

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ARANG DARI LIMBAH BAMBU DENGAN AKTIVATOR $ZnCl_2$

Manuntun Manurung*, Oka Ratnayani, Rizgyandhaka Artha Prawira

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia

*manuntun_manurung@unud.ac.id

ABSTRAK: Bambu merupakan salah satu bahan baku pembuatan arang yang dapat diaktivasi secara fisika atau kimia untuk menghasilkan arang aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat dan mengkarakterisasi arang aktif dari limbah batang bambu dengan aktivator $ZnCl_2$. Penelitian diawali dengan membuat arang bambu melalui karbonisasi pada suhu $650^{\circ}C$ selama 90 menit. Kemudian arang diaktivasi dengan penambahan larutan $ZnCl_2$ dengan berbagai konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum aktivator $ZnCl_2$ adalah 0,02 M. Arang aktif yang diperoleh memiliki kadar air 5,00%, kadar zat mudah menguap 6,00%, kadar abu 7,33%, kadar karbon 81,67 %, daya serap terhadap Iod 1091,426 mg/g, dan daya serap *methylene blue* 198,724 mg/g. Karakteristik ini telah memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Luas permukaan arang aktif sebesar $737,74 \text{ m}^2/\text{g}$ dan keasaman permukaannya sebesar $0,5122 \text{ mmol/g}$. Analisis gugus fungsi terhadap arang aktif menunjukkan adanya gugus fungsi O-H, karbonil, alkuna, dan ester.

Kata kunci: aktivasi, karakterisasi, arang aktif, limbah bambu.

ABSTRACT: Bamboo can be used as a raw material for making carbon that can be activated physically or chemically to get activated carbon. The purpose of this research was to synthesize and characterize activated carbon from bamboo stem waste by using $ZnCl_2$ solution as activator. The research was started by preparing the bamboo carbon through carbonization at a temperature of $650^{\circ}C$ for 90 minutes. Activation was carried out by adding $ZnCl_2$ with various concentration ratios. The results showed that the optimum concentration of $ZnCl_2$ activator was 0.02 M. The activated carbon had a moisture content of 5.00%, volatile substance of 6.00%, ash content of 7.33%, carbon content of 81.67 %, iodine absorbtion capacity of 1091.426 mg/g, and methylene blue absorbtion capacity of 198.724 mg/g. These characteristics had met the SNI 06-3730-1995 standard about technical activated carbon. The surface area and surface acidity of this carbon was of $737.74\text{m}^2/\text{g}$ and 0.5122 mmol/g respectively. The functional group analysis of the activated carbon showed the presence of O-H, carbonyls, alkynes, and esthers.

Keywords: activation, characterization, activated carbon, bamboo stem waste.

1. PENDAHULUAN

Karbon aktif merupakan senyawa amorf yang diproduksi dari bahan mengandung karbon tinggi, melalui proses karbonisasi. Karbon aktif mempunyai kapasitas adsorpsi yang baik terhadap gas dan polutan dalam cairan sebab permukaannya yang luas. Karbon aktif saat ini sangat intensif digunakan sebagai adsorben, sebab kapasitas adsorpsinya tinggi dan stabil secara termal serta mudah didapatkan. Bahan baku yang digunakan untuk membuat karbon aktif dapat berupa limbah pertanian, batu bara, tempurung kelapa, bambu, dan lain-lain [1].

Pembuatan karbon aktif dilakukan melalui dua proses, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi melalui pemanasan pada suhu 300-800°C, dengan oksigen terbatas pada waktu tertentu. Arang yang dihasilkan dari proses karbonisasi memiliki sifat lentur, tetapi luas permukaannya rendah dan daya adsorpsinya sangat kecil. Oleh karena itu perlu dilakukan proses aktivasi untuk memperbesar luas permukaan dan membangun porositas.

Aktivasi dapat dilakukan secara fisika ataupun kimia. Secara fisika dilakukan dengan menggunakan suhu tinggi dan dialiri gas inert seperti CO₂, N₂ atau uap air. Sedangkan aktivasi kimia dilakukan melalui penambahan asam, basa atau garam seperti HCl, H₃PO₄, KOH, K₂CO₃, ZnCl₂ dan lain-lain [2].

Tujuan aktivasi pada arang adalah untuk menghilangkan atau melarutkan senyawa sisa hasil pemanasan yang terdapat pada pori-pori arang, yang menyebabkan daya adsorpsi arang menjadi kecil. Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Sifat proses adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang, menyebabkan padatan cenderung

menarik molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan [3].

Bambu merupakan salah satu tumbuhan berkeping satu (monokotil) dan masuk dalam keluarga rumput-rumputan family *Poaceae*. Dalam kondisi normal tinggi tanaman bambu berkisar antara 0,3-30 m, dengan diameter batang 0,25-25 cm dan ketebalan dindingnya mencapai 25 mm [4]. Penelitian kandungan kimia pada bambu yang telah dilakukan oleh Gusmailina dan Sumadiwangsa menunjukkan bahwa bambu memiliki kadar selulosa 42,2 % - 53,6 %, lignin 19,8% - 26,6 %, dan pentosan 1,24% - 3,77% [5].

Karbon aktif dapat ditingkatkan mutunya dengan aktivator seperti zink klorida (ZnCl₂). Pengaktifan karbon aktif dari biji jambu batu dengan aktivator ZnCl₂ dapat mengadsorpsi zat warna *Methylene Blue* sebesar 98%, sedangkan tanpa aktivator kimia hanya 50% [6]. Untuk karbon aktif dari bambu sendiri sudah ada yang melakukannya terlebih dahulu, Penelitian lain telah dilakukan untuk membuat arang aktif dari bambu apus (*Gigantochloa apus*) dengan aktivator H₃PO₄ 20%, didapatkan kadar karbon sebesar 83,40%. Daya serap terhadap *Methylene Blue* konsentrasi 1000 ppm sebesar 427,88 mg/g [7].

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan arang aktif dari limbah bambu dengan aktivator ZnCl₂ yang selanjutnya disingkat dengan ABAZ. Arang aktif yang di peroleh dikarakterisasi sesuai SNI 06 -3730 - 1995 tentang arang aktif teknis. Gugus fungsi ABAZ ditentukan dengan FTIR.

2. PERCOBAAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batang limbah bambu. Bahan-bahan kimia yang digunakan meliputi ZnCl₂ (p.a), kertas saring, aquades, zat warna *Methylene Blue*, Na₂S₂O₃.5H₂O, amilum 1%, KI, Iodida dan indikator *penolphthalein*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, penyaring *stainless* 200 mesh (0,074 mm), cawan porselin, kaca arloji, oven, desikator, mortar, *magnetic stirrer*, pH meter, alat - alat gelas, buret, statif, klem, *stopwatch*, tanur, Spektrofotometer FTIR Shimadzu Prestige-1, Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800 dan AAS Shimadzu AA-7000.

2.2 Metode

Preparasi Sampel Batang Limbah Bambu

Sampel limbah bambu dipotong kecil-kecil hingga ukuran ± 1 cm, lalu limbah bambu dicacah agar ukurannya menjadi lebih kecil. Sampel dicuci kembali dengan air hingga bersih, dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C hingga bobot konstan.

Karbonisasi Limbah Bambu

Ditimbang 1000 gram sampel kering dikarbonisasi selama 90 menit dalam tanur tertutup pada suhu 650°C . Sampel yang telah menjadi arang didinginkan dalam desikator dan ditimbang untuk menentukan persentase rendemen [7].

Aktivasi Arang

Sampel hasil karbonisasi digerus hingga halus dan diayak dengan penyaring *stainless* 200 mesh. Hasil ayakan dibagi menjadi dua dan diberi kode sampel B_0 dan B_A . Sampel arang dengan kode B_0 sebagai pembanding dan tidak diaktivasi kimia, sedangkan kode B_A diaktivasi ZnCl_2 . Ke dalam 4 buah Erlenmeyer 100 mL, ditimbang masing-masing 10 g arang, serta masing-masing variasi ditambahkan 25 mL ZnCl_2 dengan konsentrasi 0,02 M; 0,04 M; 0,08 M dan 0,12 M. Campuran tersebut didiamkan selama 4 jam sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*, kemudian disaring dan dibilas dengan aquades hingga diperoleh pH netral.

Masing-masing sampel arang dengan kode B_0 dan B_A dipanaskan dalam tanur pada

suhu 900°C selama 1 jam. Arang aktif yang terbentuk didinginkan hingga mencapai suhu ruangan. Konsentrasi Zn sisa dalam filtrat ditentukan dengan AAS.

Karakterisasi Arang Aktif

Prosedur analisis arang aktif mengacu pada Standar Nasional Indonesia 06 – 3730 – 1995 tentang arang aktif teknis [8]

Penentuan Keasaman Permukaan Arang Teraktivasi dan Tanpa aktivasi

Ditimbang masing-masing 1 gram arang teraktivasi ZnCl_2 konsentrasi 0,02 M; 0,04 M; 0,08 M; dan 0,12 M dan tanpa aktivasi. Kemudian dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan 15 mL NaOH 0,1 M. Diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Masing-masing campuran arang B_A ZnCl_2 dan B_0 dengan NaOH ditambahkan 3-4 tetes indikator pp 0,2% lalu dititrasi dengan HCl 0,1 M dari warna merah muda menjadi tidak berwarna. Dicatat volume HCl yang digunakan. Situs asam permukaan yang paling tinggi digunakan sebagai arang bambu teraktivasi ZnCl_2 (ABAZ).

Kadar Air

Ditimbang 1 g ABAZ dan arang B_0 , lalu ditempatkan dalam cawan yang telah diketahui massanya lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C hingga diperoleh massa konstan, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar air (K.A.) dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air} = \frac{(a-b)}{a} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana a adalah massa sebelum pengeringan dan b adalah massa setelah pengeringan.

Kadar Zat Mudah Menguap

Sebanyak 1 g ABAZ dan arang B_0 yang telah diuji kadar airnya ditimbang kemudian dipanaskan dalam tanur 900°C selama 15 menit dan selanjutnya didinginkan dalam

desikator lalu ditimbang. Kadar zat mudah menguap (KZMM) dihitung dengan rumus:

$$\text{KZMM} = \frac{(b-c)}{b} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana b adalah massa bahan awal (g) dan c adalah massa setelah penentuan kadar air (g)

Kadar Abu Total

Ditimbang 1 g ABAZ dan arang B₀ yang telah diuji kadar air dan kadar zat mudah menguapnya dimasukkan ke dalam tanur dan diabukan pada suhu 650°C selama 4 jam, lalu didinginkan dalam desikator. Abu yang terbentuk ditimbang. Kadar abu total (KAT) dihitung dengan rumus:

$$\text{KAT} = \frac{(d)}{a} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana a = massa sebelum pengabuan
d = massa setelah pengabuan

Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat dalam arang aktif limbah bambu adalah selisih dari hasil proses pengurangan kadar air, kadar zat mudah menguap, dan kadar abu total. Kadar karbon terikat (KK) dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{KK} = 100\% - (\text{kadar air} + \text{kadar zat mudah menguap} + \text{kadar abu total}) \quad (2.4)$$

Daya Serap terhadap Iod

Ditimbang 0,25 g 1 g ABAZ dan arang B₀, kemudian ditambahkan 25 ml larutan iodium 0,125 M. Campuran diaduk selama 15 menit lalu erlemeyer ditutup dan disimpan ditempat yang gelap selama 2 jam. Campuran disaring, lalu filtratnya dipipet 10 mL dan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer yang bersih dan dititrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ hingga larutan berwarna kuning muda. Sebanyak 1 mL indikator amilum 1% ditambahkan pada filtrat dan

titrasi dilanjutkan sampai warna biru tepat hilang. Volume larutan Na₂S₂O₃ yang digunakan dicatat dan dihitung daya serap arang aktif terhadap iodin dalam mg/g.

Daya Serap terhadap Methylene Blue dan Luas Permukaan Arang Limbah Bambu

Ditimbang ABAZ dan arang B₀ sebanyak 0,5 gram yang ditempatkan dalam Erlenmeyer 100 mL dan ditambahkan larutan Methylene Blue sebanyak 50 mL konsentrasi 2000 ppm. Campuran diaduk dengan magnetic stirrer selama 240 menit. Setelah itu, campuran disaring, lalu diukur absorbansinya. Nilai absorbansi yang diperoleh, diukur dengan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800 pada λ_{max} Methylene Blue yaitu 664,5 nm.

Gugus Fungsi

Arang aktif yang menunjukkan karakteristik terbaik dibandingkan dengan arang tanpa aktivasi dianalisis spektra infra merahnya sehingga dapat diketahui gugus-gugus fungsinya. Analisis spektroskopi infra merah dalam penelitian ini menggunakan Spektrofotometer FT-IR Shimadzu Prestige-1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbonisasi Limbah Bambu

Limbah bambu sebanyak 1000 gram dipanaskan dalam tanur pada suhu 650°C selama 90 menit dihasilkan arang sebanyak 274,7 g dengan rendemen sebesar 27,47 %. Arang limbah bambu diayak menggunakan ayakan stainless berukuran 200 mesh untuk mendapatkan ukuran yang homogen.

Karakterisasi Arang Bambu

Karakterisasi arang teraktivasi ZnCl₂ (B_A) dan tanpa aktivasi (B₀) yang dilakukan meliputi situs keasaman permukaan, kadar air (KA), kadar zat mudah menguap

(KZMM), kadar abu total (KAT), kadar karbon terikat (KK), daya serap terhadap iod, daya serap terhadap MB serta gugus fungsinya.

Penentuan Keasaman Permukaan dan Jumlah Situs Aktif

Perlakuan ini dilakukan dengan metode titrimetri. Situs asam dari arang aktif direaksikan dengan NaOH berlebih dan sisa dari OH yang tidak bereaksi dengan situs asam adsorben direaksikan dengan HCl 0,1 M. Hasil yang diperoleh untuk berbagai konsentrasi aktivator disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil yang didapatkan, arang B_A dengan konsentrasi ZnCl₂ 0,02 M mempunyai jumlah situs aktif tertinggi dan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Tabel 1. Keasaman Permukaan Arang Aktif

Sampel (M)	Ka rata-rata (mmol/g)	Jumlah situs aktif (10 ²⁰ atom/g)
B ₀	0,4156 ± 0,0239	2,5019
B _A 0,02 M	0,5122 ± 0,0221	3,0834
B _A 0,04 M	0,4917 ± 0,0264	2,96
B _A 0,08 M	0,4741 ± 0,0152	2,8541
B _A 0,12 M	0,3834 ± 0,0309	2,3081

Kadar Air

Penentuan kadar air bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis dari arang aktif. Kadar air yang ditunjukkan oleh ABAZ lebih besar dibandingkan dengan arang B₀, yaitu sebesar sebesar 3,67% dan 5,00%. Dengan demikian kedua jenis arang tersebut telah memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995 tentang kadar air arang aktif teknis dalam bentuk serbuk yang baik memiliki kadar karbon maksimal 15%.

Kadar Zat Mudah Menguap

Kadar zat mudah menguap merupakan kandungan senyawa yang mudah menguap selain air pada arang aktif [9]. Berdasarkan Tabel 2, ABAZ memiliki kadar zat mudah menguap paling rendah, yaitu 6%, sedangkan arang B₀ sebesar 6,23%. Perbedaan kadar zat mudah menguap antara kedua arang tersebut, dapat disebabkan oleh terbentuknya gugus fungsi pada saat aktivasi menggunakan ZnCl₂. Peningkatan kadar zat mudah menguap diperkirakan akibat putusannya ikatan atom-atom seperti oksigen, nitrogen dan hidrogen pada gugus-gugus yang terbentuk dan menguap akibat pemanasan yang diberikan [10]. Dengan ini, kadar zat mudah menguap rata-rata arang aktif yang dihasilkan dari kedua arang tersebut telah memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995 tentang kadar zat mudah menguap arang aktif teknis, yaitu maksimal 25%.

Kadar Abu Total

Penentuan kadar abu total bertujuan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam arang aktif. Kadar abu total arang aktif merupakan sisa yang tertinggal pada saat arang dibakar pada suhu 600⁰C-900⁰C selama 3 - 16 jam [11].

Berdasarkan Tabel 2, ABAZ dan B₀ memiliki kadar abu sebesar 7,33%. Menurut SNI 06 - 3730 - 1995 tentang arang aktif teknis, arang aktif dalam bentuk serbuk memiliki kadar abu total maksimal sebesar 10%. Dengan demikian, kadar abu total dalam kedua jenis arang tersebut telah memenuhi baku mutu kadar abu total arang aktif.

Kadar Karbon Terikat

Penentuan kadar karbon terikat pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kadar karbon murni yang terkandung dalam arang aktif. Fraksi karbon dalam arang aktif merupakan hasil dari proses pengarangan

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik ABAZ dan B₀ dengan Baku Mutu SNI 06 –3730 – 1995 Tentang Arang Aktif Teknis

Karakteristik	Arang B ₀	ABAZ	SNI
Kadar Air (%)	3,67 ± 0,5773	5,00 ± 1	Mak 15
Kadar Zat Mudah Menguap	6,23 ± 1,0017	6,00 ± 0,6083	Mak 25
Kadar Abu Total (%)	7,33 ± 0,5748	7,33 ± 0,5748	Mak 10
Kadar Karbon (%)	82,44	81,67	Min 65
Daya Serap iod (mg/g)	1015,28 ± 25,3819	1091,426 ±	Min 750
Daya Serap MB (mg/g)	104,4226	198,724	Min 120
Luas Permukaan Arang Aktif	387,09	737,74	-

selain air, abu, dan zat mudah menguap. Sehingga kadar karbon dapat ditentukan dalam perhitungan melalui selisih presentase total dari arang aktif [12].

Kadar karbon terikat yang diperoleh untuk kedua jenis ABAZ dan B₀ yaitu sebesar 81,67% dan 82,44%. Berdasarkan Tabel 2, kedua jenis arang tersebut memenuhi baku mutu SNI 06 – 3730 – 1995 tentang arang aktif teknis, arang aktif dalam bentuk serbuk yang baik memiliki kadar karbon minimal 65%.

Penentuan Daya Serap terhadap Iod

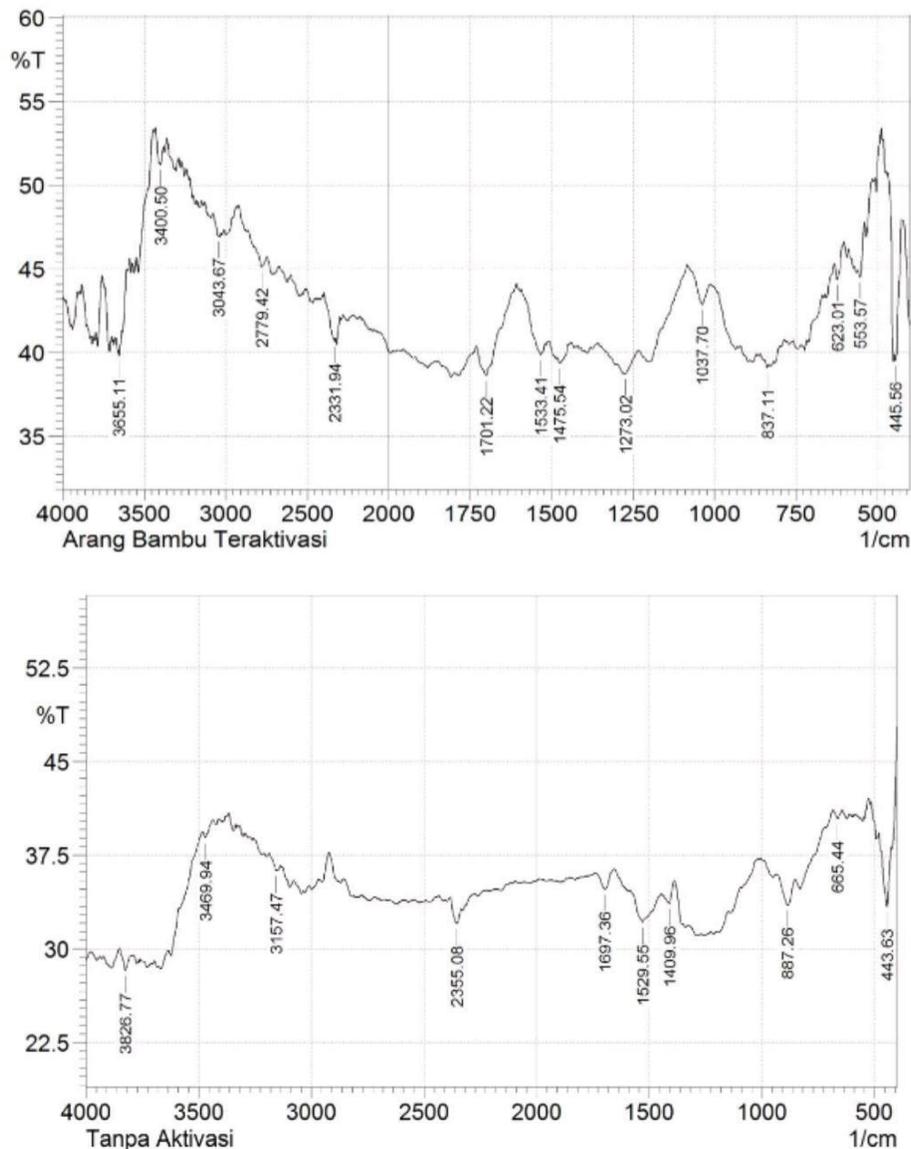
Penentuan daya serap terhadap iod bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 10 Å atau 1 nm. Daya serap iodin diperoleh dari analisis filtrat campuran iodin dan arang aktif [9].

Hasil perhitungan daya serap ABAZ dan B₀ masing-masing sebesar 1091,426 mg/g dan 989,898 mg/g yang mana keduanya telah memenuhi baku mutu arang aktif. Menurut SNI 06 – 3730 – 1995 tentang arang aktif teknis daya serap terhadap iod arang aktif dalam bentuk serbuk minimal 750 mg/g arang aktif.

Penentuan Daya Serap terhadap *Methylene Blue* dan Luas Permukaan Arang Limbah Bambu

Penetapan daya serap terhadap *Methylene Blue* bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap larutan berwarna yang berukuran 15-25Å atau 1,5–2,5 nm [9]. Panjang gelombang maksimum dari *Methylene Blue* yang digunakan adalah 664,5 nm. Arang aktif dalam bentuk serbuk yang baik memiliki daya serap *Methylene Blue* minimal 120 mg/g menurut SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Dari Tabel 2 terlihat bahwa daya serap ABAZ dan B₀ masing-masing sebesar 198,724 mg/g dan 104,4226 mg/g arang aktif terhadap *Methylene Blue* berbanding lurus dengan luas permukaan adsorben.

Kemudian didapatkan nilai luas permukaan arang aktif dengan metode *Methylene Blue* pada waktu 240 menit. Semakin luas permukaan adsorben, semakin besar kapasitas adsorpsinya. Banyaknya *Methylene Blue* yang dapat di adsorpsi akan sebanding dengan luas permukaan arang aktif tersebut. Untuk ABAZ dan B₀ masing-masing didapatkan 737,74 m²/g dan 387,09 m²/g. Kenaikan luas permukaan arang aktif ini disebabkan karena aktivator ZnCl₂ dapat melarutkan pengotor yang menutupi pori. Pengotor pada pori dapat menghambat proses adsorpsi, sehingga dengan melarutnya pengotor dari arang maka pori-porinya menjadi lebih terbuka dan pada akhirnya menambah situs aktif.



Gambar 1. Spektra FTIR ABAZ (atas) dan B₀ (bawah)

Hasil Analisis Gugus Fungsi

Gugus-gugus yang terdapat pada arang aktif dapat memberikan pengaruh pada karakter yang dimiliki oleh arang aktif. Saat proses aktivasi, terjadi reaksi kimia antara aktivator dengan arang sehingga memungkinkan terjadinya pembentukan gugus fungsi. Oleh karena itu, analisis spektra inframerah perlu dilakukan untuk

membandingkan gugus fungsi yang terdapat pada ABAZ dan B₀. Gambar spektra inframerah arang B_A ZnCl₂ 0,02 M dan B₀ dapat dilihat di bawah ini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut: konsentrasi

Tabel 3. Data Spektrum Inframerah ABAZ dan B₀

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Perkiraan Gugus Fungsi	
Arang B ₀	ABAZ	Arang B ₀	ABAZ
665,44	623,01	C-H luar bidang	C-H luar bidang
1697,36	1273,02	-C=C	Ester
2355,08	1475,54	-C≡N	CH ₃
3469,94	1701,22	OH terikat	C=O karbonil
	2331,94		alkuna
	2779,42		-COOH
	3043,67		-C-H aromatik
	3400,5		-OH terikat

optimum ZnCl₂ untuk mengaktivasi arang bambu adalah 0,02 M dengan karakteristik terbaik yaitu: kadar air 5,00%, kadar zat mudah menguap 6,00%, kadar abu 7,33%, kadar karbon 81,67 %, daya serap terhadap Iod 1091,426 mg/g, daya serap terhadap *methylene blue* 198,724 mg/g yang secara umum telah memenuhi baku mutu SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Sedangkan keasaman permukaannya sebesar 0,5122 mmol/g, luas permukaan didapatkan 737,74 m²/g, serta mempunyai gugus fungsi O-H, karbonil, alkuna dan ester.

5. DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Hesas, R. H., Niya, A. A., Mohd Ashri Wan Daud, Sahu, J. N. 2013. Preparation and Characterization of Activated Carbon from Apple Waste by Microwave-Assisted Phosphoric Acid Activation: Application in Methylene Blue Adsorption. *Bioresources* 8(2): 2950-2966.
- [2] Sunarsih, S., Hastutiningrum, S., Nisa, T. D. 2016. Activated Carbon from Jackfruit Peel Waste as Decolouring Agent of Screen Printing Waste Water. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. Yogyakarta.
- [3] Tandy, E. 2012. Kemampuan Adsorben Limbah Lateks Karet alam Terhadap Minyak Pelumas Dalam Air. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1 (2),
- [4] Winarto dan Ediningtyas. 2012. *Mau Tahu Tentang Bambu?*. Kementerian Kehutanan. Jakarta.
- [5] Gusmailina, dan Sumadiwangsa. 1988. Analisis Kimia Sepuluh Jenis Bambu dari Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 5(5): 290-293.
- [6] Rahman, I., A., dan Saad. B. 2003. Utilization of Guava Seeds as a Source of Activated Carbon for Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Malaysian Journal of Chemistry*, 5(1): 008 – 014.
- [7] Manurung, M., Sahara, S., Sihombing, P. 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Arang aktif dari Batang Bambu Apus (*Gigantochloa apus*) dengan Aktivator H₃PO₄. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 13 (1): 16-21
- [8] SNI. 1995. *SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- [9] Pari, G. 2009. Laporan Mengikuti 1St Asia Pasific Biochar Conference Gold Coast. Australia. 17-20 Mei 2009. Tidak diterbitkan.
- [10] Sudirjo, M. 2006. *Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Kacang Tanah (Arachis Hypogaeae) dengan Aktivator Asam Sulfat*. Laporan Tugas Akhir. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [11] Jankowska, H., Swiatkowski, A., dan Choma, J. 1991. *Active Carbon*. Horwood. London.
- [12] Sudrajat, R., dan Pari, G. 2011. *Arang Aktif: Teknologi Pengolahan dan Masa Depan*. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan: Bogor