

Characterization of Activated Carbon from Pyrolysis Process of Bamboo Base Waste (*Dendrocalamus asper*)

Karakteristik Arang Aktif Hasil Pirolisis Limbah Pangkal Bambu Betung (Dendrocalamus asper)

Tunjung Wahyu Widayati^{a,1,*}, Danang Jaya^{a,2}, Anantyto Danujatmiko^{a,3}, Bagus Drajat Trimulyo^{a,4}

^aTeknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur Yogyakarta 55283

¹ tunjung@upnyk.ac.id; ² danangjay@upnyk.ac.id; ³ danujatmiko@gmail.com

* corresponding author

ARTICLE INFO

Article history

Received February 18, 2020

Revised June 24, 2020

Accepted June 24, 2020

Keywords

Betung bamboo
Activated carbon
Adsorption
Pyrolysis

ABSTRACT

Bamboo is one type of grass that is part of non-timber forest products. The chemical properties of bamboo contain cellulose, lignin, pentosan, ash, and silica. To make charcoal from bamboo it is necessary to go through a pyrolysis process. Pyrolysis is a process of thermal decomposition carried out in an inert condition. Pyrolysis gradually encourages the formation of secondary reactions, where after a process occurs, recombination occurs which will produce secondary charcoal. Pyrolysis at high temperatures can cause activated charcoal, which is caused by cracking on the surface of the charcoal thereby increasing the surface area of the charcoal. BET analysis is needed to find out the adsorption power of gas molecules on the surface and to the basis for analysis techniques that are important in the measurement of a certain surface area of the material. The ability of activated charcoal to absorb liquid N₂ is carried out at 77K with the GSA Quantachrome NovaWin. The largest surface area was obtained in this study at a temperature of 800 °C with pyrolysis time for 3 hours which resulted in a surface area value of 343.9424 m²/g of activated carbon. Based on this research, it can be concluded that higher temperatures and the longer pyrolysis time of pyrolysis, the higher value of the surface area that is produced at a certain temperature and time until the carbon pores are damaged.

This is an open access article under the CC-BY-SA license.



1. Pendahuluan

Pada berbagai industri yang berkembang di Indonesia, sering muncul masalah yang berkaitan dengan pemurnian gas, seperti gas beracun, bau busuk, dan asap pada industri gas dan pengolahan LNG, bau pada industri obat dan makanan, warna dan rasa yang tidak enak pada industri minuman, serta adanya polutan pada industri pengolahan air. Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85% - 95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Selain dapat dipakai untuk mengatasi permasalahan industri, karbon aktif dapat juga digunakan sebagai penyimpanan gas (*gas adsorptive storage*).

Selama ini pengembangan pembuatan karbon aktif sudah dilakukan dengan menggunakan batubara (*bituminous coal*) dan material organik dengan kandungan karbon yang tinggi seperti tempurung kelapa, serat kayu, dan limbah agrikultur seperti bambu. Bambu merupakan salah satu jenis rumput-rumputan yang termasuk ke dalam famili *Gramineae* dan merupakan bagian dari komoditas hasil hutan bukan kayu. Bambu sangat potensial sebagai bahan substitusi kayu karena rumpunan bambu dapat terus berproduksi selama pemanenannya terkendali dan terencana. Dari

kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 negara, sekitar 200 spesies dari 20 negara ditemukan di Asia Tenggara, sedangkan di Indonesia ditemukan sekitar 60 jenis. Tanaman bambu Indonesia ditemukan di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 300 mdpl. Pada umumnya ditemukan di tempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air.

Beberapa komposisi kimia bambu meliputi kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, dan silika. Kadar selulosa berkisar antara 42,4% - 53,6%, lignin 19,8% - 26,6%, pentosan 1,24% - 3,77%, abu 1,24% - 3,77%, dan silika 0,1% - 1,78% [1]. Dari komposisi lignoselulosa yang banyak mengandung karbon tersebut terlihat bahwa bambu memiliki kriteria sebagai bahan dasar dari karbon aktif. Kriteria lainnya yaitu bambu sudah cukup tua dengan umur 4 tahun, kandungan air rendah 15% - 20%, mudah merengkah sehingga bambu mudah terdekomposisi [2]. Pada penelitian ini akan digunakan bambu betung dari Desa Brajan, Minggir, Sleman sebagai bahan pembuatan karbon aktif. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi luas permukaan, kondisi ini dapat menurun setelah mencapai titik optimum. Suhu maksimum untuk mendapatkan luas permukaan yang besar berada pada suhu 700 °C [3].



Gambar 1. Bambu Betung

Pirolisis adalah suatu proses pemanasan suatu padatan dengan mengkondisikan lingkungan tanpa kehadiran oksigen untuk membuat produk gas (umumnya CO₂, H₂, CO, CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, Benzene, dan lain sebagainya), produk cair (tar, air, dan hidrokarbon rantai panjang), dan padatan (arang). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis adalah suhu, waktu pirolisis, laju pemanasan, tekanan, jenis bahan baku, ukuran partikel [4]. Penelitian ini menggunakan kondisi suhu pirolisis 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C dan waktu pirolisis 1 dan 3 jam.

2. Metodologi

Metode BET bertujuan untuk menjelaskan adsorpsi secara fisika dari molekul-molekul gas pada permukaan dan menjadi landasan untuk analisis yang penting pada pengukuran luas daerah permukaan tertentu dari sebuah material. Adsorpsi *multilayer* disajikan pada Gambar 2. Berikut persamaan BET:

$$\frac{1}{W\left(\left(\frac{P}{P_o}\right)-1\right)} = \frac{1}{WmC} + \frac{(C-1) P}{WmC P_o} \quad (1)$$

$$\frac{1}{W\left(\left(\frac{P}{P_o}\right)-1\right)} = \frac{1}{WmC} + \frac{\left(C \frac{P}{P_o} - \frac{P}{P_o}\right)}{WmC} \quad (2)$$

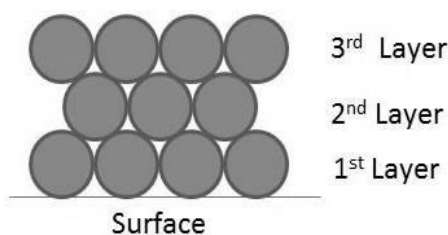
$$\frac{1}{W\left(\left(\frac{P}{P_o}\right)-1\right)} = \frac{1 + \frac{P}{P_o}(C-1)}{WmC} \quad (3)$$

$$\frac{1}{W_m} = \frac{C}{W \left(\left(\frac{P}{P_o} \right) - 1 \right) \left(1 + \frac{P}{P_o} (C - 1) \right)} \quad (4)$$

$$W_m = \frac{1}{\frac{C}{W \left(\left(\frac{P}{P_o} \right) - 1 \right) \left(1 + \frac{P}{P_o} (C - 1) \right)}} \quad (5)$$

$$St = \frac{W_m N A c_s}{M} \quad (6)$$

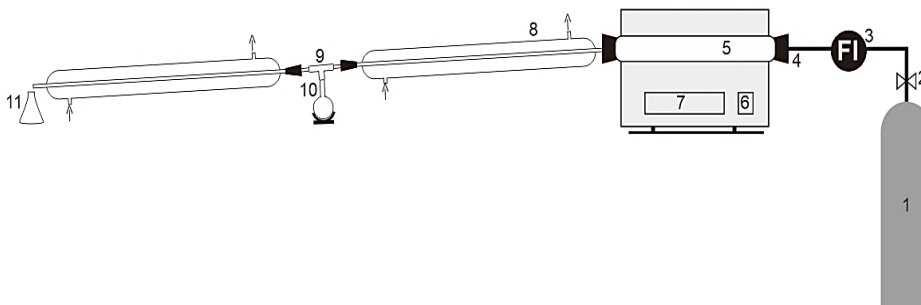
$$S_g = \frac{St}{w} \quad (7)$$



Gambar 2. Adsorpsi multilayer

2.1. Alat dan Bahan

Rangkaian alat pirolisis yang digunakan disajikan pada Gambar 3. Alat yang digunakan adalah *mesh Screener*, cawan porselen, uantachrome Nova, dan *analytical balance*. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: limbah bambu betung bagian pangkal dan gas N_2 .



Keterangan:

1. Tabung N_2 , 2. *Regulator valve*, 3. Rotameter, 4. Karet penyumbat, 5. Tabung *furnace*, 6. Saklar, 7. Panel informasi *furnace*, 8. Kondensator, 9. Adaptor, 10. Labu, 11. Erlenmeyer

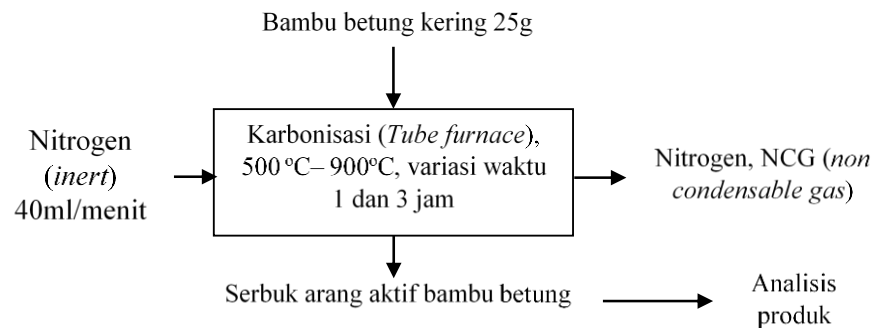
Gambar 3. Rangkaian Alat Pirolisis

2.2. Metode Penelitian

Bambu dipotong di bagian dekat akar lalu dibersihkan untuk menghilangkan kotoran dengan pisau parang dan sikat. Bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah bambu sisa pemotongan dengan gergaji mesin yang telah diayak dengan ukuran -30 mesh. Selanjutnya bambu betung dikeringkan dengan *muffle furnace* pada suhu 100°C dengan interval waktu 60 menit hingga konstan dengan tujuan untuk menghilangkan kadar airnya.

Sebanyak 150 gram bambu betung yang sudah diayak dengan ukuran -30 mesh, setelah itu dimasukkan ke dalam *furnace* secara bertahap dengan kapasitas *furnace* 25 gram per siklus, kemudian melakukan proses pirolisis di dalam *furnace* dengan suhu $500\text{-}900^\circ\text{C}$ selama 1 dan 3 jam.

Pirolisis dilakukan dengan mengalirkan gas N₂ sebesar 40 ml/menit selama 2 menit sebelum pirolisis dimulai, ini ditujukan untuk menghilangkan kandungan O₂ di dalam tabung *furnace*. Menganalisis kadar abu, kadar air dari arang aktif yang telah dikeringkan, serta menganalisis gugus fungsi yang ada pada adsorben dan pori-porinya dengan BET. Diagram alir proses pirolisis bambu betung disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses pirolisis bambu betung

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar Air Bambu Betung

Dari hasil pemanasan sampel bambu betung berukuran -30 mesh yang dilakukan pada suhu 100 °C dengan waktu 240 menit (60 menit per proses pemanasan) hingga dipastikan tidak terjadi penurunan massa. Tiga sampel dengan berat masing-masing 10 gram didapatkan rerata kadar air (%m) sebesar 18,0167%. Data kadar air disajikan pada Tabel 1. Kadar air dihitung berdasarkan perbandingan massa yang hilang terhadap massa sampel awal.

Tabel 1. Kadar air bambu betung

Sampel	Pemanasan 100 °C		Kadar air (%m)		Air teruapkan (gram)
	Awal (gram)	Akhir (gram)	<i>i</i>	Rerata	
1	10	8,2083	17,917	18,0167	1,7917
2		8,1835	18,165		1,8165
3		8,2032	17,968		1,7968

3.2. Luas Permukaan Arang Aktif Bambu Betung

Pirolisis dilakukan dengan variasi suhu dan waktu mulai dari suhu 500 °C hingga 900 °C dengan waktu 1 jam dan 3 jam untuk sampel suhu 800 °C. Pengambilan pirolisis pada waktu 3 jam hanya dilakukan untuk suhu 800 °C didasari oleh hasil pirolisis yang optimum pada penelitian lain yang menggunakan sampel pirolisis pohon bambu yaitu oleh Horikawa [5] dengan luas permukaan bambu sebesar 391 m²/g.

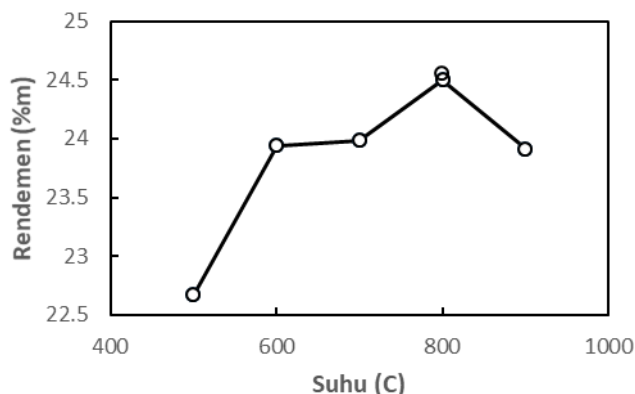
3.3. Rendemen Karbon Hasil Pirolisis Bambu Betung

Gambar 5 menunjukkan hasil arang pada setiap suhu dengan variasi waktu tinggal. Rendemen arang meningkat dari suhu 500 °C hingga 800 °C dan kemudian turun pada suhu 900 °C. Ini sesuai dengan teori yang diungkapkan oleh Zanzi R. [6], dengan judul *Pyrolysis of Biomass* yang menyebutkan bahwa tar yang dipanaskan lebih lanjut akan berubah menjadi karbon sehingga dapat menghindari terbentuknya abu apabila tidak dipanaskan lebih lanjut.

Penurunan *trend* grafik di suhu operasi 900 °C disebabkan oleh rusaknya karbon dari arang bambu betung yang meleleh sehingga *micropore* dan *mesopore*-nya lengket dan saling menutup. Ini ditunjukkan oleh turunnya % massa dari rendemen yang terhitung. Hasil maksimum dicapai pada suhu 800 °C dengan waktu pirolisis 1 jam dihasilkan rendemen sebesar 24,4988% dengan massa *fixed carbon* sebesar 6,1247 gram dari massa sampel kering sebesar 25 gram.

3.4. Rendemen Tar Hasil Pirolisis Bambu Betung

Hasil tar yang paling banyak terjadi pada pirolisis suhu 500 °C dan 600 °C dengan volume tar 17 mL. Densitas rerata dari tar bambu didapatkan sebesar 1,1324 gram/mL, disajikan pada Tabel 2. Nilai ini mendekati densitas dari tar hasil pirolisis dari Vinod [7]. Di bukunya yang berjudul *Pavement Materials and Construction* yang bernilai dari 1,16 gram/mL sampai dengan 1,28 gram/mL untuk semua jenis tar.



Gambar 5. Grafik rendemen karbon bambu betung terhadap suhu pemanasan pirolisis

Pirolisis bambu betung dengan berbagai suhu dan waktu menghasilkan volume bambu yang berbeda-beda. Tar didapatkan dari zat volatil yang ada di bambu betung yang teruapkan dikarenakan titik didihnya yang rendah, sehingga tar dapat dilewatkan kondensator dengan tujuan untuk diubah fasanya menjadi cair. Pirolisis bambu betung pada suhu rendah lebih banyak menghasilkan tar daripada pirolisis dengan suhu yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi sekunder dari tar berat yang terjadi di dalam *furnace*. Tar berat terdekomposisi lagi menjadi arang seiring bertambahnya suhu. Tar yang tidak teruapkan akan tetap di dalam *furnace* dan mengering menjadi padatan karbon ketika suhu ruangan. Hal ini terjadi karena didukung oleh penyusunan tabung *furnace* yang dijaga tidak terlalu tajam menukik ke bawah, sehingga tar dapat tertahan di dalam *furnace* untuk meningkatkan *fixed carbon*-nya.

Tabel 2. Data volume, berat dan densitas dari tar hasil pirolisis bambu betung

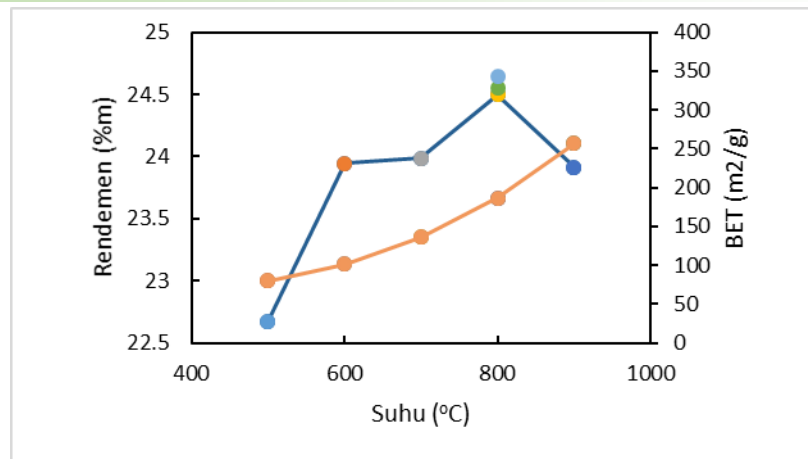
Sampel		Tar		Densitas (g/mL)	
Suhu (°C)	Waktu (jam)	Volume (mL)	Berat (gram)	<i>i</i>	Rerata
500	1	17	19,242	1,1319	
600	1	17	19,243	1,1319	
700	1	15	17,03	1,1353	
800	1	12	13,584	1,1320	1,1324
900	1	9	10,188	1,1320	
800	3	9.5	10,745	1,1311	

3.5. Analisis Luas Permukaan Arang

Analisis luas permukaan arang dilakukan pengujian GSA dengan alat Quantachrome NovaWin, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data luas permukaan spesifik dari arang aktif bambu betung hasil pirolisis

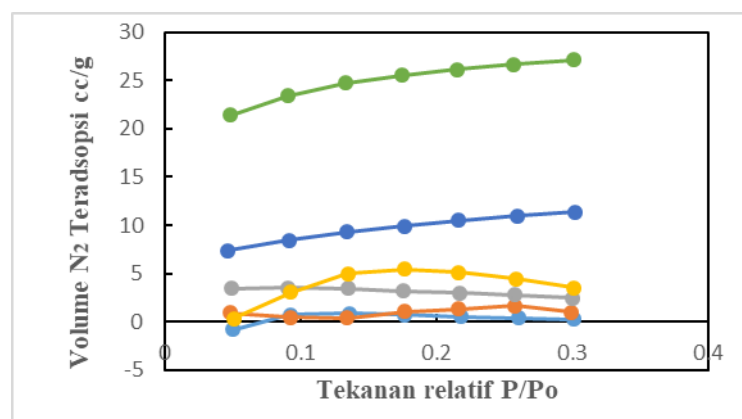
Suhu (°C)	Waktu (jam)	Luas permukaan (m ² /g)
500	1	79,8183
600	1	101,0165
700	1	135,7743
800	1	186,41894
900	1	256,8396
800	3	343,9424



Gambar 6. Grafik suhu pirolisis terhadap rendemen dan luas permukaan spesifik arang aktif hasil pirolisis

Secara umum hubungan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi adalah linier, yang artinya semakin besar luas permukaan dengan cara membuka pori-pori yang tertutup tar, hidrokarbon dan zat-zat organik lainnya maka kapasitas adsorpsi akan semakin besar juga [8] [9].

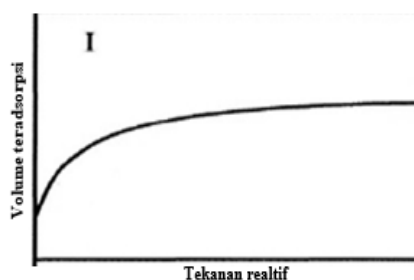
Luas permukaan paling besar didapatkan pada keadaan optimum sama seperti penelitian terdahulu yaitu pada suhu 800 °C dengan waktu pirolisis selama 3 jam yang menghasilkan nilai luas permukaan sebesar 343,9424 m²/g karbon bambu betung tersaji pada Gambar 6. Nilai ini sedikit dibawah luas permukaan bambu hasil penelitian [5] Horikawa yang menghasilkan luas permukaan 391 m²/gram karbon bambu betung.



Gambar 7. Grafik N₂ teradsorpsi pada arang aktif terhadap tekanan relatif

Gambar 7 menunjukkan nilai (kemampuan) volume N₂ yang teradsorpsi pada permukaan arang bambu betung. Nilai N₂ yang teradsorpsi mempunyai *trend* yang naik sejalan dengan naiknya tekanan relatif. Pada waktu pirolisis 3 jam menunjukkan adanya kenaikan yang signifikan pada nilai N₂ yang teradsorpsi. Hal ini sesuai dengan teori adanya pengaruh waktu pirolisis pada pembentukan pori-pori arang [10] [11].

Kondisi pirolisis dengan suhu 800 °C dan waktu pirolisis 3 jam menunjukkan nilai optimum pada kapasitas karbon untuk menyerap Nitrogen. Titik optimumnya berada pada tekanan relatif 0,300521 dengan kemampuan adsorpsi sebesar 27,1036 cm³/g karbon bambu betung. Garis suhu adsorpsi Nitrogen pada 77 K untuk arang bambu betung hasil pirolisis pada berbagai suhu dan waktu identik dengan garis suhu adsorpsi fisik IUPAC, bentuk garis dapat dikategorikan dalam jenis I seperti terlihat pada Gambar 8, yang artinya struktur pori didominasi oleh pori-pori mikro.



Gambar 8. Grafik adsorpsi jenis I

4. Kesimpulan

Semakin tinggi suhu pirolisis dan waktu pirolisis maka *fixed carbon* yang didapatkan akan semakin banyak, hal ini sesuai dengan titik optimum dari penelitian ini pada suhu 800 °C dengan waktu pirolisis selama 3 jam. Kapasitas adsorpsi karbon terhadap N₂ pada suhu 77 K optimum pada luas permukaan maksimum yang terbentuk yaitu pada kondisi operasi suhu 800 °C dengan waktu pirolisis 3 jam.

Notasi

- C = Konstanta BET
 P_o = Tekanan uap jenuh gas yang diasorpsi pada suhu eksperimen (kPa)
 P = Tekanan total gas saat adsorpsi (kPa)
 W_m = Berat gas teradsorb untuk *monolayer* (g)
 W = Berat gas yang diadsorpsi pada tekanan P (g)
 N = Bilangan Avogadro = 6,022 x 10²³
 A_{cs} = Luas penampang satu molekul adsorbat (m²)
 M = Berat Molekul (g/gmol)
 w = Berat sampel (g)
 S_t = *Total surface area* (m²)
 S_g = Luas permukaan adsorben/berat adsorben (m²/g)

Daftar Pustaka

- [1] Krisdianto, "Analisa sifat-sifat arang dari tiga jenis bambu", Warta Balai Industri Banjarbaru, Vol. XXII No. 2, Desember 2007
- [2] Shexue, Jiang, "Taining manual of bamboo charcoal for producers and consumers", Nanjing: Nanjing Forestry University, 2004.
- [3] Pujiyanto, "Pembuatan karbon aktif super dari batubara dan tempurung kelapa", Tesis FT UI Dept. Teknik Kimia Depok, 2010.
- [4] Luo, S., Feng, Y., "The production of fuel oil and combustible gas by catalytic pyrolysis of waste tire using waste heat of blast-furnace slag", *Energy Convers, Manag.* 136, 2017, 27-35.
- [5] Horikawa, "Humidity control capacity of activated carbon from bamboo", Dept. of Advanced Materials University of Tokushima and Dept. of Chemical, Energy and Environmental Engineering Kansai University Japan, 2010.
- [6] Zanzi R., "Pyrolysis of biomass: rapid pyrolysis at high temperature slow pyrolysis for active carbon preparation", KTH Royal Institute of Technology, 2001.
- [7] Vinod B. R., "Pavement materials and construction", BMS Institute of Technology and Management, 2010.
- [8] Albright, Lyle F, "Albright's chemical engineering handbook", CRC Pressm, Boca Raton, 2009.
- [9] Ketaren, S., "Introduction of essential oil technology", Jakarta: Balai Pustaka, 1987, 01(19-20): 286-299.
- [10] Lua, A.C & Gio, J., "Allbright's chemical engineering handbook", USA: CRC (Press), 1998.

-
- [11] Wang Jun Fu-An, Meng W., N. Oium Yao L., S.Q. Fang, dan Xing J., "Preparation of activated carbon from a renewable agricultural residue of pruning mulberry shoot", African Journal of Biotechnology, Vol.9(19), 2010.
- [12] Ryu, Z., Zheng, J. Wang, M., Zhang, B., "Characterization of pore size distributions on carboneaceous adsorbents by DFT". Carbon 37: 1257-1264, 1999.