

Identifikasi Morfologi dan Sifat Mekanik Serat Abaka (*Musa textilis*)

Identification of Morphology and Mechanical Properties of Abaca Fiber (*Musa textilis*)

A.H. Dawam A., H. Onggo dan H. Judawisastra

Abstract

A research has done on the morphology and mechanical properties of abaca fiber. The investigation of morphology is observed by Scanning Electron Microscope (SEM). Weibull distribution technique is performed to evaluate the variation of fibers strength. And the mechanical properties are tested by using single filament tensile tester (Statimat). The result showed that Abaca is bundle fibers with the diameter of cross-section is about 176 μm . Mechanical strength of fiber is 381 MPa with elongation at break is 1.6 %. And the value of modulus Weibull is 2.69.

Key words: Abaca, geometry, morphology, strength, weibull.

Pendahuluan

Potensi serat alam untuk digunakan sebagai penyusun bahan komposit sangat menjanjikan, karena tersedia berlimpah di Indonesia. Namun demikian, bahan komposit dengan penguat berupa serat sintetis, seperti serat karbon, serat aramid, serat gelas masih mendominasi penggunaan pada komponen untuk alat-alat transportasi dan bangunan. Diantara jenis serat sintetis, serat gelas tergolong paling banyak digunakan (Bader 2000). Hal ini disebabkan 2 faktor, yaitu harganya yang murah dan sifat mekaniknya yang bagus. Disamping keunggulan, serat gelas memiliki beberapa kelemahan, yaitu berat jenis tinggi, tidak dapat diperbaharui dan konsumsi energi produksinya tinggi (Joshi *et al.* 2003). Penelitian tentang bahan komposit saat ini tertuju pada komposit berpenguat serat alam. Serat alam berpotensi menjadi pengganti serat gelas karena keunggulan yang dimilikinya, antara lain dapat diperbaharui (*renewable*), emisi CO₂ dan berat jenis yang rendah (Joshi *et al.* 2003).



Figure 1. Abaca plant.

Salah satu jenis serat alam yang terdapat di Indonesia adalah serat Abaka (Gambar 1). Pemanfaatan serat Abaka sejauh ini terbatas sebagai bahan baku kerajinan untuk tas, kertas, map dan lain lain. Hal ini disebabkan belum banyaknya penelitian yang membahas tentang sifat mekanik serat Abaka. Sementara itu,

penelitian terhadap serat-serat alam non-Indonesia seperti serat flax, sisal dan hemp sudah cukup maju. Bahkan beberapa perusahaan diluar negeri telah mengaplikasikan serat tersebut pada beberapa bagian alat transportasi seperti pada interior atau eksterior bodi mobil (Peijs 2002).

Serat Abaka merupakan serat alam yang didapatkan dari bagian batang tanaman (*bast fiber*). Dengan cara dekortikasi dapat diperoleh bundel serat Abaka. Bundel serat Abaka adalah unit terkecil serat yang didapatkan dari pemisahan secara mekanis. Bundel serat ini terdiri dari serat tunggal (*single fiber*) yang tersusun dari serat-serat mikro (mikrofibril). Didalam mikrofibril tersusun rantai selulosa yang menjadi penopang utama bahan serat alam. Selulosa adalah komponen utama yang memberikan efek kekuatan pada serat alam. Kekuatan yang demikian besar ini didapatkan dari struktur ikatan-ikatan kovalen yang membangunnya. Selain itu, kekuatan serat alam juga sangat dipengaruhi oleh keberadaan cacat pada serat. Tabel 1 menyajikan data komposisi kimia berbagai jenis serat alam beserta sifat mekaniknya (Lilholt dan Lawther 2000).

Tingkat variasi kekuatan tarik pada serat alam merupakan permasalahan yang sangat krusial. Hal ini terkait dengan prediksi kekuatan komponen yang dibuat dari bahan tersebut. Oleh sebab itu, pada penelitian ini analisa terhadap tingkat variasi kekuatan serat dilakukan dengan suatu metode yang disebut distribusi Weibull. Metode ini merupakan pendekatan statistik untuk menganalisis kekuatan yang sangat bervariasi terutama pada bahan getas (Pardini dan Mahanni 2002). Dari cara ini dihasilkan dua parameter penting bahan yaitu modulus Weibull (m) dan kekuatan karakteristik (σ_0). Modulus Weibull menggambarkan tingkat variasi kekuatan tarik serat, sedangkan kekuatan karakteristik menggambarkan kekuatan dari serat.

Table 1. Chemical composition and mechanical strength of natural fibers

Fibers	Cellulose content (%)	Lignin content (%)	Pectin content (%)	Tensile strength (MPa)	Modulus Elasticity (GPa)
Flax	65 ~ 85	1 ~ 4	5 ~ 12	500 ~ 900	50 ~ 70
Hemp	60 ~ 77	3 ~ 10	5 ~ 14	350 ~ 800	30 ~ 60
Jute	45 ~ 63	12 ~ 25	4 ~ 10	200 ~ 450	20 ~ 55
Kenaf	45 ~ 57	8 ~ 13	3 ~ 5	-	-
Sisal	50 ~ 64	-	-	100 ~ 850	9 ~ 22
Abaka	60	12 ~ 13	1	-	-
Coconut	~ 30	40 ~ 45	-	-	-
Cotton	85 ~ 90	-	0 ~ 1	-	-
Softwood	40 ~ 45	26 ~ 34	0 ~ 1	98 ~ 170	10 ~ 50
Hardwood	40 ~ 50	20 ~ 30	0 ~ 1	-	-
Wheat straw	38 ~ 41	12 ~ 16	0 ~ 1	Low	Low

Bahan dan Metode Penelitian

Serat abaka yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Dinas Perkebunan Kab. Subang. Pengamatan penampang melintang dan memanjang serat Abaka dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Preparasi untuk pengamatan melintang dilakukan dengan *slicing* (pensayatan) menggunakan alat *microtome*, sehingga didapatkan sayatan-sayatan tipis serat Abaka untuk kemudian siap diamati di bawah mikroskop elektron. Sedangkan untuk amatan memanjang, preparasi hanya dilakukan dengan meletakkan bundel serat Abaka pada sampel *holder*. Langkah berikutnya yaitu *coating* serat dengan emas (Au) menggunakan *sputter machine* sehingga menjadikannya konduktif. Serat Abaka yang sudah dilapisi emas siap dikarakterisasi menggunakan SEM.

Pengujian tarik serat diawali dengan pengukuran diameter serat Abaka sebanyak 15 helai serat yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Tiap helai serat ini diukur diameternya pada tiga titik yang berbeda kemudian dirata-ratakan. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan rujukan ASTM D 3379 (1989) dan beberapa modifikasi pengolahan. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik serat tunggal (*statimat*) dengan *load cell* 10 kg. Pada pengujian ini digunakan *gauge length* (gl) sesuai dengan spesifikasi alat yaitu 200 mm. Pengujian dilakukan pada temperatur kamar (25°C) dengan kecepatan tarik 3 mm/menit.

Penghitungan kekuatan tiap helai serat didapatkan dengan perhitungan pada persamaan (1).

$$\sigma = F / A \quad (1)$$

σ adalah kekuatan tiap helai serat (MPa), F adalah beban maksimum yang tercatat saat serat mengalami putus (N). Sedangkan A merupakan luas area penampang serat (m^2). Setelah didapatkan kekuatan tiap helai serat maka dilakukan pengolahan data statistik dengan menggunakan

metode distribusi Weibull. Metode distribusi Weibull diturunkan dari persamaan probabilitas kegagalan (P) suatu material yang dinyatakan dengan persamaan (2) (Pardini dan Manhani 2002) :

$$P = 1 - \exp [-V/V_o (\sigma/\sigma_o)^m] \quad (2)$$

Probabilitas kegagalan (P) juga didefinisikan sebagai

$$P = (i - 0,5) / N \quad (3)$$

dimana:

- i = no urut perangkikan serat dari kekuatan terkecil hingga terbesar (1,2..... N)
- N = jumlah serat yang diuji
- m = modulus Weibull
- V = volume material
- V_o, σ_o = konstanta Karakteristik

Dengan menyusun ulang persamaan (2) dan (3) dan melogaritmakannya maka didapatkan persamaan Weibull:

$$\ln(\ln(1/1-P)) = m \ln \sigma + k \quad (4)$$

$$k = -m \ln \sigma_o \quad (5)$$

Modulus Weibull didapatkan dengan membuat plotting $\ln(\ln(1/1-P))$ vs $\ln \sigma$, sehingga didapatkan garis lurus dengan metode regresi linier. Kemiringan garis ini adalah harga modulus Weibull (m). Sedangkan σ_o didapatkan dengan menyelesaikan persamaan (6) dengan harga k yang didapatkan dari pers (5).

Hasil dan Pembahasan

Hasil amatan melintang (Gambar 2) menunjukkan bahwa serat Abaka merupakan bundel serat yang terdiri dari serat-serat tunggal yang berlubang menyerupai pipa. Diameter dari serat tunggal Abaka ini sekitar 10 μm ,

sedangkan ukuran diameter dari lubang rongga serat kurang dari 3 μm . Tampak bahwa serat Abaka berstruktur sangat pejal. Permukaan memanjang serat Abaka ditunjukkan pada Gambar 3. Tampak bahwa identifikasi secara melintang konsisten terhadap amatan memanjang, yaitu garis-garis putih tebal lurus yang menunjukkan batas unit serat tunggal. Disamping itu pada permukaan serat

Abaka banyak diamati garis-garis putih tak beraturan yang diperkirakan adalah cacat-cacat permukaan (*surface flaws*). Jika identifikasi ini benar, maka diperkirakan faktor ini sangat dominan dalam menimbulkan konsentrasi tegangan pada permukaan serat sehingga berpengaruh pada variasi kekuatan serat.

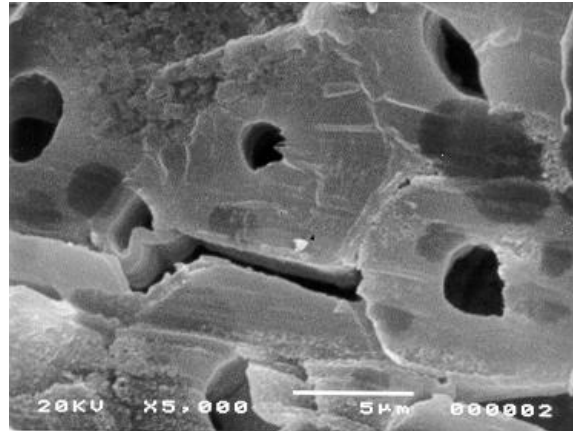


Figure 2. SEM image of Abaca fiber's cross section.

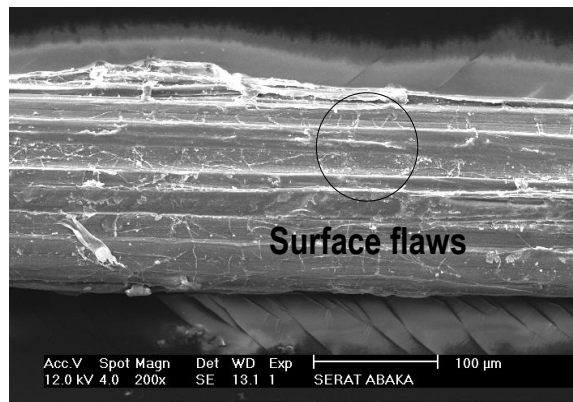


Figure 3. SEM image Abaca fiber's outer surface.

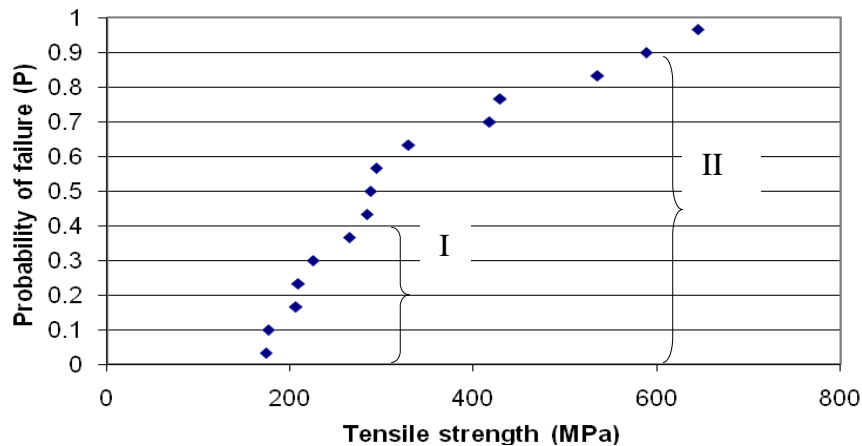


Figure 4. Probability of failure Abaca fiber due to tensile.

Gambar 4 adalah grafik P vs σ (MPa). Kurva ini didapatkan dengan mem-plot nilai P serat yang didapatkan dari persamaan (3) dengan nilai kekuatan tarik serat Abaka sesuai perangkingan dari terkecil hingga yang terbesar. Jika diambil 2 titik pembebanan I dan II seperti yang tertera pada gambar dapat dijelaskan sebagaimana berikut. Pada titik I ditampilkan bahwa P serat pada beban tarik 270 MPa adalah 0.4. Artinya dengan pembebanan 270 MPa, probabilitas/peluang munculnya cacat kritis (*critical flaw*) adalah 0.4. Dengan cara yang sama, titik II juga menjelaskan bahwa probabilitas serat mengalami rusak dengan beban tarik 600 MPa adalah 0.9. Dengan kata lain, pada beban tarik 600 MPa probabilitas munculnya cacat kritis pada serat adalah 0.9 (Zhu *et al.* 1998).

Gambar 5 menampilkan kurva distribusi Weibull σ Abaka. Plot ini menghubungkan nilai $\ln(\ln(1/(1-P)))$ dengan $\ln(\sigma)$. Dengan regresi linier didapatkan persamaan linier seperti yang tertera pada legenda Gambar 5. Dari persamaan linier tersebut didapatkan kemiringan/modulus Weibull (m) serat Abaka. Kekuatan karakteristik serat (σ_0) didapatkan dari pers (5) dengan harga k yang didapat dari pers (4). Hasil kesimpulan uji tarik serat Abaka disajikan pada Tabel 2.

Table 2. Characteristics strength (σ_0), Weibull modulus (m) and elongation to break (e) of Abaca fiber.

	Characteristics strength, σ_0 (MPa)	Weibull modulus, m	Elongation to Break, e (%)
Abaca fiber	381	2.69	1.6

Jika ditinjau regangan putusnya serat Abaka dapat digolongkan ke dalam material getas ($e = 1.6\%$). Secara teoritis kekuatan material yang bersifat getas sangat ditentukan oleh keberadaan cacat kritis (*critical flaw*). Cacat kritis merupakan cacat yang memicu kerusakan ketika material dikenai beban. Keberadaan cacat ini dapat dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu cacat permukaan dan cacat interior. Sedangkan jika ditinjau dari segi populasinya maka cacat ini dikategorikan ke dalam tiga jenis, yaitu cacat pori tunggal, cacat pori klaster dan cacat granular. Telah diketahui bahwa ukuran cacat ternyata lebih berpengaruh terhadap kekuatan serat daripada jenis dan posisi cacat (Taylor *et al.* 1998).

Jika dibandingkan, kekuatan serat Abaka lebih rendah daripada serat gelas ($\sigma_0 = 2380$ MPa) (Pardini & Mahanni 2002). Namun apabila yang dibandingkan adalah kekuatan spesifiknya (σ_0/ρ), maka kekuatan spesifik serat Abaka cukup kompetitif terhadap serat gelas. Hal ini disebabkan berat jenis serat Abaka ($\rho_{\text{Abaka}} \approx 1,4$ gr/cm³) sekitar setengah kali berat jenis serat gelas ($\rho_{\text{gelas}} \approx 2,5$ gr/cm³) (Lillholt and Lawther 2000). Dengan harga kekuatan serat Abaka yang didapatkan dari hasil pengujian maka diperoleh rasio kekuatan spesifik serat Abaka terhadap serat gelas yaitu sekitar 0.3.

Hal ini bermakna bahwa serat Abaka memiliki efisiensi dalam pengurangan massa tetapi masih memiliki selisih kekuatan terhadap serat gelas. Artinya, tidak semua aplikasi serat gelas dapat digantikan oleh serat Abaka. Pada aplikasi-aplikasi dengan pembebanan tinggi (bahan struktural) maka peran serat gelas masih belum dapat digantikan oleh serat Abaka.

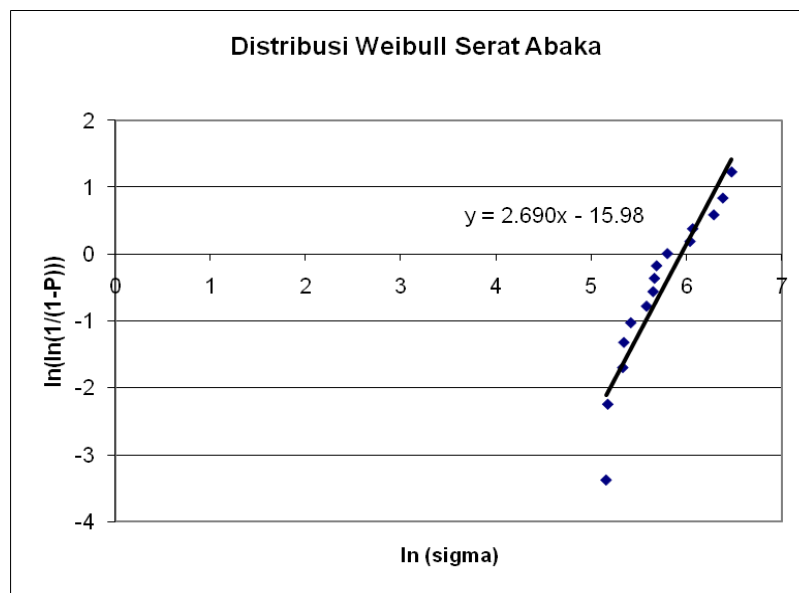


Figure 5. Weibull distribution of Abaca's strength.

Pada Tabel 2 juga ditunjukkan nilai modulus Weibull serat Abaka dengan *gauge length* 200 mm yaitu 1.6. Dibandingkan dengan serat gelas yang memiliki nilai modulus Weibull sebesar 5.76 maka harga modulus Weibull serat Abaka terbilang rendah (Pardini dan Mahanni 2002). Hal serupa didapatkan jika dibandingkan dengan modulus Weibull serat Silikon karbida (SiC) yang bernilai 6.7 (Zhu *et al.* 1998). Artinya, tingkat variasi kekuatan serat Abaka sangat tinggi. Makna fisik dari besaran modulus Weibull adalah tingkat persebaran populasi cacat (Pardini dan Mahanni 2002). Sebagaimana diketahui untuk mendapatkan serat Abaka, tanaman Abaka mengalami beberapa tahap pengolahan. Keseluruhan proses inilah yang dapat memunculkan cacat baru disamping cacat bawaan yang muncul sejak dari tanaman. Tingkat populasi cacat yang beragam pada setiap helai serat inilah yang menyebabkan kekuatannya sangat bervariasi.

Kesimpulan dan Saran

Morfologi dan kekuatan tarik serat Abaka telah dikarakterisasi. Analisis kekuatan serat dengan metode Weibull menunjukkan bahwa serat Abaka memiliki variasi kekuatan yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh distribusi populasi cacat yang bervariasi pada tiap helai serat. Identifikasi keberadaan cacat-cacat pada serat Abaka dibuktikan dari hasil amatan morfologi dengan menggunakan SEM. Tingkat variasi yang tinggi pada serat ini merupakan masalah yang harus diatasi agar serat Abaka dapat ditingkatkan pemanfaatannya. Kekuatan spesifik serat Abaka cukup kompetitif jika dibandingkan dengan serat gelas. Pemanfaatan serat Abaka sebagai alternatif pengganti serat gelas dimungkinkan untuk keperluan non-struktural. Hal yang dapat disarankan dari hasil penelitian ini adalah upaya untuk memodifikasi cara pengolahan serat Abaka sehingga didapatkan metode yang mampu mencegah munculnya cacat-cacat pada saat proses pembuatan serat dari tanaman Abaka. Disamping itu perlu juga dilakukan suatu penelitian tentang metode perlakuan biologis untuk menghasilkan tanaman Abaka dengan tingkat populasi cacat bawaan yang rendah.

Ucapan Terimakasih

Kami ucapkan terima kasih pada bapak Agus Hadi W (BPPT) atas bantuannya menyediakan serat Abaka serta saran-sarannya dalam penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

ASTM D 3379. Reapproved 1989. Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus for High-Modulus Single-filament Materials.

- Bader M. 2000. The Composite Market, Comprehensive Composite Materials. Elsevier Science Ltd.
- Joshi L.; L.T. Drzal; A.K. Mohanty. 2003. Are Natural Fiber Composite Environmentally Superior to Glass Reinforced Composite, International LCA Conference, Seattle.
- Lilholt H. and J.M. Lawther. 2000. Natural Organic Fibers, Comprehensive Composite Materials, Elsevier Science Ltd.
- Pardini L. and L. Manhani. 2002. Influence of the Testing Gauge Length on the Strength, Young's Modulus, and Weibull Modulus of Carbon Fibers and Glass Fibers, Material Research 5.
- Peijs T. 2002. Composites Turn Green! e-Polymers, no.T_002.
- Taylor S.T.; Y.T. Zhu; W.R. Blumenthal; M.G. Stout; D.P. Butt; T.C. Lowe. 1998, Characterization of Nicalon Fibres with Varying Diameters Part I: Strength and Fracture Studies. Journal of Material Science, Chapman & Hall.
- Zhu Y.T.; S.T. Taylor; W.R. Blumenthal; M.G. Stout; D.P. Butt; T.C. Lowe. 1998. Characterization of Nicalon Fibres with Varying Diameters Part II. Modified Weibull Distribution, Journal of material science, Chapman & Hall.

Makalah masuk (*received*) : 12 September 2008
 Diterima (*accepted*) : 19 April 2009
 Revisi terakhir (*final revision*) : 18 Mei 2009

A.H. Dawam Abdullah dan Holia Onggo
 Pusat Penelitian Fisika
 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
 (*Research Center for Physics
 Indonesian Institute of Sciences*)
 Alamat : Jl.Sangkuriang,(komplek LIPI),
 Gd. 60 Bandung 40135
 Tel. : 022-2503052
 Fax. : 022-2503050
 E-mail : dawamdullah@yahoo.com

Hermawan Judawisastra
 Departemen Teknik material - Institut Teknologi Bandung
 (*Material Department - Bandung Institute of Technology*)
 Alamat : Jl. Ganesha 10 , Prodi Teknik Material-
 Fakultas Tek Mesin dan Dirgantara ITB , Bandung
 Tel. : 022-2512457
 Fax. : 022-2502265
 E-mail :
 hermawan.judawisastra@material.itb.ac.id