

**ARTIKEL
PENELITIAN DOSEN MUDA**



**KAJIAN PENGARUH FRAKSI VOLUME SERAT DAN
PERLAKUAN ALKALI TERHADAP OPTIMASI KEKUATAN
KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT RAMI (*BOEHMERIA NIVEA*)
DENGAN Matrik *UNSATURATED POLYESTER*.**

Oleh :

**TOTOK SUWANDA, S.T., M.T.
SIGIT HIDAYAT NURI, S.T.**

DIBIAYAI OLEH DIREKTORAT PENELITIAN DAN PENGABDIAN PADA MASYARAKAT
DENGAN SURAT PENJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN
NO: 32/H34.21/KTR.PTS/2007, 10 MEI 2007
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

STUDI PENGARUH KANDUNGAN SERAT TERHADAP SIFAT TARIK BAHAN KOMPOSIT SERAT RAMI - POLYESTER

¹Totok Suwanda, ²Sigit Hidayat Nuri, ³Kuncoro Diharjo

^{1,2}Dosen Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

³Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS Surakarta

ABSTRACT

The Natural Composite (NACO) is material that has a good potential to be developed in Indonesia. The design of NACO will increase the useful of local natural resources. This study aims to investigate the tensile properties of unidirectional continuous ramie fiber reinforced polyester composite. Visual inspections were performed to assess the mechanism of fracture. The continuous ramie fiber was washed using fresh water and dried naturally. The matrix used in this research is unsaturated polyester resin 157 BQTN with MEKPO hardener 1% (v/v). The composites were made by using press mold method for V_f between 20 and 70%. All specimens were post cured at 62 °C for 4 hours. The tensile test specimens were produced according to ASTM D-638. The tensile test was carried out on a tensile testing machine and the elongation was measured using an extensometer. The fracture surface was investigated to identify the mechanism of fracture. The tensile strength and modulus increase significantly with the increasing of fiber content. The properties have optimum values 205.36 MPa of tensile strength and 95.7 GPa of tensile modulus at $V_f = 54.1\%$. For V_f more than 54.1%, the tensile properties indicate the decreasing of the properties. The fracture type is classified as splitting in multiple area of fracture mechanism. It is high mechanical properties of failure type in composite. The fracture surface also shows fiber pull out.

Keywords: ramie fiber, unsaturated polyester, tensile properties, surface fracture.

PENDAHULUAN

Trend perkembangan komposit saat ini sudah mulai bergeser dari komposit berpenguat serat sintetis menjadi serat alam. Teknologi komposit pun sebenarnya mencontoh komposit alam yang sudah ada sebelumnya (Sumardi dkk, 2003). Produsen mobil *Daimler-Bens* bekerjasama dengan UNICEF mengembangkan penggunaan serat alam abaca sebagai penguat panel komposit untuk komponen otomotif. PT. INKA juga telah mengaplikasikan komposit serat gelas untuk *front end* KRLI dan *mask* KRL-Nas. Penggunaan penguat serat gelas yang tidak ramah lingkungan menyebabkan munculnya masalah limbah serat gelas di INKA, yang menumpuk dan tidak dapat diurai secara alami (Abdullah dan Handiko, 2000). Keunggulan panel komposit antara lain; ringan, kuat, tahan korosi, dan murah. Para industriawan menggunakan komposit sebagai produk unggulan sesuai dengan keistimewanya. Para peneliti memandang penting penggunaan penguat serat alam sebagai penguat bahan komposit yang ramah lingkungan.

Serat alam telah dicoba untuk menggeser serat sintetis, seperti serat gelas. Walaupun tak sepenuhnya menggeser serat sintetis, pemanfaatan serat alam yang ramah lingkungan merupakan langkah bijak untuk menyelamatkan kelestarian lingkungan. Tanaman rami (*Boehmeria Nivea*) merupakan salah satu jenis tanaman penghasil serat (*bast fiber*) yang tumbuh subur di Indonesia, seperti di daerah Garut Jawa Barat. Produk serat rami tersebut telah digunakan sebagai bahan tekstil dan kertas. Namun, mayoritas produk serat rami tersebut diekspor ke

Jepang. Menurut Eichhorn et. al. (2001), produksi rami dunia telah mencapai 100.000 ton per tahun, lebih tinggi dari produksi serat abaca yang hanya mencapai 70.000 ton per tahun.

Uraian tersebut menunjukkan bahwa serat rami memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan di bidang rekayasa, khususnya sebagai penguat bahan baru komposit. Oleh karena itu, kajian tentang sifat tarik bahan baru komposit yang diperkuat serat rami dipandang penting dilakukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengilhami para peneliti selanjutnya untuk mengkaji pemanfaatan berbagai serat alam sebagai penguat komposit, untuk mensubstitusi penggunaan serat sintetis.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sifat tarik bahan komposit yang diperkuat serat rami kontinyu searah dengan matrik poliester. Karakteristik mekanisme patahannya diamati dengan menggunakan foto makro.

TINJAUAN PUSTAKA

Hasil penelitian awal oleh Marsyahyo (2005) menunjukkan bahwa diameter serat rami (jenis rami Cina super) dari Garut adalah sekitar 0.034 mm. Menurut Mueller dan Krobjilobsky (1999), massa jenis serat rami adalah 1.5 – 1.6 gr/cm³ dan kekuatan tarik serat rami berkisar 400 – 1050 Mpa. Modulus elastisitas dan regangannya adalah sekitar 61.5 Gpa dan 3.6%. Umumnya, serat rami memiliki diameter sekitar 0.04 – 0.08 mm.

Kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan regangan tarik komposit yang diperkuat serat kenaf acak bermatrik poliester pada fraksi volume serat (V_f) 32.39 adalah 59.03 Mpa, 8.75 Gpa, dan 0.728%. Sifat tarik tersebut masing-masing meningkat 107.8%, 51.91%, dan 37.36% dibandingkan dengan komposit pada $V_f = 13.18\%$ (Diharjo et. al., 2005).

Peningkatan sifat tarik komposit kenaf - poliester dapat meningkat signifikan dengan mensubstitusi penguat serat kontinu searah. Komposit, yang diperkuat serat kenaf kontinu searah bermatrik poliester pada $V_f = 51.91\%$, memiliki kekuatan tarik 216.8 Mpa dan modulus tarik 26.79 Gpa. Penampang patahan komposit tersebut mengindikasikan patahan tipe *splitting in multiple area* (Diharjo et. al., 2005). Sifat tarik komposit tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hasil riset yang dilakukan oleh Raharjo et. al. (2005), yaitu kekuatan dan modulus tarik komposit kenaf kontinu searah-poliester pada $V_f = 60\%$ adalah 157 Mpa dan 20 Gpa. Faktor yang menyebabkan perbedaan kedua hasil penelitian tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan tempat tumbuhnya tanaman kenaf, perbedaan kadar air serat saat dilakukan pencetakan, atau faktor-faktor lainnya.

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 karena terjadi delaminasi antar lamina. 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.

Sifat-Sifat Tarik Komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/ serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi berat serat (W_f). Namun, formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Menurut Roe dan Ansel (1985), fraksi volume serat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_f = \left[V_c - \left(\frac{M_c - M_f}{Q_M} \right) \right] / V_c \dots(1)$$

Jika selama proses pembuatan komposit diketahui

matrik, maka fraksi volume dan fraksi massa serat dapat dihitung dengan persamaan (Shackelford, 1992) :

$$v_f = \frac{W_f / \rho_f}{W_f / \rho_f + W_M / \rho_M} \dots(2)$$

$$w_f = \frac{\rho_f V_f}{\rho_f V_f + \rho_M V_M} \dots(3)$$

Fraksi massa serat pada persan ipat disederhanakan menjadi (Kaw, 1997):

$$w_f = \frac{W_f}{W_C} \dots(4)$$

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 :

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

Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

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

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

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \dots(7)$$

Berdasarkan the *Rule of Mixture* (ROM), kekuatan dan modulus tarik komposit berpenguat serat searah kontinu dapat dihitung dengan persamaan (Sanadi dkk, 1986):

$$\sigma_C = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \dots(8)$$

$$E_C = v_f E_f + (1-v_f) E_m \dots(9)$$

METODE PENELITIAN

Serat rami kontinu diperoleh dari sebuah pondok pesantren agrobisnis Darussalam di kabupaten Garut Jawa Barat. Serat rami yang masih mengandung lignin dan kotoran tersebut direndam di dalam air bersih, dan dilanjutkan dengan pembersihan sambil disisir untuk meluruskan seratnya. Serat yang sudah rapi ditiriskan hingga kering tanpa sinar matahari. Bahan matrik yang digunakan adalah unsaturated poliester (UPRs) 157 BQTN, yang disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya Jakarta. Hardener yang dipakai adalah MEKPO (*metil etil keton peroksida*) dengan kadar 1% (v/v).

Komposit dibuat dengan metoda cetak tekan untuk fraksi volume serat antara 20 – 70%. Spesimen uji tarik dibuat dari plat komposit hasil cetakan, yang dipotong dengan menggunakan gerinda tangan. Efek pemotongan dieliminasi dengan dihaluskan menggunakan kertas amplas. Spesimen tersebut dibuat sesuai dengan standar ASTM D-638. Bagian spesimen yang akan dicekam mesin uji tarik diberi *tab* dari kertas amplas. Semua spesimen dilakukan post cure pada suhu 62 °C selama 4 jam.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik *Servopulser*. Setiap spesimen dipasang peralatan tambahan hasil rekayasa untuk memasang *extensometer*, sehingga perpanjangan yang terukur adalah sepanjang *gage length* (50 mm). Data hasil pengujian adalah kurva hubungan antara beban versus perpanjangan. Data tersebut dianalisa dan hasilnya ditunjukkan dalam bentuk hubungan antara kekuatan tarik, modulus tarik, dan regangan tarik versus fraksi volume serat. Penampang patahan dilakukan foto makro untuk menyelidiki perilaku mekanisme perpatahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Tarik Komposit

Tabel 1. Sifat tarik komposit hasil eksperimen.

Fraksi Volume Serat, %	Teg. Tarik, MPa	Modulus Elastisitas, GPa
26.7	178.11	21.50
37.36	159.21	24.81
46.93	159.75	36.11
54.10	205.36	47.88
67.47	194.36	42.28

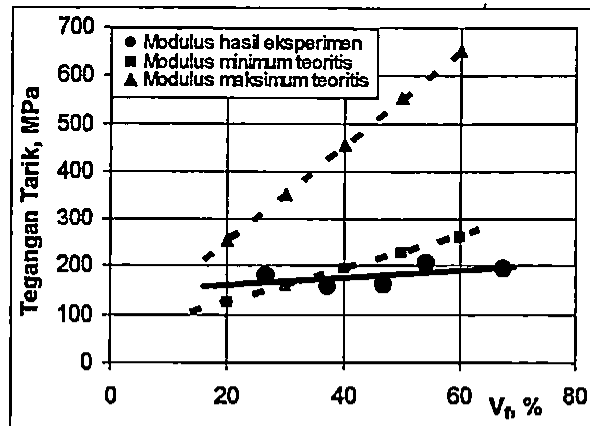
Tabel 2. Sifat tarik komposit hasil teoritis.

V _f %	Tegangan Tarik		Modulus elastisitas	
	min (MPa)	mak (MPa)	min (GPa)	mak (GPa)
20	124	254	17	30
30	159	354	22	42
40	193	453	28	55
50	228	553	34	67
60	262	652	39	79

Catatan: tegangan dan modulus tarik serat rami dan poliester mengacu pada literatur (Mueller dan Krobjilobsky, 1999).

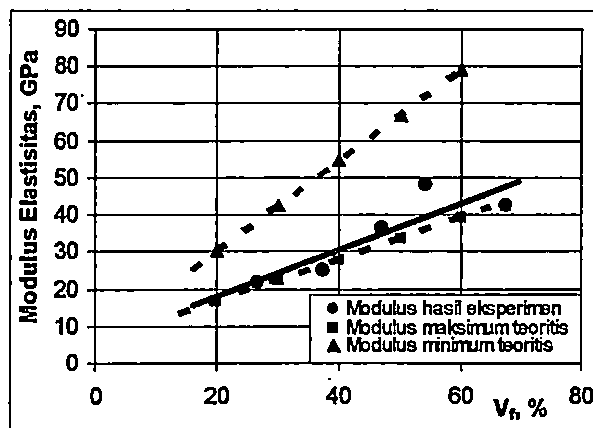
Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 1, kekuatan tarik dan modulus tertinggi komposit rami-UPRs adalah 205.36 MPa 47.88 GPa pada V_f = 54.10%. Pada V_f = 64.47%, sifat tarik komposit tersebut turun menjadi 194.36 MPa dan 42.28 GPa. Penurunan sifat tarik ini dapat disebabkan oleh terlalu banyaknya kandungan serat sehingga muncul

Alasan ini juga didukung oleh faktor manufaktur yang menunjukkan bahwa pada V_f = 64.47% terjadi kesulitan proses pembuatan komposit. Dimensi komposit hasil cetakan selalu lebih tebal dari yang direncanakan. Uraian tersebut mengindikasikan bahwa sifat tarik komposit tersebut optimum pada V_f sekitar 50-60%.



Gambar 1. Kurva hubungan tegangan vs V_f.

Analisis verifikasi kekuatan tarik hasil eksperimen dengan kekuatan tarik teoritis berdasarkan aturan ROM ditunjukkan pada gambar 1. Secara umum, kekuatan tarik komposit hasil eksperimen memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dari komposit rami-UPRs teoritis. Kekuatan tarik yang lebih rendah tampak lebih jelas pada V_f sekitar 40%. Namun, penyimpangan kekuatan tarik tersebut masih berada pada batas kewajaran. Pada umumnya, sifat mekanis eksperimen biasanya lebih rendah dari hasil analisis teoritis.



Gambar 2. Kurva hubungan modulus elastisitas vs V_f.

Lebih rendahnya kekuatan tarik hasil eksperimen ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kesulitan akurasi perhitungan V_f, penyimpangan orientasi serat yang tidak lurus 0°, distribusi serat yang kurang merata, sifat mekanis

serat alam rami yang tidak merata di sepanjang serat, dan kurang kuatnya ikatan serat dan matrik. Rendahnya kekuatan rekatan serat dan matrik dapat disebabkan oleh adanya lignin dan kotoran lain dipermukaan serat atau keberadaan air bebas di luar sel selulosa rami.

Secara umum, komposit hasil eksperimen memiliki harga modulus elastisitas yang lebih besar dari hasil analisis teoritis modulus terendah dengan ROM, seperti pada gambar 2. Modulus tertinggi (47.88 GPa) terjadi pada $V_f = 54.10\%$, sedangkan pada $V_f = 64.47\%$ harga modulus elastisitasnya lebih rendah, yaitu 42.28 GPa. Modulus elastisitas sebesar 47.88 GPa ini dapat dianggap sebagai modulus tertinggi hasil eksperimen. Trend peningkatan harga modulus elastisitas terhadap penambahan V_f memiliki kemiripan dengan kekuatan tariknya.

Analisis verifikasi hasil eksperimen dengan hasil riset sebelumnya yang dihasilkan oleh Diharjo dkk (2005) menunjukkan bahwa bahan komposit rami-UPRs memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah (205.36 MPa pada $V_f = 54.10\%$) dibanding bahan komposit kenaf-UPRs (216.8 MPa pada $V_f = 51.91\%$). Perbedaan kekuatan tarik tersebut dapat dikatakan tidak signifikan, karena selisih kekuatannya relatif kecil. Dengan demikian, kedua komposit tersebut dapat dikatakan memiliki kemiripan kekuatan tarik.

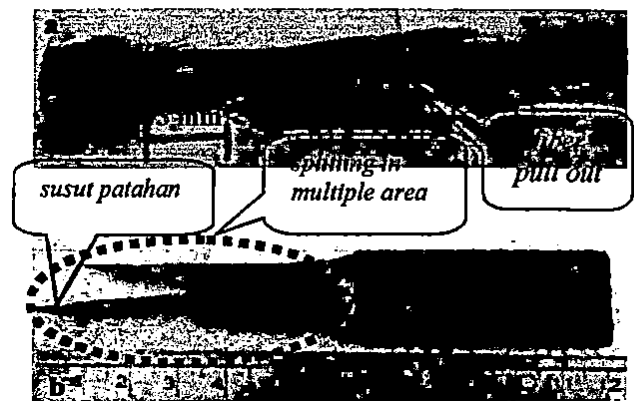
Sebaliknya, modulus elastisitas komposit rami-UPRs justru memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan komposit kenaf-UPRs yang diteliti oleh Diharjo (2005). Komposit rami UPRs memiliki modulus 47.88 Gpa pada $V_f = 54.10\%$, sedangkan bahan komposit kenaf-UPRs mempunyai modulus elastisitas 26.79 Gpa pada $V_f = 51.91\%$. Secara teoritis, sifat tarik serat berpengaruh kuat terhadap sifat tarik bahan komposit berpengaruh serat kontinu dengan orientasi 0° . Modulus tarik komposit yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh rendahnya regangan serat.

Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat rami sebagai penguat bahan komposit memiliki potensi yang cukup besar untuk diaplikasikan.

Penampang Patahan

Mengacu pada standar ASTM D 3039 tentang jenis-jenis patahan, maka patahan spesimen uji dapat diklasifikasikan sebagai jenis patahan banyak (*splitting in multiple area*), seperti pada gambar 3b. Komposit yang memiliki patahan jenis ini termasuk komposit yang memiliki sifat tarik tinggi. Kegagalan seolah-olah akan terjadi secara bersama-sama pada semua bagian spesimen. Akibatnya, perpatahan terjadi pada area yang luas di permukaan spesimen.

spesimen maka kekuatan komposit tersebut juga semakin tinggi.



Gambar 3. Patahan spesimen uji.

Penampang permukaan patahan masih menunjukkan adanya dominasi gagal *fiber pull out*. Dengan demikian, kekuatan komposit ini dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kompatibilitas ikatan antara serat dan matrik. Hal ini dapat dikembangkan dengan melakukan pembersihan lignin dan kotoran lain di permukaan serat menggunakan perlakuan kimia serat atau dengan penambahan *coupling agent*.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik komposit meningkat seiring dengan peningkatan V_f . Kurva kekuatan tarik komposit hasil eksperimen lebih rendah dari kekuatan minimal hasil analisis teoritis (ROM). Kekuatan tarik komposit hasil eksperimen tertinggi adalah 205.36 MPa pada $V_f = 54.10\%$.
2. Modulus elastisitas komposit juga meningkat seiring dengan peningkatan V_f . Kurva modulus elastisitas hasil eksperimen lebih tinggi dari hasil analisis teoritis (ROM), dengan harga tertinggi 47.88 GPa pada $V_f = 54.10\%$.
3. Penampang patahan diklasifikasikan jenis patah banyak (*splitting in multiple area*) dengan disertai oleh adanya *fiber pull out*.

NOTASI

A	= luas penampang, mm ²
E	= modulus elastisitas, GPa
E_f, E_m	= modulus elastisitas serat dan matrik, GPa
M_c, M_f	= massa komposit dan serat, kg
l_i	= panjang ukur setelah pengujian, mm
l_0	= panjang ukur sebelum pengujian, mm
P	= beban, N)
Q_M	= density matrik, gr/cm ³
v_f, w_f	= fraksi volume dan berat serat

V_C	= volume komposit,
W_f, W_M	= Massa serat dan matrik
$\Delta\sigma$	= selisih tegangan tarik di daerah elastis (MPa),
ϵ	= regangan
$\Delta\epsilon$	= selisih regangan di daerah elastis
ρ_f, ρ_M	= densitas serat dan matrik, gr/cm ³
σ	= kekuatan tarik, MPa
σ_f	= kekuatan tarik serat, MPa
σ_m	= kekuatan tarik matrik, MPa

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 Fachrul Rajak yang telah banyak bekerja melakukan pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, 2003. "Annual Book of ASTM Standard", West Conshohocken
- [2] Abdullah G. dan Handiko G.W., 2000. "Aplikasi Komposit GFRP untuk Komponen Gerbong Kereta Api", INKA, Madiun.
- [3] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Random kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, National Seminar Proceeding, Center of Inter University, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- [4] Diharjo K., Jamasri, Soekrisno, Rochardjo H. S. B., 2005, *Tensile Properties of Unidirectional Continuous Kenaf Fiber Reinforced Polyester Composite*, International Seminar Proceeding, Kentingan Physics Forum, UNS, Surakarta, Indonesia.
- [5] Eichhorn S.J., Zafeiropoulos C.A.B.N., Ansel L.Y.M.M.P., Entwistle K.M., Escamilla P.J.H.F.G.C., Groom L., Hill M.H.C., Rials T.G., dan Wild P.M., 2001, *Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*, Journal of materials Science, pp. 2107-2131.
- [6] Kaw A.K., 1997. "Mechanics of Composite materials", CRC Press, New York.
- [7] Marsyahyo M, Soekrisno, Jamasri, Rochardjo H.S.B., 2005, Penelitian Awal Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik dan Model Perpatahan Serat tunggal Ramie, Proseding Seminar Nasional, SNTTM-IV, UNUD, Bali, Indonesia.
- [8] Mueller D. H. dan Krobjilowski A, 2003. "New Discovery in The Properties of Composites Reinforced With Natural Fiber", Jurnal of Industrial Textiles, Vol. 33, No. 2-October 2003, pp. 111-130.
- [9] Roe P.J. dan Ansel M.P., 1985. "Jute-reinforced polyester Composites", Journal of Materials Science 20, pp. 4015-4020, UK.
- [10] Sanadi A. R., Prasad S. V., and Rohatgi P. K., 1986, Sunhemp Fibre-Reinforced Polyester, Part I. Analysis of Tensile and Impact Properties, Journal of materials Science, pp. 4299-4304, Department of Materials Science, Washington State University, Washington, USA.
- [11] Shackelford, 1992. "Introduction to Materials science for Engineer", Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.
- [12] 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.
- [13] Raharjo, W. W., Ariawan, D., Henandar, W., 2005, Pengaruh Fraksi Volume Serat Pada Kekuatan Tarik Dan Modulus Tarik Komposit UPRS-Kenaf, Gema Teknik Majalah Ilmiah Teknik, No 1/Tahun VIII, Hal 11-14.