



e-ISSN Number  
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

## Journal of Chemical Process Engineering

Volume 7 Nomor 2 (2022)



SINTA Accreditation  
Number 28/E/KPT/2019

### Karakterisasi Dan Modifikasi Karbon Aktif Dari Mahkota Nanas Sebagai Bioadsorben

*(Characterization and Modification of Activated Carbon from Pineapple Crown Waste as Bioadsorbant)*

Munira Munira\*, Muh. Arman, Takdir Syarif, Gusnawati, D Darnengsih

Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia  
Jln. Urip Sumoharjo Km. 05, Kampus II UMI, Fax (0411)447562 Makassar 90231

#### Inti Sari

Salah satu limbah dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben yaitu limbah mahkota nanas karena mengandung selulosa 71%. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh jenis aktivator pada karbon limbah mahkota nanas terhadap karakteristik bioadsorben meliputi luas area dan gugus fungsional/active site. Arang aktif dari limbah mahkota nanas dengan metode pirolisis pada suhu 400°C selama 2 jam, setelah itu arang yang terbentuk dilakukan penyaringan dan screening ukuran 120 mesh. Tahap selanjutnya yaitu modifikasi, arang dari hasil pirolisis di rendam dalam larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (DBS), NaOH dengan dengan variasi konsentrasi (2,3,4,5,6%) selama 2,5 jam dengan suhu 25°C dengan rasio 25 g : 100 ml. Hasil penelitian diperoleh bahwa limbah mahkota nanas dapat digunakan sebagai adsorben melalui proses pengarangan dan aktivasi menggunakan NaOH 2% dan surfaktan DSB 4%, arang aktif dari limbah mahkota nanas teraktivasi NaOH 2% memiliki nilai daya serap iodin yaitu 1015,20 mg/g dan luas area adsorben sebesar 338,92 m<sup>2</sup>/g Karakterisasi gugus fungsi adsorben terdapat gugus C=C aromatik, C-H alifatik dan -OH yang menjadi gugus aktif sebagai adsorben. Efektivitas adsorpsi dari arang limbah mahkota nanas diperoleh sebesar 91,87% pada arang teraktivasi NaOH 25 dan 90,03% pada arang teraktivasi surfaktan DBS.

#### Kata Kunci:

Bioadsorben; Mahkota Nanas; Karakterisasi; Modifikasi Aktivator

#### Key Words :

Bioadsorbents; Pineapple Crown; characterization; Activator Modification

#### Abstract

One of the wastes that can be used as a bioadsorbent is pineapple crown because it contains up to 71% cellulose. The aim of this study was to determine the effect of modifier/activator on waste carbon of pineapple crown on the

#### Published by

Department of Chemical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

#### Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)  
Makassar- Sulawesi Selatan

#### Email :

jcpe@umi.ac.id

#### \*Corresponding Author

munira@umi.ac.id



#### Journal History

Paper received : 25 September 2022  
Received in revised : 07 Oktober 2022  
Accepted : 30 November 2022

*characteristics of the bioadsorbent which includes area and functional group/active site. This modification and characterization process was carried out in several stages, firstly making activated charcoal from pineapple crown waste by pyrolysis method at 400°C for 2 hours, after that the formed charcoal was filtered and screened to a size of 120 mesh. The next step is modification, the charcoal from the pyrolysis results is soaked in a solution of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (DBS), NaOH with various concentrations (2,3,4,5,6%) for 2.5 hours at a temperature of 25 °C with a ratio 25 grams : 100 ml. The results showed that pineapple crown waste can be used as an adsorbent through the coagulation and activation process using 2% NaOH and 4% DSB surfactant. the adsorbent area was 338.92 m<sup>2</sup>/g. Characterization of the functional groups of the adsorbent contained C=C aromatic, aliphatic C-H and -OH groups which became active groups as adsorbents. The adsorption effectiveness of activated carbon from pineapple crown waste was 91.87% on NaOH 25 activated charcoal and 90.03% on DBS surfactant activated carbon.*

## PENDAHULUAN

Taraf hidup manusia berkembang seiring dengan berkembangannya pertumbuhan ekonomi masyarakat. Pertumbuhan ekonomi ini ditandai dengan meningkatnya sektor industri di wilayah tersebut, namun dampak negative yang muncul akibat berkembangnya sektor industri yaitu adanya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah industri. Salah satu limbah industri yang sangat berdampak bagi lingkungan yaitu limbah cair industri. Dampak yang ditimbulkan dari limbah cair industri ini seperti eutrofikasi, kematian ikan dan plankton, akumulasi dalam daging ikan terutama bila limbah cair tersebut mengandung zat-zat pencemar seperti As, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, dsb [1]. Limbah Industri menjadi masalah utama pencemaran karena mengandung logam berat yang memiliki sifat toksik, juga tidak terdegradasi secara biologis, sehingga limbah logam berat membutuhkan penanganan khusus.

Adsorpsi sebagai metode pengolahan limbah cair lebih banyak digunakan karena lebih bersih, lebih efisien dan lebih murah. Adsorpsi terjadi dari interaksi antara permukaan molekul adsorben dan adsorbat. Silica gel dan adsorben karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang baik namun relatif mahal. Upaya mencari alternatif adsorben yang lebih murah akhir-akhir ini semakin meningkat, terutama adsorben alternatif yang berasal dari alam atau bioadsorben. [2].

Bioadsorben merupakan suatu zat padat yang dapat digunakan untuk menyerap komponen tertentu dari suatu fasa fluida. Bioadsorben dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon [3]. Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai Bioadsorben

adalah limbah buah nanas berupa mahkota nanas. Produksi buah nanas di Sulawesi Selatan pada tahun 2015 sebesar 14.071 ton/tahun. Rata-rata berat buah nanas 1,5 kg/buah, 1 buah mengandung 17% mahkota nanas [4]. Komposisi mahkota terdiri dari selulosa 69,5-71,5%, lignin 4,4-4,7%, pentosan 17,0-17,8% dan abu 0,71-0,87% dan zat lain (protein dll) hingga 4,5-5,3% [5].

Selulosa tersusun dari unsur-unsur karbon sehingga dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif dengan proses karbonisasi dan aktivasi [5]. Performa karbon aktif sebagai adsorben dapat dipengaruhi oleh luas area dan pori dari adsorben [6]. Upaya yang dapat dilakukan guna meningkatkan performa adsorben yaitu dengan melakukan modifikasi dari karbon aktif tersebut baik secara kimia maupun fisika. Menurut Abdelnaiem [7], penggunaan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai activator mampu meningkatkan surface area karbon dari tumbuhan Common reed sehingga dapat digunakan sebagai adsorben logam Cu(II) dan Cd(II), selain itu Sirajuddin [7] juga menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> untuk mengkarakterisasi arang dari mahkota nanas. Penggunaan basa sebagai activator juga dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Kuang [7] dan Sa [8] yang menggunakan sodium lauryl sulfate dan NaOH sebagai activator pada arang limbah pertanian yang mampu membuat luas area carbon menjadi lebih besar. Selain kedua metode ini, dapat pula dilakukan modifikasi arang aktif menggunakan surfaktan [6] dimana surfaktan ini dapat mengaktifkan site dari Bioadsorben. Oleh karena itu penelitian ini akan berfokus pada pengaruh jenis dan konsentrasi modifier/aktivator pada karbon limbah mahkota nanas terhadap karakteristik bioadsorben.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi Limbah mahkota nanas yang diperoleh dari limbah pasar lokal daerah Makassar,  $H_3PO_4$ , Sodium Dodecylbenzene Sulfonate (SDS), NaOH, larutan iod 0,1 N, larutan kalium iodide, natrium thiosulfat 0,1N, indikator amylum (kanji) dan kertas saring diperoleh dari PT.Intraco, tbk

### Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi alat pirolisis, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu), Forrie Transform Infra Red (FTIR) (Shimadzu, IRPrestige 21), Scanning Electron Microscopy (SEM) (Hitachi SU 3500)

### Preparasi Bioadsorben

Penelitian dimulai dengan tahap pembuatan mahkota nanas yang meliputi pembersihan, *sizing* ( $\pm 3$  cm) dan dikeringkan dengan oven pada suhu  $105^\circ C$  hingga berat konstan. Kemudian dilakukan proses utama yaitu mahkota nanas kering dipirolisis pada suhu  $400^\circ C$  selama 2 jam, kemudian karbon aktif diayak dan diaktivasi secara kimiawi dengan larutan  $H_3PO_4$ , Sodium Dodecylbenzene Sulfonate, NaOH dengan dengan variasi konsentrasi (2, 3, 4, 5, 6 %) selama 2,5 jam dengan suhu  $25^\circ C$  dengan rasio 25 gram : 100 ml. Arang aktif yang telah diaktivasi kimia kemudian dilakukan uji kualitas meliputi kemampuan daya serap iod, luas permukaan melalui uji methylen blue menggunakan spektrofotometer UV-Vis, gugus fungsional menggunakan FTIR, penampakan permukaan adsorben menggunakan SEM untuk mengetahui karakteristik arang aktif.

### Penentuan Daya Serap Iodin

Sebanyak 1 g bioadsorben termodifikasi ditimbang dan ditempatkan dalam labu Erlenmeyer. Kemudian ditambahkan 25 ml larutan yodium 0,1 N dan diaduk selama 15 menit kemudian disaring. Sebanyak 10 mL filtrat dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N hingga berwarna kuning pucat. Kemudian ditambahkan pati 1% ke dalam larutan dan titrasi dilanjutkan sampai warna biru hilang. Penyerapan yodium dapat ditentukan dengan persamaan berikut: [6]

$$DSI = \frac{(V_{sampel} - \frac{T \times C_1}{C_2}) \times W \times fp}{g_{sampel}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- V = Volume sampel (mL)
- T = Volum titrasi Natrium tiosulfat (mL)
- C1 = Konsentrasi Natrium tiosulfat (N)
- C2 = Konsentrasi Iod (N)
- fp = Faktor Pengenceran
- W = Berat iod (12,69 mg/L)

### Penentuan Luas Permukaan Bioadsorben

Luas permukaan adsorben ditentukan dengan metode adsorpsi methylene blue. Kalibrasi metil biru dilakukan pada konsentrasi 20-200 ppm pada panjang gelombang 664 nm. Kemudian sebanyak 0,5 g Bioadsorben direndam dalam methylene blue dan diaduk selama 2 jam, kemudian disaring. Absorbansi filtrat diukur pada panjang gelombang 664 nm. Luas permukaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$S = \frac{X_m \times N \times a}{M_r} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

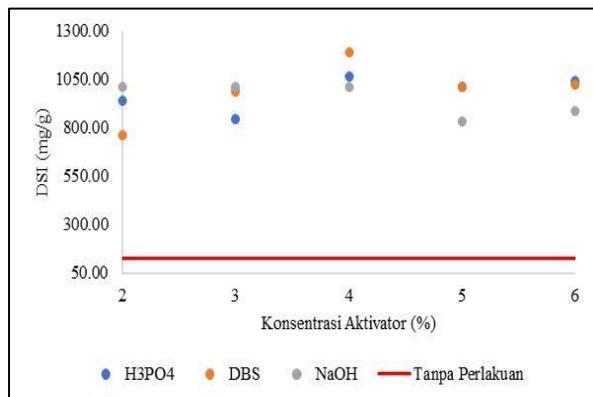
- S = Luas permukaan bioadsorben ( $m^2/g$ )
- N = Bilangan Avogadro ( $6,002 \times 10^{-2} \text{ mol}^{-1}$ )
- $X_m$  = Berat adsorbat teradsorpsi (g/g)
- a = Luas penutupan oleh 1 molekul Methyl Blue ( $197 \times 10^{-20} m^2$ )
- $M_r$  = Massa molekul relative Methyl Blue (320,5 g/mol)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kemampuan Daya Serap Ion

Kemampuan menyerap iod merupakan salah satu parameter utama yang digunakan dalam mengidentifikasi karakteristik dari bioadsorben [6]. Kemampuan menyerap iod atau disebut sebagai Daya serap Iod (DSI) memiliki satuan mg/g yang menyatakan bahwa sekian mg iod yang teradsorpsi dalam setiap gram adsorben. DSI ini menggambarkan kemampuan suatu adsorben untuk menyerap zat dengan ukuran molekul yang lebih kecil untuk mengukur konsentrasi mikropori dari adsorben penyerap yodium dalam larutan. [9]. Besarnya daya serap iod pada arang aktif dari limbah daun nanas yang telah dimodifikasi menggunakan aktivator  $H_3PO_4$ , Surfaktan DBS dan NaOH dengan variasi konsentrasi 2,3,4,5 dan 6 % dapat disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Gambar 1 menggambarkan bahwa terdapat peningkatan nilai daya serap iodin pada arang daun nanas yang telah diaktivasi dan belum diaktivasi.



**Gambar 1.** Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Aktivator terhadap Luas Permukaan Adsorben

Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan area mikropori dari arang limbah daun nanas teraktivasi dibandingkan arang yang tidak diaktivasi atau tanpa perlakuan. Beberapa aktivator yang digunakan bertujuan untuk meningkatkan kualitas dari arang yang dihasilkan memberikan hasil yang signifikan untuk kemampuan daya serap iodin. Hasil yang diperoleh dari perlakuan modifikasi arang menggunakan aktivator asam H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, DBS dan NaOH menunjukkan bahwa kecenderungan penggunaan aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> fluktuatif dan cenderung mencapai titik jenuh yang lebih cepat terlihat pada konsentrasi lebih besar dari 4% nilai DSI yang diperoleh kenaikannya kecil dan cenderung konstan pada nilai 1066.16 mg/g. Modifikasi dengan aktivator NaOH menghasilkan nilai DSI yang konstan pada konsentrasi 2% hingga 4% yaitu 1015,20 mg/g, hal ini disebabkan karena jenuhnya permukaan adsorben atau mendekati jenuh terhadap adsorbat, kondisi ini dapat menyebabkan gejala multilayer yaitu terbentuknya lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya diatas adsorbat yang telah terikat dipermukaan, selain itu juga dapat terjadi akibat tidak terbentuknya lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang teradsorpsi terdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida[10]. Kondisi kedua ini juga yang dapat menyebabkan menurunnya kemampuan daya serap iodin pada konsentrasi 5% dan 6%. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ni menyatakan bahwa dengan menggunakan NaOH sebagai aktivator

pada arang aktif menghasilkan nilai DSI yang meningkat pada konsentrasi 2% [9].

Arang yang teraktivasi surfaktan DBS menunjukkan hasil trend data DSI yang cenderung meningkat hingga titik yang optimum pada konsentrasi 4% yaitu sebesar 1192,06 mg/g lalu kembali turun pada konsentrasi 5% dan 6% dan cenderung konstan. Pada kondisi konstan ini menandakan kondisi jenuh adsorben dan dapat disebabkan karena banyaknya aktivator yang terjebak dalam pori arang, sehingga pori karbon aktif mengalami kerusakan [11]. Berdasarkan standar SNI 06-3730-1995 untuk daya serap iodin oleh arang yaitu min. 750 mg/g, jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh maka dengan adanya proses aktivasi yang dilakukan mampu menaikkan nilai DSI dari 126.90 mg/g menjadi min. 761.40 mg/g. Hasil penyerapan iodin terbaik diperoleh dengan menggunakan aktivator DBS sebanyak 4% yaitu sebesar 1192,06 mg/g.

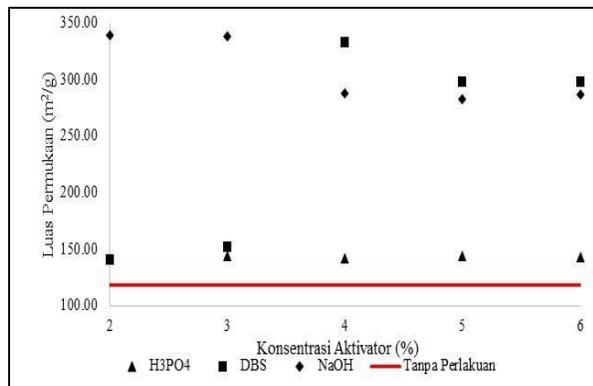
#### Luas Permukaan Adsorben

Luas permukaan adsorben merupakan salah satu hal yang sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Semakin besar luas permukaan adsorben, semakin besar efisiensi adsorpsinya. Luas permukaan adsorben dipengaruhi oleh jenis aktivator yang digunakan dan proses aktivasi yang dapat mengurangi penyumbatan pori yang disebabkan oleh pengotor. [9].

Pengukuran besarnya luas permukaan adsorben dilakukan dengan menggunakan metode penyerapan *Methylene Blue*. Berdasarkan hasil yang tersaji pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa dengan melakukan proses aktivasi mampu meningkatkan luas permukaan adsorben. Arang daun nanas yang diaktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> memberikan nilai peningkatan yang relatif kecil terhadap luas permukaan sebelum diaktivasi dan setelah diaktivasi menggunakan asam ini. Variasi konsentrasi yang dilakukan untuk aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ini tidak memberikan perubahan luas permukaan yang signifikan pada setiap penambahan konsentrasi, hal ini dapat disebabkan karena masih banyaknya zat inert yang terdapat pada permukaan arang sehingga pori-pori arang masih tertutup [12].

Karbon teraktivasi NaOH cenderung menghasilkan luas permukaan yang besar pada konsentrasi rendah kemudian mengalami penurunan luas area seiring bertambahnya konsentrasi aktivator

hingga mencapai nilai yang hampir konstan atau jenuh, sedangkan arang yang teraktivasi DBS mengalami peningkatan luas area hingga mencapai konsentrasi 4% lalu mengalami penurunan nilai luas area siring bertambahnya konsentrasi aktivator. Kedua hal ini dapat disebabkan karena adanya zat aktivator yang ikut terjerap pada pori arang sehingga pori aktif tersebut mengalami kerusakan dengan adanya aktivator yang lebih besar an volume pori tersebut akan semakin kecil.



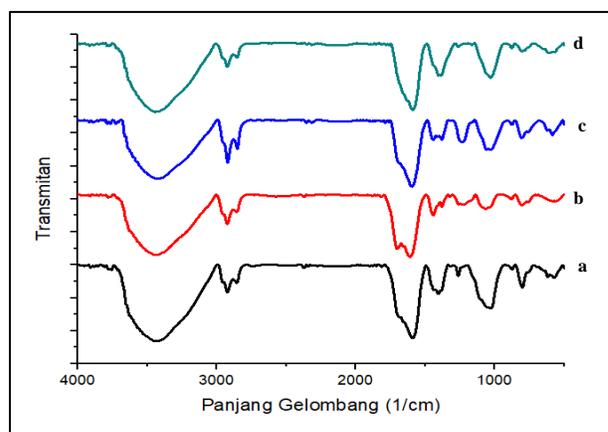
**Gambar 2.** Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Aktivator terhadap Luas Permukaan Adsorben

Besarnya luas permukaan adsorben biasanya berkisar antara 300-3000 m<sup>2</sup>/g. Hasil yang diperoleh pada berbagai konsentrasi dan jenis aktivator ini memberikan nilai luas permukaan yang relatif rendah jika dibandingkan dengan standar yang ada. Luas permukaan karbon yang sesuai standar diperoleh pada arang teraktivasi NaOH 2 % sebesar 338,92 m<sup>2</sup>/g dan arang teraktivasi DBS 4 % sebesar 333,12 m<sup>2</sup>/g.

#### Karakterisasi Gugus Fungsi Adsorben

Analisis menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari arang. Pada penelitian ini gugus fungsi dari arang limbah daun nanas yang dihasilkan dibandingkan terhadap arang yang telah lebih dahulu diaktivasi menggunakan beberapa jenis activator yaitu H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, DBS dan NaOH. Spektrum FTIR yang dihasilkan untuk arang limbah daun nanas teraktivasi dan tidak disajikan pada Gambar 3. Spektrum infrared yang tersebut diobservasi dengan membandingkan pergeseran peak, hilangnya peak serta terbentuknya peak baru sebagai akibat adanya perlakuan modifikasi dengan berbagai jenis activator. Spektrum infrared untuk arang limbah daun nanas sebelum dilakukan aktivasi (Gambar 3a)

menunjukkan terjadinya serapan pada area 3427,51 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya ikatan -OH bebas, peak ini juga muncul pada spektrum infrared untuk arang yang telah termodifikasi (Gambar 3 b, c dan d). Adanya penambahan activator DBS membuat adanya pergeseran peak pada area 2800-2924 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya ikatan C-H alifatik. Penambahan dan pergeseran peak juga terjadi pada area 1500-1680 cm<sup>-1</sup> yang menandakan terbentuknya ikatan C=C aromatik, hal ini membuktikan bahwa adanya peningkatan senyawa aromatik akibat adanya proses aktivasi dimana senyawa aromatik merupakan salah satu indikasi penyusun struktur heksagonal arang dan arang aktif.[13][14].

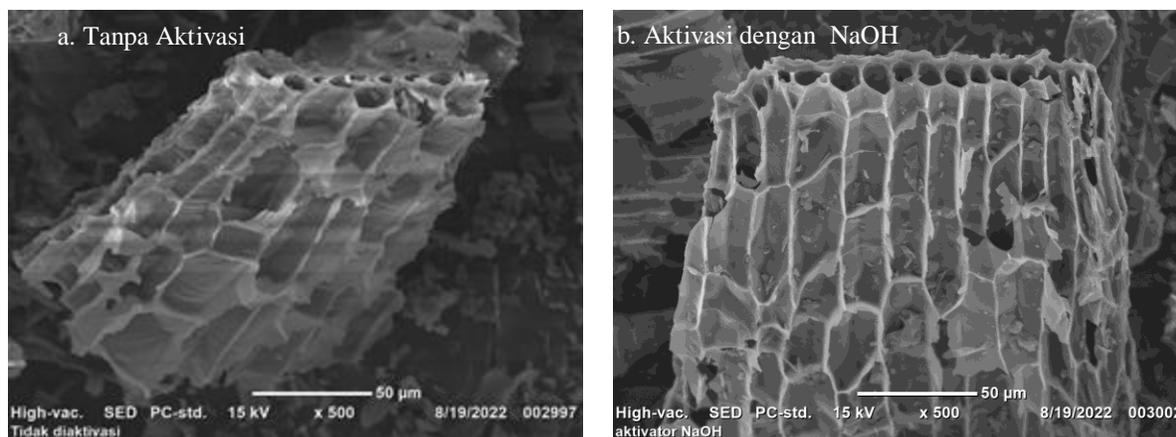


**Gambar 3.** Spektrum Infrared dari arang limbah daun nanas sebelum dan sesudah diaktivasi a) Tanpa Perlakuan , b) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, c) DBS, d) NaOH

#### Karakterisasi Morfologi Permukaan Bioadsorben

Morfologi permukaan bioadsorben dari limbah mahkota nanas diuji menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dengan pembesaran 500x. Pada pengujian ini akan dibandingkan morfologi permukaan pada bioadsorben sebelum diaktivasi dan bioadsorben yang telah diaktivasi menggunakan aktivator NaOH 2%.

Berdasarkan Gambar 4 terdapat perbedaan yang signifikan pada permukaan bioadsorben sebelum diaktivasi (Gambar 4a) dengan bioadsorben yang telah diaktivasi menggunakan NaOH (Gambar 4b). Permukaan bioadsorben sebelum diaktivasi terlihat memiliki pori yang tidak beraturan sedangkan bioadsorben yang telah diaktivasi memiliki pola pori yang beraturan dan terlihat jelas pada permukaan. Penambahan NaOH sebagai aktivator mampu meningkatkan jumlah pori pada permukaan adsorben.



**Gambar 4.** Struktur Morfologi Permukaan Bioadsorben a) Tanpa Aktivasi , b) Aktivasi dengan NaOH

Hal ini dapat disebabkan karena adanya reaksi antara Carbon dan NaOH yang dapat menghasilkan  $\text{CO}_2$ .  $\text{CO}_2$  ini dapat berdifusi ke dalam dinding carbon untuk membentuk pori-pori baru dan membuat pori menjadi lebih terbuka [15]. Pori pada bioadsorben inilah yang memiliki peran penting dalam proses adsorpsi.

## KESIMPULAN

Limbah mahkota nanas dapat digunakan sebagai adsorben melalui proses pengarangan dan aktivasi menggunakan NaOH 2%. Karbon aktif dari limbah mahkota nanas teraktivasi NaOH 2% memiliki nilai daya serap iodine yaitu 1015,20 mg/g dan luas area adsorben sebesar 338,92  $\text{m}^2/\text{g}$ . Karakterisasi gugus fungsi adsorben terdapat gugus C=C aromatic, C-H alifatik dan -OH yang menjadi gugus aktif sebagai adsorben.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya (LP2S) Universitas Muslim Indonesia yang telah memberikan bantuan dana hibah penelitian Internal dosen pemula tahun anggaran 2020/2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supraptini, "Pengaruh Limbah Industri Terhadap Lingkungan Di Indonesia," *Media of Health Research and Development*, vol. 12, no. 2 Jun. 2012, doi: 10.22435/mpk.v12i2Jun.1063.
- [2] A. Aeisyah, M. H. S. Ismail, K. Lias, and S. Izhar, "Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent: A Review," *J. Chem. Environ.*, vol. 18, no. 4, pp. 91–102, 2014.
- [3] R. S. Alfara, N. E. Ali, M. M. Yusoff, and L. T. Razak, "Removal of heavy metals by natural adsorbent: review," *Int. J. Biosci.*, vol. 6655, pp. 130–139, 2014, doi: 10.12692/ijb/4.7.130-139.
- [4] badan P. S. (BPS), "Produksi Buah Nanas di Sulawesi Selatan," 2021. [www.sulsel.bps.go.id](http://www.sulsel.bps.go.id) (accessed Nov. 05, 2021).
- [5] P. H. F. Pereira, H. L. Ornaghi, V. Arantes, and M. O. H. Cioffi, "Effect of chemical treatment of pineapple crown fiber in the production, chemical composition, crystalline structure, thermal stability and thermal degradation kinetic properties of cellulosic materials," *Carbohydr. Res.*, vol. 499, no. 2020, 2021, doi: 10.1016/j.carres.2020.108227.
- [6] N. A. Abdulrahman, A. Rotibi, and S. M. Abegunde, "Surface Modification and Characterization of Carbonized Raphia taedigera seed for the Adsorption of  $\text{Pb}^{2+}$  from aqueous solution," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 10, no. 9, pp. 164–177, doi: 10.29322/ijsrp.10.09.2020.p10520.
- [7] M. Y. Abdelnaeim, I. Y. El Sherif, A. A. Attia, N. A. Fathy, and M. F. El-Shahat, "Impact of chemical activation on the adsorption performance of common reed towards  $\text{Cu(II)}$  and  $\text{Cd(II)}$ ," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 157, no. Ii, pp. 80–88, 2016, doi: 10.1016/j.minpro.2016.09.013.
- [8] K. Sa, C. E. Lusiani, R. D. Chrisandari, W. S. Witasari, D. L. Aula, and S. Triastutik, "Pengaruh Proses Aktivasi Kimia Terhadap

- Karakteristik Adsorben dari Kulit Pisang Kepok ( *Musa acuminata* L . ) Effect of Chemical Activation Process on the Characteristics of Adsorbents from *Musa acuminata* L . Peel,” vol. 04, no. 1, pp. 18–22, 2020.
- [9] N. Putu, A. Krismayanti, M. Manurung, N. Gusti, A. Made, and D. Adhi, “Sintesis Arang Aktif Dari Limbah Batang Bambu Dengan Aktivator Naoh Sebagai Adsorben Ion Krom ( Iii ) Dan Timbal ( Ii ),” *Cakra Kim.*, vol. 7, no. Iii, pp. 189–197, 2019.
- [10] M. Munira, M. Mustafiah, D. D. Gusnawati,, and H. H. Utami, “Pemanfaatan Limbah Arang Plastik Sebagai Adsorben Surfaktan Anionik dalam Air Limbah Laundry,” *J. Chem. Process Eng.*, vol. 6, no. 2655, 2021.
- [11] Siswarni MZ, Lara Indra Ranita, and Dandri Safitri, “Pembuatan Bioadsorben Dari Biji Pepaya (*Carica Papaya* L) Untuk Penyerapan Zat Warna,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 2, pp. 7–13, 2017, doi: 10.32734/jtk.v6i2.1576.
- [12] P. Phuengphai, T. Singjanusong, N. Kheangkun, and A. Wattanakornsiri, “Removal of copper(II) from aqueous solution using chemically modified fruit peels as efficient low-cost Bioadsorbents,” *Water Sci. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 286–294, 2021, doi: 10.1016/j.wse.2021.08.003.
- [13] V. I. N. A. A. Malia, F. A. L. Ayyinah, F. A. Z. Ahara, D. A. N. E. Ko, and P. R. H. Adisantoso, “Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Cu dan Cd,” vol. 4, no. 1, pp. 31–37, 2017.
- [14] E. F. Olasehinde, S. M. Abegunde, E. F. Olasehinde, and S. M. Abegunde, “Preparation and characterization of a new adsorbent from raphia taedigera seed,” no. October 2019, 2020.
- [15] E. M. Mistar, S. Ahmad, A. Muslim, T. Alfatah, and M. D. Supardan, “Preparation and characterization of a high surface area of activated carbon from *Bambusa vulgaris* - Effect of NaOH activation and pyrolysis temperature,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 334, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/334/1/012051.