

Pengaruh NaOH dan Suhu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Sekam Padi Teraktivasi H_3PO_4

Cucun Alep Riyanto*, Ezra Kurniawan, November Rianto Aminu

Didaftarkan: [22 Juli 2021]

Direvisi: [25 Agustus 2021]

Terbit: [31 Oktober 2021]

ABSTRAK: Pemanfaatan limbah sekam padi (*Oryza sativa*) yang kurang maksimal di Dusun Glendang, Desa Watuagung, membuat peneliti berupaya untuk memanfaatkan limbah ini sebagai karbon aktif karena komponen senyawa penyusun dan kenaikan harga ekonomisnya. Tujuan dalam penelitian ini adalah menentukan karakteristik karbon aktif sekam padi yang dipengaruhi oleh suhu aktivasi dan tahap pemrosesan awal menggunakan NaOH. Penelitian dilakukan dengan tahap refluks NaOH pada serbuk sekam padi, aktivasi dengan rasio impregnasi karbon: H_3PO_4 30% (1:4, b/b), pemanasan pada variasi suhu 400°C hingga 800°C, serta karakterisasi menggunakan instrumen FT-IR, XRD, dan SEM-EDX. Suhu optimum pada penelitian ini didapatkan pada karbon aktif sekam padi 600°C (KASP 600) dan karbon aktif sekam padi basa 700°C (KASPB 700) dimana keduanya mengandung gugus fungsional -O-H, -C-H, -C≡C, -C=C, -C=O, -Si-O, dan -C-O. Sifat kristalinitas kedua karbon aktif ini terdiri atas fase campuran *amorf* dan kristalin silika pada kisaran $2\theta = 22^\circ$ dan 24° dengan latar belakang luas. Berdasarkan hasil analisis SEM-EDX, tahap pemrosesan awal menggunakan NaOH berdampak menurunkan sebesar 1,21% kandungan silika anorganik pada karbon aktif sekam padi yang membuat strukturnya terlihat lebih banyak lubang atau retakan. Dominasi unsur penyusun karbon aktif sekam padi dalam penelitian ini secara berurutan adalah O, C, P, Si, dan Na.

Kata kunci: impregnasi H_3PO_4 , karbon aktif, pemrosesan awal NaOH, sekam padi, suhu aktivasi

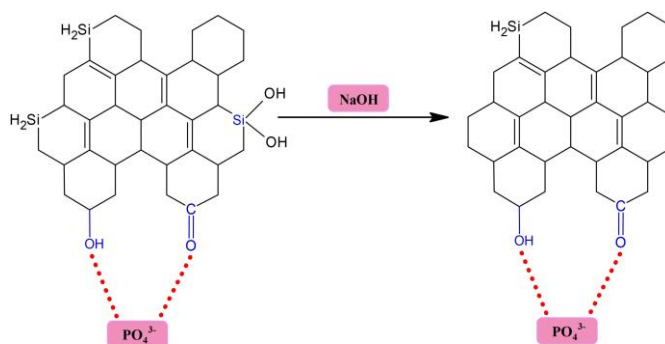
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki produksi beras cukup tinggi pada tahun 2019 yang mencapai 31,31 juta ton atau 54,60 juta ton GKG (Gabah Kering Giling) [1], produksi ini berdampak pada tingginya limbah sekam padi yang dihasilkan dari proses penggilingan padi. Produksi sekam padi dapat diperkirakan sebanyak 20% dari hasil produksi GKG, sehingga dapat diperkirakan terdapat 10,92 juta ton limbah sekam padi pada tahun 2019 [1], [2]. Akan tetapi, hingga saat ini pengolahan limbah sekam padi belum terlalu optimum, sebagai contoh di Dusun Glendang, Desa Watuagung, Kecamatan Tuntang, Kabupaten Semarang, sekam padi hanya dimanfaatkan sebagai alas ternak ayam agar mempermudah pembersihan kotoran ayam pada kandang. Pada sisi lain, limbah sekam padi berpotensi dimanfaatkan sebagai karbon aktif.

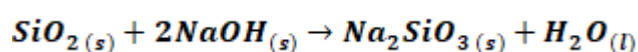
Pemilihan karbon aktif untuk mengatasi limbah sekam padi didasarkan pada kenaikan harga ekonomisnya yang cukup tinggi dan kandungan senyawa kimia didalamnya seperti selulosa (38 %), lignin (22 %), hemiselulosa (18 %), dan silika anorganik (17-20 %) [3]. Kandungan silika anorganik akan menutupi pori-pori karbon aktif, dimana pori-pori tersebut akan berperan dalam proses penyerapan. Menurut [4] pembuatan karbon aktif sekam padi disarankan menggunakan tahap pemrosesan awal menggunakan hidroksida alkali seperti NaOH karena akan membentuk senyawa Na_2SiO_3 yang mudah larut dalam air. Salah satu cara untuk memperbesar luas area penyerapan dan volume pori dalam karbon aktif adalah melalui proses aktivasi kimia menggunakan beberapa bahan kimia seperti NaOH, KOH, ZnCl_2 , dan H_3PO_4 [5]. Memasuki era *green chemistry* dampak terhadap lingkungan menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam sintesis material. Menurut [6], H_3PO_4 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan aktivator lainnya, yaitu lebih ramah terhadap lingkungan, memerlukan energi rendah dalam proses aktivasi, dan lebih ekonomis. Keunggulan lain menggunakan H_3PO_4 adalah dapat menghasilkan material karbon aktif yang memiliki pori-pori dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan beberapa aktivator kimia lainnya [7]. Selain aktivator kimia, salah satu parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik permukaan karbon aktif adalah suhu dalam melakukan proses aktivasi [6].

Banyak peneliti sebelumnya yang telah mensintesis karbon aktif dari bahan alam dengan berbagai perlakuan. Penelitian [8] melakukan aktivasi karbon aktif sekam padi menggunakan aktivator kimia NaOH dan HCl untuk melihat efektivitas pelarutan silika. Penelitian [9] melakukan karakterisasi karbon aktif dari kulit kesumba (*Bixa orellana* L) yang ditinjau dari suhu aktivasi dan rasio impregnasi dari H_3PO_4 50%. Penelitian [10] melakukan karakterisasi karbon aktif daun eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) berdasarkan variasi suhu aktivasi (400-800°C) dan waktu aktivasi (30-150 menit) menggunakan H_3PO_4 (30%) pada rasio impregnasi 1:4 (b/b). Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan, belum ada penelitian yang melihat pengaruh preparasi awal NaOH terhadap karakteristik karbon aktif sekam padi (*Oriza sativa*) pada variasi suhu 400-800°C menggunakan H_3PO_4 (30%) pada rasio impregnasi 1:4 (b/b).

Penelitian ini [10], [11] dengan modifikasi:



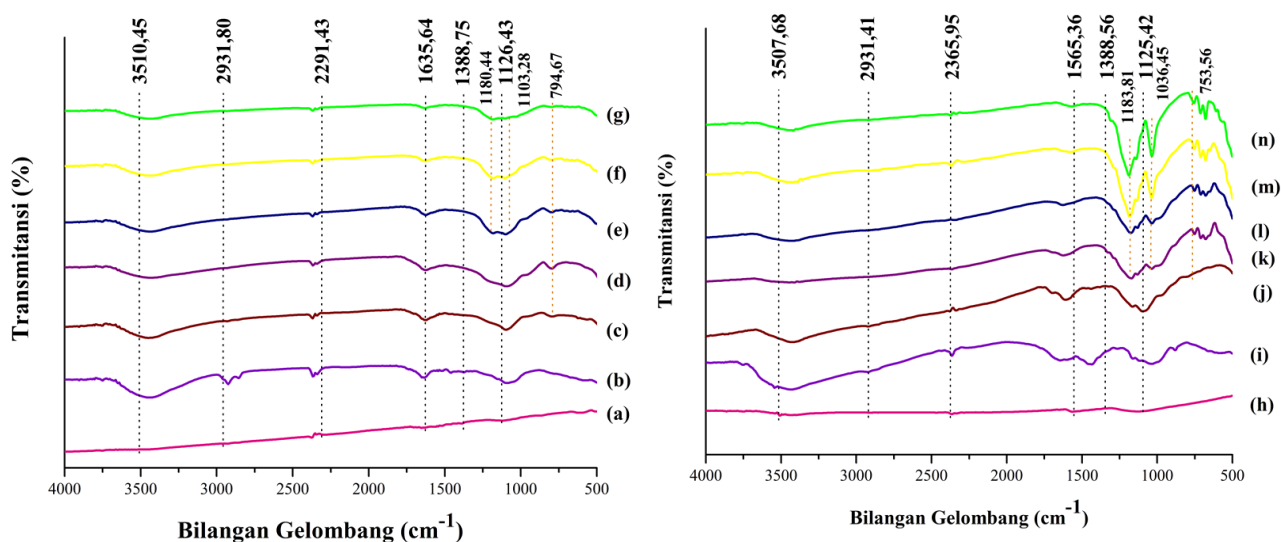
Reaksi penghilangan silika



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Gugus Fungsional (FT-IR)

Hasil spektra FT-IR karbon aktif sekam padi (KASP) dan karbon aktif sekam padi basa (KASPB) dapat dilihat pada **Gambar 1**. KASP dan KASPB pada **Gambar 1c-g; 1j-n** memiliki puncak vibrasi yang terdeteksi pada $3400\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ dan $1500\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ yang secara berturut-turut terdeteksi sebagai vibrasi *stretching* dari -OH (gugus hidroksil) [12] dan vibrasi *stretching* -C=O (gugus karbonil) atau -C=C (alkena) [13]. Terjadinya penurunan dan pergeseran puncak menunjukkan akibat dari adanya aktivasi H_3PO_4 dan suhu aktivasi, yang mana dapat berarti bahwa suhu aktivasi akan mempengaruhi interaksi antara H_3PO_4 terhadap gugus fungsional -OH , -C=O , dan/atau -C=C [11]. Puncak vibrasi pada kisaran panjang bilangan gelombang 1126 cm^{-1} menandakan vibrasi *stretching* dari P=O , C-O-P , dan ikatan P=OOH [14]. Pada SSA dan SSAB puncak ini terdeteksi pada $1080,14\text{ cm}^{-1}$ dan $1034,58\text{ cm}^{-1}$, setelah menjadi karbon aktif puncak tersebut akan mengalami pergeseran yang berada pada kisaran 1100 cm^{-1} . Hal ini disebabkan karena telah terbentuknya senyawa baru karbon-fosfat akibat dari adanya proses aktivasi menggunakan asam fosfat [11]. Munculnya puncak $750\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ pada KASP dan KASPB menunjukkan adanya vibrasi gugus Si-O [13], munculnya silika dalam penelitian ini disebabkan karena sebesar 17-20% senyawa penyusun sekam padi merupakan silika anorganik, dimana persentase ini akan menjadi 80-95% pada abu sekam padi [15].



Gambar 1. Spektra FT-IR: a) karbon aktif standard; b) serbuk sekam padi (SSA); karbon aktif sekam padi (KASP) pada suhu aktivasi: c) 400°C ; d) 500°C ; e) 600°C ; f) 700°C ; g) 800°C ; h) karbon aktif standard; i) serbuk sekam padi basa (SSAB); karbon aktif sekam padi basa (KASPB) pada suhu aktivasi: j) 400°C ; k) 500°C ; l) 600°C ; m) 700°C ; n) 800°C .

Peningkatan suhu aktivasi akan berpengaruh terhadap munculnya 2 puncak baru pada kisaran bilangan gelombang 1125 cm^{-1} seperti terlihat pada **Gambar 1e-g** dan **Gambar 1k-n**, kemunculan 2 puncak yang teramati menunjukkan adanya vibrasi antara molekul -C-O dengan gugus Si-O ($1103,28$ & $1036,45\text{ cm}^{-1}$) dan fosfat ($1180,64$ & $1183,31$

cm⁻¹) [11]. Pergeseran ini menandakan adanya pergeseran dominasi vibrasi C-O menjadi vibrasi Si-O karena terbentuknya ikatan Si-O [16], [17]. Hal ini sekaligus membuktikan bahwa silika anorganik akan terbentuk apabila sekam padi dipanaskan pada suhu tinggi [18], dimana dalam penelitian ini pembentukan senyawa silika tersebut mulai terjadi pada suhu 600°C (KASP) dan 500°C (KASPB). Hasil lebih lengkap analisis gugus fungsional FT-IR dapat dilihat pada **Tabel 1**.

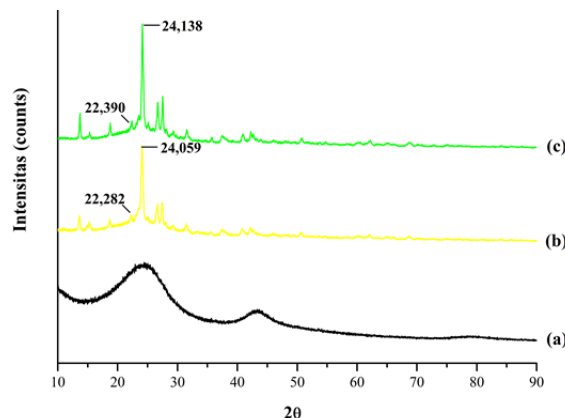
Tabel 1. Gugus fungsional karbon aktif sekam padi (KASP) dan karbon aktif sekam padi basa (KASPB) berdasarkan analisis FT-IR

Sampel	Bilangan Gelombang Gugus Fungsional (cm ⁻¹)						
	C-O Si-O	C-H	C=C C=O	C≡C	C-H Str	O-H	Si-O
Karbon aktif standard (a)	1126,43	1388,75	1635,64	2291,43	2931,80	3510,45	-
SSA (b)	1080,14	1373,32	1635,64	2276,00	2924,09	3448,72	-
KASP 400 (c)	1095,57	1388,75	1627,92	2276,00	2931,80	3448,72	794,67
KASP 500 (d)	1095,57	1388,75	1620,21	2337,72	2931,80	3425,58	794,67
KASP 600 (e)	1103,28	1388,75	1620,21	2283,72	2931,80	3433,29	794,67
KASP 700 (f)	1103,28	1388,75	1627,92	2276,00	2931,80	3433,29	794,67
KASP 800 (g)	1103,28	1388,75	1627,92	2337,72	2931,80	3425,58	794,67
Karbon aktif standard (h)	1125,42	1388,56	1565,36	2365,95	2931,41	3507,68	-
SSAB (i)	1034,58	1388,56	1645,03	2364,14	2931,41	3428,66	-
KASPB 400 (j)	1096,59	1388,56	1607,22	2356,70	2931,41	3433,33	750,21
KASPB 500 (k)	1170,92	1388,56	1624,18	2343,20	2931,41	3445,30	751,53
KASPB 600 (l)	1173,50	1388,56	1625,62	2372,18	2931,41	3438,93	751,74
KASPB 700 (m)	1183,81	1388,56	1579,50	2367,55	2931,41	3423,15	753,56
KASPB 800 (n)	1187,99	1388,56	1670,14	2352,84	2931,41	3419,00	756,00

Berdasarkan **Tabel 1** dipilih karbon aktif sekam padi dengan suhu aktivasi 600°C (KASP 600) dan karbon aktif sekam padi basa dengan suhu aktivasi 700°C (KASPB 700) sebagai perlakuan paling optimum karena memiliki puncak vibrasi yang lebih menyerupai spektra karbon aktif standar dibandingkan suhu aktivasi lainnya. Selain itu, intensitas puncak pada bilangan gelombang 1103,28 dan 1183,81 cm⁻¹ yang menunjukkan interaksi pembentukan ikatan C-O-P [11] lebih tinggi dibandingkan perlakuan suhu aktivasi lainnya.

Hasil Analisis Kristalinitas (XRD)

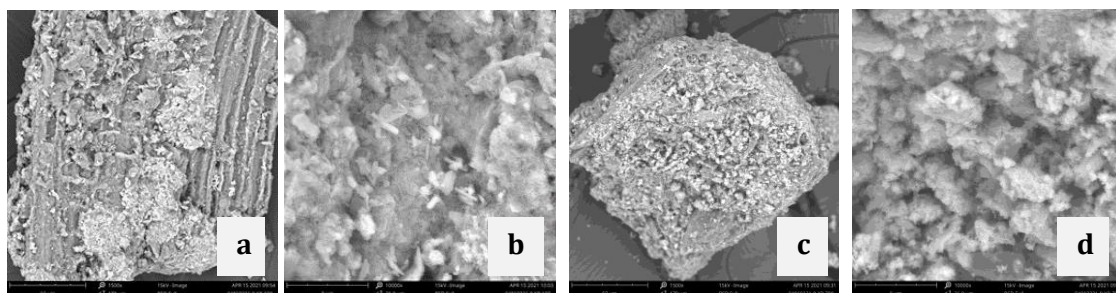
Gambar 2a menunjukkan bahwa difaktrogram karbon aktif standard komersial menunjukkan latar belakang yang luas dan tidak memiliki puncak yang runcing atau tajam pada 2θ = 25-26° dan 42-44°, hal ini dapat diartikan bahwa karbon aktif standard didominasi oleh struktur *amorf* [19]. Berbeda dengan karbon aktif standard komersial, KASP 600 dan KASPB 700 (**Gambar 2b-c**) memiliki latar belakang yang cukup luas dan beberapa puncak yang runcing dan tajam. Puncak runcing KASP 600 muncul pada 2θ = 22,282° dan 24,059°, sedangkan puncak runcing KASPB 700 muncul pada 2θ = 22,390° dan 24,138°. Menurut [20] munculnya puncak runcing dan tajam pada kisaran 2θ = 22° – 24° pada karbon aktif sekam padi sebagai fase kristalin silika yang teridentifikasi berturut-turut sebagai kristobalit dan tridimit. Adanya sifat kristalin dalam karbon aktif sekam padi mengindikasikan bahwa telah terbentuk karbon aktif sekam padi yang memiliki fase campuran *amorf* dan kristalin silika [20].



Gambar 2. Difraktogram XRD: a) karbon aktif standard; b) karbon aktif sekam padi suhu 600 °C (KASP 600); c) karbon aktif sekam padi basa suhu 700 °C (KASPB 700).

Hasil Analisis Citra Permukaan dan Komposisi Unsur (SEM-EDX)

Citra permukaan karbon aktif sekam padi (KASP 600) dan karbon aktif sekam padi basa (KASPB 700) dapat dilihat pada **Gambar 3**. Struktur KASPB 700 memiliki lapisan silika yang sudah berkurang dibandingkan KASP 600, serta pada KASPB 700 juga memiliki lebih banyak retakan dan beberapa lubang, adanya lapisan silika pada bagian *amorf* karbon membuat karbon terlihat memiliki komposisi penyusun yang tidak seragam atau heterogen [20]. Struktur karbon aktif sekam padi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti adanya proses aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 dan proses pemanasan pada suhu tinggi dimana memiliki dampak langsung terhadap suatu materi khususnya karbon aktif [5].



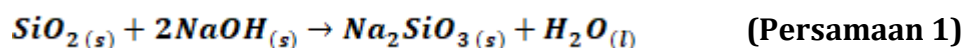
Gambar 3. Citra permukaan: a) KASP 600 perbesaran 1500x; b) KASP 600 perbesaran 10000x; c) KASPB 700 perbesaran 1500x; d) KASPB 700 perbesaran 10000x.

Tabel 2 menunjukkan analisa kandungan komposisi unsur yang terdapat pada KASP 600 dan KASPB 700 dimana keduanya memiliki 2 komponen unsur penyusun dengan persentase cukup tinggi yaitu unsur C dan O. Kandungan unsur P pada KASP 600 (17,48%) lebih besar 4,92% dari kandungan unsur P pada KASPB 700 (12,56%). Hal ini berarti aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 sekam padi lebih optimal pada tahap tanpa perlakuan basa. Munculnya unsur Na dalam analisa ini menunjukkan adanya senyawa oksida (Na_2O) yang terbentuk dari proses pemanasan menggunakan suhu tinggi pada karbon aktif sekam padi [21]. Dominasi unsur penyusun karbon aktif sekam padi dalam penelitian ini secara berurutan adalah O, C, P, Si, dan Na.

Tabel 2. Komposisi unsur yang terdapat pada karbon aktif sekam padi berdasarkan analisis SEM-EDX.

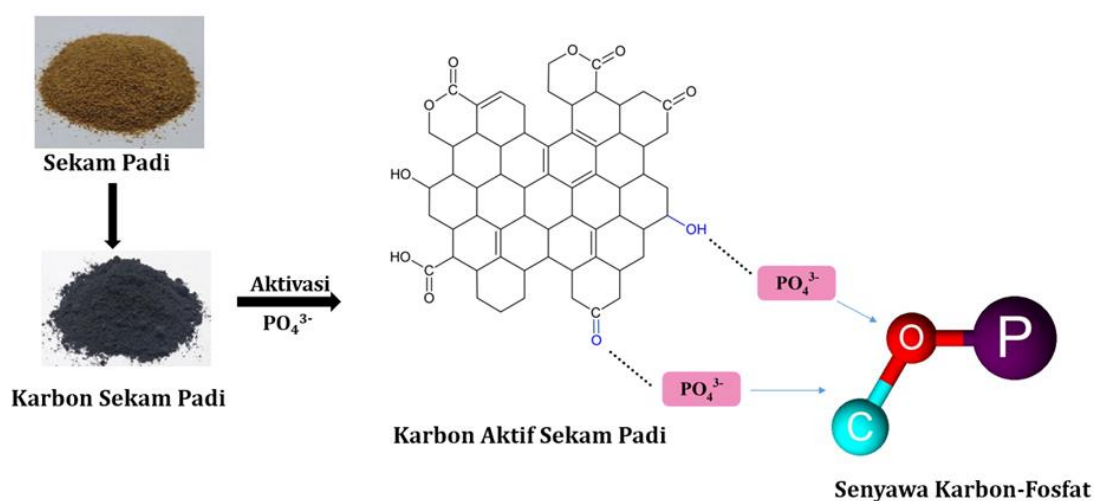
Sampel	Konsentrasi Unsur				
	C (%)	O (%)	P (%)	Na (%)	Si (%)
Karbon aktif sekam padi (KASP 600)	28,17	46,44	17,48	1,10	6,81
Karbon aktif sekam padi basa (KASPB 700)	27,01	53,46	12,56	1,37	5,60

Pengaruh tahap pemrosesan awal menggunakan NaOH pada karbon aktif basa adalah terjadinya penurunan kadar silika anorganik sebesar 1,21% dari kadar silika awal 6,81% (KASP 600) menjadi 5,60% (KASPB 700). Penurunan kadar silika ini disebabkan oleh terbentuknya senyawa natrium silikat (Na_2SiO_3) sesuai dengan **Persamaan 1** [5], dimana senyawa Na_2SiO_3 sangat mudah larut dalam air sehingga proses penghilangan silika akan menjadi lebih mudah yaitu hanya dengan melalui proses pencucian saja [22]. Hilangnya silika anorganik menyebabkan karakteristik permukaan karbon aktif sekam padi dengan tahap pemrosesan awal menggunakan NaOH lebih terlihat banyak retakan dan lubang seperti terlihat pada **Gambar 3c-d**, peningkatan porositas ini dipengaruhi oleh hilangnya silika yang menutupi pori-pori karbon aktif sekam padi yang sudah ada [11], [22].



Prediksi Interaksi Gugus Karbon Aktif Sekam Padi

Gambar 4 memperlihatkan bahwa aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 dengan rasio impregnasi 1:4 (b/b), akan berdampak pada struktur senyawa kimia karbon aktif sekam padi. Proses ini terjadi ketika H_3PO_4 masuk diantara rantai karbonil pada karbon sekam padi, mengganggu ikatan hidrogen yang ada, menggantikannya dengan ikatan karbon-fosfat, dan secara terus-menerus memecah-mecah rantai hingga ke seluruh bagian struktur molekul. Hal ini mengakibatkan peningkatan luas permukaan karbon aktif untuk melakukan proses adsorpsi/penjerapan [23], [24].

**Gambar 4.** Pembentukan senyawa baru karbon-fosfat pada karbon aktif sekam padi [11].

KESIMPULAN

Karbon aktif sekam padi (KASP) maupun karbon aktif sekam padi basa (KASPB), keduanya mengandung gugus fungsional -O-H, -C-H, -C $\equiv$ C, -C=C, -C=O, -Si-O, dan -C-O, berdasarkan hasil analisis FTIR. Suhu aktivasi optimum pembuatan karbon aktif sekam padi adalah 600°C (KASP 600) dan karbon aktif sekam padi basa adalah 700°C (KASPB 700) dengan rasio impregnasi karbon:H₃PO₄ 30% (1:4, b/b) dan waktu pemanasan selama 1 jam. Hasil analisa XRD menunjukkan keduanya (KASP 600 dan KASPB 700) memiliki fase campuran *amorf* dan kristalin silika yang ditandai dengan latar belakang luas dan munculnya 2 puncak tajam pada kisaran 2 θ = 22° dan 24°. Pengaruh tahap pemrosesan awal menggunakan NaOH adalah menurunnya kandungan silika dari KASP 600 menjadi pada KASPB 700 sebesar 1,21%, sehingga terlihat lebih banyak retakan dan lubang pada KASPB 700. Berdasarkan hasil analisa SEM-EDX, karbon aktif sekam padi (KASP 600) tersusun atas unsur O (46,44 %), C (28,17 %), P (17,48 %), Si (6,81 %), dan Na (1,10 %). Pada karbon aktif sekam padi basa (KASPB 700) tersusun atas unsur O (53,46 %), C (27,01 %), P (12,56 %), Si (5,60 %), dan Na (1,37 %).

PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana. Sampel sekam padi diperoleh dari penggilingan beras daerah Watugung Kab. Semarang dan sekitarnya. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pH meter (Hanna HI 9812), ayakan 30 & 60 *mesh* (ABM), tungku pembakaran/*furnace* (Vulcan A-550), alat refluks (Pyrex), kertas saring (Whatman no 91) dan bahan kimia NaOH, HCl, H₃PO₄, yang masing masing berderajat PA (*Pro-Analysis*, E-Merck Germany), serta akuades dan karbon aktif standard yang didapatkan di Laboratorium Kimia Universitas Kristen Satya Wacana. Karakterisasi hasil karbon aktif sekam padi dianalisa menggunakan Spektrofotometer Inframerah (FT-IR, Shimadzu Prestige 21 dan Nicolet Avatar 360 IR), Difraktometer Sinar-X (XRD, Bruker D2 Phaser), dan Mikroskop Pemindai Elektron (SEM-EDX, Phenom Desktop ProXL) yang dilakukan di Universitas Gadjah Mada dan Universitas Islam Indonesia.

Pemrosesan Awal Menggunakan NaOH 2N [11] yang dimodifikasi

Seberat 50 gram sekam padi berukuran 30 *mesh* atau SSP (Serbuk Sekam Padi) ditambahkan ke dalam kolf yang berisi 200 mL NaOH 2N dan direfluks pada suhu 100°C selama 2 jam, dinetralkan menggunakan HCl 1N dan akuades hingga pH 7. Setelah netral, dimasukkan ke dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Hasil yang diperoleh dari tahap ini disebut SSPB (Serbuk Sekam Padi Basa).

Karbonisasi dan Aktivasi Sampel [9], [10] yang dimodifikasi

Disiapkan SSP, dilakukan pre-karbonisasi dengan suhu 400°C selama 1 jam menggunakan tungku pembakaran, dilakukan aktivasi menggunakan H₃PO₄ 30% dengan rasio impregnasi 1:4 (g/g) selama 24 jam, lalu SSP hasil aktivasi kimia dioven pada suhu 110°C selama 24 jam. Dilakukan aktivasi SSP pada suhu 400, 500, 600, 700, dan 800 °C selama 1 jam dan dicuci menggunakan akuades hingga pH 7, dioven pada suhu 110°C selama 24 jam. Diulangi langkah di atas dengan mengganti SSP menjadi SSPB. Karbon aktif hasil dari proses SSP selanjutnya disebut sebagai karbon aktif sekam padi (KASP), sedangkan karbon aktif hasil dari proses SSPB selanjutnya disebut sebagai karbon aktif sekam padi basa (KASPB).

Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi gugus fungsional, sifat kristal, citra permukaan, dan komposisi unsur karbon aktif sekam padi berturut-turut dianalisis menggunakan instrumen FT-IR, XRD, dan SEM-EDX.

DEKLARASI

Para Penulis tidak memiliki konflik dalam hal penulisan dan pendanaan.

PERSANTUNAN

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga atas dukungan dana untuk analisis/karakterisasi material karbon aktif dan pembelian beberapa bahan kimia (*reagent grade pro-analysis*) melalui Skema Hibah Penelitian Internal Skim Penelitian Fundamental Tahun Anggaran 2020 Periode Juli – Desember 2020.

INFORMASI TENTANG PENULIS

Cucun Alep Riyanto*,
Ezra Kurniawan,
November Rianto Aminu

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

*E-mail: cucun.riyanto@uksw.edu

PUSTAKA

- [1] Hermanto, "Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2019," 2020.
Available: <https://www.bps.go.id>.
- [2] L. Xiong, K. Saito, E. H. Sekiya, P. Sujaridworakun, and S. Wada, "Influence of Impurity Ions on Rice Husk Combustion," *Journal Metals, Materials, and Minerals*, vol. 19, no. 2, pp. 73–77, 2009.
Available:
<https://pdfs.semanticscholar.org/00d3/4b9850a4cdb14fb7c06042b50e7351e4ca6>

- 5.pdf.
- [3] H. Xu *et al.*, "Nanoporous Activated Carbon Derived from Rice Husk for High Performance Supercapacitor," *Journal of Nanomaterials.*, vol. 2014, pp. 1–8, 2014, doi: [dx.doi.org/10.1155/2014/714010](https://doi.org/10.1155/2014/714010).
- [4] K. Le Van, T. Luong, and T. Thu, "Preparation of Pore-Size Controllable Activated Carbon from Rice Husk Using Dual Activating Agent and Its Application in Supercapacitor," *Journal of Chemistry.*, vol. 2019, pp. 1–11, 2019, doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4329609>.
- [5] E. Menya, P. W. Olupot, H. Storz, M. Lubwama, and Y. Kiros, "Production and Performance of Activated Carbon from Rice Husks for Removal of Natural Organic Matter from Water : A Review," *Chemical Engineering Research and Design.*, vol. 129, pp. 271–296, 2017, doi: [10.1016/j.cherd.2017.11.008](https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.11.008).
- [6] Z. Heidarinejad, M. Dehghani, Mohammad Hadi Heidari, G. Javedan, I. Ali, and M. Sillanpaa, "Methods for Preparation and Activation of Activated Carbon: a Review," *Environmental Chemistry Letters.*, no. January, 2020, doi: [10.1007/s10311-019-00955-0](https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0).
- [7] L. K. Shrestha *et al.*, "Nanoporous Carbon Materials with Enhanced Supercapacitance Performance and Non-aromatic Chemical Sensing with C1/C2 Alcohol Discrimination," *Science and Technology of Advanced Materials.*, vol. 17, no. 1, pp. 483–492, 2016, doi: [10.1080/14686996.2016.1219971](https://doi.org/10.1080/14686996.2016.1219971).
- [8] R. Alfianto, "Kajian Pembuatan Arang Aktif dari Sekam Padi dengan Teknik Pelarutan Silika," Institut Pertanian Bogor, 2011.
Available: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/54031>
- [9] C. A. Riyanto, M. S. Ampri, and Y. Martono, "Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon from Annatto Peels (*Bixa orellana L.*) Viewed from Temperature Activation and Impregnation Ratio of H_3PO_4 ," *Journal of Sciences and Data Analysis.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–50, 2020, doi: [10.20885/EKSAKTA.vol1.iss1.art](https://doi.org/10.20885/EKSAKTA.vol1.iss1.art).
- [10] C. A. Riyanto, E. Prabalaras, and Y. Martono, "Karakterisasi Nanopartikel Karbon Aktif dari Daun Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Berdasarkan Variasi Suhu dan Waktu Aktivasi," *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 42, no. 2, p. 85, 2020, doi: [10.24817/jkk.v42i2.5633](https://doi.org/10.24817/jkk.v42i2.5633).
- [11] Y. Luo, D. Li, X. Sun, Q. Cao, and X. Liu, "The Performance of Phosphoric Acid in the Preparation of Activated Carbon-containing Phosphorus Species from Rice Husk Residue," *Jornal of Materials Science.*, 2018, doi: [10.1007/s10853-018-03220-x](https://doi.org/10.1007/s10853-018-03220-x).
- [12] A. Şencan and M. Kiliç, "Investigation of the Changes in Surface Area and FT-IR Spectra of Activated Carbons Obtained from Hazelnut Shells by Physicochemical Treatment Methods," *Journal of Chemistry.*, vol. 2015, 2015, doi: [10.1155/2015/651651](https://doi.org/10.1155/2015/651651).
- [13] B. D. Mistry, *A Handbook of Spectroscopy Data Chemistry (UV, IR, PMR, ^{13}C NMR and Mass Spectroscopy)*, 2009th ed. Jaipur, India: Oxford Book Company, 2009.
- [14] A. M. Puziy, O. I. Poddubnaya, R. P. Socha, J. Gurgul, and M. Wisniewski, "XPS and NMR Studies of Phosphoric Acid Activated Carbons," *Carbon.*, vol. 46, no. 15, pp. 2113–2123, 2008, doi: [10.1016/j.carbon.2008.09.010](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2008.09.010).
- [15] R. Ghosh and S. Bhattacharjee, "A Review Study on Precipitated Silica and Activated Carbon from Rice Husk," *Chemical Engineering & Process Technology.*, vol. 4, no. 4, 2013, doi: [10.4172/2157-7048.1000156](https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000156).
- [16] E. Pehlivan, "Research Article Production and Characterization of Activated Carbon From Pomegranate Pulp by Phosphoric Acid," *Jornal of Turkish Chemical Society Chemistry.*, vol. 5, pp. 1–8, 2018, doi: [10.18596/jotcsa.370738](https://doi.org/10.18596/jotcsa.370738).

- [17] J. N. Sahu, "Preparation of Granular Activated Carbon from Oil Palm Shell by Microwave-induced Chemical Activation: Optimisation using Surface Response Methodology," *Chemical Engineering Research and Design.*, pp. 1–10, 2013, doi: 10.1016/j.cherd.2013.06.004.
- [18] C. E. Ilochonwu, C. O. Nwajagu, E. I. Nwonye, and I. U. Onyenanu, "Effect of Temperature in Extraction of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk for Silicon Production," *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society.*, pp. 269–270, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-48214-9_26.
- [19] M. S. Shamsuddin, N. R. N. Yusoff, and M. A. Sulaiman, "Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H_3PO_4 Activation," *Procedia Chemistry.*, vol. 19, pp. 558–565, 2016, doi: 10.1016/j.proche.2016.03.053.
- [20] S. Somasundaram, K. Sekar, V. Kumar, and S. Ganesan, "Synthesis and Characterization of Mesoporous Activated Carbon from Rice Husk for Adsorption of Glycine from Alcohol-aqueous Mixture," *Journal of Molecular Liquids.*, vol. 177, pp. 416–425, 2013, doi: 10.1016/j.molliq.2012.09.022.
- [21] Y. O. Abiodun and A. A. Jimoh, "Microstructural Characterisation, Physical and Chemical Properties of Rice Husk Ash as Viable Pozzolan in Building Material: A Case Study of Some Nigerian Grown Rice Varieties," *Nigerian Journal of Technology.*, vol. 37, no. 1, p. 71, 2018, doi: 10.4314/njt.v37i1.10.
- [22] T. H. Liou and S. J. Wu, "Characteristics of Microporous/Mesoporous Carbons Prepared from Rice Husk Under Base- and Acid-treated Conditions," *Journal of Hazardous Materials.*, vol. 171, no. 1–3, pp. 693–703, 2009, doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.056.
- [23] H. Marsh and F. R. Reinoso, *Activated Carbon*, 1st ed. Elsevier Science Ltd, 2006.
- [24] F. D. Kurniati, Pardoyo, and Suhartana, "Sintesis Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Asap Cair," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.*, vol. 14, no. 3, pp. 72–76, 2011. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/ksa>.