

PREPARASI KARBON AKTIF LIMBAH KULIT UBI KAYU MENGGUNAKAN AKTIVASI NAOH BERBANTUAN GELOMBANG MIKRO

Chafiz Husin Sembiring*, Miftahul Husnah, Ratni Sirait

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Jl. Lap. Golf, Kp. Tengah, Kec. Pancur Batu, Kab. Deli Serdang, 20353 Indonesia.

*email: chafizsembiring@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH sebagai aktivator berbantuan gelombang mikro terhadap sifat fisis, luas permukaan dan gugus fungsi karbon aktif dari limbah kulit ubi kayu. Karbonisasi dilakukan menggunakan furnace pada temperatur 500°C selama 1 jam. Aktivasi karbon menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 2,0%, 2,5% dan 3%. Iradiasi menggunakan microwave dengan daya 630 Watt selama 20 menit. Analisis yang dilakukan meliputi uji kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon, luas permukaan menggunakan UV-Vis dan gugus fungsi menggunakan FTIR. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Konsentrasi NaOH mempengaruhi beberapa karakteristik arang aktif yang dihasilkan dari kulit ubi. Konsentrasi NaOH 3% menghasilkan arang aktif dengan karakter terbaik, dengan kadar air sebesar 6,93%, kadar zat mudah menguap sebesar 21,89%, kadar abu total sebesar 9,39%, kadar karbon sebesar 68,71%. Analisis luas permukaan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap luas permukaan dengan nilai berturut-turut 34,0605 m²/g, 34,6276 m²/g, 34,6590 m²/g. Pengujian gugus fungsi menunjukkan adanya gugus fungsi OH hydroxyl, C=C aromatic, C-O carboxyl acid, C-H alkana, C-H aromatic, N-H amina, dan OH alcohols.

Kata Kunci: Kulit Ubi Kayu; Karbon Aktif; NaOH; Gelombang Mikro; FTIR

ABSTRACT

[Title: Active Carbon Preparation of Cassava Peel Waste Using Microwave Assisted NaOH Activation] This study aims to determine the effect of the concentration of NaOH as a microwave-assisted activator on the physical properties, surface area and functional groups of activated carbon from cassava peel waste. Carbonization was carried out using a furnace at a temperature of 500°C for 1 hour. Carbon activation using NaOH solution with various concentrations of 2.0%, 2.5% and 3%. Irradiation using a microwave with a power of 630 Watt for 20 minutes. The analysis carried out included testing of water content, ash content, volatile matter content, carbon content, surface area using UV-Vis and functional groups using FTIR. The results of this study indicate that the concentration of NaOH affects several characteristics of activated charcoal produced from sweet potato peels. Concentration of 3% NaOH produces activated charcoal with the best characters, with water content of 6.93%, volatile matter content of 21.89%, total ash content of 9.39%, carbon content of 68.71%. Surface area analysis showed that the variation of NaOH concentration affected the surface area with values of 34.06 m²/g, 34.63 m²/g, 34.66 m²/g, respectively. Functional group testing showed the presence of functional groups OH hydroxyl, C=C aromatic, C-O carboxyl acid, C-H alkanes, C-H aromatics, N-H amines, and OH alcohols.

Keywords: Cassava Bark; Activated Carbon; NaOH; Microwave; FTIR

PENDAHULUAN

Ubi kayu merupakan makanan pokok nomor tiga di Indonesia setelah padi dan jagung. Tanaman ini memiliki daya adaptasi yang tinggi diberbagai jenis tanah sehingga dapat ditanam di seluruh wilayah Indonesia (Purwaningsih dkk. 2019). Kulit ubi kayu adalah salah satu limbah organik yang dihasilkan selama produksi olahan keripik singkong oleh industri rumahan (Maulida, 2015). Komponen kimia dan zat gizi pada kulit ubi kayu adalah protein 811 gram, serat kasar 15.2 gram, pektin 0.22 gram,

lemak 1.29 gram, dan kalsium 0.63 gram. Kulit ubi kayu atau ubi kayu merupakan limbah dari ubi kayu yang mengandung 59.31% karbon (Putri dkk., 2017).

Karbon aktif adalah karbon yang sudah mengalami aktivasi, sehingga luas permukaannya menjadi lebih besar karena jumlah porinya lebih banyak. Karbon aktif merupakan salah satu contoh zat kimia yang memiliki beberapa sifat spesifik, diantaranya porositas yang tinggi, luas permukaan yang besar, bersifat sangat aktif dan mampu menyerap apa saja yang berkontak dengan karbon

aktif tersebut (Irnameria, 2020). Dalam papirus Mesir yang berasal dari tahun 1550 SM ditemukan kutipan pertama dari penggunaan arang untuk adsorpsi uap yang berbau dari luka yang membusuk dan saluran usus (Farhan & Akta, 2011).

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahapan yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi (Suprabawati dkk., 2018). Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi (Barus, 2017). Karbonisasi merupakan proses pembakaran zat organik menggunakan suhu tinggi (Rdhuan, 2016). Proses ini mengakibatkan zat organik penyusun struktur material terpecah menjadi tar, uap asam asetat, dan hidrokarbon (Putri, 2017). Temperatur pada karbonisasi adalah parameter yang sering dipakai dalam melihat pengkarbonan yang baik, hingga diperoleh karbon aktif yang berkualitas dan sesuai standar mutu yang telah ditetapkan (Lazulfa dan Sari, 2013). Aktivasi merupakan proses untuk memperbesar porositas dan surface area. Proses ini menghilangkan sebagian besar pori-pori yang telah terbentuk. Ukuran bahan sangat berpengaruh terhadap proses adsorpsi (Hutapea dkk., 2017).

Proses pemisahan antara molekul gas atau cairan yang diserap oleh suatu padatan adalah definisi dari adsorpsi. Tergantung pada prosedurnya, adsorpsi bisa dibagi pada kimia (chemisorb) ataupun fisika. Jenis dari adsorben dapat dibedakan melalui panasnya, reversibilitas ataupun tebal lapisannya (Astuti, 2018). Hukum *Lambert-Beer* digunakan untuk mengukur absorbansi pada panjang gelombang tertentu (Dachryanus, 2004).

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai daerah frekuensi antara 300 MHz sampai 300 GHz atau daerah panjang gelombang dari 1 m sampai dengan 0,1 cm. Gelombang mikro banyak digunakan dalam radar, sistem komunikasi dan juga untuk mempelajari struktur molekul dalam bahan (Sunarti, 2019). Penggunaan gelombang mikro pada pembuatan karbon aktif mengakibatkan waktu aktifasinya lebih cepat daripada aktivasi dengan cara konvensional (Farma, 2017).

Penelitian tentang NaOH sebagai aktivator pada proses pembuatan karbon aktif sudah dilakukan. Sahara dkk., (2017) menggunakan NaOH sebagai aktivator pada pembuatan karbon aktif dari batang tanaman gumitir dengan konsentrasi 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% dan 2.5%. Konsentrasi NaOH 2.5% menghasilkan arang aktif dengan karakter terbaik, dengan kadar air sebesar $1.25 \pm 0.15\%$, kadar zat mudah menguap sebesar $12.00 \pm 0\%$,

kadar abu total sebesar $5.33 \pm 0.58\%$, kadar karbon sebesar 81.41%, dan daya serap terhadap metilen biru sebesar $199,97 \pm 0.03$ mg/g. Hasil analisis spektrofotometer FTIR menunjukkan arang aktif mengandung gugus C-H alifatik, C=O, C=C aromatik, O-H ikatan hidrogen.

Berdasarkan kajian di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan preparasi karbon aktif dari kulit ubi kayu NaOH berbantuan gelombang mikro.

METODE

Penelitian mengenai pembuatan karbon aktif ini terdiri dari proses karbonisasi dan aktivasi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel karbon aktif yang berbahan dasar kulit ubi kayu.

Penyiapan Bahan

Kulit ubi kayu dicuci dengan air lalu dipotong-potong hingga berukuran 2 cm kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 1 jam.

Karbonisasi Kulit Ubi Kayu

Kulit ubi kayu dikarbonisasi dengan suhu 500°C selama 1 jam untuk menghasilkan arang (karbon). Setelah itu, karbon kulit ubi kayu digerus dan disaring menggunakan ayakan ukuran 100 mesh.

Aktivasi Karbon

15 gram karbon kulit ubi kayu dan NaOH konsentrasi 2.0%, 2.5% dan 3.0% dimasukkan ke dalam aquades 150 ml kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 250 rpm dan suhu 200°C hingga kering. Karbon dimasukkan ke dalam *microwave* hingga teradiasi dengan daya 630 Watt selama 20 menit. Karbon kulit ubi kayu dibilas menggunakan aquades hingga pH netral. Kemudian karbon dimasukkan kembali ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 3 jam lalu didinginkan ke dalam desikator.

Karakterisasi Karbon Aktif

Prosedur pengujian sifat fisis mengacu pada SNI-06-3730-1995 tentang arang aktif teknis.

Kadar Air

Sebanyak 2 gram sampel karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselen yang sebelumnya sudah ditimbang, kemudian diletakkan di dalam oven yang bersuhu 115°C selama 3 jam.

Kadar Zat Menguap

Sampel karbon aktif yang sudah diketahui bobotnya dimasukkan kedalam cawan porselen berpenutup, selanjutnya dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 950 °C selama 6 menit.

Kadar Abu

Cawan yang berisi sampel karbon aktif tiap variabel yang sudah dilakukan pengukuran kadar air dan zat mudah menguapnya diletakkan dalam tanur, panaskan hingga suhu 800 °C selama 2 jam.

Kadar Karbon Terikat

Karbon aktif murni dilakukan dengan menghitung selisih antara seratus persen dengan nilai hasil penjumlahan kadar abu dan zat yang menguap.

Luas Permukaan

Karbon aktif sebanyak 0.25 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 100 ml larutan metilen biru dengan konsentrasi 100 ppm. Pengadukan dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 120 rpm selama 20 menit. Filtrat kemudian dianalisis menggunakan *UV-Vis*.

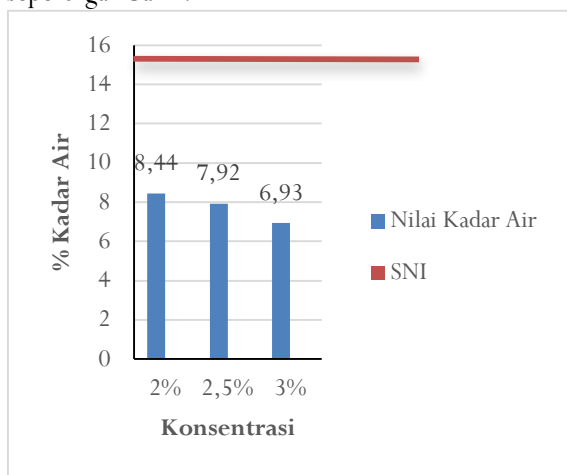
Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Karbon aktif dianalisis spektra infra merahnya sehingga dapat diketahui gugus fungsinya melalui puncak gelombang yang terbentuk. Panjang gelombang yang digunakan adalah 400 - 4000 cm⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kadar Air

Pengukuran kadar air dari karbon aktif limbah kulit ubi kayu didapatkan data grafik nilai kadar air seperti gambar 1.



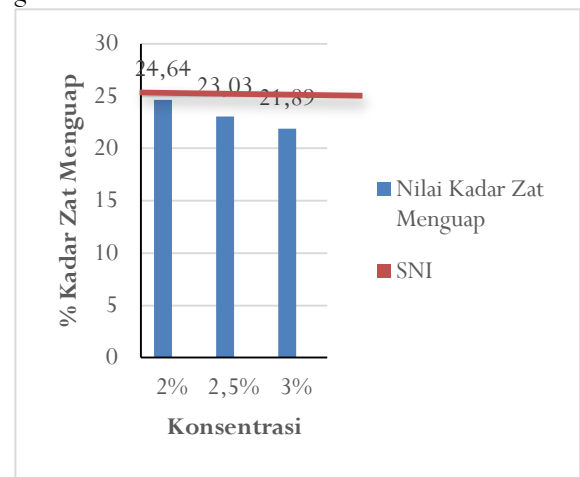
Gambar 1. Grafik Nilai Kadar Air

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi aktivator, maka kadar air cenderung semakin kecil. Pada konsentrasi 2% kadar air

mencapai 8,44%. Nilai tersebut semakin turun pada konsentrasi 2.5% yakni sebesar 7.92% dan pada konsentrasi 3% lebih kecil yaitu 6.93%. Perendaman dengan bahan pengaktif dilakukan untuk mengurangi kadar tar pada karbon, akibatnya semakin tinggi konsentrasi aktivator maka kadar tar akan berkurang namun permukaan karbon aktif juga akan semakin luas, dan menyebabkan kandungan air yang ada dalam pori-pori karbon akan lepas. Syarat mutu karbon aktif untuk kadar air yakni maksimum 15% (SNI 06-3730-1995), jadi hasil kadar air yang diperoleh pada penelitian ini sudah memenuhi syarat.

b. Kadar Zat Menguap

Berdasarkan hasil pengukuran zat menguap dari karbon aktif limbah kulit ubi kayu didapatkan data grafik nilai kadar zat mudah menguap seperti gambar 2.

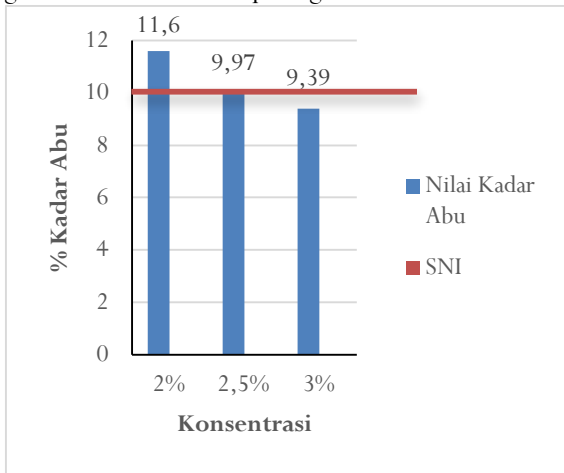


Gambar 2. Grafik Nilai Kadar Zat Menguap

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH maka kadar zat menguap semakin menurun. Kadar zat menguap yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan arang aktif mengandung zat menguap yang berasal dari hasil interaksi antara karbon dengan uap air. Kadar zat menguap yang dihasilkan oleh karbon aktif dengan konsentrasi 2% lebih rendah dari kadar zat menguap yang dihasilkan pada konsentrasi 2.5%. Kadar zat menguap tertinggi (24.64%) diperoleh dari karbon aktif dengan konsentrasi 2% dan kadar zat menguap terendah (21.89%) diperoleh pada konsentrasi 3%. Syarat mutu karbon aktif untuk kadar zat menguap menurut SNI 06-3730-1995 maksimum sebesar 25%, jadi kadar zat menguap pada masing-masing konsentrasi telah memenuhi syarat mutu karbon aktif.

c. Kadar Abu

Berdasarkan hasil pengukuran kadar abu dari karbon aktif limbah kulit ubi kayu didapatkan data grafik nilai kadar abu seperti gambar 3.



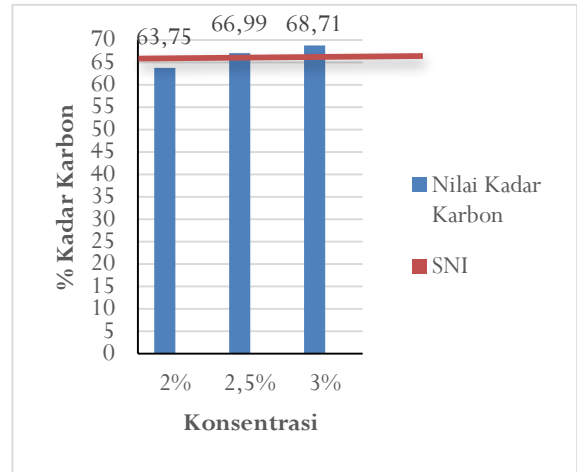
Gambar 3. Grafik Nilai Kadar Abu

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin berambahnya konsentrasi memiliki kecenderungan penurunan nilai kadar abu. Nilai kadar abu pada variasi NaOH yang berbeda pada sampel 2%, 2.5% dan 3% memiliki nilai masing-masing yaitu 11.60%, 9.97%, dan 9.39%. Nilai kadar abu paling rendah pada konsentrasi 3% sebesar 9.93%, sedangkan nilai kadar abu tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2% sebesar 11.6%. Hal ini dikarenakan bahwa semakin tinggi konsentrasi aktivator dapat memperluas permukaan karbon aktif kulit ubi kayu. Selama pembentukan pori, pada proses aktivasi terjadi pembakaran kristal yang akan menjadi abu, sehingga semakin banyak pori-pori yang terbentuk maka abu yang dihasilkan juga semakin banyak.

Dalam pengujian kadar abu ini, konsentrasi 2% memiliki nilai kadar abu lebih dari 10% sehingga tidak sesuai Standar Nasional Indonesia (1995), sedangkan untuk konsentrasi 2.5% dan 3% telah memenuhi SNI 06-3730-1995 sebagai syarat mutu karbon aktif.

d. Kadar Karbon Terikat

Berdasarkan hasil yang diperoleh, didapatkan hasil pengukuran kadar karbon terikat dari karbon aktif limbah kulit ubi kayu pada gambar 4.

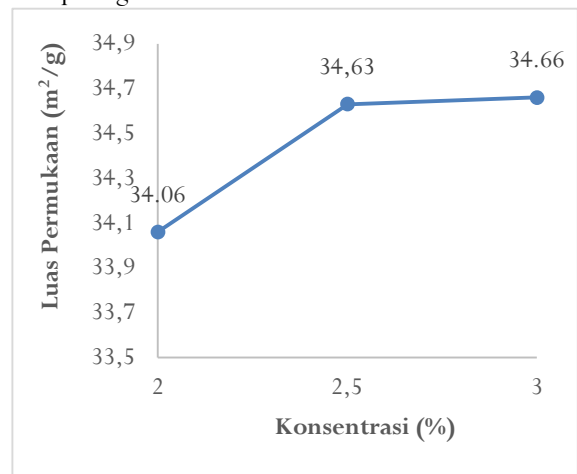


Gambar 4. Grafik Nilai Kadar Karbon Terikat

Gambar 4 dapat dilihat bahwa kadar karbon terikat yang dihasilkan oleh karbon aktif dengan konsentrasi 2% lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi 2.5% dan 3%. Besarnya kadar karbon sangat bergantung dari besarnya kadar abu dan kadar zat menguap. Apabila karbon aktif tersebut memiliki kadar abu dan kadar zat menguap tinggi maka kadar karbon akan semakin kecil, begitupula sebaliknya. Dalam pengujian tersebut dapat dilihat bahwa kadar karbon tertinggi diperoleh dari karbon aktif dengan konsentrasi 3% sebesar 68.71%, dan kadar karbon terendah diperoleh pada konsentrasi 2% sebesar 63.75%. Syarat mutu karbon aktif untuk kadar karbon menurut SNI 06-3730-1995 minimum sebesar 65%, jadi kadar karbon maksimum yang memenuhi syarat terdapat pada karbon aktif pada konsentrasi 2.5% dan konsentrasi 3%.

e. Luas Permukaan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan UV-Vis diperoleh nilai luas permukaan karbon aktif limbah kulit ubi kayu dengan menggunakan metilen biru pada gambar 5.

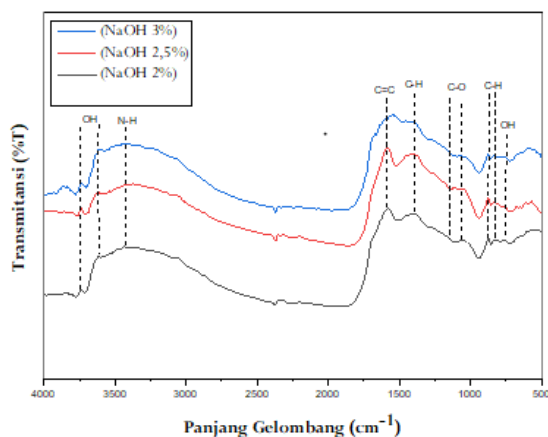


Gambar 5. Grafik Luas Permukaan Karbon Aktif Teraktivasi NaOH

Besar kecilnya permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Semakin besar luas permukaan karbon aktif maka, semakin banyak adsorbat yang akan diadsorpsi. Gambar 5 menunjukkan bahwa adanya pengaruh konsentrasi NaOH sebagai aktivator terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Penambahan konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap luas permukaan karbon. Semakin besar penambahan konsentrasi NaOH maka luas permukaan karbon semakin besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar permukaan pori pada karbon. Karbon aktif yang mempunyai luas permukaan terbaik pada adsorpsi *methylene blue* dalam hal ini adalah karbon aktif teraktivasi NaOH 3% mempunyai luas permukaan yang lebih tinggi yaitu $34.66 \text{ m}^2/\text{g}$ bila dibandingkan dengan luas permukaan karbon aktif teraktivasi NaOH 2% sebesar $34.06 \text{ m}^2/\text{g}$ dan luas permukaan karbon aktif teraktivasi NaOH 2.5% sebesar $34.63 \text{ m}^2/\text{g}$.

f. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Hasil analisis data dari yang terdifraksi memperlihatkan adanya unsur atau senyawa organik yang dibentuk dalam sampel dan dianalisis dengan alat karakterisasi *Fourier Transform-Infra Red* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Spektrum FTIR

Aktivasi dengan NaOH menghasilkan karbon aktif yang menunjukkan adanya senyawa-senyawa organik. Spektra yang ditunjukkan pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa arang aktif yang diaktivasi dengan natrium hidroksida memiliki 10 puncak serapan yang teridentifikasi. Vibrasi dari ikatan gugus fungsi OH *hydroxyl* terdapat pada bilangan gelombang 3612.67 cm^{-1} - 3736.12 cm^{-1} . Hasil pada bilangan gelombang 3373.5 cm^{-1} - 3442.94 cm^{-1} terdapat ikatan gugus fungsi N-H amina, Sedangkan gugus fungsi C=C *aromatic* terdapat pada bilangan gelombang 1543.05 cm^{-1} - 1579.70 cm^{-1} . Hasil Pada bilangan gelombang 1394.53 cm^{-1} - 1456.26

cm^{-1} terdapat gugus fungsi C-H *alkana*. Ikatan gugus fungsi C-O *carboxylic acid* terdapat pada bilangan gelombang 1064.71 cm^{-1} - 1282.66 cm^{-1} , sedangkan gugus fungsi OH *alcohols* terdapat pada bilangan gelombang 758.02 cm^{-1} - 761.88 cm^{-1} . Hasil Pada bilangan gelombang 819.75 cm^{-1} - 875.68 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan gugus fungsi C-H *aromatic*.

Hasil yang diperoleh dari semua karakterisasi, karbon aktif yang diaktivasi dengan NaOH pada konsentrasi 3% menunjukkan karakteristik yang paling baik dalam hal sifat fisis, luas permukaan, dan gugus fungsi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Konsentrasi NaOH mempengaruhi beberapa karakteristik arang aktif yang dihasilkan dari kulit ubi kayu. Konsentrasi NaOH 3% menghasilkan arang aktif dengan karakter terbaik, dimana kadar air sebesar 6.93%, kadar zat menguap sebesar 21.89%, kadar abu total sebesar 9.39%, kadar karbon terikat sebesar 68.71%. Variasi konsentrasi NaOH sebagai aktivator dalam pembuatan karbon aktif dari kulit ubi kayu berpengaruh terhadap luas permukaan. Hal ini ditunjukkan dari luas permukaan karbon aktif teraktivasi NaOH 2%, 2,5% dan 3% didapatkan berturut-turut $34.06 \text{ m}^2/\text{g}$, $34.63 \text{ m}^2/\text{g}$, $34.66 \text{ m}^2/\text{g}$. Hasil pengujian gugus fungsi menunjukkan bahwa variasi komposisi karbon aktif (aktivator NaOH) berdasar kulit ubi kayu menunjukkan adanya gugus fungsi OH *hydroxyl*, C=C *aromatic*, C-O *carboxyl acid*, C-H *alkana*, C-H *aromatic*, N-H amina, dan OH *alcohols*.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W. (2018). *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Semarang: Unnes Press.
- Barus, R. A. (2017). *Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (Aleurites mollucana L) Dengan Proses Pengaktifan Kimia H₃PO₄ Menggunakan Microwave*. Skripsi: Universitas Sumatera Utara.
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK).
- Farhan, & Akta, Z. (2011). *Activated Carbon For Water and Wastewater Treatment Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Turki: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- Farma, R. (2017). *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Srabut Tandan Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Dengan Variasi Aktivator KOH Berbantuan Iradiasi*

- Gelombang Mikro. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia* , Vol 14 No.05.
- Hutapea, E. M., Iwantono, Farma, R., Saktioto, & Awitdrus. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Dengan Aktivasi KOH Berbantuan Gelombang Mikro. *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia* , Jilid 14 No. 02.
- Irnameria, D. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian pada Suhu Karbonisasi 300°C Menggunakan Zat Aktivator Natrium Hidroksida dan Asam Sulfat. *Journal of Nursing and Public Health* , Jilid 8 No. 1.
- Lazulva, & Sari, W. W. (2013). Uji Kualitas Karbon Aktif dari Kulit Ubi Kayu (*Manihot Escuenta Crantz*). *Jurnal Photon* , Vol 3 No. 2.
- Maulinda, L. (2015). Pemanfaatan Kulit ubi kayu sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Journal of Nursing and Public Health* , Vol 4 No.2.
- Purwaningsih, D., Agus, B., Ariska, A., & Birar, T. (2019). Produksi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivasi Kimia Fisika Menggunakan Gelombang Mikro. *Jurnal Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya* , Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII.
- Putri, A. A., P, E. R., & R, F. (2017). Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan Suhu. *jurnal Konversi* , Jilid 6 No. 1.
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2016). Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro* , Vol. 5 No. 1.
- Sahara, E., Ni, K., & Ida, B. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Kimia* , Jilid 11 No.2.
- SNI. (1995). *SNI 06-3730-1995 Arang Aktif Teknis*. Jakarta: BSN.
- Sunarti, T. (2019). *Gelombang dan Optik*. Surabaya: JDS.
- Suprabawati, A., H. N., & Jasmansyah. (2018). Kulit Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) Sebagai Karbon Aktif dengan Berbagai Langkah Pembuatan untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal (Pb²⁺) dalam Air. *Jurnal Kartika Kimia* , Jilid 1 No.1.