

# Karakterisasi Material Karbon Aktif Dari Pelepah Nipah (*Nypa Fruticans*) Dengan Metode Aktivasi Kimia

Rosita Dwityaningsih<sup>1\*</sup>, Ilma Fadlilah<sup>2</sup>, Ayu Pramita<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>1,2,3</sup>Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail : rosita.dwityaningsih@pnc.ac.id<sup>1</sup>, ilma.fadlilah@onc.ac.id<sup>2</sup>, ayupramita1986@pnc.ac.id<sup>3</sup>

## Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Mei 2024

Direvisi: 15 Juni 2024

Diterima: 2 Juli 2024

## Abstrak

Pelepah nipah adalah bagian dari pohon nipah yang mengandung kadar lignoselulosa yang besar, sehingga mengandung potensi dijadikan karbon aktif. Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif yang berasal dari pelepah nipah dengan  $H_3PO_4$  sebagai pengaktivasi dan pemanasan pada suhu tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik karbon aktif dari pelepah nipah dengan aktivator  $H_3PO_4$  (asam fosfat) dan pemanasan pada suhu  $500^\circ C$ . Karbon aktif dibuat dari pelepah nipah dengan  $H_3PO_4$  2 M sebagai zat pengaktifasi dan ukuran serbuk karbon yaitu 80 mesh. Dari hasil penelitian didapatkan karbon aktif pelepah nipah mempunyai karakteristik yang sudah sesuai dengan persyaratan arang aktif teknis SNI 06-3730-1995. Karbon aktif yang dihasilkan mempunyai karakter kadar air 3%, kadar abu 7,25%, daya serap iodin 1129,41 mg/g, daya serap metilen blue 123,99 mg/g serta mengandung gugus fungsi C=C dan P-O-P. Selain itu juga pada permukaan karbon aktif terlihat terjadi penambahan pori apabila dibanding dengan karbon pelepah nipah tanpa aktivasi

## Keywords:

activation;

phosphoric acid;

activated carbon;

nypa palm fronds

## Abstract

Nypa Palm fronds has a high lignocellulose, so it has potential to be used as activated carbon. In this research, activated carbon will be made from Nypa palm fronds using  $H_3PO_4$  as activator and heated at high temperature. The aim of this research is to know about characterisation of activated carbon from Nypa palm fronds with  $H_3PO_4$ . Activated carbon from Nypa palm fronds was made by 2 M  $H_3PO_4$  and the carbon powder siz was 80 mesh. It was found that activated carbon from nipa palm fronds has characteristic that are in accordance with technical activated carbon requiremet of SNI 06-3730-1995. It has water content of 3%, ash content of 7,25%, iodine absorbance 1129.41 milligrams per gram, methylene blue absorbance 123.99 milligrams per gram and contains the functional groups C=C and P-O-P. Additional pores can be seen on the surface of the activated carbon when compared to carbon without activation.

\*Penulis korespondensi:

Rosita Dwityaningsih

E-mail:rosita.dwityaningsih@pnc.ac.id

## 1. Pendahuluan

Kelangkaan sumber energi yang berasal dari bahan fosil mengakibatkan banyak para peneliti mencari sumber alternatif baru terbarukan. Biomassa dapat menghasilkan bioenergi dalam bentuk listrik, panas maupun bahan bakar dalam fasa padat, cair dan gas [1]. Biogas merupakan salah satu bioenergi yang dihasilkan dari proses degradasi biomassa oleh mikroorganisme. Proses pembentukan biogas terjadi melalui proses degradasi bahan organik secara anaerobik. Biogas memiliki kandungan CH<sub>4</sub> 50%-70%, CO<sub>2</sub> 30-50% dan elemen kecil lainnya yaitu H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, siloxanes, *volatile organic compound*, CO dan NH<sub>3</sub> tergantung dari substrat dan reactor pH [2]. Tingginya kandungan CO<sub>2</sub> pada biogas mengakibatkan penurunan nilai kalor biogas itu sendiri sehingga kualitas biogas akan turun. Salah satu cara mengatasi hal tersebut adalah pemisahan CO<sub>2</sub> pada biogas dengan menggunakan karbon aktif. Pemisahan CO<sub>2</sub> dari biogas dengan menggunakan karbon aktif sudah dilakukan sebelumnya. Salah satunya merupakan penelitian dari [3] yang membuat karbon aktif dari limbah ampas tebu sebagai penyerap CO<sub>2</sub> dengan melalui proses adsorpsi.

Karbon aktif bisa dihasilkan dari biomassa yang mempunyai kandungan karbon dan diproses karbonisasi dan aktivasi. Salah satu biomassa yang mempunyai kandungan karbon yang tinggi adalah nipah. Nipah merupakan salah satu tanaman yang hidup di sekitar daerah muara sungai yang berair payau. Kandungan selulosa yang cukup besar dari tanaman nipah yaitu sekitar 35% membuat tanaman ini mempunyai potensi untuk dijadikan karbon aktif [4]. Karbon aktif dibuat dari 3 tahapan proses yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi. Dehidrasi bertujuan melepaskan komponen air pada material yang akan dibuat menjadi karbon aktif melalui pemanasan dengan menggunakan matahari atau bisa menggunakan alat pengering. Selanjutnya setelah bahan sudah dalam keadaan kering dilakukan proses karbonisasi.

Karbonisasi merupakan proses untuk konversi biomassa menjadi karbon pada suhu tinggi. Tahap aktivasi adalah tahap yang penting dalam pembuatan karbon aktif. Tujuan proses aktivasi adalah melepaskan senyawa organik, hidrokarbon dan tar yang melekat pada karbon yang dilakukan dengan cara fisika dan kimia [5]. Pada proses aktivasi akan terbentuk pori-pori baru karena pengikisan senyawa organik, hidrokarbon dan tar sehingga akan menambah luas permukaan karbon aktif. Karbon aktif mempunyai luas permukaan berkisar antara 300-3500 m<sup>2</sup>/g sehingga bisa dijadikan adsorben [6]. Aktivasi karbon yang dilakukan secara fisika dengan menggunakan oksidator lemah misalnya uap air, gas CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan gas pengoksidasi lainnya [7]. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan dengan penambahan bahan kimia asam ataupun basa yang akan menghilangkan senyawa pengotor dan membersihkan permukaan pori [8].

Salah satu senyawa asam yang sering digunakan dalam aktivasi karbon aktif adalah asam fosfat. Tahapan mekanisme aktivasi karbon dengan asam fosfat adalah depolimerisasi dan retribusi dari biopolymer dalam lignoselulosa sehingga akan meningkatkan jumlah mikropori dan mesopori [9]. Karbon dari pelepah nipah

diaktivasi dengan aktivator asam fosfat kemudian dilakukan pemanasan suhu tinggi. Hasil karbon yang sudah teraktivasi dilakukan karakterisasi karbon aktif sesuai standar SNI 06-3730-1995 tentang syarat mutu dan pengujian arang aktif. Tabel 1 merupakan parameter syarat mutu arang aktif teknis.

Tabel 1. Syarat mutu arang aktif teknis sesuai standar SNI 06-3730-1995[10]

No	Parameter	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	maks.15	maks.25
2.	Kadar Air	%	maks 4,4	maks. 15
3.	Kadar Abu Abu	%	maks 2,5	maks 10
4.	Bagian yang tidak terarang	-	Tidak ternyata	Tidak ternyata
5.	Daya serap terhadap I <sub>2</sub>	mg/g	min 750	min 750
6.	Daya serap terhadap biru metilena	ml/g	min.60	min.120

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif dari pelepah nipah. Hasil karbon aktif yang diaktivasi dengan menggunakan metode kimia akan dilakukan pengujian karakteristik karbon aktif sehingga bisa diketahui apakah pelepah nipah berpotensi menjadi karbon aktif. Karbon aktif dari pelepah nipah akan digunakan untuk penyerapan CO<sub>2</sub>.

## 2. Metode

### 2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : pelepah nipah, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 2M , Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 N, larutan I<sub>2</sub> 0,1 N, amilum 1% *methylene blue*, aquades.

### 2.2 Peralatan

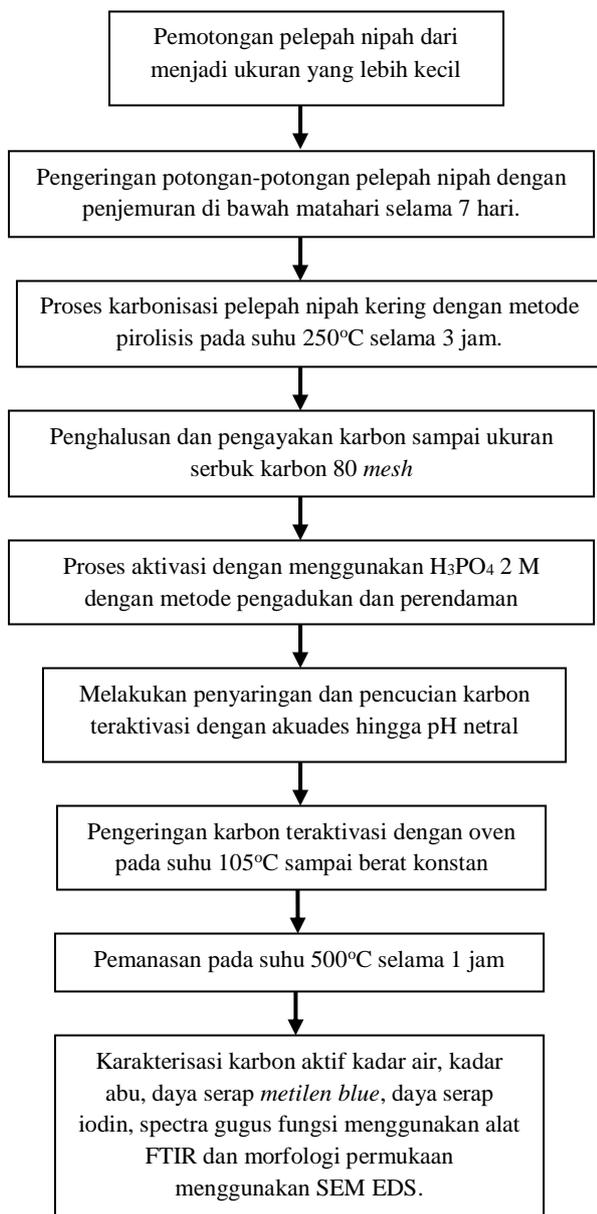
Alat pirolisis, SEM EDS merk *Tescan*, FTIR merk *Bruker*, Spektrofotometer UV-Vis merk *BMG Lab Tech*, neraca analitik merk *Shimadzu*, *hot plate magnetic stirrer* merk *thermoscientific*, oven merk *memmert*, *furnace* merk *Naberthem*, *centrifuge* merk *ortoalresa*, ayakan ukuran 60 *mesh*, grinder, buret, statif, cawan porselen, cawan krusibel, pipet ukur, gelas beaker, labu ukur, *erlenmeyer*, gelas ukur, corong kaca, wadah plastik, dan kertas saring.



Gambar 1. Alat pirolisis sederhana

### 2.3 Cara Kerja

Pada penelitian ini menggunakan eksperimen dengan memakai konsentrasi asam fosfat 2 M dan ukuran 80 mesh. Pada Gambar 2 merupakan diagram alur proses penelitian.



Gambar 2. Diagram alur proses penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan bahan baku yaitu pemotongan pelepah nipah menjadi ukuran yang lebih kecil Potongan pelepah nipah dijemur di bawah matahari untuk mengurangi kandungan air didalam pelepah nipah sehingga lebih mudah dan cepat dalam proses karbonisasi. Kemudian pelepah nipah kering dilakukan proses karbonisasi dengan metode pengarangan tertutup dengan alat pirolisis pada suhu 250°C selama 3 jam. Setelah dihasilkan produk karbon maka selanjutnya dilakukan penghalusan sampai partikel karbon mempunyai ukuran 80 mesh. Kemudian proses aktivasi dilakukan dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 2 M

dengan jumlah 50 gram pelepah nipah dalam 250 mL asam fosfat. Karbon aktif dihomogenkan dengan asam sulfat pada pengadukan selama 1 jam menggunakan kecepatan pengadukan 250 rpm. Setelah homogen dilanjutkan perendaman selama sehari semalam kemudian disaring dan dinetralkan menggunakan akuades hingga pH netral. Karbon yang sudah mengandung pH netral dilakukan penghilangan kandungan air dengan melakukan pengeringan menggunakan oven yang diatur dalam suhu 105°C sampai berat karbon hasil pengeringan konstan. Kemudian karbon yang teraktivasi asam fosfat dilakukan pemanasan pada suhu 500°C dengan menggunakan furnace selama 60 menit. Karbon pelepah nipah yang sudah teraktivasi kemudian dilakukan pengujian karakterisasi kadar air, kadar abu, daya serap metilen blue, daya serap iodin, spectra gugus fungsi menggunakan alat FTIR dan morfologi permukaan menggunakan SEM EDS.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis karbon aktif dari pelepah nipah dilakukan dengan mengaktifkannya menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> kemudian dipanaskan pada suhu 500°C. Karbonisasi pelepah nipah dilakukan dengan metode pirolisis dengan pemanasan suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Metode pirolisis ini digunakan agar bahan terdehidrasi dan terdevolatilisasi menghasilkan karbon yang bagus. Kemudian karbon dilakukan aktivasi melalui perendaman dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> selama sehari semalam dilanjutkan proses pemanasan pada suhu 500°C dengan menggunakan furnace. Pemanasan setelah aktivasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> bertujuan untuk memaksimalkan proses penghilangan oksida logam pada karbon sehingga pembuatan karbon aktif akan lebih optimal. Setelah proses aktivasi dilakukan karakterisasi dan menghasilkan data pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik Karbon Aktif dari Pelepah Nipah

No	Parameter	Satuan	Karbon aktif pelepah nipah	Persyaratan Serbuk
1.	Kadar Air	%	3	maks. 15
2.	Kadar Abu	%	7,25	maks 10
3.	Daya serap terhadap I <sub>2</sub>	mg/g	1129,41	min 750
4.	Daya serap terhadap biru metilena	mg/g	123,99	min.120

#### 3.1 Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan sesuai dengan metode SNI 06-3730-1995. Salah satu karakteristik yang merupakan sifat dari karbon aktif adalah mempunyai kadar air yang kecil yaitu maksimal 15 % sesuai dengan standar SNI untuk ukuran serbuk. Semakin kecil ukuran kadar air pada karbon aktif maka kualitas arang aktif semakin bagus. Hal itu dikarenakan kecilnya nilai kadar air berarti semakin sedikit kandungan air yang mengisi pori-pori dari karbon aktif sehingga kemampuan adsorpsi karbon aktif meningkat. Apabila dilihat dari tabel 2 dapat dilihat bahwa kadar air dari karbon pelepah nipah teraktivasi mempunyai nilai yang sesuai dengan standar SNI. Kadar air yang rendah yaitu 3% pada karbon aktif pelepah nipah

dikarenakan aktivator  $H_3PO_4$  memiliki sifat agen dehidrasi yang dapat mengikat air pada karbon aktif sehingga terjadi penurunan kandungan air pada karbon aktif [11]. Selain berfungsi sebagai pengikat air,  $H_3PO_4$  juga mempunyai kemampuan dalam melarutkan mineral-mineral organik di dalam karbon aktif. Dengan kemampuan tersebut, mineral-mineral yang menutupi pori-pori karbon aktif terlepas hingga pori karbon aktif akan terbuka dan jumlahnya akan semakin banyak.

### 3.2 Kadar Abu

Kadar abu merupakan salah satu persyaratan arang aktif teknis yang sangat penting. Kadar abu ini menunjukkan kandungan mineral dalam karbon aktif. Semakin rendah kadar abu suatu karbon aktif maka kualitasnya akan semakin bagus. Kandungan mineral yang banyak dalam karbon aktif akan mengurangi kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Mineral yang terdapat dalam karbon aktif menutupi pori-pori sehingga dapat mengurangi kemampuan adsorpsinya. Apabila dilihat dari tabel 1, karbon aktif dari pelepah nipah mempunyai nilai kadar abu yaitu 7,25 %. Hal itu sudah sesuai dengan persyaratan nilai kadar abu arang aktif teknis menurut SNI. Sedangkan bahan alam pelepah nipah mempunyai kadar abu sebesar 13,80 % [12]. Reaksi yang terjadi antara  $H_3PO_4$  dengan karbon aktif dari pelepah nipah mampu menurunkan nilai kadar abu dari bahan pelepah nipah. Reaksi aktivator  $H_3PO_4$  dengan mineral-mineral dalam karbon aktif memperluas permukaan karbon aktif sehingga berdampak pada meningkatnya adsorpsi pada karbon aktif [13].

### 3.3 Daya Serap Metilen Blue

Pengukuran daya serap terhadap zat warna metilen blue dilakukan untuk menguji kemampuan adsorpsi dari permukaan karbon aktif. Karakteristik ini harus dipunyai oleh karbon aktif yang menunjukkan kemampuan adsorpsi terhadap senyawa-senyawa organik [14]. Kemampuan karbon aktif dalam penyerapan metilen blue dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometri Uv-Vis (*Ultra Violet Visible*). Karbon aktif dicampurkan dengan zat warna metilen blue, kemudian dilakukan pengadukan selama beberapa waktu dan kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat hasil penyaringan dibaca nilai adsorbansinya dan dibandingkan dengan absorbansi dari zat warna metilen blue. Sesuai dengan tabel 2, karbon aktif dari pelepah nipah mempunyai nilai daya serap metilen blue sebesar 123,99 mg/g. Hal ini sudah memenuhi persyaratan SNI untuk arang aktif serbuk yaitu minimal 120 mg/g. Hal ini berhubungan dengan kadar air dan kadar abu yang rendah mengindikasikan bahwa sudah terbentuk lebih banyak pori-pori pada karbon aktif pelepah nipah. Hal itu akan dikuatkan oleh gambar morfologi permukaan karbon aktif yang akan diambil dengan menggunakan SEM EDS.

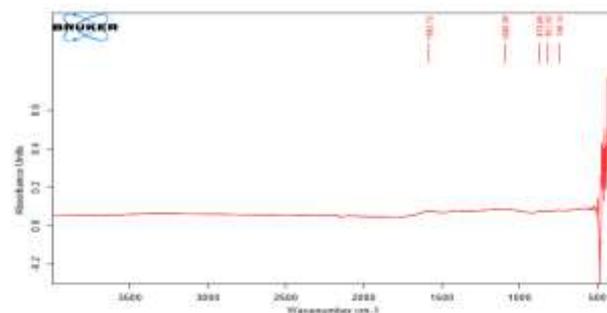
### 3.4 Daya Serap Iodin

Daya serap iodin adalah salah satu ukuran kualitas karbon aktif yang dijual dipasaran. Besarnya daya adsorpsi sebuah karbon aktif ditunjukkan dengan menghitung besarnya angka iod. Besarnya angka iod merupakan besarnya adsorben mengadsorpsi iodin. Besar kemampuan

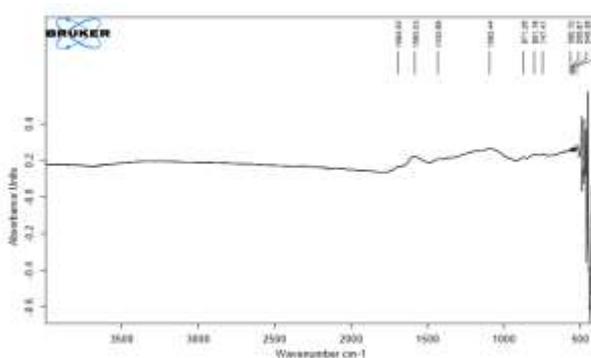
adsorpsi dari karbon aktif dapat diketahui dari daya serap iodinnya. Nilai daya serap iodin didapatkan dengan pengujian menggunakan metode titrasi iodometri dengan merujuk pada SNI 06-3730-1995. Pada tabel 1 terlihat bahwa karbon aktif pada pelepah nipah mempunyai nilai daya serap iodin sebesar 1129,41 mg/g. Nilai tersebut menunjukkan bahwa daya serap iodin karbon aktif pelepah nipah sudah sesuai dengan standar SNI.

### 3.5 Gugus Fungsi permukaan

Perbedaan karakterisasi gugus fungsi antar karbon tanpa aktivasi dengan karbon aktif teraktivasi  $H_3PO_4$  dapat dianalisa dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Perbandingan hasil analisa FTIR terdapat pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 3. Spektra Gugus Fungsi Karbon Pelepah Nipah Tanpa Aktivasi



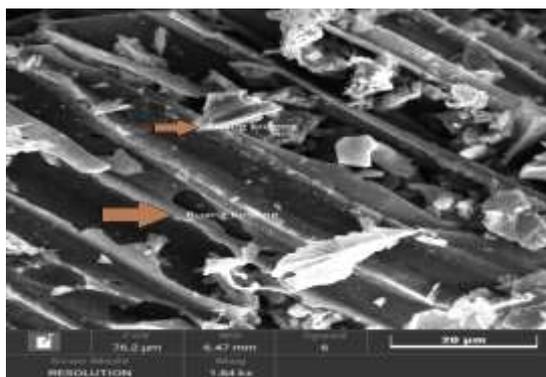
Gambar 4. Spektra Gugus Fungsi Karbon Aktif Pelepah Nipah dengan Aktivasi  $H_3PO_4$  2 M

Analisa FTIR karbon pelepah nipah tanpa aktivasi pada Gambar 3 dan karbon aktif dengan aktivasi  $H_3PO_4$  pada Gambar 4 mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Pada kedua gambar terlihat terjadi pergeseran spektra, perubahan intensitas dan adanya penambahan puncak baru. Hal itu dikarenakan adanya proses aktivasi dengan  $H_3PO_4$  dan dilanjutkan pemanasan pada suhu tinggi yang mengakibatkan terjadinya proses dehidrasi dan dekomposisi gugus kompleks lignoselulosa menjadi senyawa yang lebih sederhana [15]. Terlihat pada spektra karbon tanpa aktivasi terdapat puncak yang regang pada panjang gelombang  $1582.72\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan terdapatnya gugus ikatan  $C=C$  aromatic [16]. Kemudian muncul puncak yang lemah di daerah puncak  $1095.36\text{ cm}^{-1}$  menandakan adanya gugus  $C-O$  dimana gugus ini

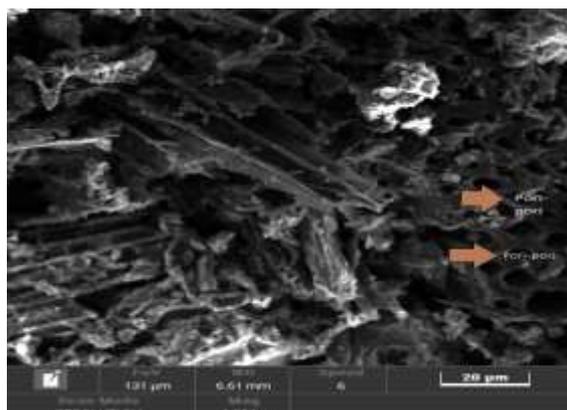
dimungkinkan disebabkan oleh lignin yang muncul dari proses karbonisasi material. Sedangkan pada spectra gugus fungsi karbon yang teraktivasi terlihat puncak di  $1694\text{ cm}^{-1}$  dan  $1583,03\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan terdapatnya gugus C=C aromatic yang diperkirakan berasal dari karbon aktif [17]. Kemudian muncul puncak yang tinggi  $1095,36\text{ cm}^{-1}$  karena adanya ikatan P-O-P [18]. Hal ini menunjukkan bahwa aktivator asam fosfat berhasil bereaksi dengan membentuk ikatan dengan karbon aktif.

### 3.6 Morfologi Permukaan dengan SEM EDS

Perbandingan karakterisasi morfologi permukaan karbon tanpa aktivasi dan karbon teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dapat dilakukan melalui foto dengan metode SEM. Hasil analisa foto SEM akan terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Morfologi permukaan pelepah nipah tanpa aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan foto SEM.



Gambar 6. Morfologi permukaan pelepah nipah dengan aktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan foto SEM EDS

Pada gambar 5 yang merupakan foto permukaan karbon pelepah nipah tanpa aktivasi. Pada permukaan tersebut masih terlihat serat dari pelepah nipah dan terlihat ruang kosong yang tidak dalam. Hal itu diakibatkan dari proses pembakaran secara pirolisis yang menghasilkan ruang kosong di permukaan karbon. Sedangkan pada gambar 6 yang merupakan gambar morfologi karbon yang teraktivasi asam fosfat terlihat beberapa pori yang sudah mulai terlihat di permukaan dan jumlahnya relatif banyak walaupun dalam ukuran yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan proses aktivasi yang bertujuan untuk memecahkan ikatan karbon dan menghilangkan oksida

logam sehingga menambah jumlah pori dan luas permukaan pori.

### 4. Kesimpulan

Pelepah nipah dapat diolah menjadi karbon aktif dengan metode kimia menggunakan aktivator asam fosfat 2 M dan dilanjutkan pemanasan pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Hasil karakterisasi kadar air, kadar abu, daya serap metilen blue dan daya serap iodin sudah sesuai dengan persyaratan karbon aktif teknis SNI 06-3730-1995. Karbon yang diaktivasi menunjukkan adanya gugus fungsi C=C aromatis dan ikatan P-O-P. Sedangkan pada permukaan karbon aktif menunjukkan penambahan jumlah pori apabila dibandingkan dengan karbon tanpa aktivasi.

### Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Cilacap atas pendanaan penelitian ini skema hibah penelitian DIPA tahun anggaran 2023.

### Daftar Pustaka

- [1] K. S. Khoo, W. Y. Chia, D. Y. Y. Tang, P. L. Show, K. W. Chew, and W. H. Chen, "Nanomaterials Utilization in Biomass for Biofuel and Bioenergy Production," *Energies*, vol. 13, no. 4, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/en13040892.
- [2] A. I. Adnan, M. Y. Ong, S. Nomanbhay, K. W. Chew, and P. L. Show, "Technologies for Biogas Upgrading to Biomethane : A Review," pp. 1–23, 2019.
- [3] Y. Guo, C. Tan, J. Sun, W. Li, J. Zhang, and C. Zhao, "Porous activated carbons derived from waste sugarcane bagasse for CO<sub>2</sub> adsorption," *Chem. Eng. J.*, vol. 381, no. September 2019, p. 122736, 2020, doi: 10.1016/j.ces.2019.122736.
- [4] A. N. Ikhsan, Y. Azmiati, U. Delvianti, and I. Syauniah, "Karakteristik Biosorben Pelepah Nipah (*Nypa fruticarpa*) Untuk Penurunan Kadar Logam Berat Air Merkuri (Hg)," *Jukung J. Tek. Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 46–55, 2021.
- [5] L. F. Ramadhani, I. M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, and Erwan A. Saputro, "Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa," *J. Tek. Kim.*, vol. 26, no. 2, pp. 42–53, 2020, doi: 10.36706/jtk.v26i2.518.
- [6] R. Dewi, A. Azhari, and I. Nofriadi, "Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh," *J. Teknol. Kim. Animal*, vol. 9, no. 2, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jtk.v9i2.3351.
- [7] A. Novananda, I. Rahmawati, S. Sani, D. H. Astuti, and L. Suprianti, "Karbon Aktif Dari Batubara Lignite Dengan Proses Aktivasi Menggunakan Hidrogen Fluorida," *J. Tek. Kim.*, vol. 15, no. 1, 2020, doi: 10.33005/jurnal\_tekkim.v15i1.2297.
- [8] M. Al Muttaqii *et al.*, "Pengaruh Aktivasi secara Kimia menggunakan Larutan Asam dan Basa terhadap Karakteristik Zeolit Alam," *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 13, no. 2, p. 266, 2019, doi: 10.26578/jrti.v13i2.5577.
- [9] Z. Heidarinejad, M. H. Dehghani, M. Heidari, G. Javedan, I. Ali, and M. Sillanpää, "Methods for preparation and activation of activated carbon: a review," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 18, no. 2, pp. 393–415, 2020, doi: 10.1007/s10311-019-00955-0.
- [10] Anonim, "Syarat Mutu Arang Aktif Teknis SNI 06-3730-1995," 1995.
- [11] M. S. Batu, E. Naes, and M. M. Kolo, "Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Sabut Pinang Asal Pulau Timor Sebagai Biosorben Logam Ca dan Mg dalam Air Tanah," *J. Integri.*

- Proses*, vol. 11, no. 1, p. 21, 2022, doi: 10.36055/jip.v11i1.13181.
- [12] H. Roliadi, D. A. Indrawan, G. Pari, R. M. Tampubolon, and A. B. Alat, "Potensi Teknis Pemanfaatan Pelelah Nipah dan Campurannya dengan Sabut Kelapa Untuk Pembuatan Papan Serat Berkerapatan Sedang," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 30, no. 3, pp. 183–198, 2012.
- [13] M. Husnah and R. Y. Lubis, "Asam Fosfat sebagai Aktivator Karbon Aktif Tempurung Buah Nipah," *J. Phi*, vol. 8, no. 2, pp. 21–26, 2022.
- [14] E. Sahara, N. K. Dahliani, and I. B. Manuaba, "Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitri (*Tagetes Erecta*) dengan Aktivator NaOH," *J. Kim.*, vol. 11, no. 2, pp. 174–180, 2017.
- [15] L. Efiyanti, S. A. Wati, and M. Maslahat, "Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika," *J. Ilmu Kehutan.*, vol. 14, no. 1, p. 94, 2020, doi: 10.22146/jik.57479.
- [16] M. Om Prakash, G. Raghavendra, S. Ojha, and M. Panchal, "Characterization of porous activated carbon prepared from arhar stalks by single step chemical activation method," *Mater. Today Proc.*, vol. 39, no. xxxx, pp. 1476–1481, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.370.
- [17] R. Elina, D. Cintya Rori, and M. Khair, "Karakterisasi FTIR pada Karbon Aktif Terimpregnasi ZnO," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 23827–23831, 2023.
- [18] E. A. Khan, Shahjahan, and T. A. Khan, "Adsorption of methyl red on activated carbon derived from custard apple (*Annona squamosa*) fruit shell: Equilibrium isotherm and kinetic studies," *J. Mol. Liq.*, vol. 249, pp. 1195–1211, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2017.11.125.