxy + NT) sebesar 110,48 MPa dan terjadi penurunan kekuatan lentur setelah mengalami pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam sebesar 11,20%. Sebaliknya pada komposit resin polyester/serat batang melinjo yang tidak mengalami perlakuan (PE + NT) mempunyai nilai kekuatan lentur sebesar 87,52 MPa dan mengalami penurunan sebesar 18,90% setelah mendapatkan perlakuan pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam, seperti terlihat dalam grafik pada gambar 5.



Gambar 5. Kekuatan lentur pada komposit yang diperkuat serat batang melinjo

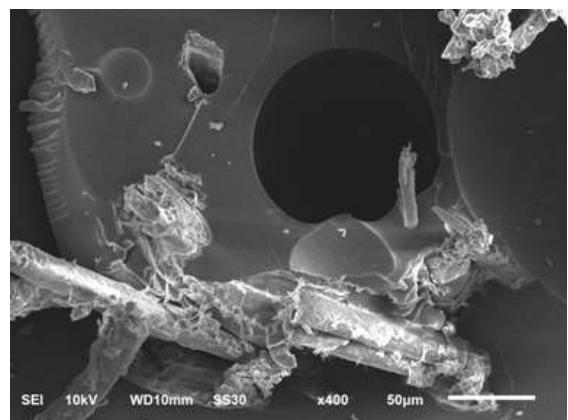
Analisis SEM (Scanning Electron Microscope)

Analisis SEM dilakukan pada permukaan serat dan pada hasil patahan pengujian tarik untuk mengetahui perilaku kerusakan pada komposit. Pada gambar 6 memperlihatkan permukaan serat batang melinjo yang telah dibersihkan dari *lignin*, *wax* dan impuritas lainnya. Hal ini dilakukan untuk menambah ikatan antar-muka antara permukaan serat dan matrik.

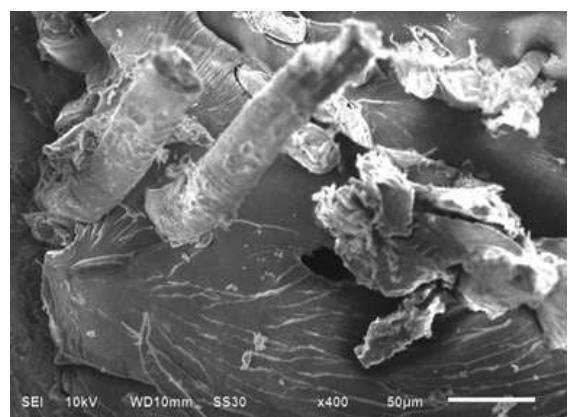


Gambar 6. Tekstur permukaan serat batang melinjo setelah mendapatkan perendaman media NaOH 5% selama 24 jam.

Menurut Marsyahyo (2009), meningkatnya konsentrasi larutan NaOH dapat menurunkan kekuatan tarik serat berbasis selulosa. Larutan alkali dapat menyebabkan terlepasnya ikatan antar serat dari bentuk *bundle fibers* dan perubahan permukaan serat.



(a)



(b)

Gambar 7. Foto SEM terhadap hasil patahan pengujian tarik ; (a) Komposit Epoxy/Serat batang melinjo (b) Komposit Polyester/Serat batang melinjo.

Dari hasil patahan komposit (gambar 7), serat batang melinjo baik yang menggunakan matrik resin epoxy maupun resin polyester memperlihatkan bahwa serat tercabut dari matrik dan terlihat adanya matrik *cracking*. Hal ini menunjukkan bahwa matrik memiliki mampu rekat terhadap permukaan serat. Pada permukaan serat terlihat adanya pecahan matrik yang menempel serta bentuk ujung serat cenderung berserabut menunjukkan bahwa serat tidak mudah tercabut dari matrik.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik lebih tinggi diperoleh pada komposit polyester-serat batang melinjo (25,57 MPa) dibandingkan komposit resin epoxy-serat batang melinjo. Namun komposit resin epoxy-serat batang melinjo tidak memperlihatkan penurunan yang signifikan setelah mengalami pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam, yaitu terjadi penurunan hanya 0,64%. Kekuatan lentur lebih baik diperoleh pada komposit resin epoxy-serat batang melinjo sebesar 110,48 MPa dan hanya mengalami penurunan kekuatan sebesar 11,20% setelah mengalami pemanasan pada temperatur 60°C selama 6 jam. Matrik resin epoxy dan polyester memiliki kemampuan rekat

yang baik dengan serat batang melinjo hal ini terlihat dari perilaku kerusakan yang terjadi dari hasil pengamatan foto SEM.

Ucapan Terima kasih

Kami haturkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Tadulako yang telah mendanai penelitian ini melalui Dana BOPTN Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Universitas Tadulako.

Nomenklatur

m	Massa komposit (gram)
v	Volume (cm^3)
F	Beban tarik (F)
Δl	Petambahan panjang (mm)
l_0	Panjang daerah ukur (<i>gage length</i>) (mm)
E	Modulus Elastisitas (GPa)
P	Beban lentur (N)
L	Panjang span (mm)
W	Lebar Spesimen (mm)
t	Tebal spesimen

Greek letters

ρ	Densitas/berat jenis (gram. cm^{-3})
σ_t	Tegangan tarik maximum (MPa)
ε	Elongasi/regangan (%)
σ_f	Tegangan lentur maximum (MPa)

Referensi

_____, Metals Handbook, Vol.2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International 10th Ed. (1990)

Chandrabakty, Sri, Pengaruh Perlakuan Permukaan Serat Batang Melinjo (*Gnetum Gnemon*) Terhadap Wettability dan Kemampuan Rekat dengan Matrik Epoxy-Resin, Thesis, Universitas Gadjah Mada. (2009)

Marsyahyo E., Perlakuan Permukaan Serat Rami (*Boehmeria nivea*) dan kompatibilitas serat-matrik pada komposit matrik polimer. Disertasi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. (2009)

Mohanty A.K., Misra M. & Drzal L.T., Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. Composite Interfaces 8(5):313-343. (2001)

Suddell B. C. & Evans W. J., Natural Fiber Composites in Automotive Applications, Natural

fibers, biopolymers, and biocomposites, CRC Press Taylor & Francis Group, 244-272. (2005)

Tomlinson, P. B., Development of Gelatinous (Reaction) Fiber In Stems of *Gnetum Gnemon* (Gnetales), American Journal of Botany 90(7): 965-972. (2003)