

POTENSI SERAT BATANG (*BAST FIBERS*) SEBAGAI PENGUAT BIOKOMPOSIT UNTUK APLIKASI OTOMOTIF

Alaya F.H. Mukhammad¹

Abstract

The Neseccary of material which is light, cheap and environment friendly make biocomposite that reinforced natural fiber as alternative material for automotive components. Non-wood natural fiber is classified into 5 groups: bast fibers, leaf fibers, seed fibers, straw fibers and grass fibers. Bast fibers has a high potential as a reinforced in biocomposite because it has some variaties, abundant resources and high mechanical properties. Nowadays, bast fibers has been used by automotive manufacturer in Europe as interior components and begin to be developed for exterior components. Natural characteristic of hydrophilic is the major problem in biocomposite. The water contents in natural fiber will decrease interface bonding between fiber and matrix, so that produce low mechanical properties of biocomposite. Alkali fiber surface treatment improve interface bonding between fiber and matrix and clean the extractive media from natural fiber as lignin, wax and dust, so that produce fiber whose surface has the uniform topography.

Key Words: Bast Fiber, Reinforced, Biocomposite, Automotive

PENDAHULUAN

Kesadaran dan kepedulian masyarakat terhadap isu lingkungan, ditambah biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan komposit yang diperkuat dengan serat sintesis, menyebabkan komposit alam (*green composite*) yang diperkuat serat alam (*natural fiber*) menjadi perhatian utama sebagai material baru yang ramah lingkungan (**Low dkk, 2008**). Serat alam berbasis selulosa seperti *flax, hemp, jute, sisal, henequen*, dan rami merupakan serat yang dapat diperbaharui dan banyak dijumpai di alam (**Netravali dan Nam, 2006**).

Pada dekade terakhir ini, biokomposit serat alam menduduki urutan pertama dalam aplikasi komponen-komponen otomotif khususnya di Jerman, seperti *BMW, Audi, Daimler Chrysler* (**Suddell dan Evans, 2005**). *DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs)*, departemen yang membidangi lingkungan, makanan, dan perkotaan Inggris melakukan penelitian pada tahun 2009 mengenai penggunaan dan potensi serat alam dalam industri otomotif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setiap tahun industri otomotif memproduksi 50 juta kendaraan, dengan kebutuhan serat alam paling tidak 20 kg serat alam

¹ Dosen Program Diploma III T. Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

setiap kendaraan. Setiap model kendaraan baru, membutuhkan antara (1.000-3.000) ton serat alam per tahun. Sehingga paling tidak industri otomotif Eropa sendiri membutuhkan 15.000 ton per tahun (**Ellison dan McNaught, 2000 dalam Suddell dan Evans, 2005**).

LANDASAN TEORI

Biokomposit

Material komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi serta tidak saling melarutkan (**Schwartz, 1984**). Biokomposit adalah jenis komposit yang salah satu penyusunnya, yaitu *reinforcement* atau matriksnya, terbuat dari bahan alam (**Mohanty dkk, 2005**).

Material komposit pada dasarnya terdiri dari dua penyusun yaitu penguat (*reinforced*) dan matriks (*binder*). Material penguat (*reinforced*) komposit dapat berupa serat atau partikel sedangkan matriksnya dapat berupa *polimer*, logam dan sebagainya (**Mukhammad, 2010**).

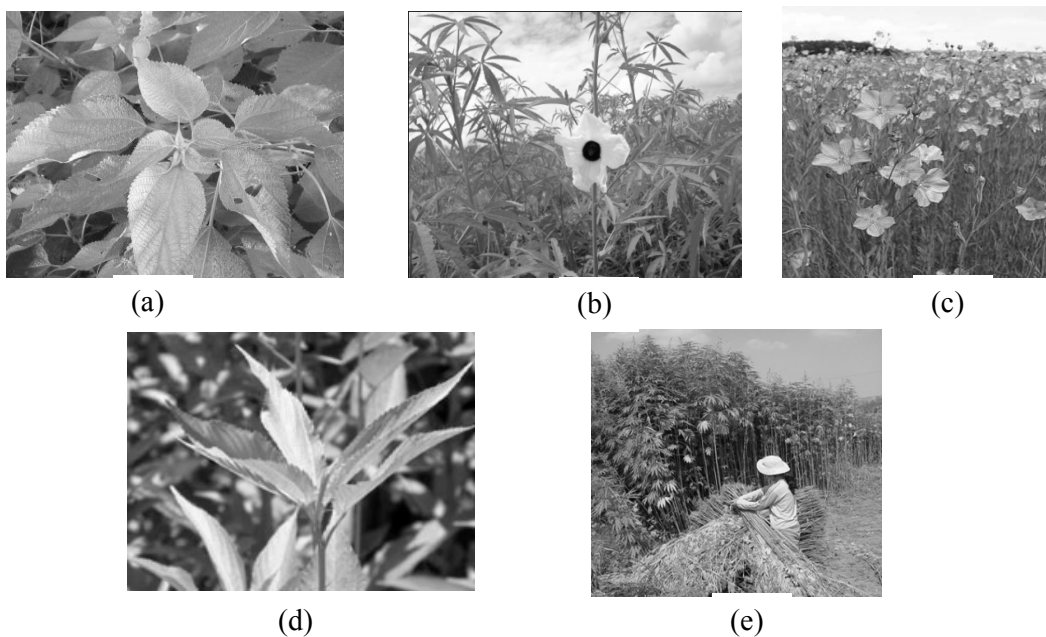
Matriks yang baik memiliki beberapa persyaratan diantaranya adalah mempunyai *elongation break* lebih tinggi dibandingkan dengan serat, harus dapat mentransmisikan beban ke serat melalui perubahan bentuk atau deformasi, dan matriks harus dapat membungkus (*encapsulate*) serat tanpa terjadi *shrinkage* yang dapat menyebabkan regangan internal dari serat dengan indikatornya adalah mempunyai *wettability*, kompatibilitas dan *bonding* yang baik (**Schwartz, 1984**), sedangkan menurut **Feldman (1989)** serat yang baik adalah modulus elastisitas tinggi, *ultimate strength* lebih tinggi dari matriks, masing-masing serat mempunyai kekuatan setaraf, serat stabil dan tetap kuat selama proses manufaktur dan ukuran serat misalnya luas dan diameter seragam.

Serat Alam

Serat alam sebagai penguat biokomposit dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu serat alam non-kayu (*non-wood natural fibre*) dan serat alam kayu (*wood natural fibres*). Serat alam non-kayu kemudian dibagi lagi menjadi 5 kelompok jenis serat yaitu serat batang (rami, flax, kenaf, jute, hemp), serat biji (serat gandum, jagung, padi), serat daun (sisal, abaca, nanas), serat buah (kapas, coir) dan serat *grass* (bambu) sedangkan yang tergolong ke dalam serat kayu adalah kayu lunak dan kayu keras (**Mohanty dkk 2002 dalam Bos, 2004**).

1. Serat Rami

Rami termasuk dalam keluarga *Urticaceae* (*Boehmeria*) yang memiliki kira-kira 100 jenis (Faruk dkk, 2012). Serat rami yang diambil dari batang tanaman rami (Gambar 1.a) adalah salah satu jenis serat alam yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi biokomposit. Saat ini pohon rami sudah berhasil dibudidayakan oleh Koperasi Pondok Pesantren Darussalam (Kopontren Darussalam), Garut, Jawa barat seluas hampir 300 hektar (Musaddad, 2007). Pemanfaatan utama serat rami pada saat ini masih sangat terbatas di bidang tekstil seperti kain, tas dan tikar, sedangkan pemanfaatan untuk material struktural belum dikembangkan. Rami termasuk tanaman penghasil serat tertua di daerah asia timur, dan saat ini banyak dibudidayakan di negara Indonesia, China, Jepang dan India. Rami dapat tumbuh mencapai 1,2-2,5 m (Arman dkk, 1978 dan www.swicofil.com dalam Faruk dkk, 2012) dan dapat dipanen 6 kali per tahun. Secara teknis serat rami tergolong panjang (1,5 m atau lebih) dengan diameter 10-25 μm . Bentuk serat memiliki dinding sel yang tebal, datar dan tidak beraturan. (Angelini dkk, 2000 dalam Faruk dkk, 2012)



Gambar 1. (a) Tanaman rami (www.cool-organic-clothing.com/ramie-fiber.html)
(b) Tanaman kenaf (www.ecosalon.com/fiber-watch-the-bast-is-yet-to-come.html)
(c) Tanaman flax (www.herbalistsa.blogspot.com) (d) Tanaman jute
(www.jute.org/prod_gallery.htm) (e) Tanaman hemp (www.australianhempparty.com)

2. Serat Kenaf

Tanaman kenaf (Gambar 1b) termasuk dalam *genus Hibiscus* dan memiliki 300 jenis spesies. Saat ini tanaman kenaf dibudidayakan di Amerika Serikat dan memiliki potensi yang tinggi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar komposit (**Faruk dkk, 2012**). Tanaman kenaf berasal dari asia dan afrika, dan dapat tumbuh dengan cepat mencapai ketinggian (2,4-6) m dalam 5 bulan. Kenaf juga merupakan tanaman penyerap CO₂ tertinggi (1 ton tanaman kenaf menyerap 1,5 ton CO₂) sehingga memiliki potensi sangat tinggi untuk mencegah pemanasan global (www.nec.co.jp dalam **Bismarck dkk, 2005**). Pada umumnya batang kenaf berbentuk bulat, dan memiliki 2 jenis serat yaitu serat panjang (terletak di lapisan *cortical*) dan serat pendek (di daerah lignin). Serat tunggal kenaf tergolong pendek yaitu antara (1,5–6) mm dan berbentuk *polygon* (**Meister dkk, 1999 dalam Bismarck dkk, 2005**).

3. Serat Flax

Tanaman flax (*Linum usitatissimum L.*) (Gambar 1.c) sudah dibudidayakan kira-kira 10.000 tahun dan merupakan serat tertua dalam sejarah manusia (**Dambroth dan Seehuber, 1988; Wurster dan Daul 1988 dalam Bismarck dkk, 2005**). Tekstil flax berkembang di daerah eropa, argentina, india, china dan Negara-negara pecahan Unisoviet (**Lloyd, 2003 dalam Bismarck 2005**). Tanaman flax termasuk tanaman dikotil dan dapat tumbuh mencapai ketinggian (80-150) cm dalam (80-110) hari. Panjang serat flax antara (60–140) cm dan memiliki diameter antara (40-80) μm . Warna dari serat flax bervariasi dari pirang cerah sampai abu-abu. Karakteristik serat ini memiliki kekuatan yang tinggi tetapi juga *flexible*. (**Bismarck dkk,2005**).

4. Serat Hemp

Tanaman Jute (Gambar 1.d) termasuk dalam *genus Corchorus* dengan jumlah jenis mencapai 100 spesies. Jute saat ini merupakan serat alam termurah dengan kapasitas produksi tertinggi dibandingkan serat batang lainnya (**Faruk dkk, 2012**). Tanaman jute berasal dari daerah mediterania dan telah digunakan manusia sejak masa prasejarah. Tanaman ini mampu tumbuh mencapai ketinggian (2 sampai 3,5) meter, dengan diameter batang (2-3) cm. Tanaman ini dapat bertahan di daerah dengan iklim panas sampai lembab. Saat ini kebanyakan jute berasal dari daerah delta sungai Gangga dan Brahmaputra India dan Bangladesh. *Corchorus capsularis*, dikenal sebagai jute putih and

Corchorus olitorius dikenal sebagai jute gelap. Selain India, China, Thailand, Brazil merupakan negara penghasil jute dunia (**Bismarck dkk, 2005**)

Serat tunggal jute memiliki bentuk penampang *polygon* dan bervariasi dalam ukuran. Dinding sel serat jute memiliki ketebalan dan kekuatan yang sangat bervariasi. Serat jute dapat mencapai panjang 1,5 sampai 3 meter, dan kuat tetapi getas dengan elongation yang rendah yaitu sekitar 1,7% (**Rowell dan Stout, 1998 dalam Bismarck dkk, 2005**).

5. Serat Jute

Tanaman hemp (Gambar 1.e) termasuk dalam keluarga *cannabis* dan tergolong dalam tanaman satu tahunan (**Faruk dkk, 2012**). Hemp merupakan tanaman asli Asia Tengah dan telah dibudidayakan lebih dari 12.000 tahun (**Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung, 1995 dalam Bismarck dkk, 2005**). Tanaman hemp termasuk tanaman yang menguntungkan bagi petani karena tanaman ini hanya memerlukan sedikit pupuk dan pembasmi hama. Tanaman ini memiliki laju pertumbuhan yang sangat cepat dan dapat tumbuh sampai ketinggian dari (1,2–5) m tergantung varietasnya (**Lloyd, 2003 dalam Bismarck 2005**).

Serat tunggal hemp bisa mencapai panjang berkisar antara (13–25) mm. Serat hemp memiliki dinding yang tebal dan bentuk penampang *polygon*. Serat tunggal hemp memiliki kekuatan tarik yang tinggi ($\pm 20\%$ lebih tinggi dari flax) tetapi memiliki *elongation* yang rendah. (**Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung, 1995 dalam Bismarck dkk, 2005**).

Aplikasi Biokomposit Serat Batang dalam Bidang Otomotif

1. Interior Mobil

Saat ini *Daimler Chrysler* merupakan pengguna utama dari biokomposit dan berencana meningkatkan porsi material berbasis serat alam pada produk mobilnya. Komponen-komponen *interior* (Gambar 2) seperti *dashboards*, panel pintu yang dipasok *Johnson Controls Inc.* untuk *Daimler Chrysler* telah menggunakan biokomposit *polypropelene* yang diperkuat serat alam (**Suddell dan Evans, 2005**). Produsen mobil *BMW* saat ini meningkatkan penggunaan serat alam dari 8 kg menjadi lebih dari 13 kg per mobil, sedangkan Ford meningkatkan dari 5 kg menjadi 13 kg (data berat ini termasuk *wool* dan *cotton*) (**Taylor, 2002 dalam Suddell dan Evans, 2005**).

Tabel 4. Produsen Otomotif, Model dan Komponen Yang Menggunakan Serat Alam
(Suddell dan Evans, 2005)

Produsen Otomotif	Model dan Komponen
<i>Audi</i>	<i>A2, A3, A4, A4 Avant, A6, A8, Roadster, Coupe: Seat backs, side and back door panel, boot lining, hat rack, spare tyre lining</i>
<i>BMW</i>	<i>3, 5 and 7 series and others: Door panels, headliner panel, boot lining, seat backs</i>
<i>Daimler Chrysler</i>	<i>A, C, E and S-series: Door panels, windshield/dashboard, businesstable, pillar cover panel</i>
<i>Fiat</i>	<i>Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156</i>
<i>Ford</i>	<i>Mondeo CD 162, Focus: Door panels, B-pillar, boot liner</i>
<i>Peugeot</i>	<i>New model 406</i>
<i>Renault</i>	<i>Clio</i>
<i>Rover</i>	<i>Rover 2000 and others: Insulation, rear storage shelf/panel</i>
<i>Saab</i>	<i>Door panels</i>
<i>SEAT</i>	<i>Door panels, seat backs</i>
<i>Vauxhall</i>	<i>Astra, Vectra, Zafira: Headliner panel, door panels, pillar cover panel, instrument panel</i>
<i>Volkswagen</i>	<i>Golf A4, Passat, Bora: Door panel, seat back, boot lid finish panel, boot liner</i>
<i>Volvo</i>	<i>C70, V70</i>

Pada tahun 2000, *Audi* meluncurkan produk mobil kelas menengah A2 yang merupakan mobil dengan seluruh body terbuat dari Alumunium. Tujuan utama penggunaan alumunium pada mobil A2 adalah untuk mengurangi berat mobil, oleh karena itu panel pintu juga terbuat dari komposit *polyurethane* yang diperkuat campuran serat flax dan sisal. Panel-panel ini tidak hanya mengurangi berat per satuan volume secara signifikan akan tetapi juga memberikan kestabilan dimensi yang baik (Suddell dan Evans, 2005). Produsen otomotif dunia saat ini sudah mulai menggunakan penguat serat alam untuk beberapa komponen interior produk mobil (Tabel 4).

2. Exterior Mobil

Pada tahun 2000an awal, *Daimler Chrysler* meningkatkan penelitian dan investasi dalam pengembangan biokomposit *polyester* yang diperkuat serat flax untuk aplikasi

exterior atau *semiexterior*. *Daimler Chrysler* telah menghabiskan \$1,5 miliar untuk meningkatkan ketahanan produk terhadap lingkungan dan dari dana tersebut \$870 juta untuk pengembangan proses dan produk yang ramah lingkungan (**Anonim, 2000 dalam Suddell dan Evans, 2005**)



Gambar 2. Berbagai Komponen *Interior* Mobil Mercedes E Class Yang Dibuat Menggunakan Serat Alam (**Suddell Dan Evans, 2005**)

Panel *exterior* truk dengan bahan utama biokomposit yang diperkuat flax saat ini telah diproduksi. Panel *exterior* ini telah diuji oleh *Daimler Chrysler Research Centre* di Ulm, Jerman dan menunjukkan ketahanan dampak yang baik tanpa mengalami pecah sampai menjadi serpihan. Hal ini merupakan pertimbangan penting dalam pengujian tabrak. Biokomposit ini juga memiliki kestabilan dimensi dan ketahanan cuaca yang baik (**Suddell dan Evans, 2005**) Para produsen mobil di Jerman berusaha untuk membuat komponen yang dapat di daur ulang atau ramah lingkungan (**Hill, 1997 dalam Suddell dan Evans, 2005**).



Gambar 3. Bumper Mobil Dengan Penguat Serat Kenaf
(www.Jeccomposites.com)

Saat ini para peneliti *Daimler Chrysler* sedang mengembangkan serat alam sebagai penguat dalam komponen *exterior* mobil. Tantangan terbesar dalam penelitian ini adalah komponen *exterior* harus memiliki ketahanan terhadap kondisi ekstrim seperti terendam dan basah. Hasil dari proyek pengembangan ini adalah *cover* mesin atau transmisi mobil Travego (buatan Mercedes Benz) telah menggunakan biokomposit yang diperkuat serat flax. Hal ini merupakan komponen *exterior* pertama yang menggunakan serat alam sebagai penguat (*Anonim, 2000 dalam Suddell dan Evans, 2005*)

HASIL PRODUKSI SERAT BATANG

Berdasarkan penggunaannya tanaman penghasil serat alam dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu tanaman primer dan tanaman sekunder. Tanaman primer adalah tanaman yang dibudidayakan untuk diambil seratnya, sedangkan tanaman sekunder adalah tanaman yang menghasilkan serat sebagai produk sampingan. Flax, rami, kenaf, jute merupakan tanaman primer sedangkan nanas, kelapa sawit, coir termasuk tanaman sekunder (**Faruk dkk, 2012**). Pada tahun 2001 jumlah produksi serat batang sudah mencapai 4.162.450 Mton (Tabel 1).

Tabel 1. Luas Lahan Dan Jumlah Produksi Berbagai Serat Batang Di Dunia
(*Anonim, 2001 dalam Munder dkk, 2005*)

Tanaman Penghasil Serat Batang	Luas lahan seluruh dunia (ha)	Produksi Serat dunia (Mt)
Flax	614.626	464.650
Hemp	82.178	157.800
Jute	Na	2.900.000
Kenaf	Na	470.000
Rami	Na	170.000

Komposisi Kimia dan Kandungan Air Serat Batang

Kondisi iklim, umur dan pemrosesan menjadi serat mempengaruhi tidak hanya struktur tetapi juga komposisi kimia yang dikandung. Serat batang kering komposisi kimia didominasi *cellulose*, *hemicellulose*, lignin dan zat-zat lain dengan kadar kecil (Tabel 2).

Tabel 2. Komposisi Kimia, Dan Kandungan Air Beberapa Jenis Serat Batang
(Mohanty dkk, 2000 dalam Bismarck dkk, 2005)

Jenis Serat	<i>Cellulose</i> (wt%)	<i>Hemicelluloses</i> (wt%)	<i>Lignin</i> (%wt)	<i>Pectin</i> (%wt)	<i>Moisture</i> Content (%wt)	<i>Waxes</i> (%wt)
Flax	71	18.6-20.6	2.2	2.3	8-12	1.7
Hemp	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	6.2-12	0.8
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	12.5-13.7	0.5
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	na	na
Rami	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3

Sifat Mekanis Serat Batang

Pada umumnya serat batang memiliki sifat-sifat mekanis jauh lebih rendah daripada serat sintetis (*E-glass*), akan tetapi ada fenomena menarik ketika dibandingkan nilai *modulus specificnnya*, maka serat batang relatif sama bahkan lebih tinggi (serat rami) daripada serat sintetis (Tabel 3). *Modulus specific* menunjukkan nilai kekakuan per satuan *density*. Nilai ini sangat berguna ketika proses perancangan suatu komponen mesin dengan kekakuan yang tinggi tetapi berat, dan volumenya rendah. Menurut **Kavelin (2005)**, komponen yang terbuat dari serat alam lebih ringan 15 % dibandingkan dengan *fiber glass*.

PEMBAHASAN

Potensi penggunaan serat alam sebagai penguat dalam biokomposit dapat berkurang secara drastic karena sifat alamiahnya *hydrophilic* (**Saheb dan Jog, 1999**). *Hydrophilic* adalah kemampuan suatu material untuk menyerap air dan kelembapan. Sifat alamiah *hydrophilic* merupakan masalah utama dalam komposit *polimer* yang diperkuat serat berbasis selulosa (serat alam). Kandungan air dalam serat alam tergantung kandungan non-kristalin dan porositas (**Faruk dkk, 2012**). Adanya kandungan air dalam serat alam akan mengurangi ikatan pada *interface* serat dengan matriks, sehingga menghasilkan penurunan kekuatan komposit.

Salah satu metode yang paling populer untuk memperbaiki kelemahan sifat alami *hydrophilic* dan meningkatkan *bonding interface* antara serat dengan matriks adalah perlakuan permukaan serat. Perlakuan kimia serat yang sering dilakukan adalah perlakuan alkali seperti NaOH, karena lebih ekonomis (**Diharjo, 2006**). Perlakuan alkali X% NaOH dimaksudkan untuk mengurangi sifat *hydrophilic* serat alam yang diharapkan memiliki

kompatibilitas dengan bahan-bahan *hydrophobic polimer*. Selain itu, perlakuan alkali berfungsi membersihkan media ekstraktif dari serat alam seperti *lignin*, *wax* dan kotoran (debu), sehingga didapat serat dengan permukaan yang relatif memiliki topografi seragam. (Marsyahyo dkk, 2005).

Tabel 3. Perbandingan Sifat Mekanis Serat Batang Dengan Serat Sintetis
(Suddell dan Evans, 2005).

Jenis Serat	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)	Youngs Modulus (GPa)	Elongation at Break (%)	Specific Strength (MPa/(g/cm ³))	Specific Modulus (GPa/(g/cm ³))
Flax	1.5	345-1035	27.6	2.7-3.2	230-690	18.4
Hemp	1.4	690	35	1.6	493	25
Jute	1.3	393-773	26.5	1.5-1.8	302-595	20.4
Rami	1.5	400-938	61.4-128	3.6-3.8	267-625	41-85.3
Kenaf (Faruk dkk,2012)	na	930	53	1.6	-	-
E-glass	2.5	2000-3500	70	2.5	800-1400	28

Ray dkk (2001) telah melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat komposit *vynilester* yang diperkuat serat *jute* tersebut diperoleh hasil bahwa perlakuan Alkali dapat meningkatkan kekuatan mekanis pada komposit *vynilester* yang diperkuat serat *jute*. Untuk komposit dengan fraksi volume 35% dengan perlakuan serat 4 jam kekuatan *bending* meningkat sebesar 20% dibandingkan serat tanpa perlakuan yaitu dari 199,1 MPa sampai dengan 238,9 MPa, sedangkan *modulus bending* meningkat dari 11,89 GPa sampai 14,69 GPa. Lama perendaman serat rami dalam larutan Alkali 5% NaOH juga mempengaruhi kekuatan komposit terhadap sifat tarik komposit berpenguat serat rami kontinyu dengan matrik *polyester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190, 27 MPa dan 0.44%. Komposit yang diperkuat serat yang dikenai perlakuan 6 jam memiliki kekuatan terendah (Diharjo, 2006).

KESIMPULAN

Komposit *polimer* yang diperkuat serat batang memiliki potensi yang sangat tinggi sebagai material alternative untuk memproduksi komponen struktural otomotif. Potensi tersebut dapat dilihat dari jenis yang bervariasi, ketersediaan yang sangat melimpah, dan kekuatan mekanis yang baik. Saat ini komposit *polimer* yang diperkuat serat batang telah dipergunakan pada industri mobil di eropa sebagai bahan untuk membuat komponen *interior* mobil dan telah mulai dikembangkan untuk aplikasi *exterior* mobil.

SARAN

Sifat alamiah *hydrophilic* merupakan masalah utama dalam komposit *polimer* yang diperkuat serat berbasis selulosa (serat alam) karena akan mengurangi ikatan pada *interface* serat dengan matriks, sehingga menghasilkan penurunan kekuatan komposit. Saat ini perlakuan serat alkali merupakan perlakuan yang paling populer untuk meningkatkan ikatan serat dengan matriks, akan tetapi belum optimal. Oleh karena itu perlu penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan kimia serat lainnya untuk meningkan ikatan *interface* serat alam dengan matriks.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelini, L.G., Lazzeri, A., Levita, G., Fontanelli, D. and Bozzi, C. 2000, *Ramie (Boehmerianivea (L.) Gaud.) and Spanish Broom (Spartium junceum L.) fibres for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties*, Ind. Crop Prod.,
- Anonim, 2000, *DaimlerChrysler "Goes Natural" for Large Body Panel*, Aug., p. 9.
- Anonim, 2001, Information Bulletin of the FAO European Cooperative Research Network on Flax and other Bast Plants, No.2(16)
- Anonim, 2002, *Case Study on Fibers in Composite Materials, e.g. Hemp in Automotive Applications*, 4th Meeting of Government-Industry Forum on Non Food Uses of Crops, GIFNFC 4/4 Fibres in Composite Materials, Jan. 22, ,DTI Conference Centre, London
- Arman, C.G., Canning, A.J., and Mykoluk, S., 1978, *Cultivation, extraction and processing of Ramie fibre:a review*, Trop. Sci., 202, 91
- Bismarck, A., Mishra, S., dan Lampke, T. 2005. *Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites Chapter 2* dalam Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposite, edited

- by Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, USA.
- Dambroth, M. and Seehuber, R., 1988. *Flachs-Züchtung, Anbau und Verarbeitung*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart,
- Diharjo, K., 2006 *Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester*. Jurnal Teknik Mesin Vol 8, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
- Faruk, Omar., Bledzki, A.K., Fink, H.P., Sain, Mohini, 2012. *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010*. Progress in Polymer Science 37 1552– 1596. Elsevier
- Feldman, D., 1989. *Polymeric Building Materials*. Published :Routledge; 1 edition, ISBN-13: 978-1851662692, Taylor & Francis Group.
- Hill, S., 1997, *Cars that grow on trees*, New Scientist, Feb. 1997, pp. 36–39.
- Katalyse-Institut für angewandte Umweltforschung (Hrsg.), 1995. Hanf & Co. *Die Renaissance der heimischen Faserpflanzen*, Verlag Die Werkstatt, Göttingen,
- Kavelin, K.G., 2005. *Investigation of Natural Fiber Composites heterogeneity with respect to automotive structure*. Thesis for degree of doctor. Delfi University of Technology, Netherland.
- Lloyd, E.H., 2003. *A Review of Building Materials from Bast Plants*. Link in: <http://www.olywa.net/when/WSUtoc.html> accessed on 24.06
- Low, I.M., Somers, J., Kho, H.S., Davies, I.J., Latella, B. A., 2008, *Fabrication and properties of recycled cellulose fibre-reinforced epoxy composites*, Composite Interfaces.
- Marsyahyo, E., Soekrisno, S., Rochardjo, H.S.B., Jamasri, 2005 *Penelitian Awal Pengaruh Perlakuan Alkali X% NaOH Terhadap Karakteristik Morfologi Permukaan Serat Ramie (Boehmeria Nivea) dengan Metode BET Surface Area dan SEM Microphotographs*. Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI), Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara
- Meister, E., Mediavilla, V., Vetter, R., and Konermann, M., 1999. *Prüfung des Anbaus und der Möglichkeiten einer Markteinführung von neuen Faserpflanzen (Hanf, Kenaf, Miscanthus)*, Grenzüberschreitenden Instituts zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft (ITADA), Colmar
- Mohanty, A.K. dkk, 2000. Macromol. Mater. Engin., 276–277, 1.
- Mohanty, A.K., Misra, M. Drzal, L.T.. 2002, J Polymers and the Environment **10**.

- Mohanty, A.K., Misra, M., Dzal, L.T., Selke, S.E., Harte, B.R. and Hinrichsen, G. 2005. ” *Natural Fibers, Biopolymers And Biocomposite: An Introduction.*” Chapter 1 in Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposite, edited by Mohanty, A.K., Misra, M., Dzal, L.T., CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, USA.
- Mukhammad, A. F. H., 2010, *Studi Kelayakan Komposit Hybrid Epoksi-Anyaman Serat Rami Dan SS304L Screen Mesh Sebagai Panel Peluru Level II Standar NIJ.* Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Munder, F., Füll, C., Hempel, H., *Processing of Bast Fiber Plants for Industrial Application* Chapter 3 dalam Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposite, edited by Mohanty, A.K., Misra, M., Dzal, L.T., CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, USA.
- Musaddad, M.A., 2007. Agribisnis Tanaman Rami, Penebar Swadaya, Depok, Jakarta, Indonesia.
- NEC Press release 03.02.2003, NEC develops high-strength reinforced bioplastic,—Featuring polylactic acid reinforced with kenaf fiber—link in: <http://www.nec.co.jp/press/en/0302/0301.html> and in http://www.globalcomposites.com/news/news_fiche.asp?id_675& accessed on 25.06.2003
- Netravali, A.N., Nam, S., 2006, *Green Composites. II. Environment-friendly, Biodegradable Composites Using Ramie Fibers and Soy Protein Concentrate (SPC) Resin*, Fibers and Polymers Vol.7.
- Ramie Yarns, Link in: <http://www.swicofil.com/products/007ramie.html#Properties> accessed on 15.06.2003
- Ray, D., Sarkar, B.K., Rana, A.K., Bose, N.R., 2001, *Effect of alkali treated jute fibres on composite*, Bull. Mater. Sci. India
- Rowell, R.M. and Stout, H.P. 1998,, *Jute and Kenaf*, in Handbook of Fiber Chemistry, 2nd ed., Lewin, M. and Pearce, E.M., Eds., Marcel Dekker, New York, p. 465.
- Saheb, D.N. and Jog, J.P., 1999, Natural fibre polymer composites: a review, Adv.
- Schwartz, M.M., 1984. Composite Materials Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Suddell, B.C., dan Evans, W.J., 2005, *Natural Fiber Composites in Automotive Applications*, dalam Mohanty, A.K., Misra, Manjusri, Drzal, L.T. Natural fibers, biopolymers, and

biocomposites. Chapter 7. CRC Press Taylor & Francis Group Broken Sound
Parkway NW, Suite 300

Wurster, J. and Daul, D., 1988, *Flachs, eine durch Forschung moderene alte Kulturpflanze*,
Melliand Textilber., 12, 851,

www.australianhempparty.com diakses 24 Oktober 2013

www.cool-organic-clothing.com diakses 24 Oktober 2013

www.ecosalon.com diakses 24 Oktober 2013

www.herbalistsa.blogspot.com diakses 24 Oktober 2013

www.jecomposites.com diakses 24 Oktober 2013

www.jute.org diakses 24 Oktober 2013

PENULIS:

Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, S.T., M.Eng.

Dosen, Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof H. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang

E-mail : alaya_f_hm@yahoo.co.id