

# Tinjauan Penelitian Terkini tentang Pemanfaatan Komposit Serat Alam untuk Komponen Otomotif

## *Review on Current Research on Utilization of Natural Fiber Composites for Automotive Components*

Subyakto dan Mohamad Gopar

### Abstract

Automotive industries now are targeting their components to become "green composites" which are environmentally friendly, renewable, biodegradable, recyclable, light, and strong. Natural fibers have potential to use as substitute for material composites traditionally used by automotive industries such as fiber glass, carbon fiber and aramid that are non renewable, non degradable and non recyclable. Therefore the use of synthetic fibers should be reduced. European End of Live program required that in 2015 all new cars should be recyclable. Composites reinforced with natural fibers will play important role as automotive materials. Some advantages of natural fibers compare to synthetic fibers are renewable, biodegradable, recyclable, non toxic to human and environment, low density, better specific mechanical properties, non abrasive to tools, and lower cost. Utilization of natural fibers can reduced car weight up to 30%, and energy to produce natural fibers is lower compare to glass fibers.

Natural fiber resource, their characteristics and current research on their utilization for automotive components were reviewed. Hopefully it will stimulate and raise the research on utilization of natural fibers in Indonesia, especially for high value products such as automotive components.

**Key words:** natural fibers, resource, utilization, composites, automotive components

### Pendahuluan

Perkembangan industri otomotif terus meningkat di dunia, demikian juga di Indonesia. Pada tahun 2007 produksi kendaraan penumpang di dunia naik menjadi 52.1 juta unit, dari 49.1 juta unit tahun 2006. Kalau ditambah dengan produksi truk, maka total produksi otomotif di dunia sebanyak 74.1 juta unit tahun 2007, dan tahun 2008 diprediksi akan naik menjadi total 84 juta unit per tahunnya (Renner 2008). Di Indonesia total produksi mobil tahun 2008 mencapai 600628 unit, naik dari 411638 unit pada tahun 2007 (Gaikindo 2009). Departemen Perindustrian memproyeksikan pada tahun 2011 produksi mobil sebanyak 1 juta unit dan motor 6.53 juta unit; dan pada tahun 2025 sebanyak 4.17 juta mobil dan 7.57 juta motor (Kompas, 22 Oktober 2008). Pertambahan produksi mobil ini tentunya memerlukan bahan baku untuk interior dan eksterior yang meningkat pula. Dari segi pemakaian bahan, industri otomotif dituntut untuk menggunakan "green materials" yang lebih ramah lingkungan dan dapat didaur ulang (Brady and Brady 2007, Holbery and Houston 2006, Marsh 2003, Monteiro *et al.* 2009, Netravali and Chabba 2003). Pada sebagian produsen mobil utama seperti Mercedes Benz, Ford, BMW dan lain-lain, beberapa bagian komponen mobil ini sudah menggunakan komposit yang diperkuat dengan serat alam (Bledzki *et al.* 2006). Seperti Mercedes Benz A-Class telah mengganti bahan plastik-serat gelas dengan serat alam *flax-polypropylene* untuk komponen bawah badan mobilnya, dan S-Class (Gambar 1) telah

menggunakan 27 komponen mobilnya dari serat alam (Marsh 2003, Bledzki *et al.* 2006). Serat alam mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis untuk komponen otomotif, yaitu antara lain lebih ramah lingkungan, dapat diperbarui, mudah terdegradasi, bisa didaur ulang, ringan dan kuat (Bledzki *et al.* 2006, Suddell and Evans 2005, Wambua *et al.* 2003). Pada sisi lain serat alam mempunyai kelemahan antara lain kualitasnya tidak seragam, sumber bahan baku yang tidak kontinyu, mempunyai sifat *hydrophilic* yang menyebabkan sulit berikatan dengan polimer yang bersifat *hydrophobic*, serta mempunyai sifat kekuatan *impact* yang rendah (Suddell and Evans 2005). Indonesia yang mempunyai sumber bahan baku serat alam yang melimpah, perlu menggalakkan penelitian bahan baku ini untuk komponen otomotif sehingga mempunyai nilai keuntungan ekonomi dan lingkungan.

Pada makalah ini ditinjau potensi serat alam dan karakterisasinya, serta penelitian terkini tentang pemanfaatan serat alam untuk komposit sebagai komponen otomotif. Diharapkan tinjauan ini dapat lebih membangkitkan minat penelitian serat alam dan pemanfaatannya untuk komposit khususnya sebagai komponen otomotif di tanah air.

### Potensi Serat Alam

Potensi produksi serat alam di dunia per tahun dapat dilihat pada Tabel 1. Setelah kayu, kapas merupakan serat alam yang paling banyak dihasilkan (18.45 juta

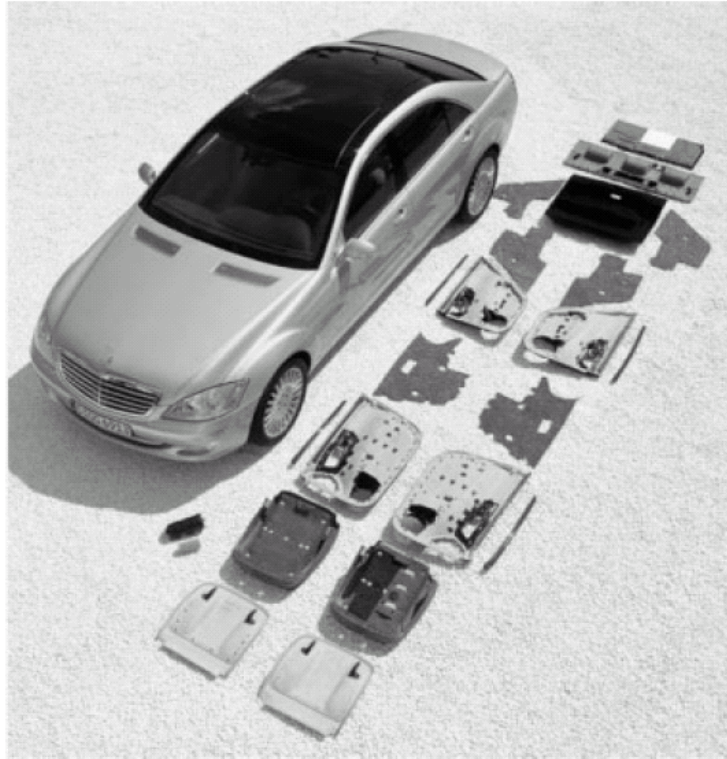


Figure 1. Utilization of composites reinforced with natural fibres for utomotive components of Mercedes S class (Source: Bledzki et al. 2006)

ton/tahun), diikuti oleh serat jute (2.30 juta ton/tahun), kenaf (970 ribu ton/tahun), dan seterusnya. Negara penghasil serat alam yang penting (Brink dan Escobin 2003) antara lain adalah: abaka (Filipina, Ekuador), kelapa (India, Sri Lanka), kapas (Cina, Amerika Serikat, India), flax (Cina, Perancis), hemp (Cina, Spanyol), jute (India, Banglades), kenaf dan rosela (India, Cina, Thailand), kapok (Indonesia, Thailand), rami (Cina, Brazil), sisal (Brazil, Cina, Kenya). Sementara itu produksi serat alam per tahun di Asia Tenggara disajikan pada Tabel 2. Serat abaka banyak diproduksi di Filipina, sedangkan serat kenaf banyak dihasilkan oleh Thailand. Indonesia merupakan penghasil serat kapok, kapas, kenaf, abaka, rami dan sisal dengan jumlah produksi yang masih sedikit. Menurut Balai Penelitian Tembakau dan Serat (Sastrosupadi *et al.* 2004), tanaman sisal banyak terdapat di Blitar Selatan, Malang Selatan, Banyuwangi, Jember, Solo, Kulon Progo, dan Madura. Areal tanaman sisal di Madura sekitar 450 Ha dengan produksi sekitar 400 ton per tahun.

Selama ini serat alam telah dimanfaatkan untuk bahan tekstil, tali, kerajinan, kertas, bahan konstruksi bangunan, komponen otomotif, dan penggunaan lainnya. Untuk seluruh Eropa dan Amerika Utara pasar untuk produk biokomposit-plastik mencapai 685000 ton dengan nilai \$ 775 juta pada tahun 2002. Khusus untuk pemanfaatan sebagai komponen otomotif telah terjadi

peningkatan jumlah yang sangat tajam, misalnya di Jerman meningkat dari 4000 ton pada tahun 1996 menjadi 18000 ton pada tahun 2003 (Bledzki *et al.* 2006). Kecenderungan ini diperkirakan akan terus berlanjut, misalnya di Eropa pada tahun 2005 penggunaan serat alam untuk otomotif mencapai 70000 ton dan diperkirakan akan meningkat menjadi 100000 ton pada tahun 2010 (Suddell and Evans 2005).

### Karakteristik Serat Alam

Secara umum serat alam bisa diklasifikasikan menjadi serat kayu (*wood*) dan serat bukan kayu (*non wood*). Serat bukan kayu terdiri dari serat *straw* seperti jerami padi; serat kulit batang (*bast*) seperti kenaf, rami, jute, hemp; serat daun seperti sisal, nenas; serat dari biji atau buah seperti sabut kelapa; dan rumput-rumputan seperti bambu, rumput gajah (Mohanty *et al.* 2002). Sebenarnya serat merupakan satu kumpulan serat (*fiber bundles*). Sebagai contoh serat kulit batang flax (*Linum usitatissimum*), satu kumpulan serat (*bundle*) dengan diameter 50~100  $\mu\text{m}$  terdiri dari kumpulan serat tunggal (*elementary fiber*) dengan diameter masing-masing sekitar 10~20  $\mu\text{m}$ . Serat tunggal terdiri dari kumpulan mikrofibril-mikrofibril (*microfibrils*) dengan diameter 4~10 nm. Mikrofibril ini tersusun oleh rangkaian molekul selulosa. Komponen kimia utama dari serat alam adalah

Table 1. Annual world production of natural fibers.

Fiber sources	Production (x1000 ton/year)	Origin
Wood (>10,000 species)	1,750,000	Stem
Cotton lint ( <i>Gossypium</i> sp)	18,450	Fruit
Bamboo (> 1250 species)	10,000	Stem
Jute ( <i>Corchorus</i> sp)	2,300	Bast
Kenaf ( <i>Hibiscus cannabinus</i> )	970	Bast
Flax ( <i>Linum usitatissimum</i> )	830	Bast
Sisal ( <i>Agave sisalana</i> )	378	Leaf
Roselle ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> )	250	Bast
Hemp ( <i>Cannabis sativa</i> )	214	Bast
Coir ( <i>Cocos nucifera</i> )	100	Fruit
Ramie ( <i>Boehmeria nivea</i> )	100	Bast
Abaca ( <i>Musa textilis</i> )	70	Leaf

Source: Suddell and Evans (2005)

Table 2. Production of natural fibers in some countries in South-East Asia (x1000 ton/year).

Fiber sources	Indonesia	Thailand	Philippines	Burma	Vietnam	South-East Asia	% of World
Abaca	0.6	-	71.9	-	-	72.5	74.2
Cotton	8.9	15.2	1.2	55.2	23.9	110.4	0.6
Jute	-	5.3	-	36.4	14.5	57.3	2.0
Kenaf, etc.	5.9	60.0	-	0.1	-	65.9	13.2
Kapok	79.9	44.5	-	-	-	124.5	100
Ramie	0.3	-	1.6	-	-	3.0	2.1
Sisal	0.5	0.1	-	-	-	0.6	0.2

Source: Brink and Escobin (2003)

Table 3. Chemical properties of some natural fibers.

Fiber	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Pectin (%)	Wax (%)
Abaca	55~64	18~23	5~18	1	0.2
Cotton	88~96	3~6	1~2	1.2	0.6
Flax	57	15	2	4	1.5
Hemp	62~67	8~16	3~4	0.8	0.7
Jute	45~64	12~26	11~26	0.2	0.5
Kenaf	44~62	14~20	6~19	4~5	-
Pineapple	55~82	15~20	5~12	2~4	4~7
Ramie	69~91	5~13	1	2	0.3
Sisal	54~66	12~17	7~14	1	0.3

Source: Munawar (2008)

Table 4. Mechanical properties of some natural fibers compare with glass fiber.

Fiber	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (MPa)	E-modulus (GPa)	Specific Modulus (E-modulus/Density)
Abaca	1.50	980	19.7	13
Cotton	1.51	400	12	8
Flax	1.40	800~1500	60-80	26~46
Hemp	1.48	550~900	70	47
Jute	1.46	400~800	10-30	7~21
Kenaf	1.47	413~1627	18.2	12
Pineapple	1.44	413~1627	34.5~82.5	24~57
Ramie	1.50	500	44	29
Sisal	1.33	600~700	38	29
E-glass	2.55	2400	73	29

Source: Munawar (2008)

merupakan unsur utama dari serat alam, semakin banyak kandungan selulosa dari serat alam maka semakin tinggi harganya (Brink and Escobin 2003). Serat alam mempunyai komponen pektin dan lilin, tidak seperti kayu yang tidak mempunyainya.

Sifat mekanis (kekuatan) dari serat alam memang lebih rendah dibandingkan dengan serat gelas, tetapi serat gelas mempunyai densitas yang lebih tinggi (Tabel 4). Sehingga kalau dilihat modulus spesifiknya, maka beberapa serat alam (rami, sisal) setara dengan serat gelas bahkan banyak yang melebihinya seperti hemp, flax dan serat nenas. Oleh karena itu pemanfaatan serat alam sebagai bahan penguat polimer untuk komponen otomotif sekarang ini banyak diminati karena lebih ringan tapi kuat.

### **Pemanfaatan Serat Alam untuk Komponen Otomotif**

#### **Aspek Positif Serat Alam**

Beberapa keuntungan pemakaian serat alam dibandingkan dengan serat sintesis (*fiber glass*) untuk komponen otomotif antara lain adalah: bisa diperbarui (*renewable*) dan *sustainable*, dapat didaur ulang (*recyclable*), dapat mengurangi berat kendaraan antara 10~30%, tersedia dalam jumlah banyak dan lebih murah (Suddell and Evans 2005). Dari aspek teknis, serat alam mempunyai sifat dapat didegradasi (*biodegradable*), kekuatan spesifik lebih baik, tidak menyebabkan abrasi pada alat, mempunyai sifat akustik dan termal baik, dan lebih lembut (*soft*) (Suddell and Evans 2005, Bledzki *et al.* 2006).

Ditinjau dari harga bahan baku, serat alam lebih murah dibandingkan dengan serat sintesis seperti serat gelas (*glass fiber*) dan serat karbon. Perbandingan harga serat (dalam \$ US/ kg) adalah sebagai berikut: serat karbon 200, serat gelas 1.3~3.25, sisal 0.6~0.7, abaca 1.5~2.5, rami 1.25~2.5, sabut kelapa 0.25~0.5, jute 0.30~0.35, flax 1.5, hemp 0.6~1.8 (Bogoeva-Gaceva *et al.* 2007, Bledzki *et al.* 2006).

Meskipun demikian serat alam juga memiliki keterbatasan antara lain kualitasnya tidak seragam, sumber bahan baku yang tidak kontinyu, mempunyai sifat *hydrophilic* yang menyebabkan sulit berikatan dengan polimer yang bersifat *hydrophobic*, serta mempunyai sifat kekuatan *impact* yang rendah (Suddell and Evans 2005). Tetapi dengan kemajuan teknologi di bidang silvikultur, serta pengembangan teknologi proses maka kelemahan-kelemahan tersebut dapat diatasi.

#### **Penelitian serat alam untuk komposit**

Komposit dari polimer yang diperkuat dengan serat alam telah banyak diteliti (Jacob and Thomas 2008). Serat alam yang diteliti antara lain sisal, hemp, daun nenas, abaca, bambu, rami, kenaf, jute (Acha *et al.* 2006, Bogoeva-Gaceva *et al.* 2007, Chen *et al.* 2005, Li *et al.* 2000, Lodha and Netravali 2002, Misra *et al.* 2004,

Mohanty *et al.* 2002, Mueller and Krobjloski 2003, Mutje *et al.* 2006b, Okubo *et al.* 2004, Shibata *et al.* 2003, Subyakto *et al.* 2005, Syamani *et al.* 2005). Polimer yang digunakan antara lain polimer termoplastis, termoseting ataupun perekat dari bahan alam (*biodegradable polymer*) seperti *polylactic acid*, *starch*, *soy oil*, *castor oil* (Lee *et al.* 2004, Lee *et al.* 2009, Mohanty *et al.* 2005, Shibata *et al.* 2008, Williams and Wool 2000) Rasio serat alam dengan polimer yang digunakan berkisar antara 10% sampai dengan 80%. Penguatan serat alam pada polimer meningkatkan sifat kekuatan antara 2 ~ 5 kalinya tergantung dari jumlah serat. Semakin banyak jumlah serat sampai batas optimum mempunyai kecenderungan semakin meningkatkan sifat kekuatannya.

#### **Teknologi Proses**

Jenis polimer yang biasa digunakan untuk komponen otomotif dari serat alam dapat digolongkan menjadi polimer termoplastis dan polimer termoset. Polimer termoplastis antara lain adalah polipropilena (*polypropylene*), polietilena (*polyethylene*), polivinil chloride (PVC), dan poliester. Polimer termoset antara lain adalah *epoxy*, *polyurethane*, *acrylate*, *phenol dan melamine*. Proses yang umum digunakan untuk membuat komposit komponen otomotif adalah cetak pres panas (*hot press molding*) (Parikh *et al.* 2002) dan cetak injeksi (*injection molding*). Polipropilena banyak digunakan pada proses cetak injeksi menggunakan serat alam (Arzondo *et al.* 2004, Mutje *et al.* 2006a, Nystrom *et al.* 2007, Panthapulakkal and Sain 2007).

#### **Aplikasi**

Aplikasi komposit serat alam-polimer untuk komponen otomotif bisa digunakan untuk bagian interior maupun eksterior. Bagian otomotif yang telah menggunakan komposit serat alam antara lain adalah *seat back*, *side and door panel*, *boot lining*, *hat rack*, *spare tire lining*, *dashboard*, *business table*, *pillar cover panel*, *under body protection trim*, *instrumental panel*, *headliner panel* (Suddell and Evans 2005, Bledzki *et al.* 2006). Sedangkan industri otomotif yang telah memanfaatkan serat alam sebagai komponennya antara lain Audi, BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, Mitsubishi, Opel, Peugeot, Renault, Saab, Volkswagen, Volvo (Suddell and Evans 2005, Bledzki *et al.* 2006).

#### **Kesimpulan**

Penelitian serat alam sebagai komposit untuk aplikasi komponen otomotif serta status pemakaian serat alam pada produk otomotif telah disampaikan pada makalah ini. Di samping berbagai keuntungan pemakaian serat alam untuk komponen otomotif, ada beberapa kelemahan yang perlu penelitian lebih lanjut terutama dengan menggunakan serat alam Indonesia sehingga

diperoleh komposit serat alam yang memenuhi standar pemakaian komponen otomotif.

#### Daftar Pustaka

- Acha, B.A., Reboredo, M.M., Marcovich, N. 2006. Effect of Coupling Agents on Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene-Jute Fabric Composites. *Polymer International* 55: 1104-1113.
- Arzondo, L.M., Vazquez, Carella, J.M., Pastor, J.M. 2004. A Low-cost, Low-Fiber-Breakage, Injection Molding Process for Long Sisal Fiber Reinforced Polypropylene. *Polymer Engineering and Science* 44 (3): 1766-1772.
- Bledzki, A.K., Faruk, O., Sperber, V.E. 2006. Cars from Bio-Fibers. *Macromolecular Materials Engineering* 291: 449-457.
- Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdanov, A., Gentile, G., Errico, M.E. 2007. Natural Fiber Eco-composites. *Polymer Composites*. DOI 10.1002/pc.20270.
- Brady, P., Brady, M. 2007. Automotive Composites: Which Way are We Going?. *Reinforced plastics* November 2007: 32-35.
- Brink, M., Escobin, R.P. 2003. Plant Resources of South-East Asia No. 17. *Fibre Plants*. Prosea Foundation. Bogor, Indonesia, 456 pp.
- Chen, Y., Chiparus, O., Sun, L., Negulescu, I., Parikh, D.V., Calamari, T.A. 2005. Natural Fibers for Automotive Nonwoven Composites. *Journal of Industrial Textile* 35(1): 47-62.
- Gaikindo (Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia). 2009. *Production Data 2005-2008*. <http://www.gaikindo.or.id>.
- Holbery, J., Houston, D. 2006. Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications. *JOM* November 2006: 80-86.
- Jacob, M.J. and Thomas, S. 2008. Biofibres and Biocomposites. *Carbohydrate Polymers* 71:343-364.
- Kompas. 2008. Target Industri Otomotif Nasional 2011-2025: 4,17 juta Mobil, 7,57 juta Motor. *Harian Kompas* 22 Oktober 2008.
- Lee, N.I., Kwon, O.J., Chun, B.C., Cho, J.W., Park, J.S. 2009. Characterization of Castor Oil/ Polycaprolactone Polyurethane Biocomposites Reinforced with Hemp Fibers. *Fibers and Polymers* 10(2): 154-160.
- Lee, S.,H., Ohkita, T., Kitagawa, K. 2004. Eco-composite from Poly (Lactic Acid) and Bamboo Fiber. *Holzforchung* 58: 529-536.
- Li, Y., Mai, Y.W., Ye, L. 2000. Sisal Fibre and Its Composites: a Review of Recent Developments. *Composites Science and Technology* 60: 2037-2055.
- Lodha, P., Netravali, A.N. 2002. Characterization of Interfacial and Mechanical Properties of "Green" Composites with Soy Protein Isolate and Ramie Fiber. *Journal of Materials Science* 37: 3657-3665.
- Marsh, G. 2003. Next Step for Automotive Materials. *Materialstoday*, April 2003, Elsevier Science Ltd. pp. 36-43.
- Misra, S., Mohanty, A.K., Drzal, L.T., Misra, M., Hinrichsen, G. 2004. A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering* 289: 955-974.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T. 2002. Sustainable Bio-composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials world. *Journal Polymers and the Environment*, 10 (1/2): 19-26.
- Mohanty, A.K., Tummala, P., Liu, W., Misra. M., Mulukutla, P.V., Drzal, L.T. 2005. Injection Molded Biocomposites from Soy Protein Based Bioplastic and Short Industrial Hemp Fiber. *Journal of Polymers and the Environment* 13 (3): 279-285.
- Monteiro, S.N., Lopes, F.P.D., Ferreira, A.S., Nascimento, D.C.O. 2009. Natural-Fiber Polymer-Matrix Composites: Cheaper, Tougher, and Environmentally Friendly. *JOM* January 2009: 17-22.
- Mueller, D.H., Krobjilowski, A. 2003. New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Industrial Textiles* 33(2): 111-123.
- Munawar, S.S. 2008. Properties of Non-wood Plant Fiber Bundles and the Development of Their Composites. Doctor Dissertation, Department of Forestry and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Japan.
- Mutje, P., Girones, J., Llop, M.F., Vilaseca, F. 2006a. Hemp Strands : PP Composites by Injection Molding: Effect of Low Cost Physico-Chemical Treatments. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25 (3): 313-327.
- Mutje, P., Vallejos, M.E., Girones, J., Vilaseca, F., Lopez, A., Lopez, J.P., Mendez, J.A. 2006b. Effect of Maleated Polypropylene as Coupling Agent for Polypropylene Composites Reinforced with Hemp Strands. *Journal of Applied Polymer Science* 102: 833-840.
- Netravali, A.N., Chabba, S. 2003. Composites Get Greener. *Materialstoday* April 2003: 22-28.
- Nystrom, B., Joffe, R., Langstrom, R. 2007. Microstructure and Strength of Injection Molded Natural Fiber Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 26(6): 579-599.
- Okubo, K., Fujii, T., Yamamoto, Y. 2004. Development of Bamboo-based Polymer Composites and Their Mechanical Properties. *Composites Part A* 35: 377-383.
- Panthapulakkal, S., Sain, M. 2007. Injection-molded Short Hemp Fiber/glass Fiber-reinforced Polypropylene Hybrid Composites – Mechanical, Water Absorption

- and Thermal Properties. *Journal of Applied Polymer Science* 103: 2432-2442.
- Parikh, D.V., Calamari, T.A., Sawhney, A.P.S., Blanchard, E.J., Screen, F.J. 2002. Thermoformable Automotive Composites Containing Kenaf and Other Cellulosic Fibers. *Textile Research Journal* 72(8): 668-672.
- Renner, M. 2008. Vehicle Production Rises, but Few Cars are "Green". <http://www.worldwatch.org/node/5461>.
- Sastrosupadi, A. et al. 2004. Konservasi Sumber Daya Lahan dengan Tanaman Sisal (*Agave sisalana* Perrine) di Bendungan Karangates Malang. Laporan Proyek. Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat, Badan Litbang Pertanian, Malang.
- Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R., Takeishi, H. 2003. Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters. *Macromolecular Materials Engineering* 288: 35-43.
- Shibata, S., Cao, Y., Fukumoto, I. 2008. Flexural Modulus of Undirectional and Random Composites Made from Biodegradable Resin and Bamboo and Kenaf Fibers. *Composites Part A* 39: 640-646.
- Subyakto, Munawar, S.S., Gopar, M., Syamani, F.A., Budiman, I., Subiyanto, B. 2005. Development of Biocomposites from Abaca Fiber Glued with Urea or Phenol Formaldehydes. *Proc. International Symposium on Wood Science and Technology. IAWPS2005. Yokohama, Japan.* pp. 124-125.
- Suddell, B.C. and Evans, W.J. 2005. Natural Fiber Composites in Automotive Applications. In: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* (Eds.: Mohanty, Misra, Drzal). CRC Press. pp. 231-260.
- Syamani, F.A., Budiman, I., Subyakto, Subiyanto, B. 2005. Panel Product from Long Fibers of Abaca (*Musa textilis Nee*). *Proc. of the 6<sup>th</sup> International Wood Science Symposium: Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources.* Bali, Indonesia. p. 47.
- Wambua, P., Ivens, J., Verpoest, I. 2003. Natural Fibres: Can They Replace Glass in Fibre Reinforced Plastics?. *Composites Science and Technology* 63: 1259-1264.
- Williams, G.I., Wool, R.P. 2000. Composites from Natural Fibers and Soy Oil Resins. *Applied Composite Materials* 7: 421-432.
- Subyakto, Mohamad Gopar  
 UPT Balai Litbang Biomaterial  
 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
 (Research and Development Unit for Biomaterials,  
 Indonesian Institute of Sciences)  
 Jl. Raya Bogor Km 46, Cibinong, Bogor 16911  
 Tel. : +62-21-87914511  
 Fax. : +62-21-87914510  
 Email : subyakto@biomaterial-lipi.org