

KAJIAN SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT BUAH SAWIT ACAK BERMATRIK POLYESTER

Jamasri¹ dan Kuncoro Diharjo² dan Gunesti³

ABSTRACT

The objective of this research is to assess tensile properties of palm oil fibers reinforced polyester composites. The fibers were obtained from a solid waste of palm oil plant located in Sumatra. The fibers were firstly separated from other waste materials and secondly washed using fresh water and subsequently dried naturally in an open space but not directly exposed by sun until the water content reached about 8%. The fibers were distributed randomly with their length approximately 4 to 6 cm. The surface of fibers were observed using SEM to investigate their surface morphology.

The composites with variation of fibers from 19% to 42% (w/w) were manufactured using an open mould. All samples were post cured at 62°C during 4 hours. The samples were then cut using a hand grinding machine to produce tensile specimens according to ASTM D 638 Standard. Tensile tests were carried out using a servohydraulic universal testing machine and the elongation was recorded using an extensometer. The graphs of load versus elongation resulted from the tests were analyzed to determine ultimate strength, elasticity and strain. The fracture surface was observed using SEM to analyse the fracture mechanism.

Experimental result shows that the increase of fiber content up to 42% can significantly increase the ultimate strength, i.e. 11 MPa, 14,21 MPa, 15,15 MPa, and 18,51 MPa for fiber content of 19%, 27%, 30%, 36% and 42%, respectively. The increase of fiber content up to 30% does not significantly increase the elasticity and strain. However, the elasticity and strain will increase when the fiber content is above 36%. Fracture surface of the composites was dominated by pullout mechanism.

Keywords: palm oil fiber, fiber content, tensile properties, fracture mechanism

PENDAHULUAN

Kembali ke alam (*back to nature*) merupakan istilah yang tepat untuk menggambarkan kondisi IPTEK dewasa ini. Teknologi komposit sebenarnya mencontoh komposit alam yang sudah ada sebelumnya. Sebagai contoh, serat pohon pisang merupakan komposit alam dengan serat selulosa dan matrik lignin (Sumardi dkk., 2003).

Penelitian dan pengembangan teknologi dengan melakukan eksploitasi besar-besaran dapat menimbulkan kepunahan sumber daya alam. Perkembangan plastik mulai meningkat sejak ditemukannya material komposit yang secara harfiah disebut *reinforced plastic*. Komposit begitu cepat diserap dan dipakai oleh industri pesawat terbang, otomotif, militer, alat olah raga, kedokteran, bahkan sampai peralatan rumah tangga. Boeing 757 menggunakan komposit pada badan dan sirip belakang. Casis mobil Formula-1 dan rangka sepeda balap juga menggunakan komposit sebagai struktur utama.

Serat alam telah dicoba untuk menggeser serat sintesis, seperti serat gelas, kevlar-49, carbon/ graphite, silicone carbide, aluminium oxide, dan boron. Walaupun tak sepenuhnya menggeser, namun penggunaan serat alam menggantikan serat sintesis adalah sebuah langkah bijak dalam menyelamatkan kelestarian lingkungan dari limbah yang dibuat dan keterbatasan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui.

Pohon kelapa sawit merupakan tanaman yang sangat produktif, dimana dari daun hingga akarnya dapat diolah menjadi produk teknologi. Dilihat dari produksi CPO (*crude oil palm*), produksi buah kelapa sawit mencapai 100.000 ton/ bulan (Depperindag, 2005). Buah sawit yang sudah diambil minyak intinya, masih dipres lagi agar menghasilkan minyak Femis/ Rengas. Limbah hasil pengepresan ini adalah serat buah sawit, yang hingga kini belum diolah menjadi produk teknologi. Bahkan, limbah ini biasanya hanya dibuang begitu saja atau digunakan sebagai media pertumbuhan ketapang. Limbah serat buah sawit sangat potensial digunakan sebagai penguat bahan baru komposit, untuk diaplikasikan pada berbagai komponen otomotif ataupun produk rekayasa lainnya.

Salah satu keistimewaan pemanfaatan serat sawit sebagai bahan baru rekayasa antara lain; (1) memberikan solusi terhadap melimpahnya limbah sawit, (2) menghasilkan bahan baru komposit alam yang ramah lingkungan, dan (3) mendukung gagasan pemanfaatan limbah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi dan teknologi tinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut maka diperlukan kajian tentang kekuatan bahan komposit serat buah sawit-poliester.

Penggunaan komposit berpenguat serat alam di industri otomotif meningkat signifikan. Pada tahun 1996, komposit berpenguat serat alam yang digunakan adalah 4.000-5.000 ton dan meningkat menjadi lebih

¹ Ir. Jamasri, Ph.D., Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

² Kuncoro Diharjo, ST., MT., Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

³ Ir. Gunesti, Pengembangan Teknologi PT INKA Madiun

dari 28.000 ton di tahun 2000. Rata-rata penggunaan komposit berpenguat serat alam pada mobil-mobil penumpang di Eropa mencapai 5-10 kg tiap mobil (Mueller dan Krobjilowski, 2004). Banyaknya penggunaan komposit penguatan serat alam tersebut mengindikasikan bahwa kebutuhan komposit alam di Indonesia diprediksikan juga akan meningkat di masa mendatang. Hal tersebut tentu akan memacu eksploitasi penggunaan serat alam.

Kekuatan dan modulus tarik komposit serat alam kenaf yang dipotong sepanjang 1 cm dengan matrik polipropilene (PP) memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan PP saja. Sifat mekanis tersebut dapat ditingkatkan lagi dengan penambahan *maleic anhydride grafted polypropylene* (MAPP) sebagai *coupling agent*. MAPP ini berfungsi meningkatkan kompatibilitas dan adhesi antara matrik dengan serat. Pada fraksi berat serat (W_f) = 60%, kekuatan tarik komposit kenaf-PP tanpa dan dengan MAPP 2% adalah 3,5 MPa dan 7,5 MPa (Rowell et al., 1999).

Hal yang sama, Karnani et al. (1997) meneliti kekuatan tarik komposit serat kenaf-PP dengan penambahan MAPP 2%. Panjang potongan serat adalah 1,58 cm. Kekuatan tarik komposit kenaf-PP tanpa MAPP pada W_f = 20%, 40%, dan 60% adalah 26,9 MPa, 27,1 MPa, dan 27,4 MPa. Pada W_f yang sama, penambahan MAPP mampu meningkatkan kekuatannya menjadi 32,7 MPa, 41,3 MPa, dan 53,8 MPa.

Komposit kenaf acak panjang dengan matrik *unsaturated polyester* (UPRs) memiliki kekuatan dan modulus tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil riset yang dilakukan oleh Rowell et al. (1999) tersebut di atas. Hal ini mengindikasikan bahwa serat yang lebih panjang akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Pada W_f = 15%, 25%, dan 35%, kekuatan komposit kenaf-UPRs adalah 28,4 MPa, 22,81 MPa, dan 31,89 MPa, sedangkan besarnya modulus tarik adalah 5,49 GPa, 6,28 GPa, dan 8,29 GPa.

Menurut Gibson (1994), salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit adalah jenis serat dan jenis matrik. Pasangan serat-matrik yang baik akan menghasilkan ikatan adhesi yang kuat. Pencampuran kedua komponen tersebut hanya terjadi secara fisis. Selain faktor tersebut di atas, faktor-faktor lain yang mempengaruhi kekuatan komposit antara lain; diameter serat, panjang serat, orientasi serat, distribusi serat dan kandungan serat.

DASAR TEORI

Pada komposit berbasis selulosa, faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit serat pendek dengan matriks termoplastik adalah penyebaran serat, gaya ikat serat-matriks, aspek perbandingan serat

(L_f/D_f), fraksi serat, dan orientasi serat (Gatenholm, 1993; Kokta, 1991).

Fraksi massa serat ialah perbandingan massa serat dengan massa komposit. Jika tidak terdapat void, maka massa komposit sama dengan massa serat ditambah dengan massa matrik. Fraksi massa serat pada kondisi tanpa void dapat dirumuskan sebagai berikut (Kaw, 1997):

$$w_f = \frac{W_f}{W_C} \quad (1)$$

$$w_f + w_m = 1$$

Keterangan : w_f = fraksi massa serat
 w_m = fraksi massa matrik
 W_f = massa serat
 W_C = Massa komposit

Berdasarkan *Rule of Mixture* (ROM), kekuatan komposit berpenguat serat searah kontinyu dapat dihitung dengan persamaan yang sederhana yaitu (Sanadi dkk, 1986):

$$\sigma_C = \sigma_f v_f + \sigma_m (1 - v_f) \quad (2)$$

dengan catatan; σ_f = kekuatan tarik serat dan σ_m = kekuatan tarik matrik. Modulus elastisitas komposit dapat dihitung berdasarkan ROM dengan:

$$E_C = v_f E_f + (1 - v_f) E_m \quad (3)$$

dengan catatan; E_f = modulus elastisitas serat. Kedua persamaan tersebut berlaku untuk serat kontinyu searah, sedangkan untuk serat acak maka persamaan tersebut dapat dimodifikasi menjadi:

$$\sigma_C = X (\sigma_f v_f + \sigma_m v_m) \quad (4)$$

$$E_C = X (v_f E_f + v_m E_m) \quad (5)$$

Harga X adalah faktor pembanding antara kekuatan komposit serat acak dan serat searah kontinyu pada fraksi volume yang sama.

Berdasarkan eksperimen langsung pada pengujian komposit, kekuatan tarik dan modulus elastisitas juga dapat dihitung secara langsung dari data-data hasil pengujian. Menurut standar ASTM, kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit yang dihitung berdasarkan pengujian dapat dihitung dengan persamaan;

$$\sigma_C = \frac{P}{A} \quad (6)$$

$$E_C = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

dengan catatan; σ_C = tegangan, P = beban, A = luas penampang, dan ϵ = regangan

Pada komposit serat acak, analisis kekuatan umumnya dilakukan berdasarkan persamaan (6) atau dengan persamaan (4) dan (5).

METODE PENELITIAN

Bahan serat buah sawit yang digunakan adalah limbah buangan dari salah satu perusahaan minyak sawit di Sumatra. Sebagai bahan buangan, kondisi serat sangat kotor sehingga diperlukan proses pencucian. Serat yang sudah bersih, dilakukan pengeringan secara alami di dalam ruangan. Untuk mengetahui kandungan air serat dapat dilakukan dengan pemanasan dalam oven pada suhu 62°C. Serat ini memiliki dimensi sekitar 1 mm di bagian pangkal, dan selanjutnya mengecil hingga bagian ujung. Panjang serat tersebut berkisar antara 4 – 6 cm. Topografi permukaan serat diamati dengan SEM. Matrik yang digunakan adalah *unsaturated polyester resin 157 BQTN (UPRs)* dan hardener *metil etil keton peroksid (MEKPO)*, yang diperoleh dari PT. Justus Kimia Raya-Jakarta. Kadar hardener adalah 1% (w/w) sesuai dengan standar acuan perusahaan.

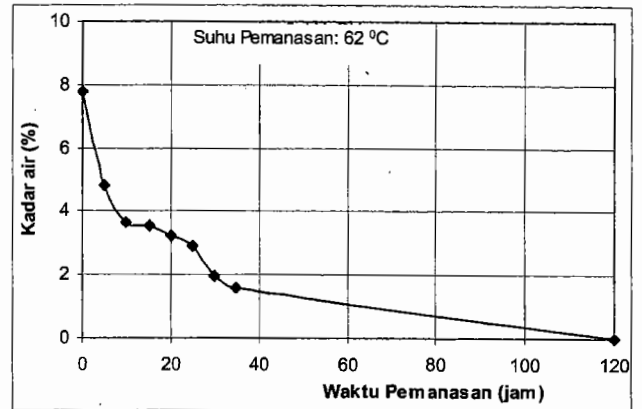
Pembuatan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan untuk variasi fraksi berat serat antara 19 – 42%. Semua sampel dilakukan post cure pada suhu 62°C selama 4 jam. Sampel uji tarik dibuat dari komposit *flat* hasil pencetakan, yang dipotong dengan gerinda tangan. Spesimen tersebut dibentuk dengan mengacu pada standar ASTM D 638 (ASTM, 2002). Panjang ukur spesimen adalah 50 mm. Bagian potongan dipoles dengan kertas amplas sehingga efek proses penggerindaan dapat dihilangkan. Semua spesimen diberi tab dari bahan kertas amplas kayu.

Pengujian tarik komposit dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik. Untuk mengontrol panjang ukur, setiap spesimen dipasang alat bantu tambahan untuk menempatkan ekstensometer. Ekstensometer inilah yang akan mengontrol perpanjangan pada panjang ukur 50 mm. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis, dan hasilnya ditunjukkan dalam bentuk kurva hubungan antara kekuatan tarik, modulus tarik, dan regangan dengan fraksi berat serat. Karakteristik penampang patahannya diamati dengan SEM.

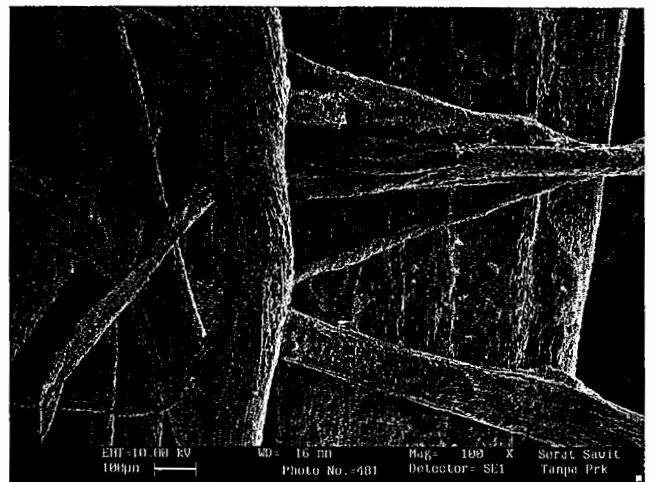
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengeringan alami serat sawit ditiriskan di tempat teduh (tanpa sinar matahari) dan mampu menghilangkan kandungan air hingga 7.76%. Hasil ini dipandang ekonomis karena dapat diperoleh serat dengan kadar air di bawah 10% tanpa memerlukan alat pengering khusus. Jika serat tersebut dikeringkan lebih lanjut dengan suhu 62°C dalam alat pemanas, hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1. Pada pemanasan

selama 15 menit, air bebas pada serat menguap dengan cepat, dan selanjutnya air terikat di dalam serat akan menguap pada pemanasan berikutnya yang lebih lama hingga semua air serat hilang. Dalam penelitian ini, kadar air dalam serat dipilih sekitar 8% berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Rochardjo, 2003).



Gambar 1. Kurva penurunan kadar air serat yang dipanaskan pada suhu 62°C



Gambar 2. SEM permukaan serat buah sawit

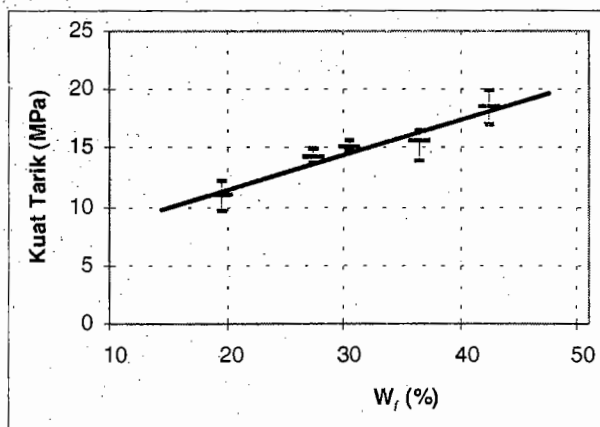
Permukaan serat sawit sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, menunjukkan adanya lapisan yang menyelimuti serat di bagian permukaannya. Lapisan ini melindungi serat dari lingkungan. Namun, ketika serat dicampur dengan matrik maka lapisan ini akan menjadi pembatas antara ikatan serat utama dengan matrik. Akibatnya, kekuatan ikatan antara serat dan matrik kurang kuat. Dalam penelitian ini, upaya untuk menghilangkan lapisan tersebut hanya dilakukan pencucian dengan air. Pencucian dengan air ini biayanya murah dan tidak membahayakan lingkungan, sehingga kalau dapat menghasilkan komposit dengan sifat mekanik yang baik maka dapat dipertimbangkan pada produksi masal.

Sifat tarik komposit serat sawit-UPRs meningkat seiring dengan bertambahnya W_f , seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan data hasil uji pada Tabel 1, peningkatan W_f akan meningkatkan ketiga komponen sifat tarik, yaitu kekuatan, modulus dan regangan. Dengan demikian, peningkatan W_f akan meningkatkan sifat mekanis komposit.

Tabel 1. Hasil uji tarik komposit rerata pada W_f yang berbeda

| Tensile Properties | Fraksi Berat (W_f) | | | | |
|---------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 19 % | 27 % | 30 % | 36 % | 42 % |
| Kuat Tarik (MPa) | 11 | 14,21 | 15,15 | 15,59 | 18,51 |
| Modulus Elastisitas (GPa) | 3,44 | 3,45 | 3,4 | 3,92 | 4,75 |
| Regangan (%) | 0,32 | 0,43 | 0,52 | 0,4 | 0,61 |

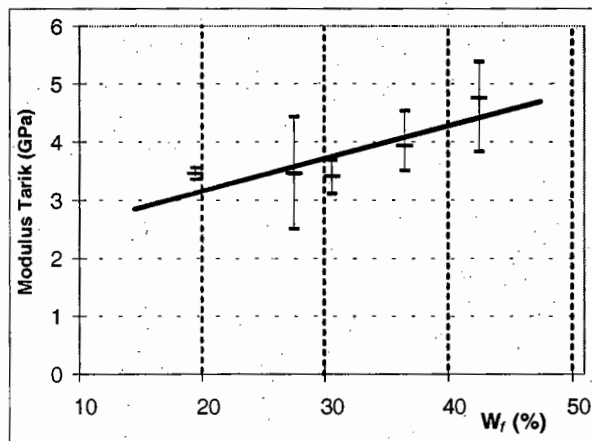
Kurva hubungan antara kekuatan komposit terhadap W_f pada Gambar 3 menunjukkan bahwa data yang diperoleh dari hasil pengujian berada sangat dekat dengan garis regresi. Hasil ini menunjukkan bahwa keakuratan data hasil pengujian dipandang cukup tinggi. Kekuatan tarik komposit serat sawit-UPRs ini memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit serat kenaf *chopped strand* (panjang 1 cm)-PP dengan dan tanpa MAPP yang diteliti oleh Rowell et al. (1999). Dengan demikian, pemanfaatan limbah serat buah sawit sebagai penguat komposit memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk rancangan panel sebagai kelanjutan dari penelitian ini.



Gambar 3. Kurva Kekuatan tarik Vs W_f

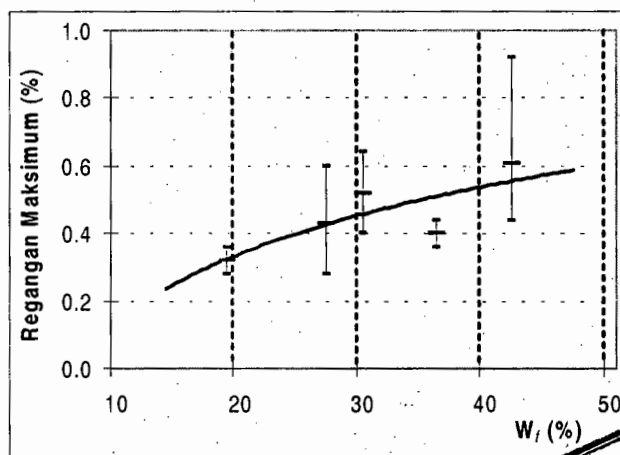
Pada kurva hubungan antara modulus tarik komposit dengan W_f , mengindikasikan penyimpangan dengan hasil regresi linier sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4. Penyimpangan ini dapat

disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah distribusi serat dan void yang tidak merata. Pada W_f sebesar 19%, 27% dan 30%, besarnya modulus tarik masih berada pada harga yang relatif sama. Namun, pada $W_f = 36%$ dan $42%$ terjadi peningkatan harga modulus yang signifikan. Harga modulus ini kalau dibandingkan dengan pengujian serupa yang dilakukan oleh Rowell et al. (1999) masih relatif lebih rendah. Namun penelitian tersebut menggunakan serat yang lebih panjang.

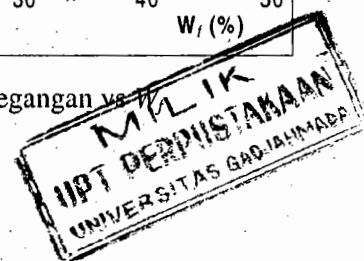


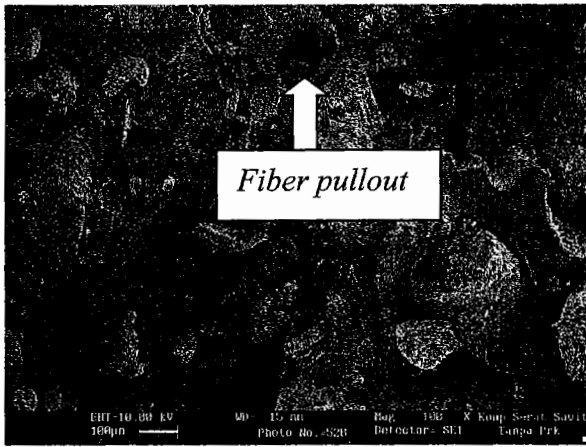
Gambar 4. Kurva modulus tarik vs W_f

Kurva hubungan antara regangan gagal vs W_f pada Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan regangan terjadi pada W_f hingga 42%. Dengan demikian, maka ada kemungkinan serat sawit mempunyai keuletan lebih tinggi dibanding dengan matrik polyester. Di samping itu juga dapat disebabkan oleh mekanisme *pullout* serat (Gambar 6) dari matrik ketika komposit ditarik. Mekanisme *pullout* dapat menghambat terjadinya perpatahan, sehingga terlihat keuletan meningkat.



Gambar 5. Kurva regangan vs W_f





Gambar 6. SEM penampang patahan komposit serat sawit

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya adalah:

1. Komposit dengan penguatan serat sawit memberikan peningkatan kuat tarik yang sangat baik, yaitu sebesar 11 MPa, 14,21 MPa, 15,15 MPa, dan 18,51 MPa masing-masing untuk fraksi berat serat 19%, 27%, 30%, 36% dan 42%.
2. Peningkatan kandungan serat sampai dengan 30% tidak memberikan peningkatan harga modulus dan regangan patah yang signifikan. Peningkatan harga modulus dan regangan patah mulai terlihat pada penguatan diatas 36% fraksi berat serat.
3. Patahan komposit serat sawit pada uji tarik didominasi oleh mekanisme *pullout*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) yang telah membiayai penelitian ini melalui dana RUT XII Tahun Anggaran 2005 yang berjudul **Rekayasa dan Manufaktur Komposit Sandwich Berpenguat Limbah Serat Buah Sawit Dengan Core Limbah Kayu Sawit Untuk Komponen Gerbong Kereta Api**. Penulis juga mengucapkan

terima kasih kepada saudara Ismadi, Bpk. Sunhaji dan Bpk. Yanto yang telah membantu penelitian ini secara aktif.

DAFTAR PUSTAKA

- , 2002, *Annual books of ASTM Standards*, Section 7: Textiles, D 638-02.
- , 2005, Laporan tahunan Departemen Perindustrian dan Perdagangan (DEPPERINDAG).
- Gibson R. F., 1994, *Principles Of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill, Inc. New York. USA.
- Karnani R., Krishnan M., and Narayan R, 1997, *Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites*, Polymer Engineering and science, Vol. 37 No. 2, pp. 476 – 483.
- Kaw A.K., 1997. “*Mechanics of Composite materials*”, CRC Press, New York.
- Muller D. H. dan Krobjilowski A., 2003, *New Discovery in the Properties of Composite Reinforced with Natural Fibers*, Journal of Industrial Textiles, vol 33, no 2., pp.111-130.
- Rochardjo, HSB., Mulyadi, Wijang, W., Dodi, K., 2003, “Effects of Water Contents on Mechanical Properties of Agave Cantala Fibers”, International Seminar on Aerospace Technology, Yogyakarta.
- Rowel R. M., Sanadi A., Jacobson R., and Caulfield D., 1999, *Properties of kenaf/Polypropylene Composites, Kenaf Properties, Processing and Product*, Chapter 32, Mississippi State University, Ag & Bio Engineering, pp. 381-392.
- Sanadi A.r., Prasad S.V. dan Rohatgi P.K., 1986, “*Sunhemp Fibre-Reinforced Polyester*”, Journal of Materials Science 21, UK, pp. 4299-4304.
- Sumardi T.P., Zulfa A., Basukriadi A., Raditya D., dan Rahman F., 2003. “*Rekayasa dan Manufaktur bahan Komposit berpenguat Serat Limbah Pisang Sebagai bahan Interior Otomotif dan pesawat terbang*”, Hibah Bersaing X, DP3M-Dikti, Jakarta.