

PENGARUH JENIS SERAT TERHADAP KUAT TARIK DAN KUAT BENTURAN PADA MATERIAL KOMPOSIT RESIN EPOKSI

Herry Purnama¹, Joko Purnomo¹, Tri Yogo Wibowo²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta 57102 Telp. (0271) 717417 ext. 224

²Pusat Teknologi Agroindustri, Badan Pengkajian Penerapan dan Teknologi

Jl. MH. Thamrin 8 Jakarta 10340

Email: hp269@ums.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh jenis serat terhadap kuat tarik dan kuat benturan pada material komposit menggunakan resin epoksi. Material komposit memiliki banyak keunggulan, yaitu berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, dan tahan korosi. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui sifat campuran resin epoksi yang mempunyai kekuatan lebih baik dari berbagai bahan serat (serat karbon, gelas, selulosa asetat, dan selulosa palmitat). Pengujian sifat-sifat mekanik komposit yang dihasilkan menggunakan Universal Testing Machine LARYEE WDW-10. Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa komposit serat karbon mempunyai kuat tarik dan kuat benturan yang lebih tinggi dari pada serat lainnya yang disebabkan oleh sifatnya yang memiliki specific modulus dan specific strength yang tinggi dibandingkan serat yang lainnya. Serat karbon juga menunjukkan daya rekat yang paling baik dengan resin epoksi. Selain itu penggunaan serat asetat dan serat palmitat ternyata kurang baik untuk penguat komposit yang diperuntukkan untuk menerima beban.

Kata kunci: komposit; epoksi; serat; kuat tarik; kuat benturan

Pendahuluan

Akhir-akhir ini penggunaan bahan polimer dan komposit semakin meningkat seiring dengan peningkatan kebutuhan di berbagai bidang kehidupan, misalnya penggunaan material baru untuk komponen bodi kendaraan bermotor baik eksterior maupun interior, bagian bodi kapal laut (*boat*), bagian bodi pesawat terbang, berbagai peralatan olah raga seperti ski dan *golf-stick*, beragam komponen peralatan pertanian, dan lain-lain. Material komposit didefinisikan sebagai perpaduan dua material yang berbeda dan digabungkan atau dikombinasikan dalam skala makroskopis (dapat terlihat langsung oleh mata) sehingga menjadi material baru yang lebih berguna [Callister, 2004]. Material komposit terdiri atas dua bagian utama, yaitu matriks (material penyatu) dan *filler* (pengisi). Matriks berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung *filler* dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan adalah polimer, keramik, dan logam. *Filler* berfungsi sebagai penguat dari matriks. *Filler* yang umum digunakan biasanya berupa serat, partikel, dan *lamina* (lapisan sangat tipis). Bahan pengisi inilah yang menentukan karakteristik suatu bahan, keuletan, kekakuan dan sifat mekanik yang lain. Pengisi berbentuk partikel (serbuk) akan menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada material komposit, sedangkan komposit mengikat partikel, melindungi, dan meneruskan gaya antar partikel. Oleh karena itu untuk bahan pengisi dipilih bahan yang kaku, keras dan getas seperti karbon, gelas, dan boron. Sedangkan matriks dipilih bahan yang lunak seperti plastik dan logam lunak seperti aluminium, tembaga, dsb. [Akovali, 2001].

Bahan komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan untuk alat-alat yang membutuhkan material yang mempunyai perbedaan sifat dasar, yaitu kuat sekaligus ringan. Perkembangan teknologi komposit belakangan ini mulai beralih dari komposit dengan material penyusun sintetis menuju ke bahan komposit dengan material penyusun dari bahan alami, baik material untuk matriks maupun dengan serat (penguat) itu sendiri. Penelitian pun sudah dilakukan untuk mendapatkan bahan alam yang layak untuk digunakan sebagai alternatif pengganti bahan-bahan sintetis penyusun komposit. Serat alami mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis. Keunggulan dari serat alami adalah *non-abrasive*, densitas rendah, harga lebih murah, ramah lingkungan, dan tidak membahayakan kesehatan. Penggunaan serat alami sebagai *filler* dalam komposit dimaksudkan untuk lebih menurunkan biaya bahan baku dan peningkatan nilai salah satu produk pertanian [Fajar, 2008]. Serat alami merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit. Kelebihan lainnya adalah kualitasnya dapat divariasikan dan memiliki stabilitas panas yang rendah.

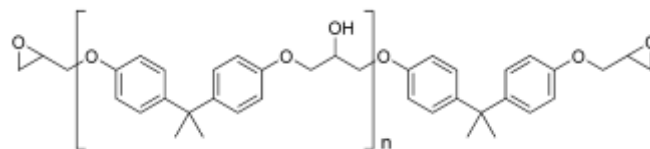
Sifat-sifat kuat tarik, regangan tarik, dan modulus dari bahan-bahan alami yang dapat dijadikan sebagai penguat dalam material komposit dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Berdasarkan data di bawah, nilai rata-rata kuat tarik yang paling tinggi untuk bahan-bahan tersebut di atas dimiliki oleh serat pisang sebesar 600 MPa, sedangkan nilai kuat tarik terendah adalah untuk serat kurma (*date L*) sebesar 309 MPa. Meskipun demikian, nilai rata-rata kuat tarik tersebut tidak selalu diikuti dengan nilai regangan tarik maupun modulus. Menurut Oksman [2003], serat bambu, *date L*, dan palem memberikan kuat tarik yang sangat tinggi dengan regangan cukup kecil.

Tabel 2. *Tensile properties of various natural fibers* [Rao dan Rao, 2005]

Name of the fiber	% Tensile strain	Average tensile strength (MPa)	Average tensile modulus (GPa)	Specific tensile strength (MPa)/(kg ⁻³)	Specific tensile modulus (MPa)/(kgm ⁻³)
Vakka	3,46	549	15,85	0,6778	19,56
Date (L)	2,73	309	11,32	0,03121	11,41
Date (A)	24,00	459	1,91	0,4781	1,99
Bamboo (M)	1,40	503	35,91	0,5527	39,47
Bamboo (C)	1,73	341	19,67	0,3831	22,10
Palm	13,71	377	2,75	0,3660	2,67
Coconut	20,00	500	2,50	0,4348	2,17
Banana	3,36	600	17,85	0,4444	13,22
Sisal	5,45	567	10,40	0,3910	7,17

Dalam penelitian ini digunakan *filler* berupa serat karbon, gelas, selulosa asetat, dan selulosa palmitat. Jenis pengikat yang digunakan adalah resin epoksi yang merupakan suatu kopolimer yang mudah diperoleh dan digunakan oleh masyarakat umum maupun industri skala kecil dan besar. Resin epoksi juga mempunyai kemampuan berikatan dengan serat alam tanpa menimbulkan reaksi dan gas.

Epoksi merupakan sebuah polimer *epoxide thermosetting* yang akan bertambah bagus apabila dicampur dengan sebuah agen katalis (*hardener*). Pada umumnya resin epoksi dibuat dari reaksi antara dua mol *epichlorohydrin* dan satu mol *bisphenol-A* sehingga membentuk *bisphenol-A diglycidyl ether* yang biasa disingkat dengan BADGE. Struktur resin epoksi *bisphenol-A diglycidyl ether*: *n* menyatakan banyaknya angka polimerisasi sub-unit dan umumnya memiliki angka antara 0 sampai 25.



Gambar 2. Struktur resin epoksi BADGE

Komposit

Komposit dapat diklasifikasikan menurut matriks yang digunakan, dan juga struktur kompositnya. Berdasarkan matriks yang digunakan, komposit dapat dibedakan menjadi:

- MMC (*Metal Matrix Composite*) atau komposit menggunakan matriks logam. MMC merupakan salah satu jenis kelompok komposit yang memiliki matriks logam. Keunggulan MMC antara lain temperatur operasi lebih tinggi, tidak mudah terbakar, dan tahan terhadap solven organik. Umumnya digunakan untuk komponen mesin mobil dan industri ruang angkasa.
- CMC (*Ceramic Matrix Composite*) atau komposit yang menggunakan matriks ceramic. CMC adalah matriks yang terdiri dari dua material dengan salah satu material berfungsi sebagai *reinforcement* kemudian material yang lain sebagai matriks, yang terbuat dari keramik. *Reinforcement* yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, *carbide*, *nitride*.
- PMC (*Polymer Matrix Composite*) atau komposit yang menggunakan matriks polymer. PMC merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material pembuatan komposit karena memiliki sifat yang lebih tahan karat dan jauh lebih ringan.

Matriks polimer terbagi menjadi dua, yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik. Perbedaannya, pada polimer termoset tidak dapat didaur ulang sedangkan untuk polimer termoplastik dapat didaur-ulang yang menyebabkan polimer jenis termoplastik lebih banyak digunakan.

Untuk dapat dibuat menjadi material komposit, polimer harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Polimer harus linier dan mempunyai berat molekul lebih dari 10.000, akan tetapi tidak boleh terlalu besar karena sukar dilelehkan atau dilarutkan.
- Molekul polimer harus simetris dan dapat mempunyai gugus samping yang besar sehingga dapat mencegah terjadinya susunan yang rapat.
- Polimer harus memberi kemungkinan untuk mendapatkan derajat orientasi yang tinggi.
- Polimer harus mempunyai gugus polar yang letaknya teratur untuk mendapatkan kohesi antar molekul yang kuat dan titik leleh yang tinggi.

Serat

Serat atau fiber adalah suatu jenis bahan yang berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dibedakan menjadi dua, yaitu serat alam (*natural fiber*) dan serat sintesis (*synthetic fiber*). Serat alami meliputi serat yang diproduksi oleh tumbuh-tumbuhan, hewan, dan proses geologis (mineral). Serat alam tumbuhan dapat diperoleh dari serat selulosa yang diperoleh dari bulu benih, batang, dan daun tanaman (tanaman pisang, bambu, nanas, rosela, kelapa, kenaf, lalang, dan lain-lain). Serat alam hewan diperoleh dari protein rambut, bulu binatang, dan kepompong. Serat alam mineral dapat berupa *basal*, *mineral wool*, *glass wool*, *crystalline* dan *asbes* [Robert, 2005]. Serat jenis alami ini bersifat dapat mengalami pelapukan. Sedangkan serat sintesis adalah serat buatan yang diolah kembali dengan mesin atau bahan-bahan kimia dengan campuran serat alam. Serat buatan yang sering dijumpai di kehidupan sehari-hari antara lain adalah nilon, akrilik, gelas, karbon, dan lain-lain.

Pada dasarnya serat berfungsi sebagai penguat bahan, yaitu untuk memperkuat komposit sehingga sifat-sifat mekaniknya lebih kaku, tangguh dan lebih kokoh bila dibandingkan dengan bahan tanpa serat penguat. Di samping itu serat juga berfungsi untuk menghemat penggunaan resin.

Arah serat penguat akan menentukan kekuatan dari komposit, arah serat sesuai dengan arah kekuatan maksimum. Arah serat juga mempengaruhi jumlah serat yang dapat diisikan ke dalam matriks. Semakin cermat penataannya, maka akan semakin banyak penguat yang dapat masuk dan akan semakin kuat pula komposit tersebut. Apabila ditata sejajar akan berpeluang sampai 90%, bila separuh dan saling tegak lurus peluangnya 75%, dan dengan tatanan acak hanya berpeluang sekitar 15–50%. Dan hal tersebut akan menentukan kekuatan optimum dari komposit saat komposit berada dalam keadaan yang maksimum [Surdia, 2005]. Skema penyusunan arah serat dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema penyusunan serat
(a) *continuous fibres*, (b) *discontinuous fibres*, (c) *random discontinuous fibres*

Pada Gambar 2 terdapat pemasangan serat yang berbeda-beda. Untuk Gambar (a) serat tersebut diisikan dengan posisi memanjang tanpa ada pemutusan serat, dan Gambar (b) menunjukkan serat diisikan dengan posisi memanjang tetapi ada pemutusan, kemudian untuk Gambar (c) menunjukkan serat diisikan secara acak. Pengisian tersebut akan membedakan kekuatan dari komposit untuk Gambar (a) kekuatannya sekitar 90%, Gambar (b) mempunyai kekuatan 75%, kemudian untuk Gambar (c) mempunyai kekuatan sekitar 50%. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit dengan posisi serat memanjang tanpa ada pemutusan serat. Serat yang digunakan adalah karbon, gelas, selulosa asetat, dan selulosa palmitat.

Serat karbon (*carbon fiber*) komersial dibuat dari dua macam material awal (*precursor*) yaitu *textile precursor* dan *pitch precursor* (Nugroho, 2007). Untuk *textile precursor* yang umum digunakan adalah *polyacrylonitrile* (PAN). Sedangkan *pitch* adalah hasil samping dari *petroleum refining* atau *coal coking*, sehingga harganya lebih murah dari PAN. Pembuatan serat karbon melalui beberapa proses seperti pemanasan, *spinning*,

karbonisasi dan grafitisasi, sehingga membuat harga serat karbon cukup mahal. Bentuk serat karbon di pasaran ada tiga macam yaitu serat panjang, serat pendek (6 – 50mm), dan serbuk (30 – 3000 μ m).

Serat karbon memiliki sifat-sifat sebagai berikut: (1) memiliki modulus spesifik dan kekuatan spesifik yang paling tinggi di antara seluruh jenis penguat, (2) tahan oksidasi, (3) pada suhu ruang tidak dipengaruhi oleh uap air atau pelarut lainnya, dan (4) struktur karbon tidak seluruhnya kristalin, tetapi terdiri dari daerah grafit dan daerah kristalin. Daerah non-kristalin adalah daerah di mana terjadi ketidakteraturan dari susunan heksagonal karbon, yang merupakan karakteristik struktur grafit.

Serat gelas (*glass fiber*) adalah bahan yang tidak mudah terbakar. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polimer. Komposisi kimia serat gelas sebagian besar adalah SiO₂ dan sisanya adalah oksida – oksida aluminium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur-unsur lainnya [Santoso, 2002]. Menurut Nugroho [2007], serat gelas dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain: (1) serat *E-glass*, yaitu salah satu jenis serat gelas yang dikembangkan sebagai penyekat atau bahan isolasi, dan serat ini mempunyai kemampuan bentuk yang baik, (2) serat *C-glass*, yaitu jenis serat gelas yang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi, dan (3) serat *S-glass*, yaitu jenis serat gelas yang mempunyai kekakuan yang tinggi.

Serat selulosa asetat (*cellulose acetate*) termasuk serat sintesis yang pertama dibuat dan berbasis selulosa pulp (biopolimer). Namun dalam perkembangannya fungsi serat jenis ini digantikan oleh serat berbasis minyak bumi seiring dengan harganya yang lebih murah. Sifat-sifat serat selulosa asetat antara lain termoplastik, absorpsi selektif, mudah berikatan dengan *plasticizer*, larut dalam solven, hidrofilik, dan memiliki luas permukaan yang besar.

Serat selulosa palmitat (*cellulose palmitate*) umumnya memiliki sifat kelenturan yang baik. Selain itu juga dapat digunakan untuk memisahkan racemic mixture dari ibuprofen dengan rasio pemisahan yang sangat baik [Nurhayati, 2007]. Sebagai membran, selulosa palmitat memiliki kekuatan benturan yang rendah.

Metodologi

Penelitian dilakukan dengan mengambil data percobaan pada pengujian material komposit. Peralatan yang dibutuhkan adalah (1) alat cetakan yang terbuat dari kaca, (2) *roller* yang digunakan untuk meratakan dan memadatkan cetakan komposit agar tidak ada udara yang tersisa di campuran komposit, dan (3) kuas yang digunakan untuk mengambil campuran epoksi dan *hardener*. Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan adalah berbagai jenis serat (gelas, karbon, selulosa palmitat dan selulosa asetat), resin epoksi, *hardener*, aseton sebagai pembersih dan *wax* sebagai pelapis kaca. Pada percobaan pembuatan resin epoksi ini ditambahkan *hardener* dengan perbandingan epoksi : *hardener* = 2:1. Kemudian dibuat material komposit menggunakan *roller*. Selanjutnya dilakukan pencetakan spesimen pengujian tarik maupun kelenturan sesuai dengan ASTM D-3039 dan D-790. Alat yang digunakan untuk menguji sampel adalah LARYEE *Universal Testing Machine* WDW-10. Dari hasil pengujian mesin uji ini akan diperoleh hubungan antara gaya tarik terhadap pertambahan panjang yang langsung tertera di grafik dan hasilnya dapat langsung ditransfer ke Excel.

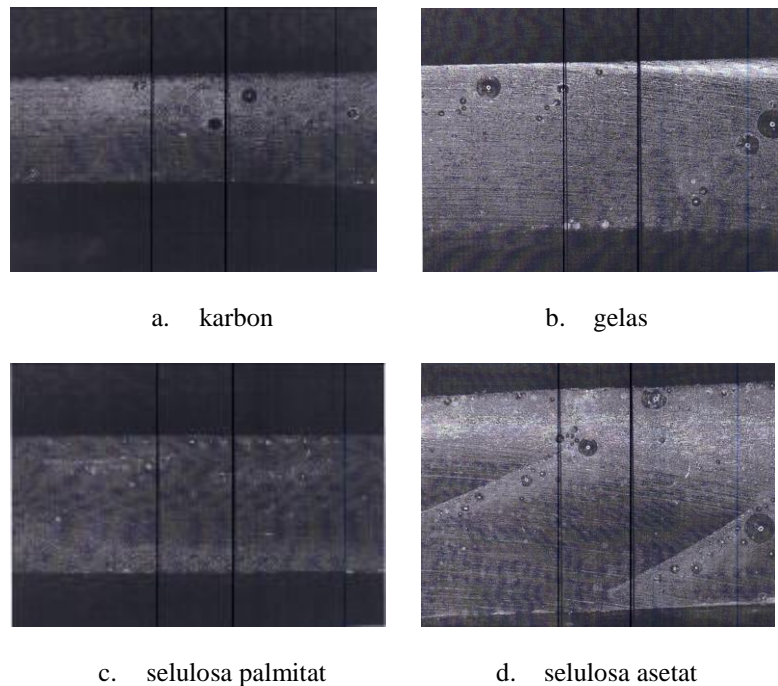
Hasil dan Pembahasan

Pembuatan sampel komposit dengan resin epoksi dan *hardener* dilakukan dengan menambahkan jenis serat tertentu (sekitar 6 – 12 buah) dengan arah serat memanjang tanpa adanya pemutusan pada serat tersebut. Sebelum dilakukan pengukuran kekuatan, terlebih dahulu dilakukan pemotretatan morfologi serat yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Material komposit yang dihasilkan kemudian dilakukan pengukuran sesuai standar uji (ASTM) untuk mendapatkan data kekuatan tarik, kekuatan lentur dan kekuatan benturan. Sesuai dengan berbagai jenis serat yang digunakan, Tabel 2 menunjukkan data hasil pengukuran material komposit yang telah dilakukan untuk uji kekuatan tarik. Sedangkan Tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran untuk uji kekuatan benturan.

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dapat disimpulkan bahwa komposit dengan bahan penguat serat karbon memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan bahan komposit yang lain. Karbon merupakan serat dengan kemampuan yang sangat baik dan paling banyak digunakan sebagai penguat dalam komposit polimer. Hal ini disebabkan oleh keunikan serat karbon yang memiliki *specific modulus* dan *specific strength* yang paling tinggi di antara semua fiber penguat. Serat karbon juga tetap memiliki *tensile modulus* dan *tensile strength* yang tinggi pada temperatur tinggi, meskipun pada temperatur tinggi ada kemungkinan masalah oksidasi. Menurut Nugroho [2007], serat karbon komersial yang dibuat dari dua macam material (*textile precursor* dan *pitch precursor*) memiliki kekuatan yang sangat tinggi, mempunyai modulus tarik 207 – 1.035 GPa. Selain itu pada temperatur kamar, serat karbon tidak dipengaruhi oleh uap air, berbagai solven, asam, dan basa.

Dari Tabel 2 di atas juga dapat diketahui bahwa material komposit berbahan penguat serat palmitat memiliki kekuatan lentur yang tinggi dibandingkan bahan komposit yang lain. Menurut Nurhayati [2007] selulosa palmitat mempunyai kekuatan lentur yang baik dan mempunyai kekuatan benturan yang rendah.



Gambar 3. Morfologi komposit dengan berbagai jenis serat (a) karbon (b) gelas, (c) selulosa palmitat, (d) selulosa asetat

Tabel 2. Hasil pengukuran kuat tarik bahan komposit dari berbagai jenis serat

No	Jenis serat	Hasil pengukuran	
		<i>Tensile strength</i> (MPa)	<i>Elongation at break</i> (%)
1	Karbon	116,8 ± 28,8	3,66 ± 0,65
2	Gelas	113,0 ± 10,8	3,42 ± 0,25
3	Selulosa Palmitat	32,99 ± 1,99	3,80 ± 0,37
4	Selulosa Asetat	24,88 ± 3,42	2,40 ± 0,29

Tabel 3. Hasil pengukuran kuat benturan bahan komposit dari berbagai jenis serat

No	Jenis serat	Hasil pengukuran
		<i>Impact strength</i> (kJ/m ²)
1	Karbon	77,64 ± 9,19
2	Gelas	62,55 ± 10,77
3	Selulosa Palmitat	32,48 ± 8,50
4	Selulosa Asetat	15,90 ± 8,75

Berdasarkan data Tabel 3 di atas, komposit berbahan penguat serat karbon memiliki kekuatan benturan yang paling tinggi diikuti oleh komposit berpenguat serat gelas. Selain tahan oksidasi, menurut Santoso [2002], serat karbon memiliki modulus spesifik dan kekuatan spesifik yang paling tinggi di antara seluruh jenis penguat. Serat gelas yang digunakan dalam percobaan adalah jenis *E-glass*. Serat gelas ini mempunyai kekuatan yang tinggi dari pada serat gelas jenis yang lain (meskipun masih lebih rendah dari serat karbon) dan harganya relatif murah.

Serat asetat dibuat dengan meleburkan asetat dicampurkan ke dalam aseton kemudian dicetak di tempat yang telah disediakan. Menurut Supandi dkk. [2009] kekuatan serat asetat dalam keadaan kering sekitar 1,4 gram/denier dengan kekuatan lentur 25%, sedangkan pada keadaan basah sekitar 0,9 gram/denier dengan kekuatan lentur 35%. Penarikan mulur sekitar 5% akan kembali ke panjang semula, tetapi jika lebih maka tidak akan kembali ke panjang semula. Untuk serat selulosa palmitat, bahan komposit yang dihasilkan akan mempunyai rasio lentur yang baik akan tetapi kekuatan hantamnya rendah [Nurhayati, 2007].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit serat karbon mempunyai kuat tarik dan kuat benturan yang lebih tinggi dari pada serat lainnya yang disebabkan oleh sifatnya yang memiliki specific modulus dan specific strength yang tinggi dibandingkan serat yang lainnya.
2. Daya rekat antara serat dengan epoksi yang paling bagus dimiliki oleh serat karbon.
3. Penggunaan serat asetat dan serat palmitat ternyata kurang baik untuk penguat komposit yang diperuntukkan untuk menerima beban *bending* karena justru mengurangi ikatan antar matriks.

Daftar Pustaka

- Akovali, Güneri, (2001), "*Handbook of Composite Fabrication*", Rapra Technology Ltd. Shrewsbury, Shropshire SY4 4NR, UK. ISBN: 1-85957-263-4
- ASTM D-3039, (2001), "*Standard Test Method for Tensile Properties For Polymer Matrix Composite Materials*", American Society for Testing and Materials, Philadelphia
- Callister, William D., Jr., (2004), *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc.
- Fajar, S.N., (2008), *Optimasi Kekuatan Bending dan Impact Komposit Berpenguat Serat Ramie Bermatrik Polyester Bqtn 157 terhadap Fraksi Volume dan Tebal Skin*.
- Jones, Robert M., (2005), *Mechanics of Composite Materials 2nd ed.*, Taylor & Francis Inc. 325 Chestnut Street, Philadelphia, PA 19106
- Nugroho, (2007), *Proses Produksi Pembuatan Mikrocar dari Bahan Komposit*
- Nurhayati, (2007), *Uji Kemampuan Selulosa Palmitat pada Pemisahan Campuran Enansiomer*, Skripsi FMIPA UNJ Jakarta
- Oksman, K., Skrifvars, M., Selin J-F., (2003), *Natural Fiber as Reinforcement in Polylactic Acid (PLA) Composites*, Composites science and technology 63, hal 1317-1324
- Rao, K.M.Mohan, dan Rao, K.Mohana, (2005), *Extraction and Tensile Properties of Woven Banana Fiber Reinforced Epoxy Composites*, Elsevier Ltd, Material and Design
- Santoso, (2002), *Pengaruh Berat Serat Chopped Strand terhadap Kekuatan Tarik, Bending, dan Impak*
- Supandi, dkk., (2009), *Pengetahuan Tekstil*, PKK FPTK UPI, Bandung.
- Surdia, (1992), *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.