

Struktur Karbon Serat Sabut Kelapa (Carbon Structure of Coconut Coir Fibers)

Ismail Budiman¹⁾, Akhiruddin Maddu²⁾, Gustan Pari³⁾, Subyakto¹⁾

- ¹⁾ UPT Balitbang Biomaterial – LIPI, Jl. Raya Bogor Km 46 Cibinong Bogor
²⁾ Departemen Fisika, Fakultas MIPA – IPB, Jl. Meranti Gedung Wing S, Dramaga Bogor 16680
³⁾ Puslitbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Departemen Kehutanan, Jl. Gunung Batu Bogor

Corresponding author: budimanismail@gmail.com (Ismail Budiman)

Abstract

The objectives of the research was to characterize the structure of coconut coir fiber carbon. Carbonization was carried out at two successive phases, carbonization at 400 °C for 300 minutes and then proceeded at 700, 800, and 900 °C. In every temperature level was conducted for 45, 60, and 90 min. The structure of carbon was measured using X-ray diffraction (XRD), while the sample surface analysis was carried out using scanning electron microscopy (SEM). The results showed that the degree of crystallinity of the coconut fibers carbonized at 400 °C (36.3%) was higher than uncarbonized fibers (16.36%) but lower compared to the coconut fiber carbonized at 700-900 °C (41.5-59.81%). Surface analysis of samples showed that the carbonization led to the establishment and enlargement of pores in the fibers.

Key words: carbon, coconut coir fiber, scanning electron microscopy, X-ray diffraction

Pendahuluan

Penggunaan serat karbon telah meluas ke dalam beragam bidang kehidupan seperti bidang elektronika, peralatan kesehatan dan untuk bahan bangunan infrastruktur sipil. Sebagai contoh Wang *et al.* (2002), Yao *et al.* (2003), Chen *et al.* (2005), Cerny *et al.* (2007), Wen dan Chung (2007), dan Cui *et al.* (2008), telah melakukan penelitian dengan menggunakan serat karbon dalam pembuatan beton yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan serta dapat membuat sifat material beton tersebut menjadi fungsional (*smart and functional material*).

Terdapat dua jenis serat karbon komersial yang lazim ditemukan di pasaran yaitu *poly acrylonitrile* (PAN) dengan material awal berasal dari *textile*

precursor dan *pitch precursor* yang merupakan hasil samping pengilangan minyak bumi. Kedua jenis karbon tersebut memiliki kekuatan tarik serat (207-1035 GPa) dan konduktivitas listrik (10^4 - 10^6 S m⁻¹) yang sangat baik karena diproses melalui tahapan pemanasan, *spinning*, karbonisasi dan grafitisasi dengan energi yang sangat besar (Mallick 2008). Imbasnya adalah harga dari kedua material ini pun menjadi tinggi.

Mahalnya harga serat karbon komersial menyebabkan penelitian pembuatan serat karbon alternatif menggunakan sumber daya serat alam penting untuk dilakukan. Pembuatan karbon menggunakan serat alam seperti kayu, bambu, atau kelapa sawit telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Pari & Abdurahim 2003,

Pari 2004a, Subyakto 2004, Ishihara 1996, Ishimaru 2007).

Pembuatan karbon dari bahan alam seperti kayu ataupun serat alam dapat menghilangkan senyawa lamela tengah yang terdapat pada dinding sel ataupun mereduksi dinding sel sekundernya. Pembuatan karbon dari kayu *Japanese cedar* dengan menggunakan suhu karbonisasi 700 °C, menyebabkan dinding selnya tampak semakin jelas, tanpa terlihatnya senyawa lamela tengah dan dinding sel sekunder (Ishimaru 2007).

Salah satu serat alam yang ketersediaannya sangat berlimpah ialah serat sabut kelapa yang didapatkan dari pohon kelapa (*Cocos nucifera*). Luas areal perkebunan kelapa maupun produksi kelapanya cenderung meningkat dari tahun 1970 sampai dengan tahun 2009. Luas lahan perkebunan kelapa dan produksi buahnya pada tahun 2009 adalah masing-masing sebesar 3,8 juta ha dan 3,2 juta ton (Ditjen Perkebunan 2009). Dengan asumsi bahwa berat serat sabut kelapa sekitar 35% dari berat buah kelapa, maka ketersediaan serat sabut kelapa ini sangat memadai untuk berbagai macam keperluan, termasuk dalam penggunaannya sebagai bahan dasar pembuatan karbon dari serat alam.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perbedaan karakteristik serat sabut kelapa sebelum dan sesudah karbonisasi pada beberapa tingkat suhu berbeda. Karakteristik yang dimaksud adalah sifat karbon (rendemen karbon, kadar air karbon, kadar zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat), pola struktur karbon (derajat kristalinitas, sudut difraksi, jarak antar lapisan aromatik, tinggi dan lebar lapisan

aromatik), dan penampakan permukaan karbon.

Bahan dan Metode

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan adalah serat sabut kelapa yang didapatkan dari pengrajin serat sabut kelapa di Sukabumi, Jawa Barat. Alat yang digunakan adalah tungku karbonisasi kapasitas 5 kg, retor aktivasi kapasitas 300 g, desikator, oven, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) JSM 6360 LA-20 kV, dan *X-ray diffraction* (XRD) SHIMADZU 7000 series-40 kV.

Metode penelitian

Pembuatan dan karakterisasi struktur arang

Arang serat sabut kelapa dibuat menggunakan tungku karbonisasi dengan pemanas listrik pada suhu 400 °C selama 300 menit dan didinginkan 12-24 jam. Selanjutnya, arang tersebut kembali dipanaskan dengan menggunakan variasi suhu 700, 800, dan 900 °C, dan variasi waktu pemanasan 45, 60 dan 90 menit. Arang yang dihasilkan dianalisis sifat-sifatnya berdasarkan SNI 06-3730-1995 (BSN 1995) yang meliputi penetapan rendemen, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan kadar karbon terikat.

Karakteristik struktur arang serat sabut kelapa yang diamati adalah derajat kristalinitas, sudut difraksi dan jarak antar lapisan aromatik, tinggi dan lebar lapisan aromatik dengan menggunakan XRD serta penampakan permukaan arang dengan SEM.

Standar dan prosedur pengujian arang

Prosedur pengujian arang dilakukan berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Parameter yang ditentukan meliputi rendemen, kadar air,

kadar abu, kadar zat terbang dan kadar karbon.

Penentuan struktur arang

Untuk mengetahui derajat kristalinitas (X), sudut difraksi (θ), jarak antar lapisan aromatik (d), tinggi (Lc), lebar (La) dan jumlah lapisan aromatik digunakan XRD dengan sumber radiasi tembaga/Cu. Perhitungan dan persamaan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$X = \frac{\text{bagian kristalin}}{\text{bagian kristalin} + \text{bagian amorf}} \times 100$$

Jarak antar lapisan aromatik (d)

$$d = \lambda / 2 \sin \theta$$

Tinggi lapisan aromatik (Lc) :

$$L_{C(002)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Lebar lapisan aromatik (La) :

$$L_{a(100)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Jumlah lapisan aromatik (N) :

$$N = L_c / d$$

dimana:

λ = 0,15406 nm (panjang gelombang radiasi sinar Cu)

θ = Sudut difraksi.

β = Intensitas $\frac{1}{2}$ tinggi dan lebar (radian θ)

K = Tetapan untuk lembaran grafit (0,89)

Karakterisasi struktur serat sabut kelapa dan arangnya

Karakterisasi struktur permukaan serat sabut kelapa dan arangnya dilakukan menggunakan alat SEM. Selanjutnya hasil dari karakterisasi tersebut dianalisis secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

Analisis arang serat sabut kelapa

Karakteristik arang sabut kelapa yang diamati berdasarkan standar SNI 06-3730-1995 dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa kadar air, zat terbang, kadar abu dan kadar karbon terikat pada berbagai suhu dan lamanya waktu karbonisasi memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 06-3730-1995. Kadar karbon arang berkisar 85,32-88,80%. Kadar karbon mempunyai kecenderungan semakin besar, seiring dengan semakin tingginya suhu pengarangan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ishihara (1996) yang menyatakan bahwa semakin tinggi suhu karbonisasi kayu, maka kandungan karbonnya akan semakin tinggi sedangkan kandungan oksigen dan hidrogennya semakin berkurang.

Hal yang sama juga terjadi dengan rendemen dari hasil pengarangan. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka semakin rendah rendemen yang didapatkan. Kadar karbon arang sabut kelapa pada berbagai suhu ini lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif komersial merk India dan juga karbon aktif dari empulur batang kelapa dengan aktivasi menggunakan gas CO₂ pada suhu 850 °C selama 2 jam yang memiliki nilai sebesar 82,7% (Gumaste 2008).

Identifikasi pola struktur karbon

Serat sabut kelapa

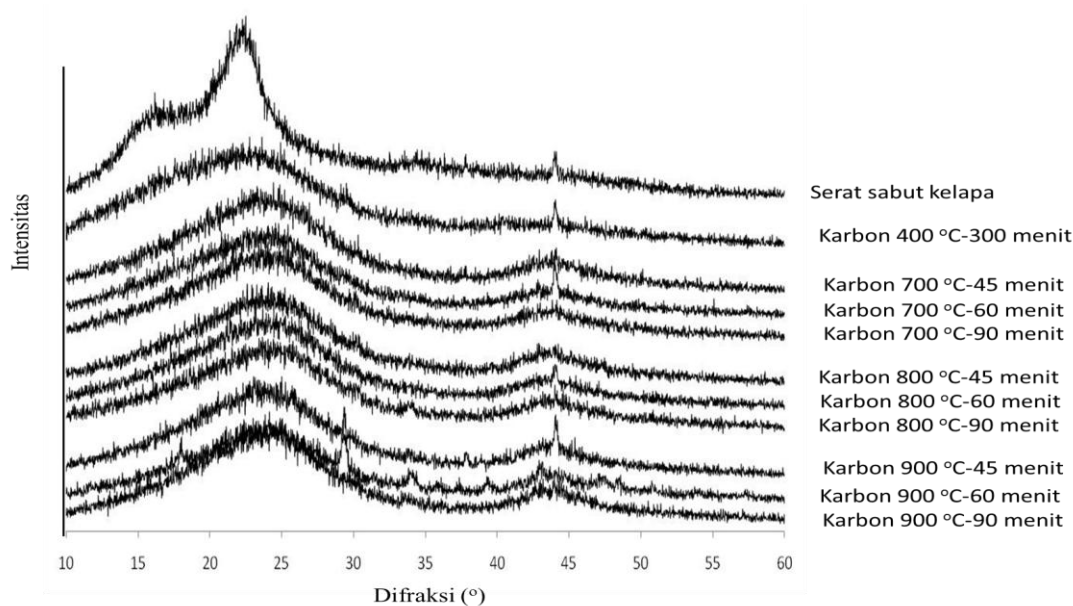
Pengamatan pola struktur karbon sabut kelapa dengan XRD bertujuan untuk mengetahui derajat kristalinitas (X), jarak antar lapisan (d), tinggi lapisan aromatik (Lc) dan lebar lapisan aromatik (La) serta jumlah lapisan aromatik (N).

Tabel 1 Analisis arang sabut kelapa

No.	Suhu karbonisasi (°C)	Waktu karbonisasi (menit)	Rendemen (%)	Analisis proksimat			
				Kadar air (%)	Zat terbang (%)	Kadar abu (%)	Karbon terikat (%)
1	700	45	76	9,77	5,48	6,07	88,45
2	800	45	70	8,61	8,12	6,56	85,32
3	900	45	62	8,64	5,54	5,76	88,70
4	700	60	80	8,48	5,61	5,99	88,40
5	800	60	68	9,92	5,54	5,76	88,70
6	900	60	58	7,37	4,38	7,47	88,15
7	700	90	72	8,77	6,81	6,56	86,63
8	800	90	64	9,22	5,50	7,09	87,41
9	900	90	56	10,4	4,85	6,85	88,80
SNI 06-3730-1995				< 15	< 25	< 10	> 65

Derajat kristalinitas serat sabut kelapa adalah 16,36%, lebih rendah dibandingkan dengan arangnya (suhu karbonisasi 400 °C) yaitu sebesar 37,30%. Perubahan ini terjadi karena adanya pergeseran intensitas pada sudut difraksi dari θ 22,311 menjadi θ 22,930 dan terbentuknya sudut baru di θ 44,053. Pergeseran dan terbentuknya sudut difraksi baru tersebut menunjukkan

adanya perbedaan struktur kristal serat sabut kelapa dengan arangnya. Pada serat sabut kelapa struktur kristalnya didominasi oleh struktur kristal selulosa, sedangkan pada arangnya struktur kristal terbentuk dari senyawa karbon yang membentuk lapisan heksagonal yang terutama berasal dari struktur lignin (Pari 2004b).

Gambar 1 Spektrogram *X-ray diffraction* dari serat sabut kelapa dan arangnya.

Tabel 2 Struktur arang sabut kelapa hasil analisis menggunakan XRD

Material	X (%)	θ_{002} (°)	d_{002} (nm)	θ_{100} (°)	d_{100} (nm)	Lc (nm)	N	La (nm)
Sabut kelapa	16,36	22,311	0,3982	-	-	-	-	-
400 °C - 300 min	37,30	22,930	0,3876	44,053	0,2054	2,272	5,861	19,877
700 °C - 45 min	58,57	23,309	0,3814	44,028	0,2055	1,569	4,113	4,291
700 °C - 60 min	56,75	24,560	0,3622	44,020	0,2056	1,600	4,416	8,404
700 °C - 90 min	53,78	23,788	0,3738	43,808	0,2065	1,623	4,342	3,650
800 °C - 45 min	59,81	24,207	0,3674	43,768	0,2067	1,593	4,336	4,063
800 °C - 60 min	51,74	24,886	0,3576	43,679	0,2071	1,603	4,484	5,083
800 °C - 90 min	52,36	24,487	0,3633	43,988	0,2057	1,574	4,332	4,370
900 °C - 45 min	41,50	23,129	0,3843	44,058	0,2054	1,581	4,114	7,811
900 °C - 60 min	53,82	24,087	0,3692	43,064	0,2099	1,722	4,663	6,921
900 °C - 90 min	51,15	24,666	0,3607	44,088	0,2053	1,668	4,624	4,646

Derajat kristalinitas serat karbon hasil karbonisasi pada suhu 700, 800, dan 900 °C lebih besar dibandingkan dengan derajat kristalinitas arang hasil karbonisasi pada suhu 400 °C. Hal ini terjadi karena dengan suhu karbonisasi yang lebih tinggi (700-900 °C), akan menyebabkan terbentuknya struktur kristal karbon yang lebih banyak dibandingkan dengan arang yang dibuat dengan suhu karbonisasi lebih rendah (400 °C). Jarak antara lapisan aromatik (d_{002}) dari arang yang dibuat dengan suhu tinggi (700-900 °C) lebih rendah dibandingkan dengan nilai d_{002} dari arang yang dibuat dengan suhu karbonisasi rendah (400 °C).

Demikian juga dengan tinggi lapisan aromatik (Lc) dan lebar lapisan aromatik (La) dari karbon dengan suhu karbonisasi tinggi (700-900 °C) lebih rendah dibandingkan dengan nilai La dan Lc karbon dengan suhu karbonisasi rendah (400 °C). Hal ini menyebabkan struktur kristal dari karbon yang dibuat dengan suhu karbonisasi tinggi lebih rapat dan lebih teratur dibandingkan dengan

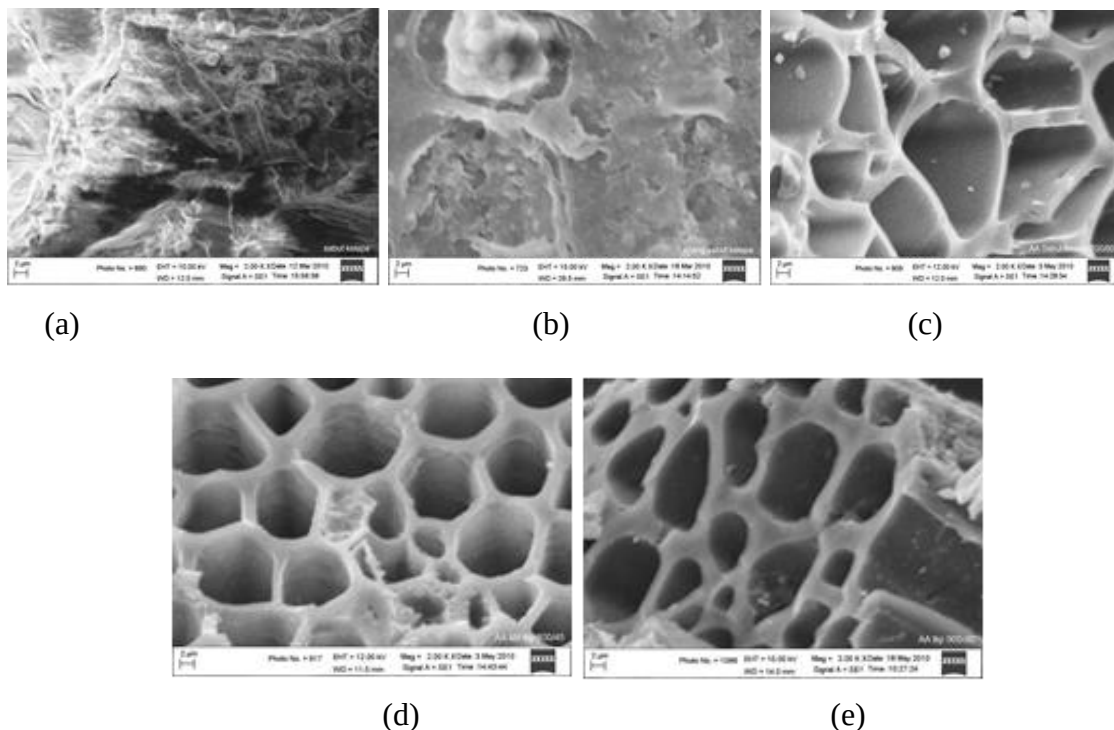
struktur kristal dari karbon yang dibuat dengan suhu karbonisasi rendah.

Penampakan permukaan serat

Sabut kelapa dan arangnya

Pengamatan serat sabut kelapa dan arangnya pada berbagai suhu pengarangan dilakukan dengan menggunakan SEM. Pengambilan gambar dengan alat SEM pada masing-masing sampel menggunakan perbesaran 2000 kali. Gambaran visual dari permukaan serat sabut kelapa tanpa perlakuan dan arangnya dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa pada serat sabut kelapa tanpa perlakuan tidak terlihat adanya pori-pori yang terbuka. Hal ini disebabkan adanya senyawa lamela tengah yang didominasi oleh pektin dan dinding sel sekunder yang susunannya didominasi oleh selulosa, hemiselulosa dan lignin menutupi permukaan serat. Pori-pori dari permukaan serat sabut kelapa, mulai terlihat pada saat serat tersebut diarangkan dengan suhu 400 °C.



Gambar 2 Mikrograf SEM permukaan serat sabut kelapa: (a) tanpa karbonisasi, (b) dikarbonisasi pada suhu 400 °C, (c) dikarbonisasi pada suhu 700 °C, (d) dikarbonisasi pada suhu 800 °C, dan (e) dikarbonisasi pada suhu 900 °C.

Hal ini dapat terjadi karena pemanasan tersebut menyebabkan terdegradasinya senyawa lamela tengah dan komponen pembentuk dinding sel sekunder yang menghasilkan produk gas, produk cair dan zat padat berupa arang (Vigouroux 2001).

Pada Gambar 1 juga terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengarangan serat, maka semakin banyak pori-pori yang terbentuk dan semakin besar juga ukurannya. Hal ini menunjukkan bahwa karbonisasi pada serat akan menghilangkan dinding sel sekunder dan zat-zat ekstraktif lainnya yang terkandung pada serat-serat tersebut. Bonelli *et al.* (2001) mengemukakan bahwa pembentukan dan bertambah besarnya pori disebabkan oleh penguapan dari residu yang terdapat pada serat karena proses pemanasan

berupa selulosa yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang pada serat.

Kesimpulan

Pembuatan arang dengan menggunakan suhu karbonisasi 400 °C yang dilakukan terhadap serat sabut kelapa menyebabkan terjadinya perubahan sifat arangnya ditandai dengan terjadinya pergeseran sudut difraksi dan terbentuknya sudut difraksi baru. Pembuatan karbon dengan suhu antara 700-900 °C mengakibatkan perubahan sifat arang baik derajat kristalinitasnya maupun jarak antara lapisan aromatik (d), tinggi dan lebar lapisan aromatik (Lc dan La). Struktur kristal dari karbonnya menjadi lebih kompak seiring dengan suhu karbonisasi yang lebih tinggi.

Analisis penampakan permukaan karbon dengan menggunakan SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan untuk karbonisasi serat, maka pori-pori akan tampak semakin jelas dan bertambah besar. Karbonisasi pada serat akan menghilangkan dinding sel sekunder dan zat-zat ekstraktif lainnya yang terkandung pada serat-serat tersebut, termasuk lepasnya zat terbang pada serat.

Daftar Pustaka

- Bonelli PR, Rocca PAD, Cerrela EG, Cukierman AL. 2001. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of brazil nutshell. *Biores. Technol.* 76:15-22.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1995. *Arang Aktif Teknis*, SNI 06-3730-1995. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Cerny R, Nemeckova J, Rovnanikova P, Bayer P. 2007. Effect of thermal decomposition processes on the thermal properties of carbon fiber reinforced cement composites in high-temperature range. *J Thermal Anal. Cal.* 90(2):475-488.
- Chen B, Wu K, Yao W. 2005. The smart behavior of cement-based composite containing carbon fibers under three-point-bending load. *J Wuhan Univ. Technol.* 20(4):128-131.
- Cui Y, Cheung MMS, Noruziaan B, Lee S, Tao J. 2008. Development of ductile composite reinforcement bars for concrete structures. *Mat. Struc.* 41:1509-1518.
- [Ditjen Perkebunan] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2009. Luas areal dan produksi perkebunan seluruh indonesia menurut perusahaan. <http://ditjenbun.deptan.go.id/cigraph/index.php/viewstat/komoditiutama/5-Kelapa>. [20 Juni 2012].
- Gumaste JL, Satapathy D, Mazumder B, Mukherjee PS, Mishra BK. 2008. Preparation and characterization of activated carbon produced from coir pith waste. *Indian Chem. Engineer* 50(4):288-300.
- Ishihara S. 1996. Recent trend of advanced carbon material from wood charcoals (in Japanese). *Mokuzai Gakkaishi* 42:717-724.
- Ishimaru K, Hata T, Bronsveld P, Imamura Y. 2007. Microstructural study of carbonized wood after cell wall sectioning. *J Material Sci.* 42:2662-2668.
- Mallick PK. 2008. *Fiber-reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design, Third edition*. Michigan: CRC Press.
- Mishra S, Mohanty AK, Drzal LT, Misra M, Hinrichsen G. 2004. A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their composites. *Macromol. Mat. Eng.* 28(9):955-974.
- Pari G, Abdurahim. 2003. Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa, serbuk kayu, dan tandan kosong kelapa sawit. *Bul. Penel. Hasil Hutan* 21(1):55-65.
- Pari G, Buchari, Sofyan K, Syafii W. 2004a. Suhu karbonisasi dan perubahan struktur arang dari serbuk gergaji. *JTHH* 16(2):70-80.
- Pari G. 2004b. Kajian struktur arang aktif dari serbuk gergaji kayu sebagai adsorben emisi formaldehida kayu lapis [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pierson HO. 1993. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes - Properties, Processing and Applications*. Noyes: William Andrew Publishing.

- Subyakto, Castro V, Ishimaru K, Pari G, Hata T, Imamura Y, Kawai S. 2004. Biomass carbons from oil palm residues. *Proceedings of 5th Int. Wood Science Symposium on Sustainable Production and Effective Utilization of Tropical Forest Resources*. Kyoto: Research Institute for Sustainable Humanosphere-Kyoto Univ. Pp. 301-306.
- Vigouroux RZ. 2001. Pyrolysis of biomass [Dissertation]. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Wen S, Wang S, Chung DDL. 2000. Piezoresistivity in continuous carbon fiber polymer-matrix and cement-matrix composites. *J Material Sci.* 35:3669-3675.
- Wen S, Chung DDL. 2007. Electrical-resistance-based damage self-sensing in carbon fiber reinforced cement. *Carbon* 45:710-716.
- Yao W, Chen B, Wu K. 2003. Smart behavior of carbon fiber reinforced cement-based composite. *J Material Sci. Technol.* 19(3):239-242.

Riwayat naskah (*article history*)

Naskah masuk (*received*): 12 Januari 2013

Diterima (*accepted*): 2 April 2013