

PRODUKSI NANOPARTIKEL ARANG BAMBU WULUNG MENGUNAKAN HIGH ENERGY MILLING MODEL SHAKER MILL

Johanes Wawan Joharwan¹, Supriyono², Ngafwan³

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email : U100150006@student.ums.ac.id

Abstrak

Arang bambu wulung sebagai karbon nanopartikel memiliki berbagai keunggulan dari segi sifat fisika dan kimia. Pada penelitian ini, nanopartikel arang bambu wulung diproduksi dengan menggunakan High Energy Milling (HEM) model shaker mill. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara siklus, bola baja, dan rata-rata diameter partikel yang dihasilkan serta mengetahui distribusi diameter partikel dan komposisi kimia. Karakterisasi nanopartikel dengan PSA untuk menganalisa diameter partikel, sedangkan SEM dan EDX untuk menganalisa distribusi diameter partikel dan komposisi kimia yang terkandung dalam material hasil tumbukan. Siklus yang digunakan adalah 2 juta, 3 juta, dan 4 juta, dengan panjang langkah 54 mm dan putaran 233 rpm. Diameter bola baja yang digunakan adalah 1/8 inchi, 5/32 inchi, 3/16 inchi, dan 1/4 inchi. Tabung terbuat dari silinder stainless steel dengan diameter 2 inchi dan panjang 120 mm. Tabung diisi dengan perbandingan volume 1:3 dimana 1/3 arang bambu wulung, 1/3 bola baja dan 1/3 ruang kosong. Hasil produksi menunjukkan bahwa semakin lama siklus, rata-rata diameter partikel akan menurun hingga mencapai 273,8 nm pada bola baja diameter 1/4 inchi. Distribusi diameter partikel pada 4 juta siklus menunjukkan bahwa diameter partikel tidak homogen pada bola baja diameter 1/4 inchi, 1/8 inchi, 5/32 inchi, dan 3/16 inchi. Komposisi kimia pada 4 juta siklus menunjukkan bahwa pada bola baja diameter 1/4 inchi menghasilkan unsur karbon yang paling banyak sebesar 93,03%. Unsur kimia yang paling dominan adalah karbon, sehingga arang bambu wulung merupakan sumber potensial untuk menghasilkan karbon nanopartikel.

Kata kunci : arang bambu wulung, High Energy Milling (HEM), shaker mill, karbon nanopartikel

Abstract

Black bamboo charcoal as a carbon nanoparticle has various advantages in terms of physical and chemical properties. In this study, black bamboo charcoal nanoparticles were produced using a High Energy Milling (HEM) shaker mill model. The purpose of this study was to determine the relationship between cycles, steel balls, and the average diameter of the resulting particles and to determine the distribution of particle diameters and chemical composition. Nanoparticle characterization with PSA to analyze particle diameter, while SEM and EDX to analyze the distribution of particle diameters and chemical composition contained in the impacted material. The cycles used were 2 million, 3 million, and 4 million, with a stroke length of 54 mm and a rotation of 233 rpm. The diameters of the steel balls used were 1/8 inch, 5/32 inch, 3/16 inch, and 1/4 inch. The tube was made of a stainless steel cylinder with a diameter of 2 inches and a length of 120 mm. The tube was filled with a volume ratio of 1:3 where 1/3 black bamboo charcoal, 1/3 steel balls and 1/3 empty space. The production results show that the longer the cycle, the average particle diameter will decrease until it reaches 273.8 nm in a 1/4 inch diameter steel ball. The distribution of particle diameters at 4 million cycles shows that the

particle diameter is not homogeneous in steel balls with diameters of 1/4 inch, 1/8 inch, 5/32 inch, and 3/16 inch. The chemical composition at 4 million cycles shows that the 1/4 inch diameter steel ball produces the most carbon element at 93.03%. The most dominant chemical element is carbon, so that wulung bamboo charcoal is a potential source for producing carbon nanoparticles.

Keywords: wulung bamboo charcoal, High Energy Milling (HEM), shaker mill, carbon nanoparticles

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon merupakan material yang memiliki beragam keunggulan dari segi sifat fisika maupun kimia, sehingga banyak dikembangkan untuk aplikasi teknologi mutakhir. Material ini telah digunakan secara luas dalam bidang elektroda baterai, penyerap limbah, hingga sensor antibodi (Rahman et al., 2015). Dalam bentuk nanopartikel, karbon memiliki keistimewaan tersendiri karena sifat optik, mekanik, dan kimianya dapat berbeda signifikan dibandingkan dengan material dalam ukuran bulk. Nanopartikel didefinisikan sebagai partikel dengan ukuran 1–100 nm (Hosokawa et al., 2007) dan terbukti menunjukkan sifat baru yang lebih unggul, seperti luas permukaan spesifik tinggi, distribusi morfologi unik, serta kemampuan difusi ion yang lebih baik (Perez et al., 2005).

Secara umum, produksi nanopartikel dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu *top-down* dan *bottom-up* (Abdullah et al., 2008). Salah satu metode *top-down* yang paling banyak digunakan adalah High Energy Milling (HEM), di mana material diperkecil ukurannya melalui proses tumbukan berenergi tinggi. Metode ini relatif sederhana, efisien, dan telah diaplikasikan pada berbagai material, termasuk silikon karbida, Fe_2O_3 , zeolit, dan paduan logam (Prasad Yadav et al., 2012; Rao et al., 2011; Waluyo et al., 2013).

Selain melalui pendekatan mekanik, sintesis nanopartikel karbon juga telah dilakukan menggunakan berbagai sumber bahan organik, seperti gula, glukosa, fruktosa, selulosa, sukrosa, pati, serta limbah biomassa. Metode yang digunakan antara lain karbonisasi, hidrotermal, maupun metode template (Ryu et al., 2010; Wang et al., 2001; Ratchahat et al., 2010; Cui & Zhu, 2010; Pang et al., 2004). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon nanopartikel dapat diproduksi dengan morfologi dan sifat yang bervariasi, bergantung pada bahan baku dan proses yang digunakan.

Bambu merupakan salah satu sumber karbon yang potensial namun masih relatif jarang dieksplorasi. Kandungan karbon dan oksigen pada bambu mencapai lebih dari 90% berat totalnya (Salihati & Ardhyananta, 2013), sehingga sangat potensial untuk menghasilkan karbon nanopartikel. Selain itu, bambu merupakan sumber daya alam terbarukan yang melimpah dan memiliki laju pertumbuhan sangat cepat, mencapai 60 cm per hari tergantung kondisi tanah dan iklim (Widjaja, 2001; Farrelly, 1984). Dari 1.200–1.300 jenis bambu yang ada di dunia, sekitar 143 jenis terdapat di Indonesia, termasuk bambu wulung yang banyak tumbuh di Pulau Jawa.

Berdasarkan potensi tersebut, penelitian ini difokuskan pada produksi nanopartikel arang bambu wulung menggunakan metode High Energy Milling model shaker mill. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara jumlah siklus, variasi diameter bola baja, dan rata-rata diameter partikel yang dihasilkan, serta mengkaji distribusi partikel dan komposisi kimianya melalui karakterisasi PSA, SEM, dan EDX.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah yang dapat diidentifikasi adalah:

1. Bagaimana pengaruh jumlah siklus milling terhadap rata-rata ukuran partikel arang bambu wulung yang diproduksi dengan metode High Energy Milling (HEM)?
2. Bagaimana pengaruh variasi diameter bola baja pada proses HEM terhadap distribusi ukuran partikel?
3. Bagaimana karakteristik morfologi dan distribusi partikel nanopartikel arang bambu wulung yang dihasilkan berdasarkan analisis SEM dan PSA?
4. Bagaimana komposisi kimia nanopartikel arang bambu wulung hasil milling berdasarkan analisis EDX?

1.3 Tujuan Penelitian

- 1 Menganalisis hubungan jumlah siklus milling dengan rata-rata ukuran partikel nanopartikel arang bambu wulung yang dihasilkan.
- 2 Mengetahui pengaruh variasi diameter bola baja terhadap distribusi ukuran partikel pada proses High Energy Milling.
- 3 Mengkarakterisasi morfologi dan distribusi partikel nanopartikel arang bambu wulung menggunakan PSA dan SEM.
- 4 Mengidentifikasi komposisi kimia nanopartikel arang bambu wulung dengan metode EDX.

2. METODE

2.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan adalah bambu wulung (*Gigantochloa atroviolacea*) yang diperoleh dari wilayah Jawa Tengah. Bambu terlebih dahulu dikeringkan, kemudian dilakukan proses pengarangan hingga menjadi arang dengan kadar karbon tinggi. Kandungan unsur bambu yang dominan adalah karbon dan oksigen yang mencapai lebih dari 90% berat total, sehingga sangat potensial sebagai sumber karbon nanopartikel (Salihati & Ardhyanta, 2013).

2.2 Alat Penelitian

Peralatan utama yang digunakan adalah High Energy Milling (HEM) model shaker mill dengan variasi diameter bola baja sebagai media tumbukan. Alat karakterisasi yang digunakan meliputi:

- a. Particle Size Analyzer (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel.
- b. Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan.
- c. Energy Dispersive X-Ray (EDX) untuk menganalisis komposisi kimia partikel.

Metode High Energy Milling dipilih karena efisien dalam memperkecil ukuran partikel melalui tumbukan energi tinggi, serta telah banyak diaplikasikan untuk berbagai material, seperti silikon karbida, Fe₂O₃, zeolit, dan paduan logam (Prasad Yadav et al., 2012; Rao et al., 2011; Waluyo et al., 2013).

2.3 Prosedur Penelitian

1 Preparasi Bahan

Arang bambu wulung dihaluskan hingga menjadi serbuk dengan ukuran awal ≤ 200 mesh. Serbuk yang diperoleh kemudian dikeringkan untuk menghindari kelembaban yang dapat mempengaruhi proses milling.

2 Proses High Energy Milling (HEM)

Serbuk arang bambu dimasukkan ke dalam vial shaker mill dengan variasi diameter bola baja (2 mm, 5 mm, dan 10 mm). Proses milling dilakukan dengan variasi jumlah siklus tertentu. Mekanisme tumbukan antara bola baja dan partikel arang menghasilkan partikel berukuran nano melalui prinsip *top-down* (Abdullah et al., 2008).

3 Karakterisasi Partikel

- a. PSA digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel dan rata-rata diameter partikel setelah proses milling.
- b. SEM digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan dan bentuk partikel.
- c. EDX digunakan untuk mengetahui komposisi unsur utama penyusun nanopartikel.

2.4 Analisis Data

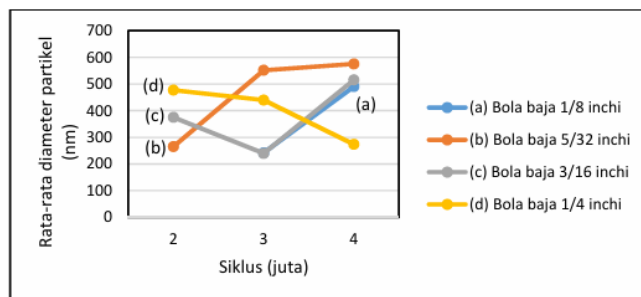
Data yang diperoleh berupa ukuran partikel rata-rata, distribusi ukuran, morfologi permukaan, dan komposisi unsur. Hasil karakterisasi dianalisis untuk melihat pengaruh jumlah siklus milling dan variasi diameter bola baja terhadap pembentukan nanopartikel. Analisis ini juga dibandingkan dengan literatur terdahulu mengenai sintesis nanopartikel karbon dari biomassa (Ryu et al., 2010; Wang et al., 2001; Ratchahat et al., 2010; Cui & Zhu, 2010; Pang et al., 2004).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Particle Size Analyzer (PSA)

Hasil pengukuran PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel arang bambu wulung mengalami penurunan signifikan setelah melalui proses High Energy Milling (HEM). Pada jumlah siklus milling yang rendah, distribusi partikel masih relatif lebar dengan rata-rata ukuran berada pada skala mikron. Namun, seiring bertambahnya jumlah siklus, distribusi ukuran partikel bergeser ke arah yang lebih kecil dengan rata-rata ukuran partikel berada dalam rentang nanometer.

Hal ini sejalan dengan prinsip metode *top-down* bahwa semakin lama proses milling, semakin tinggi energi tumbukan yang diterima partikel, sehingga ukuran partikel semakin kecil (Abdullah et al., 2008). Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya pada material silikon karbida dan Fe_2O_3 yang juga menunjukkan penurunan ukuran partikel secara progresif dengan meningkatnya durasi milling (Prasad Yadav et al., 2012; Rao et al., 2011).

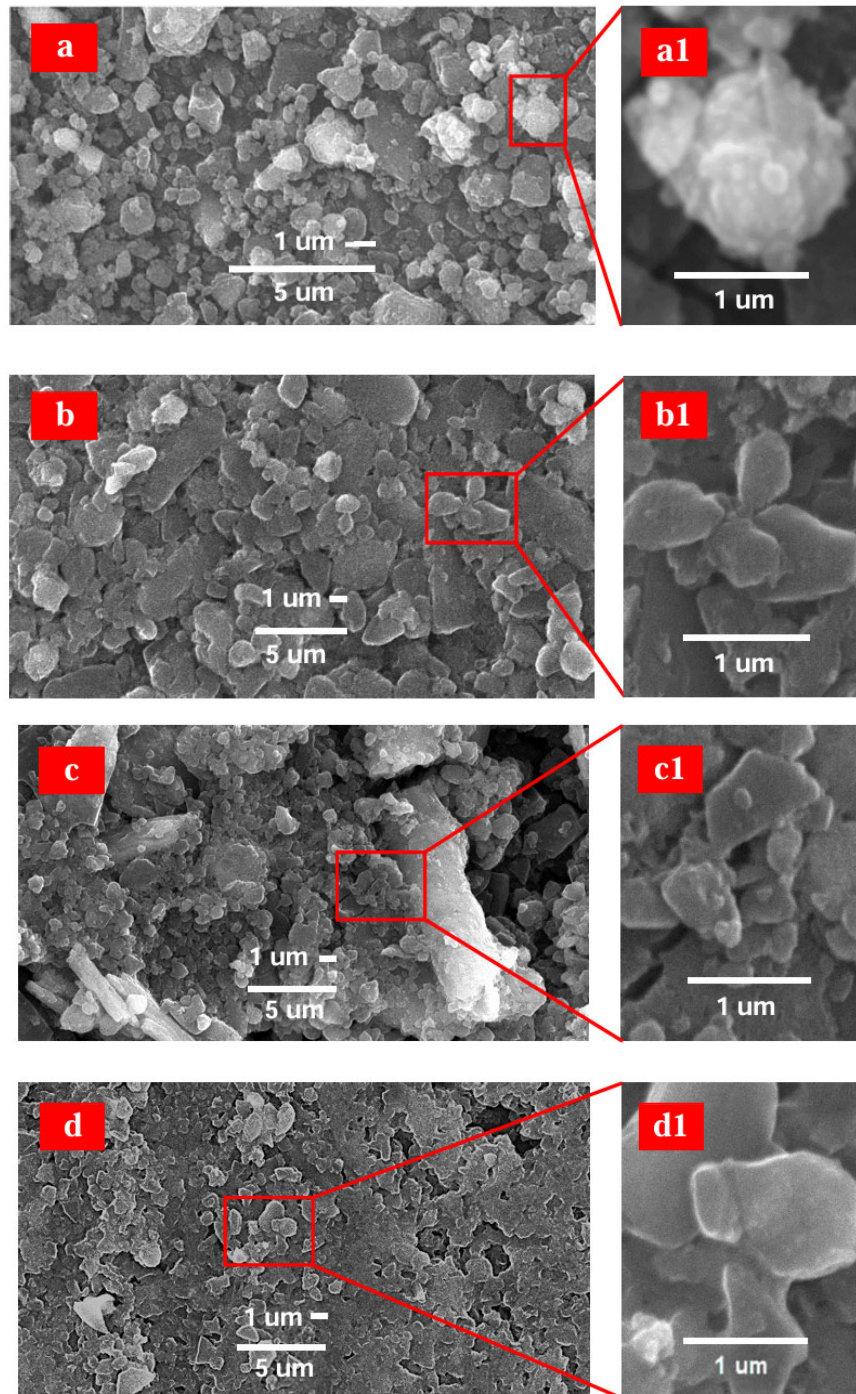


Gambar 1. Grafik siklus, diameter bola baja dan rata – rata diameter partikel

3.2 Hasil Analisis SEM

Pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM memperlihatkan bahwa pada siklus awal, partikel arang bambu masih berbentuk tidak beraturan dengan ukuran relatif besar. Setelah dilakukan milling dalam jumlah siklus yang lebih banyak, permukaan partikel terlihat lebih halus dan ukuran partikel semakin seragam.

Selain itu, terlihat pula adanya kecenderungan terjadinya aglomerasi antar partikel pada beberapa sampel. Fenomena ini umum terjadi pada nanopartikel karena gaya van der Waals yang tinggi pada permukaan partikel berukuran nano (Hosokawa et al., 2007; Perez et al., 2005). Dengan demikian, meskipun ukuran partikel berhasil diperkecil, proses dispersi tambahan mungkin diperlukan untuk mencegah terbentuknya gumpalan partikel.



Gambar 2. Hasil SEM pada 4 juta siklus berupa distribusi diameter partikel: (a). bola baja ¼ inci (b). bola baja 3/16 inci (c) bola baja 5/32 inci (d). bola baja 1/8 inci

3.3 Hasil Analisis EDX

Analisis komposisi unsur menggunakan EDX menunjukkan bahwa partikel arang bambu wulung didominasi oleh unsur karbon (C) dan oksigen (O), dengan persentase total mencapai lebih dari 90%. Kandungan

unsur lain dalam jumlah kecil, seperti Si dan K, terdeteksi sebagai pengotor alami dari bahan baku bambu. Hasil ini sesuai dengan penelitian Salihati & Ardhyananta (2013) yang melaporkan bahwa bambu memiliki kandungan karbon dan oksigen yang tinggi sehingga sangat potensial dijadikan sumber nanopartikel karbon.

Tabel 1. Hasil EDX pada 4 juta siklus

Unsur kimia	Komposisi kimia (% berat)			
	Bola baja 1/8 inchi	Bola baja 5/32 inchi	Bola baja 3/16 inchi	Bola baja 1/4 inchi
C	80,27	59,94	66,39	93,03
K ₂ O	8,07	20,41	14,47	0,55
SiO ₂	5,66	7,9	10,99	4,19
P ₂ O ₅	1,37	6,19	2,64	0
Na ₂ O	0,26	1,02	0,44	0
SO ₃	0,4	0	2,64	0
Cl	1,07	3,28	0,93	0
FeO	0,76	0,87	0,89	0,57
CuO	0,68	0	0,59	0,95
ZnO	0,62	0	0	0,55
ZrO ₂	0,84	0	0	0
MgO	0	0,2	0	0
Al ₂ O ₃	0	0,2	0	0,16

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa bambu wulung dapat diolah menjadi nanopartikel karbon melalui metode High Energy Milling model shaker mill. Jumlah siklus milling dan variasi diameter bola baja berperan penting dalam menentukan ukuran akhir partikel. Semakin besar energi tumbukan (akibat siklus lebih banyak atau bola baja berdiameter lebih besar), semakin kecil rata-rata ukuran partikel yang dihasilkan.

Secara morfologi, partikel menunjukkan transisi dari bentuk mikron tidak beraturan menjadi partikel nano yang lebih seragam, meskipun aglomerasi masih terjadi. Dari segi komposisi, dominasi unsur karbon menegaskan potensi bambu sebagai bahan baku karbon nanopartikel. Hasil ini memperkuat temuan Ryu et al. (2010), Wang et al. (2001), dan Ratchahat et al. (2010) bahwa limbah biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan nanopartikel karbon dengan karakteristik unggul.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperlihatkan efektivitas metode milling berenergi tinggi, tetapi juga menegaskan peluang pemanfaatan sumber daya biomassa lokal, seperti bambu wulung, untuk pengembangan material berbasis karbon ramah lingkungan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1 Hasil pengukuran PSA menunjukkan bahwa dengan meningkatnya jumlah siklus milling dan variasi diameter bola baja, ukuran partikel menurun signifikan dari skala mikron menuju skala nanometer (Abdullah et al., 2008; Prasad Yadav et al., 2012; Rao et al., 2011).
- 2 Hasil SEM memperlihatkan bahwa partikel awal berbentuk tidak beraturan dengan ukuran besar, kemudian berubah menjadi partikel yang lebih kecil dan seragam setelah milling. Namun, aglomerasi antar partikel tetap teramati akibat tingginya energi permukaan nanopartikel (Hosokawa et al., 2007; Perez et al., 2005).
- 3 Hasil analisis EDX menunjukkan bahwa unsur C dan O mencapai lebih dari 90% total komposisi, dengan sedikit kandungan unsur pengotor alami. Hal ini sesuai dengan laporan bahwa bambu memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga potensial sebagai bahan baku karbon nanopartikel (Salihati & Ardhyanta, 2013).
- 4 Selain melimpah dan terbarukan, bambu wulung dapat diolah dengan metode mekanik sederhana menjadi material nano yang berpotensi untuk aplikasi energi, katalis, maupun material fungsional lainnya (Ryu et al., 2010; Wang et al., 2001; Ratchahat et al., 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Sutrisno, & Khairurrijal. (2008). *Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications*. Bandung: Penerbit ITB.
- Cui, X., & Zhu, Y. (2010). *Carbon spheres and their applications*. *Journal of Materials Chemistry*, 20(23), 4781–4798.
- Farrelly, D. (1984). *The Book of Bamboo*. London: Thames and Hudson.
- Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., & Yokoyama, T. (2007). *Nanoparticle Technology Handbook*. Amsterdam: Elsevier.
- Perez, J. M., Josephson, L., & Weissleder, R. (2005). Use of magnetic nanoparticles as nanosensors to detect proteins. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(4), 1–6.
- Prasad Yadav, T., Bauri, R., & Murty, B. S. (2012). Effect of milling parameters on the structural and morphological characteristics of nanocrystalline materials. *Materials Science and Engineering A*, 558, 531–536.
- Rao, K. J., Kulkarni, G. U., Thomas, P. J., & Rao, C. N. R. (2011). *Nanocrystals: Synthesis, Properties and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rahman, A., Dewi, R., & Suharyadi, E. (2015). *Aplikasi material karbon dalam bidang energi dan lingkungan*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ratchahat, S., Tunkasiri, T., & Chareonpanich, M. (2010). Preparation and characterization of carbon nanoparticles from cassava starch by hydrothermal method. *Journal of Materials Science*, 45(5), 117–124.
- Ryu, J., Suh, Y., & Park, S. (2010). Hydrothermal preparation of carbon nanoparticles from biomass. *Carbon*, 48(6), 1990–1998.
- Salihati, A., & Ardhyanta, H. (2013). *Analisis kandungan karbon bambu untuk aplikasi material*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Waluyo, T., Hidayat, T., & Susanto, A. (2013). *Sintesis nanopartikel dengan metode High Energy Milling*.

Jurnal Rekayasa Material, 2(1), 45–51.

Wang, X., Zhuang, J., Peng, Q., & Li, Y. (2001). A general strategy for nanocrystal synthesis. *Nature*, 437(7055), 121–124.

Widjaja, E. A. (2001). *Identikit Jenis-Jenis Bambu di Jawa*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi-LIPI.