

Kekuatan Tarik Bahan Baru Komposit Berpenguat Limbah Serat Aren (*Arenga Pinnata*) Dengan Matrik Polyester

¹Bambang Riyanta, ²Totok Suwanda, ³Kuncoro Diharjo
^{1,2}Dosen Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
³Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS Surakarta

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of fiber volume fraction to tensile properties of the composite material reinforced by arenga pinnata fiber and identify the characteristic of fracture surface of the composite. The materials in this research are waste of arenga pinnata fiber, unsaturated polyester resin (UPRs) 157 BQTN and MEKPO hardener. The fiber waste was washed by using fresh water to remove the lignin and other materials. Then, it was dried naturally to reduce the water content. The composite was made by using a press mold method for 10 – 60% of fiber volume fraction. The tensile test specimens of the composite were produced by according to ASTM D 638 standards. The tensile test was carried out on a universal testing machine and the elongation was measured by using an extensometer. The fracture surface was investigated to identify the fracture surface characteristic. The result shows that the composites, prepared for 10, 20, 30, 40 and 50% of fiber volume fraction, have 9.8, 15.45, 18.71, 21.97 and 26.86% of fiber volume fraction, respectively. The tensile properties (strength, modulus, and strain) of the composite increase with the increasing of fiber volume fraction. The tensile strength of composites, which have 9.8, 15.45, 18.71, 21.97, and 26.86% of fiber volume fraction, are 24.55 MPa, 30.57 MPa, 37.01 MPa, 37.22 MPa, and 42.35 MPa, respectively. The fracture surfaces of the composites are classified as fiber pull out failure.

Keywords: arenga pinnata fiber, polyester, composite, tensile properties, fracture surface.

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Potensi tanaman aren yang tumbuh subur di Plantungan, Tulung, Klaten dan berlimpahnya limbah serat aren industri pengolahan tepung aren di Klaten Jawa Tengah merupakan informasi utama gagasan riset ini. Setelah dilakukan survey oleh peneliti pada tahun 2005, limbah serat ini hanya dibiarkan hingga membusuk atau dibakar setelah mengering. Sebelum tahun 2000, limbah ini pernah dipakai sebagai bahan kompos oleh Dr. Supriyadi (UNS) dengan dana Vucer. Namun, kelanjutan pembuatan kompos tersebut sudah tidak lagi dilakukan karena nilai jualnya rendah dan kurang diminati oleh masyarakat pedesaan. Akibatnya, saat ini limbah tersebut menumpuk seperti gambar 1. Padahal, kandungan serat dalam limbah tersebut mencapai di atas 80%. Oleh karena itu, solusi kreatif pemanfaatan limbah serat aren menjadi produk dengan nilai teknologi dan ekonomi yang tinggi merupakan langkah yang tepat untuk menjawab permasalahan ini.

Ketersediaan limbah serat tersebut potensial digunakan sebagai penguat komposit serat alam, yang ramah lingkungan. Kajian ini juga sekaligus memperkaya daftar potensi tanaman serat alam di Indonesia sebagai penguat komposit. Salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan komposit serat alam adalah faktor fraksi volume serat atau kandungan serat. Pada prinsipnya, semua serat alam memiliki kekuatan yang cukup tinggi (di atas 100 Mpa). Perilaku rendahnya kekuatan komposit biasanya disebabkan oleh tidak terdapatnya...



Gambar 1. Tumpukan potensi limbah serat aren di industri tepung aren milik Pak Madi Hartono di Tulung, Klaten, Jawa Tengah.

Agar limbah serat ini dapat dimanfaatkan sebagai penguat komposit, maka perlu proses pembersihan terlebih dahulu. Metoda pembersihan serat, seperti serat aren, yang paling murah dan mudah dilakukan adalah dengan pencucian menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan pati aren yang masih menempel. Setelah serat bersih, dilanjutkan pengeringan secara alami hingga kadar air di bawah 15%. Penguat serat yang banyak diterapkan di industri komposit adalah serat acak (*random*)

Matrik perekat yang biasa digunakan dalam rekayasa panel komposit adalah bahan polimer *termoplast* dan *termoset*. Namun, kajian pemilihan jenis matrik perekat yang penting adalah jenis polimer yang memiliki interaksi ikatan yang kuat dengan serat alam (aren) dan harganya murah. Matrik termoset *unsaturated polyester* merupakan perekat yang memiliki kekuatan ikatan tinggi dengan bahan alam, tidak terjadi reaksi kimia saat dicampur, dan harganya termurah di antara resin termoset lainnya.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka dapat dikatakan bahwa kajian pemanfaatan limbah serat aren dengan matrik *polyester* untuk rekayasa bahan baru komposit merupakan salah satu penelitian yang sangat penting untuk segera dilakukan. Keberhasilan ini akan menghasilkan inovasi teknologi sebagai pemanfaatan berlimpahnya limbah serat aren menjadi rancangan panel komposit alam sederhana, yang potensial untuk dikembangkan menjadi produk komersial.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh peningkatan kandungan serat aren acak terhadap peningkatan kekuatan tarik bahan komposit berpenguat limbah serat aren dengan matrik *polyester*. Pengamatan penampang patahan juga dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik patahannya.

TINJAUAN PUSTAKA

Kekuatan tarik komposit sawit-poliester pada fraksi berat serat (W_f) 19%, 27%, 30%, 36% dan 42% secara berurutan adalah 11 MPa, 14,21 MPa, 15,15 MPa, dan 18.51 MPa. Peningkatan fraksi berat serat (W_f) sampai dengan 30% tidak memberikan peningkatan harga modulus dan regangan patah yang signifikan. Namun pada W_f di atas 36%, peningkatan harga modulus dan regangan patah mulai terlihat. Patahan komposit serat sawit pada uji tarik didominasi oleh mekanisme *pullout* [Jamarsi dkk, 2005]. Peningkatan kekuatan akibat penambahan kandungan penguat serat buah sawit juga terjadi pada pengujian bending. Komposit yang diperkuat limbah serat buah sawit pada $W_f =$

Penambahan serat kenaf sepanjang 1.58 mm dengan kadar 20%, 40%, dan 60% pada polypropylene (PP) mampu meningkatkan modulus tarik dan kekakuan komposit, Namun, regangan patahnya menjadi lebih rendah (Karnani dkk, 1997). Kekuatan tarik komposit kenaf-PP dengan kandungan serat seperti tersebut di atas adalah 26.9, 27.1, dan 27.4 Mpa, sedangkan modulus tariknya 2.7, 2.8, dan 3 Gpa. Penambahan *coupling agent* MAPP meningkatkan kekuatan komposit hingga 6.1 Mpa, dengan kadar MAPP 5% dan kandungan serat 60%. Penampang patahan komposit dengan *coupling agent* tidak menunjukkan adanya *fiber pull out*, namun adanya matrik sisa yang menempel pada serat.

Roe dan Ansell (1985) menyatakan bahwa Modulus Young komposit serat jute-polyester meningkat secara linier seiring dengan bertambahnya fraksi volume serat (V_f). Namun, pada $V_f = 0,7$ harga tersebut menurun secara drastis. Hal ini disebabkan oleh terjadinya delaminasi, sehingga kegagalan terjadi pada tegangan rendah. Secara praktis, komposit ini optimum kekuatannya pada $V_f = 0,6$ dan regangan yang terjadi 1%. Besarnya modulus spesifik serat jute sendiri hampir 2 kali lipat modulus spesifik serat gelas, yaitu 55 Gpa dan 29 GPa. Besarnya kekuatan spesifik per satuan harga serat jute adalah sekitar 80% dari serat gelas.

Teori Kekuatan Tarik Komposit

Menurut Gibson (1994), penempatan serat harus mempertimbangkan geometri serat, arah, distribusi dan fraksi volume serat atau fraksi berat serat, agar dihasilkan

$$V_1 = \frac{W_1 / \rho_1}{W_1 / \rho_1 + W_2 / \rho_2 + \dots} \quad \dots(1)$$

$$W_1 = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots} \quad \dots(2)$$

dengan catatan :

V_1, V_2, \dots = fraksi volume,

W_1, W_2, \dots = fraksi berat

ρ_1, ρ_2, \dots = densitas bahan pembentuk

komposit berkekuatan tinggi. Fraksi volume dan fraksi berat serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Shackelford, 1992):

Secara teoritis, kekuatan komposit berpenguat serat searah dapat ditentukan dengan persamaan (Shackelford, 1992) :

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \quad (3)$$

Jika selama proses pembuatan komposit diketahui massa serat dan matrik, serta density serat dan matrik. Fraksi massa serat pada persamaan 4 dapat disederhanakan menjadi (Kaw, 1997):

$$w_f = \frac{W_f}{W_c} \quad (4)$$

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental di laboratorium, analisis kekuatan komposit biasanya dilakukan dengan mengasumsikan ikatan serat dan matrik sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matrik. Kekuatan tarik dapat dihitung dengan persamaan (ASTM D 638):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (6)$$

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tersebut di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis proses manufaktur komposit dengan metode cetak tekan, besarnya fraksi volume serat pembuatan komposit serat aren – polyester mencapai kandungan serat tertinggi sekitar 25-30%.
2. Hingga $V_f = 26.86\%$, besarnya tegangan, modulus dan regangan tarik komposit serat aren – polyester meningkat secara linier seiring peningkatan fraksi volume serat. Pada $V_f = 26.86\%$, besarnya tegangan, modulus dan regangan tarik masing-masing adalah 42.35 Mpa, 2.42 Gpa dan 1.8%.
3. Penampang patahan komposit menunjukkan jenis patah tunggal yang disertai *fiber pull out*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Dosen Muda. Ucapan terima kasih yang tulus juga kami sampaikan kepada saudara Sigit Haryanto, S.T. selaku mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini dan telah banyak bekerja melakukan pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM, 1998. "Annual Book of ASTM Standar", Section 4, Vol. 04.06, ASTM, West Conshohocken.
- Gibson, O. F., 1994. "Principle of Composite Materials Mechanics", McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Jamasri, Diharjo K. dan Handiko G.W., 2005. "Kajian Sifat Tarik Komposit Serat Buah Sawit Acak Bermatrik Polyester", Media Teknik FT UGM – Terakreditasi, November 2005.
- Jamasri, Diharjo K. dan Handiko G.W., 2006. "Studi Perlakuan Alkali dan Tebal Core Terhadap Sifat Bending Komposit Sandwich Berpenguat Serat Sawit Dengan Core Kayu Sawit", Jurnal Sains Materi Indonesia-Terakreditasi, BATAN, PUSPIPTEK Serpong, Indonesia, Oktober 2006.
- Karnani R., Krishnan M., dan Narayan R., 1987. "Biofiber Reinforced Polypropylene Composites", Reprinted from Polymer Engineering and Science, Vo. 37. No.2.
- Kaw A.K., 1997. "Mechanics of Composite materials", CRC Press, New York.
- Roe P.J. dan Ansel M.P., 1985. "Jute-reinforced polyester Composites", Journal of Materials Science 20, pp. 4015-4020, UK.
- Shackelford, 1992. "Introduction to Materials science for Engineer", Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.

Berdasarkan kurva uji, modulus tarik dapat dihitung dengan persamaan berikut:

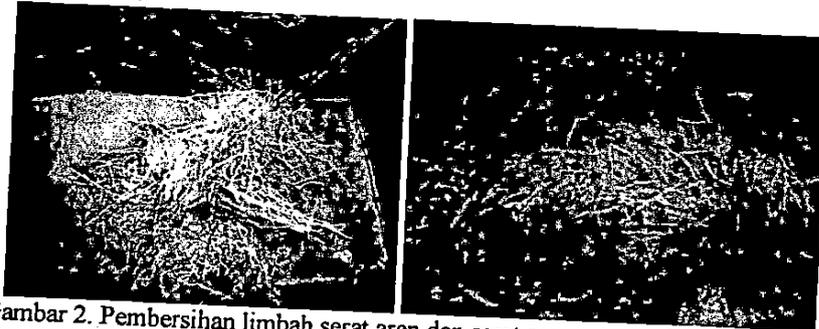
$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

(7)

METODE PENELITIAN

Pengolahan Limbah Serat Aren

Mula-mula serat direndam terlebih dahulu agar kotoran larut dalam air atau lunak, sehingga mudah dibersihkan. Setelah kotoran larut di air, maka serat diangkat dan dicuci ulang untuk meyakinkan pembersihan, seperti ditunjukkan pada gambar. Serat dikeringkan secara alami tanpa sinar matahari hingga kadar air relatif konstan sekitar 10-12%. Serat dilakukan pemanasan di dalam oven pada suhu 60 °C untuk menguapkan kandungan air bebas.

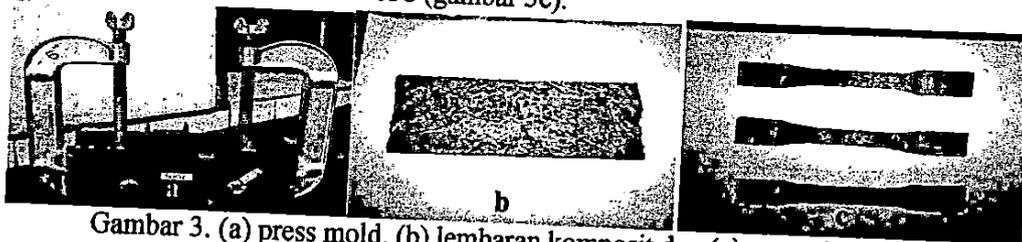


Gambar 2. Pembersihan limbah serat aren dan serat aren yang sudah dibersihkan.

Pembuatan dan Pengujian Tarik Komposit

Serat yang sudah kering, dibuat menjadi bentuk *mat* serat aren acak. Density mat serat acak tersebut dirancang berdasarkan rancangan fraksi volume serat yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Massa jenis serat alam adalah sekitar 1.4 – 1.5 gr/cm³. Tetapan tersebut bermanfaat untuk memprediksi besarnya fraksi volume serat. Massa jenis *unsaturated polyester* sudah ada spesifikasinya dari PT. JUSTUS, yaitu 1.215 gr/cm³.

Spesimen panel komposit dibuat dengan metoda kombinasi *hand lay up* dan dilanjutkan dengan *press mold*, seperti ditunjukkan pada gambar. Kertas karton sin dan hardener yang digunakan dalam penelitian ini adalah *unsaturated MEKPO* (metil etil keton peroksida). Lembaran komposit yang sudah dibuat direkat dengan lakuan pemotongan menggunakan gerinda tangan untuk mem lakukan pemotongan dengan menggunakan gerinda tangan untuk mem lakukan uji tarik sesuai dengan standar ASTM D-638 (gambar 3c).



Gambar 3. (a) press mold, (b) lembaran komposit dan (c) sampel uji tarik.

Sampel uji tarik dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin uji tarik *Servopulser*. Regangan pada area panjang ukur dilakukan pengukuran secara teliti dengan menggunakan ekstensometer. Hasil pengujian tarik yang diperoleh adalah berupa kurva hubungan antara beban (N) dengan perpanjangan (mm). Penampang patahan diamati secara makro untuk mengamati karakteristik patahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Proses Manufaktur

Besarnya fraksi volume serat (V_f) yang dihasilkan ketika dilakukan proses manufaktur komposit yang mengkombinasikan antara proses *hand lay up* yang dilanjutkan dengan cetak tekan (*press mold*) menyimpang dari fraksi volume serat rencana. Penyimpangan proses manufaktur tersebut secara lebih rinci ditunjukkan pada tabel 1. Dengan demikian, variasi V_f yang digunakan sebagai sampel uji adalah 5 macam yaitu 9.80, 15.45, 18.71, 21.97 dan 26.86%.

Tabel 1. Penyimpangan V_f pada pembuatan komposit dengan metode cetak tekan.

V_f Rencana	V_f Yang Terbentuk	Keterangan
10%	9.80 %	Sesuai sama dengan rencana
20%	15.45%	Sampel uji yang terbentuk lebih tebal sehingga V_f yang dihasilkan lebih rendah. Kendala ini juga biasa terjadi pada penelitian yang lain
30%	18.71%	
40%	21.97 %	
50%	26.86%	
60%	Produk gagal	Sampel uji yang terbentuk sangat tebal (± 6 mm) sehingga sampel gagal pada daerah sekitar cekaman grip mesin uji

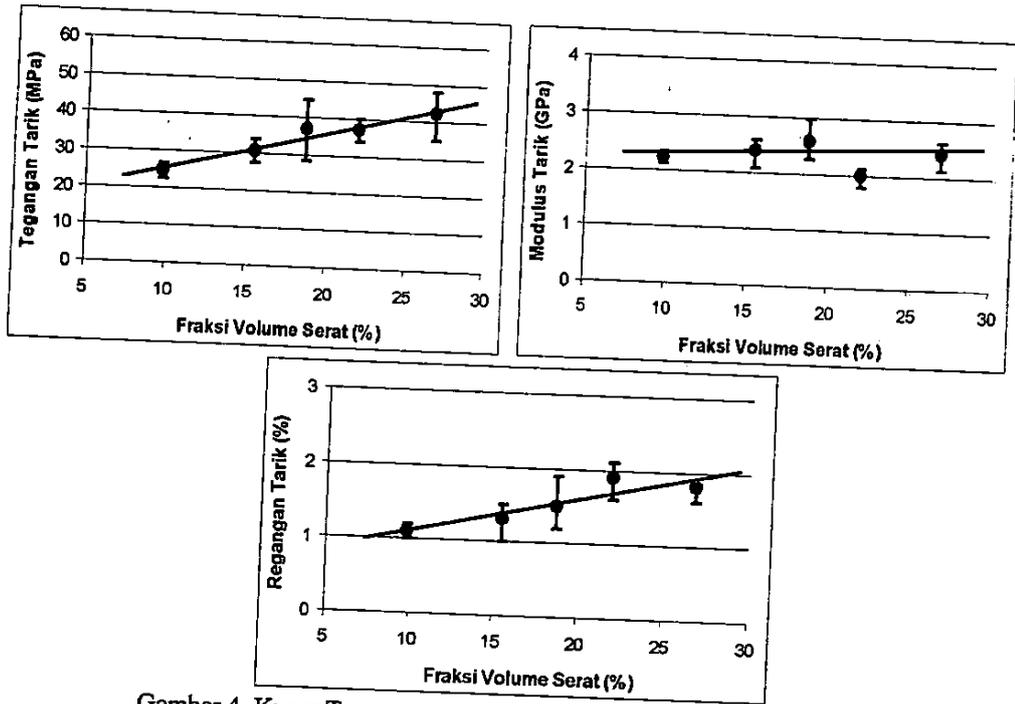
Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Tarik Komposit Serat Aren.

Tabel 2. Hasil perhitungan sifat tarik komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan.

V_f (%)	W_f	Tegangan Tarik (MPa)			Regangan Tarik (%)			Modulus Tarik (GPa)		
		Min	Max	Rata2	Min	Max	Rata2	Min	Max	Rata2
9,8	0,11	22,42	26,67	24,55	0,01	0,012	0,011	2,22	2,24	2,23
15,45	0,17	27,58	33,84	30,57	0,01	0,015	0,013	2,16	2,78	2,39
18,71	0,21	28,37	45,16	37,01	0,012	0,018	0,015	2,18	3,12	2,58
21,97	0,25	34,02	40,21	37,22	0,016	0,021	0,019	1,79	2,13	2,01
26,86	0,3	35	48,14	42,35	0,016	0,019	0,018	1,89	3,01	2,42

Hasil pengolahan data pengujian tarik sampel komposit dengan variasi kandungan serat aren ditunjukkan seperti pada tabel 2. Untuk mempermudah analisis sifat tarik komposit, data pada tabel 2 diolah lebih lanjut menjadi kurva tegangan, modulus dan regangan tarik terhadap variasi fraksi volume serat bahan komposit serat aren – polyester, seperti ditunjukkan pada gambar 5.1.

Sesuai dengan teori Rule of Mixture (ROM), besarnya tegangan, modulus dan regangan tarik komposit meningkat secara linier seiring dengan penambahan fraksi volume serat, seperti pada gambar 4. Hasil penelitian ini tersebut menunjukkan bahwa serat aren sangat berpotensi untuk digunakan sebagai penguat pada rekayasa bahan komposit. Pada V_f tertinggi (26.86%), besarnya tegangan, modulus dan regangan tarik komposit masing-masing adalah 42.35 Mpa, 2.42 Gpa dan 1.8%.

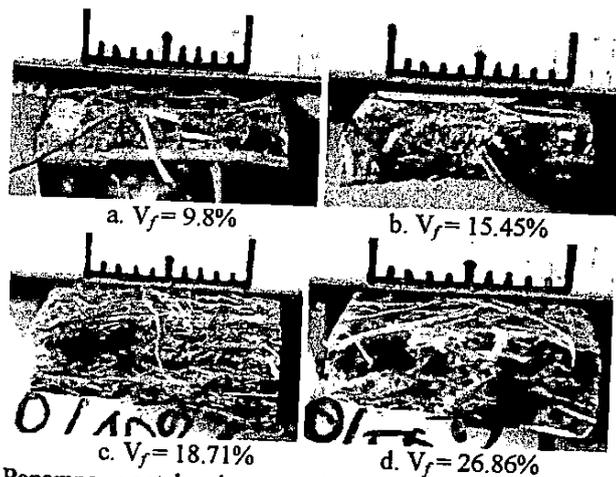


Gambar 4. Kurva Tegangan, modulus dan regangan tarik komposit yang diperkuat limbah serat aren.

Pada fraksi volume serat 21.97% modulus elastisitas mengalami penurunan yang signifikan, yaitu sebesar 2.01 GPa. Penyimpangan ini terjadi karena pengaruh harga regangan yang besar, yaitu 1.9%.

Karakteristik Penampang Patahan

Pada komposit berpenguat serat aren tanpa perlakuan, jenis patahan didominasi oleh *fiber pull out*, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Hal ini disebabkan karena ikatan serat dengan matrik yang kurang merekat kuat. Lepasnya ikatan serat dan matrik terjadi karena adanya lapisan *lignin* dan kotoran lainnya yang masih menempel pada permukaan serat. Hal inilah yang menyebabkan serat tercabut ketika mengalami kegagalan pada saat pengujian tarik.



Gambar 5. Penampang patahan komposit berpenguat serat aren tanpa perlakuan.