

SINTESIS KARBON BERPORI DARI BIOMASSA BATANG JAGUNG YANG DIDOPING NITROGEN DAN KARAKTERISASINYA UNTUK APLIKASI PENANGKAP KARBON DIOKSIDA

IRA WULANDARI¹, NOTO SUSANTO GULTOM², BUDI ADIPERDANA, AYI BAHTIAR^{2*}

¹Program Studi Sarjana Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor KM 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, 45363

²Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor KM 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang, 45363

Abstrak. Emisi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer yang meningkat seiring dengan berjalannya waktu dapat memberikan efek yang signifikan terhadap pemanasan global. Teknologi penangkap karbon merupakan salah satu upaya untuk mengurangi emisi CO₂ tersebut. Dalam penelitian ini, disintesis karbon berpori sebagai material adsorben untuk aplikasi penangkap karbon dioksida dari biomassa batang jagung dengan doping atom N yang berasal dari urea (CH₄N₂O) dan aktivator KOH. Variasi rasio massa *raw material*:KOH:urea yang digunakan adalah (1:1:1), (1:1:2), dan (1:1:3). Keberhasilan doping N pada karbon diuji dengan karakterisasi EDS, FTIR dan XPS. Hasil pengukuran EDS menunjukkan adanya kandungan atom C, O yang berasal dari biomassa dan unsur N yang berasal dari doping. Spektra FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi C-N pada bilangan gelombang 1454 cm⁻¹ serta gugus fungsi C=N pada bilangan gelombang 1554-1573 cm⁻¹. Pengukuran XPS menunjukkan adanya ikatan antara atom C dan atom N dalam bentuk *Pyrrolic N*, *Pyrridinic N*, dan *Oxidized N* dengan energi ikat masing-masing 400,1 eV, 398,2 eV, dan 404,6 eV. Hasil EDS, FTIR dan XPS ini menunjukkan bahwa karbon berpori dengan doping N telah berhasil disintesis. Foto SEM menunjukkan terbentuknya pori atau rongga yang tidak terstruktur akibat aktivator KOH dan doping N. Hasil analisis pengukuran BET menunjukkan bahwa rasio (1:1:2) menghasilkan luas permukaan paling tinggi, yaitu 563,494 m²/g, volume total pori sebesar 0,397 cm³/g, dan diameter rata-rata pori sebesar 2,82 nm. Dengan demikian, sampel (1:1:2) memiliki potensi yang paling besar untuk diaplikasikan sebagai material karbon berpori penangkap karbon dioksida.

Kata kunci: penangkap karbon, batang jagung, karbon berpori, karbon berpori doping N.

Abstract. *Carbon dioxide (CO₂) emissions in the atmosphere that increase over time can have a significant effect on global warming. Carbon capture technology is one of the efforts to reduce CO₂ emissions. In this study, porous carbon was synthesized as an adsorbent material for carbon dioxide capture applications from corn stalk biomass with N atom doping from urea (CH₄N₂O) and KOH activator. The variations in the mass ratio of raw material:KOH:urea used were (1:1:1), (1:1:2), and (1:1:3). The success of N doping on carbon was tested by EDS, FTIR and XPS characterization. The results of EDS measurements showed the presence of C, O atoms from biomass and N elements from doping. The FTIR spectrum showed the presence of C-N functional groups at wave numbers 1454 cm⁻¹ and C=N functional groups at wave numbers 1554-1573 cm⁻¹. XPS measurements show the presence of bonds between C atoms and N atoms in the form of Pyrrolic N, Pyrridinic N, and Oxidized N with binding energies of 400.1 eV, 398.2 eV, and 404.6 eV, respectively. The results of EDS, FTIR and XPS indicate that porous carbon with N doping has been successfully synthesized. SEM photos show the formation of unstructured pores or cavities due to KOH activator and N doping. The results of BET measurement analysis show that the ratio (1:1:2) produces the highest surface area, which is 563.494 m²/g, a total pore volume of 0.397 cm³/g, and an average pore diameter of 2.82 nm. Thus, the sample (1:1:2) has the greatest potential to be applied as a porous carbon material for capturing carbon dioxide.*

Keywords: Carbon capture, corn stalk, porous carbon, N-doped, porous carbon.

* Email: ayi.bahtiar@phys.unpad.ac.id

1. Pendahuluan

Emisi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer yang meningkat seiring dengan berjalannya waktu dapat memberikan efek yang signifikan terhadap pemanasan global. Dalam upaya mengurangi emisi CO_2 tersebut, terdapat beberapa teknologi yang telah dikembangkan untuk mengurangi emisi karbon dioksida, salah satunya adalah melalui teknologi penangkap karbon [1]. Teknologi penangkapan karbon dioksida merupakan teknologi yang digunakan untuk menangkap karbon dioksida dari beberapa sumber emisi, sehingga dapat membantu mengatasi perubahan iklim global. Dalam teknologi penangkapan karbon tersebut, terdapat proses pengikatan CO_2 dari gas buang menggunakan teknologi adsorben yang mampu melakukan adsorpsi.

Beberapa material adsorben yang umumnya digunakan antara lain adalah karbon berpori, *Metal Organic Frameworks* (MOFs), dan juga zeolit. Namun, beberapa material seperti MOFs dan zeolit membutuhkan prosedur sintesis yang rumit dan juga biaya yang tinggi dalam pembuatannya [1]. Dari beberapa material adsorben tersebut, material karbon berpori memiliki potensi yang baik sebagai material penangkap CO_2 , karena memiliki beberapa karakteristik yang diinginkan seperti luas permukaan dan volume pori yang besar [2]. Karakteristik tersebut menjadikan karbon berpori menjadi adsorben yang paling efektif digunakan dibandingkan dengan jenis adsorben lainnya sebagai penangkap CO_2 . Selain itu, karbon berpori juga berbiaya produksi yang murah dan bahan baku yang mudah didapatkan karena dapat menggunakan biomassa hasil pertanian sebagai sumber karbon.

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki kandungan seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan material karbon berpori [3]. Dalam pembentukan pori pada material karbon tersebut, dibutuhkan aktivasi secara fisika atau pun secara kimia. Aktivasi secara fisika meliputi karbonisasi dan aktivasi. Sedangkan aktivasi secara kimia meliputi proses impregnasi yang dilakukan sebelum proses pemanasan dalam atmosfer inert [1]. Dalam penelitian ini, digunakan aktivator KOH untuk menghasilkan struktur pori yang baik [4]. Aktivasi kimia dengan KOH dapat dilakukan pada rentang suhu kamar hingga suhu tinggi pada kisaran $450 - 900^\circ\text{C}$. Selama aktivasi kimia, logam kalium (K) dari KOH masuk diantara lapisan struktur karbon dan meningkatkan luas permukaan dan porositas [5]. KOH merupakan alkali kuat membantu melebarkan pori melalui pemutusan struktur karbon, karena bertindak sebagai katalis untuk mendorong oksidasi karbon [6]. Kelebihan K dalam karbon dapat dihilangkan melalui pembilasan dengan air atau HCl 0,1-0,5 M sehingga mampu meningkatkan luas permukaan dan ukuran pori [7].

Penambahan doping heteroatom, seperti atom nitrogen (N) dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan serta penyerapan CO_2 pada material karbon berpori tersebut. Nitrogen merupakan heteroatom CO_2 -filik, sehingga memungkinkan untuk meningkatkan afinitas karbon dioksida akibat terbentuknya interaksi yang lebih kuat antara molekul karbon dioksida dengan gugus fungsional nitrogen [8]. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan Yue, *et al.* (2022) [9], didapatkan bahwa luas permukaan (*surface area*) karbon berpori yang didoping nitrogen mengalami peningkatan daripada karbon berpori yang tidak didoping nitrogen, di mana diperoleh peningkatan dari $1309,2 \text{ m}^2/\text{g}$ menjadi $2152,9 \text{ m}^2/\text{g}$. Oleh karena itu penambahan doping nitrogen menjadi langkah penting untuk menambah luas permukaan karbon berpori agar menjadi potensi yang baik sebagai penangkap CO_2 . Sumber nitrogen yang digunakan dalam penelitian ini adalah urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), karena mudah didapatkan dan murah, sehingga mampu mengurangi biaya produksi.

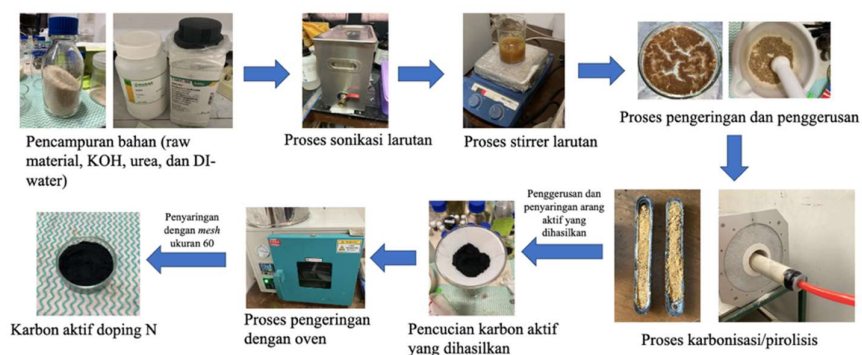
Dalam penelitian ini, dilakukan metode *one-step carbonization* dengan menggunakan batang jagung sebagai sumber karbon dan urea sebagai sumber dopan nitrogen. Metode *one-step carbonization* merupakan proses pembuatan karbon berpori yang melibatkan aktivasi dan juga

karbonisasi secara bersamaan [10]. Proses yang terjadi ketika aktivator berinteraksi dengan biomassa akan menyebabkan terjadinya reaksi dehidrasi dan kondensasi yang mempercepat pelepasan produk gas, sehingga dihasilkan pori-pori yang lebih banyak dan juga lebih besar pada karbon berpori [10]. Selanjutnya, karbonisasi akan menghilangkan sebagian besar unsur non-karbon dan mengubahnya menjadi biochar yang lebih homogen dengan peningkatan sifat seperti luas permukaan spesifiknya [10]. Dengan demikian, dapat dihasilkan karbon berpori dengan daya adsorpsi baik untuk dimanfaatkan sebagai penangkap karbon dioksida.

2. Bahan dan Metoda

Bahan yang digunakan adalah batang jagung sebagai sumber karbon, KOH sebagai aktivator, urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) sebagai sumber doping N, *DI-water* dan etanol. Metode eksperimen yang dilakukan meliputi pembuatan *raw material*, aktivasi, karbonasi dan karakterisasi.

Pembuatan *raw material* diawali dengan pemotongan batang jagung dengan ukuran 1 cm. Kemudian, potongan diblender dan digerus dengan mortar, sehingga diperoleh serbuk batang jagung. Serbuk batang jagung tersebut kemudian dicuci dengan menggunakan *DI-water* untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Terdapat beberapa proses pencucian yang dilakukan. Pertama, serbuk batang jagung direndam dan dicuci dengan *DI-water* lalu disaring dengan menggunakan kertas filter kopi. Selanjutnya, serbuk batang jagung dicuci kembali dengan menggunakan *DI-water* yang telah dipanaskan hingga mendidih, disaring dan dimasukkan ke dalam gelas *beaker* untuk direndam dalam etanol. Kemudian, dipanaskan di atas *hotplate* pada suhu 65°C selama 18 jam. Setelah dipanaskan, serbuk batang jagung yang telah kering tersebut digerus dan selanjutnya digunakan sebagai bahan mentah atau *raw material* dalam sintesis karbon berpori.



Gambar 1. Proses sintesis karbon berpori dari batang jagung yang didoping N

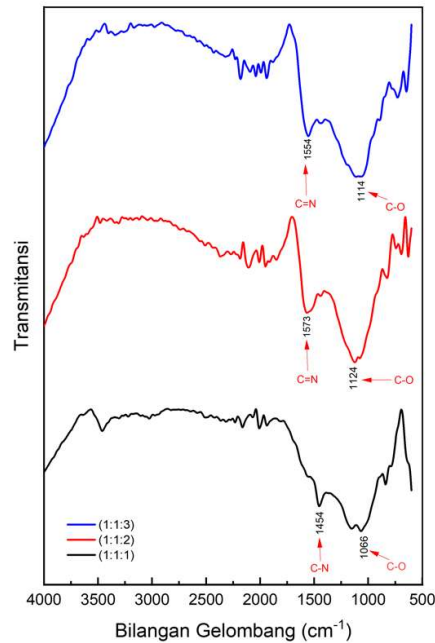
Sintesis karbon berpori dilakukan melalui metode *one-step carbonization*. Melalui proses ini, proses aktivasi dan karbonisasi akan dilakukan secara bersamaan. Pertama-tama, dibuat larutan yang terdiri dari campuran *raw material* batang jagung yang telah dicuci, KOH, urea, dan *DI-water* dengan perbandingan massa sebesar $1:x:40$, di mana x adalah massa dari urea yang divariasikan, sehingga diperoleh sampel dengan rasio (1:1:1), (1:1:2), dan (1:1:3). Bahan-bahan tersebut disonikasi selama 30 menit lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Larutan kemudian difilter dengan menggunakan kertas filter kopi dan endapan yang didapatkan kemudian

dimasukkan ke dalam cawan petri untuk didehidrasi di *hot plate* selama 36 jam pada suhu 85 °C. Setelah itu, sampel yang telah kering digerus dan dimasukkan ke dalam *alumina boat* untuk dilakukan karbonisasi di dalam *tube furnace* dalam aliran gas N₂ pada suhu 700°C selama 2 jam dengan laju pemanasan sebesar 5 °C/min. Setelah proses karbonasi selesai, suhu dibiarkan ke suhu ruang secara alami.

Karbon hasil sintesis, kemudian digerus dan dicuci dengan HCl 0,1-0,5 M hingga mencapai pH netral. Karbon kemudian dikeringkan di dalam *oven* selama satu jam pada suhu 110°C. Selanjutnya, karbon disaring dengan menggunakan *mesh* yang berukuran 60. Proses sintesis karbon berpori tersebut secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1. Karakterisasi karbon berpori dilakukan dengan menggunakan spektroskopi SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy*) SU3500 di Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi, Institut Teknologi Bandung, untuk mengetahui morfologi permukaan dan kandungan unsur dari karbon berpori. Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) di Laboratorium Sentral Universitas Padjadjaran, untuk mengetahui gugus-gugus fungsi dari karbon berpori. Sedangkan pengukuran XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*) di *National Taiwan University of Science and Technology*, dan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*) *Quantachrome Quadrasorb-Evo Surface Area & Pore Size Analyzer* di *Integrated Laboratory Research Center* Universitas Indonesia, untuk mengetahui tingkat porositas (luas permukaan, volume total pori dan diameter rata-rata pori) dari karbon.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran EDS dari karbon untuk masing-masing rasio *raw material* terhadap urea ditunjukkan pada Tabel 1. Tampak bahwa unsur C dan O merupakan unsur dominan dari karbon yang dihasilkan, di mana unsur-unsur tersebut berasal dari komponen utama biomassa dan unsur N berasal dari doping. Persentase atomik N yang meningkat seiring dengan penambahan rasio urea, menunjukkan bahwa karbon doping N telah berhasil disintesis.

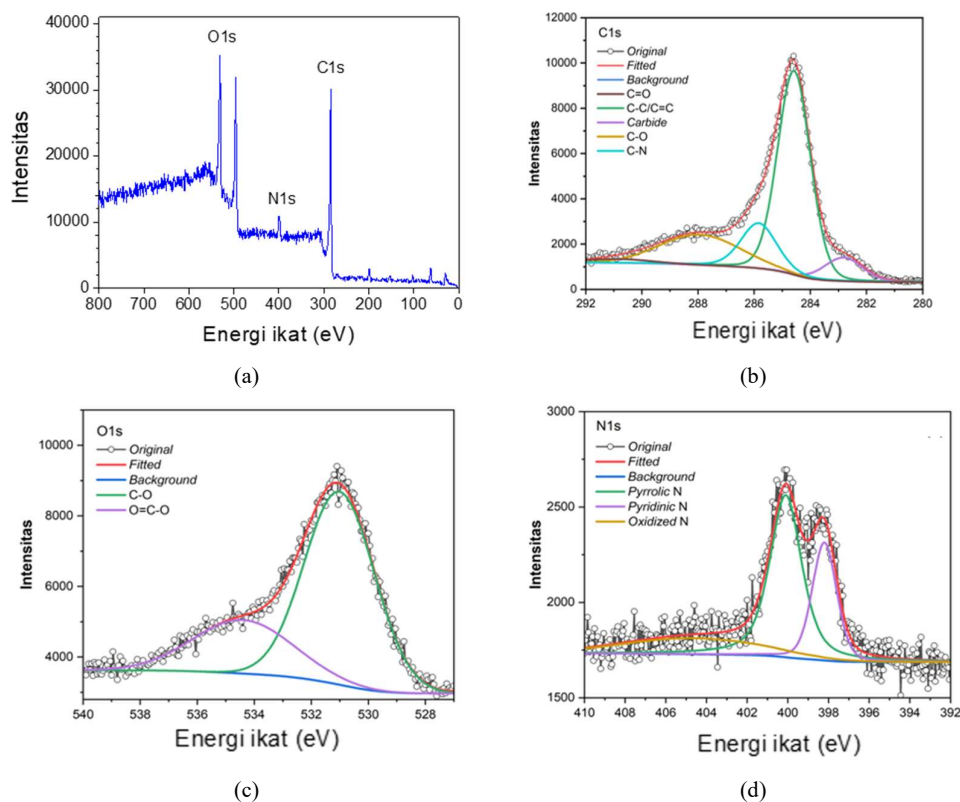


Gambar 2. Spektra FTIR dari sampel karbon berpori yang didoping N

Gambar 2 menunjukkan spektra FTIR dari karbon berpori yang didoping N dengan tiga variasi rasio massa dari *raw material*:KOH:urea, yaitu (1:1:1), (1:1:2), dan (1:1:3). Spektra FTIR tersebut menunjukkan adanya pengaruh urea sebagai sumber doping N melalui gugus fungsi C-N yang teridentifikasi pada bilangan gelombang 1454 cm^{-1} [11] dan C=N pada rentang bilangan gelombang $1554\text{--}1573\text{ cm}^{-1}$ [12]. Adanya kedua gugus fungsi tersebut berasal dari interaksi antara gugus fungsi nitrogen yang berasal dari urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) dengan gugus fungsi karbon dari karbon berpori selama proses doping.

Tabel 1. Hasil EDS dari karbon berpori doping N

No.	Rasio massa <i>raw material</i> :KOH:urea	Berat %			Atomik %		
		C	N	O	C	N	O
1	(1:1:1)	64,14	11,81	24,05	69,47	10,97	19,56
2	(1:1:2)	84,76	12,19	3,05	86,93	10,72	2,35
3	(1:1:3)	61,94	28,28	9,78	66,22	25,93	7,85



Gambar 3. (a) Spektrum survey XPS dari karbon dengan rasio *raw material*:KOH:urea (1:1:1), (b) Hasil *fitting* spektrum XPS (a). C1s, (b). O1s, dan (c). N1s

Hasil pengukuran XPS secara keseluruhan pada variasi rasio massa (1:1:1) ditunjukkan pada Gambar 3. Pengukuran XPS dilakukan untuk mengidentifikasi ikatan kimia antar unsur C, O dan N pada karbon berpori yang telah disintesis. Pada spektrum survey yang ditunjukkan pada Gambar 3, diperoleh adanya puncak spektrum C1s pada 284,58 eV, N1s pada 400,1, dan O1s pada 531,01 eV. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat ikatan antara C dan O, serta ikatan antara C dan N, sehingga mengkonfirmasi bahwa karbon doping N telah berhasil diperoleh. Untuk mengetahui ikatan secara lebih spesifik, maka dilakukan *fitting* pada spektra XPS untuk masing-masing puncak C1s, O1s dan N1s.

Hasil *fitting* dari spektrum XPS untuk C1s yang ditunjukkan pada Gambar 3(b), diperoleh puncak spektrum tertinggi pada 284,58 eV yang menunjukkan adanya ikatan C-C. Selain itu, terdapat empat puncak lain, masing-masing berada pada energi ikat 287,94 eV, 285,84 eV, 290,9 eV, dan 282,8 eV di mana masing-masing menunjukkan adanya ikatan C-O, C-N, C=O, dan *carbide*. Adanya ikatan C-N menunjukkan interaksi antara urea dengan karbon dari karbon berpori yang menunjukkan bahwa doping N telah berhasil dilakukan. Hasil ini sesuai dengan spektrum FTIR yang juga menunjukkan adanya gugus C-N.

Spektrum XPS untuk O1s dan hasil *fitting*-nya ditunjukkan pada Gambar 3(c). Pada gambar tersebut, terdapat 2 (dua) puncak yang menunjukkan ikatan C-O dengan energi ikat 531,01 eV dan ikatan O=C-O dengan energi ikat 534,4 eV. Hasil ini sejalan dengan hasil FTIR yang mengidentifikasi adanya gugus C-O dan C=O. Gambar 3(d) menunjukkan spektrum XPS N1s yang telah di-*fitting*. Terdapat 3 (tiga) puncak pada energi ikat 400,1 eV yang berasal dari ikatan *Pyrrolic* N, energi 398,2 eV akibat ikatan *Pyridinic* N, dan energi ikat pada 404,6 eV yang berasal dari ikatan *Oxidized* N. Masing-masing struktur nitrogen tersebut bertindak sebagai dopan yang memiliki mekanisme berbeda-beda dalam berikatan dengan CO₂. Gugus *Pyrrolic* N merupakan gugus dengan struktur cincin lima atom karbon dan satu atom nitrogen, di mana atom nitrogen tersebut berikatan pada salah satu atom karbon dalam cincin. Sedangkan *Oxidized* N merupakan gugus nitrogen yang teroksidasi pada permukaan karbon berpori. Gugus ini dapat terbentuk melalui reaksi antara nitrogen dan oksigen pada suhu tinggi. Dengan adanya *Pyrrolic* N dan *Oxidized* N, akan terdapat perubahan dalam distribusi elektron di dalam struktur karbon berpori, sehingga dapat memengaruhi interaksi antara karbon berpori dengan molekul CO₂.

Di sisi lain, struktur *Pyridinic* N merupakan modifikasi dari struktur benzena. Namun, dalam struktur *Pyridinic* N tersebut terdapat satu atom nitrogen yang memiliki satu pasang elektron bebas yang tidak berikatan dengan sistem aromatik. Struktur tersebut dianggap sebagai basa Lewis yang dapat berikatan dengan elektron pada molekul asam seperti CO₂ [13]. Maka dari itu, adanya struktur nitrogen tersebut, dapat meningkatkan penangkapan CO₂ oleh karbon berpori.

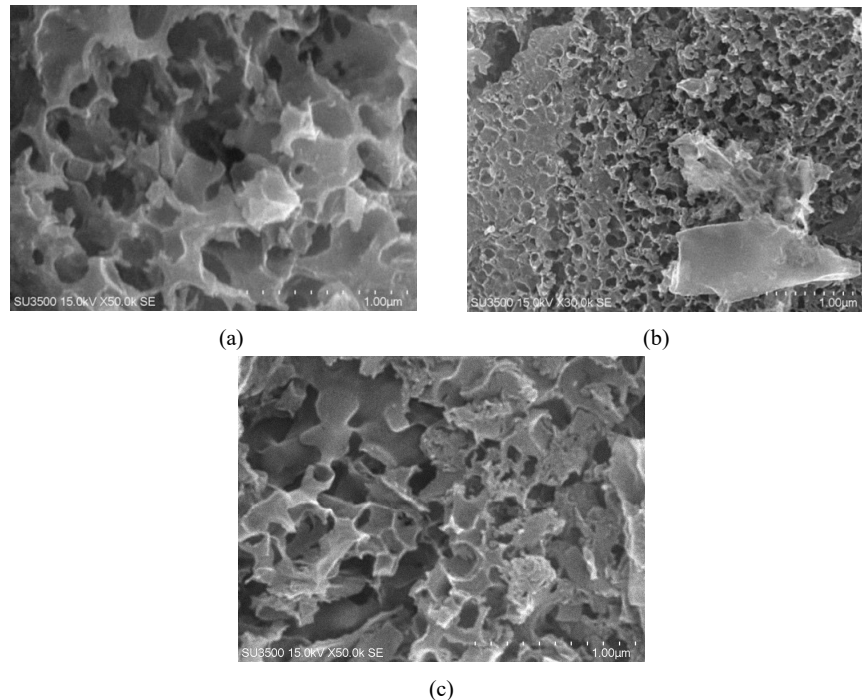
Morfologi permukaan dari karbon berpori dengan variasi rasio doping N yang telah disintesis ditunjukkan oleh hasil foto SEM pada Gambar 4. Dari ketiga variasi rasio urea sebagai doping N yang diberikan, terbentuk pori dengan struktur permukaan yang berbeda-beda, sehingga semua karbon yang disintesis memiliki pori atau kemudian disebut karbon berpori. Pembentukan pori ini disebabkan dari reaksi antara KOH sebagai aktivator dan penambahan doping N dari urea. Namun, pori yang terbentuk kurang terstruktur akibat adanya degradasi termal dari kandungan-kandungan yang terdapat pada urea selama proses pirolisis.

Urea (CH₄N₂O) akan terurai menjadi amonia (NH₃) dan gas CO₂ melalui proses pirolisis pada temperatur yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan melalui reaksi kimia persamaan (1):



Molekul air (H₂O) berasal dari sisa *DI-water* yang tidak menguap selama proses pemanasan pada suhu 85°C selama 36 jam. Gas amonia yang terlepas tersebut kemudian dapat menciptakan pori pada lokasi asalnya, sementara karbon akan teroksidasi dan juga menciptakan pori pada lokasi asalnya. Gas amonia yang terlepas tersebut kemudian dapat berinteraksi kembali dengan mengikis karbon pada biomassa [9]. Reaksi tersebut ditunjukkan pada persamaan (2):





Gambar 4. Foto SEM dari karbon berpori dengan variasi rasio *raw material*:KOH:urea (a). 1:1:1, (b). 1:1:2, dan (c). 1:1:3.

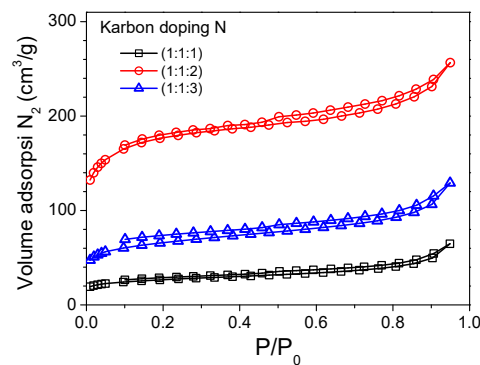
Oleh karena itu, semakin besar degradasi termal atau pelepasan gas yang terjadi, semakin banyak pori yang terbentuk. Namun pori yang terbentuk kurang terstruktur pula. Gambar 5 menunjukkan grafik isotherm adsorpsi dan desorpsi untuk semua sampel karbon. Berdasarkan bentuk kurvanya, dapat dianalisis bahwa grafik isotherm tersebut merupakan tipe IV. Karakteristik kurva isotherm tipe IV sendiri menunjukkan adanya histeresis yang signifikan, di mana histeresis ini menunjukkan adanya mesopori. Hal tersebut ditunjukkan dengan data radius pori pada Tabel 2, di mana ukuran radius pori dari masing-masing variasi karbon berpori yang disintesis adalah lebih dari 2 nm. Jenis isotherm tipe IV ini umumnya ditemukan pada bahan yang memiliki struktur pori yang kompleks dan beragam, contohnya seperti karbon berpori [14]. Berdasarkan hasil analisis dari kurva isotherm ini, diperoleh juga informasi seperti luas permukaan (SA_{BET}), volume total pori dan diameter rata-rata pori, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil analisis BET diperoleh bahwa diameter rata-rata pori berada pada rentang 2,82 - 4,56 nm, lebih besar dari ukuran molekul CO_2 yaitu 0,33 nm, sehingga mampu melewati gas CO_2 .

Tabel 2. Hasil analisis karakterisasi BET karbon berpori doping N

No.	Rasio raw material:KOH:urea	SA _{BET} (m ² /g)	Volume total pori (cm ³ /g)	Diameter rata-rata pori (nm)
1	(1:1:1)	87,922	0,100	4,56
2	(1:1:2)	563,494	0,397	2,82
3	(1:1:3)	241,635	0,199	3,31

Berdasarkan Tabel 2 tersebut, terlihat peningkatan SA_{BET} dari rasio (1:1:1) ke rasio (1:1:2), yaitu dari 87,922 m²/g menjadi 563,494 m²/g dan volume total pori dari 0,100 cm³/g menjadi 0,397 cm³/g. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh penambahan rasio doping N terhadap luas permukaan serta porositas karbon berpori. Berdasarkan reaksi kimia yang ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2), terjadi pelepasan gas-gas seperti NH₃, CO₂, dan HCN selama proses pirolisis yang menyebabkan degradasi termal, sehingga terbentuk pori pada lokasi asal pelepasan gas tersebut. Oleh karena itu, semakin tinggi massa dopan, maka semakin besar degradasi termal terjadi dan menyebabkan semakin banyak pori yang terbentuk.

Pada rasio (1:1:3), terjadi penurunan SA_{BET} dibandingkan dengan rasio (1:1:2), yaitu menjadi 241,635 m²/g dan volume total pori menjadi 0,199 cm³/g. Hal ini dapat disebabkan karena tingginya degradasi termal yang terjadi dan juga banyaknya residu karbon yang dihasilkan, sehingga struktur pori yang dihasilkan akan menjadi rusak, seperti terjadinya penggabungan pori atau perpotongan pori-pori yang berdekatan, dan penurunan volume pori [13]. Hal tersebut juga didukung oleh studi yang telah dilakukan oleh Spessato *et al.*, (2022), dimana semakin tinggi doping N yang diberikan, semakin kecil luas permukaan dari karbon aktif yang terbuat dari kulit kacang Brazil [13].

**Gambar 5.** Kurva isotherm BET untuk karbon berpori dari batang jagung yang didoping.

4. Kesimpulan

Telah berhasil disintesis karbon berpori dari biomassa batang jagung yang didoping N dari urea dan aktivator KOH dengan dengan metode *one-step carbonization*. Rasio massa dari *raw material*:KOH:urea yang digunakan adalah (1:1:1), (1:1:2), dan (1:1:3). Keberhasilan dooping N pada karbon ditunjukkan oleh hasil pengukuran EDS, FTIR dan XPS. Pengukuran EDS menunjukkan kandungan C, O dan N pada semua sampel. Sedangkan pengukuran FTIR mengidentifikasi adanya gugus fungsi C-N pada bilangan gelombang 1454 cm^{-1} serta gugus fungsi C=N pada bilangan gelombang 1554-1573 cm^{-1} . Pengukuran XPS menunjukkan adanya ikatan antara atom C dan atom N dalam bentuk *Pyrrolic N* dengan energi ikat 400,1 eV, *Pyridinic N* (398,2 eV), dan *Oxidized N* (404,6 eV). Hasil foto SEM yang menunjukkan adanya pori atau rongga pada karbon, sehingga disebut karbon berpori. Hasil analisis pengukuran BET menunjukkan bahwa rasio (1:1:2) memiliki luas permukaan (S_{ABET}) karbon berpori terbesar, yaitu 563,494 m^2/g , volume pori sebesar 0,397 cm^3/g , dan diameter pori sebesar 2,82 nm. Dengan demikian karbon berpori yang dibuat dari rasio massa dari *raw material*:KOH:urea (1:1:2) memiliki potensi yang paling tinggi untuk diaplikasikan sebagai material penangkap karbon dioksida.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Universitas Padjadjaran, melalui skema *Academic Leadership Grant* (ALG) dengan nomor kontrak 1549/UN6.3.1/PT.00/2023, Tanggal 27 Maret 2023.

Daftar Pustaka

- [1] G. Nazir, A. Rehman, and S. J. Park, "Role of heteroatoms (nitrogen and sulfur)-dual doped corn-starch based porous carbons for selective CO_2 adsorption and separation", *J. CO_2 Util.*, vol. 51, (2021), p. 101641, doi: 10.1016/j.jcou.2021.101641.
- [2] Y. Li, T. Zhang, Y. Wang, and B. Wang, "Transformation of waste cornstalk into versatile porous carbon adsorbent for selective CO_2 capture and efficient methanol adsorption", *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 5, (2021), p. 106149, doi: 10.1016/j.jece.2021.106149.
- [3] J. S. Lv, X. Y. Liu, J. X. Xu, Y. F. Deng, Z. Wu, Y. M. Wang, M. Y. Fan, and H. Xu, "Preparation and properties of adsorption material from corn stalks core when used for enzyme immobilization and the subsequent activities of the adsorbed enzymes", *Ind. Crops. Prod.*, vol. 50, (2013), pp. 787–796, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.08.068.
- [4] C. Ma, T. Lu, J. Shao, J. Huang, X. Hu, and L. Wang, "Biomass derived nitrogen and sulfur co-doped porous carbons for efficient CO_2 adsorption", *Sep. Purif. Technol.*, vol. 281, (2022), p. 119899, doi: 10.1016/j.seppur.2021.119899.
- [5] N. Liu, A. B. Charrua, C.-H. Weng, X. Yuan, and F. Ding, "Characterization of biochars derived from agriculture wastes and their adsorptive removal of atrazine from aqueous solution: A comparative study", *Bioresour. Technol.*, vol. 198, (2015), pp. 55–62, doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.129.
- [6] M. A. Lillo-Ródenas, J. Juan-Juan, D. Cazorla-Amorós, and A. Linares-Solano, "About reactions occurring during chemical activation with hydroxides", *Carbon*, vol. 42, no. 7, (2004), pp. 1371–1375, doi: 10.1016/j.carbon.2004.01.008.

- [7] V. Benedetti, E. Cordioli, F. Patuzzi, and M. Baratieri, "CO₂ Adsorption study on pure and chemically activated chars derived from commercial biomass gasifiers", *J. CO₂ Util.*, vol. 33, pp. 46–54, (2019), doi: 10.1016/j.jcou.2019.05.008.
- [8] W. Shi, J. Yu, H. Liu, D. Gao, A. Yuan, and B. Chang, "Hierarchically nanoporous carbon for CO₂ capture and separation: roles of morphology, porosity, and surface chemistry", *ACS Appl. Nano. Mater.*, vol. 6, no. 9, (2023), pp. 7887–7900, doi: 10.1021/acsanm.3c01040.
- [9] X. Yue, H. Yang, Y. Cao, L. Jiang, H. Li, F. Shi, and J. Liu, "Nitrogen-doped cornstalk-based biomass porous carbon with uniform hierarchical pores for high-performance symmetric supercapacitors", *J. Mater. Sci.*, vol. 57, no. 5, (2022), pp. 3645–3661, doi: 10.1007/s10853-022-06891-9.
- [10] L. Zhu, Q. Wang, H. Wang, F. Zhao, and D. Li, "One-step chemical activation facilitates synthesis of activated carbons from *Acer truncatum* seed shells for premium capacitor electrodes", *Ind. Crops. Prod.*, vol. 187 Part B, no. 1, (2022), p. 115458, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115458.
- [11] Y. V. Fedoseeva, E. V. Lobiak, E. V. Shlyakhova, K. A. Kovalenko, V. R. Kuznetsova, A. A. Vorfolomeeva, M. A. Grebenkina, A. D. Nishchakova, A. A. Makarova, L. G. Bulusheva, A. V. Okotrub 'Hydrothermal activation of porous nitrogen-doped carbon materials for electrochemical capacitors and sodium-ion batteries', *Nanomaterials*, vol. 10, no 1 (2020), p. 2163. <https://doi.org/10.3390/nano10112163>.
- [12] X. Xu, T. Yuan, Y. Zhou, Y. Li, J. Lu, X. Tian, D. Wang, J. Wang 'Facile synthesis of boron and nitrogen-doped graphene as efficient electrocatalyst for the oxygen reduction reaction in alkaline media', *Int. J. Hydrog. Energy.*, vol. 39, no. 28 (2014), pp. 16043–16052. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.12.079>.
- [13] L. Spessato, V. A. Duarte, J. M. Fonseca, P. A. Arroyo, and V. C. Almeida, "Nitrogen-doped activated carbons with high performances for CO₂ adsorption", *J. CO₂ Util.*, vol. 61, (2022), p. 102013, doi: 10.1016/j.jcou.2022.102013.
- [14] C. Zheng, H. Song, Y. Xie, X. Yang, L. Lan, K. Kang, and S. Bai, "Modeling of multi-temperature IV and V-type water vapor adsorption isotherms on activated carbons for chemical protection", *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 670, (2023), p. 131486, doi: 10.1016/j.colsurfa.2023.131486.