

Pembentukan Karbon Konduktif dari Sekam Padi dengan Metode Hidrotermal Menggunakan Larutan Kalium Karbonat

Solihudin, Rustaman, Haryono

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jln. Raya Bandung-Sumedang km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat

*Penulis korespondensi: solihudin@unpad.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n1.25076>

Abstrak: Sekam padi, produk sampingan di penggilingan padi, adalah salah satu sumber karbon, berlimpah, terbarukan dan murah. Komponen utama sekam padi adalah selulosa (38%), hemi-selulosa (18%), lignin (22%), dan silika. Sekam padi mengandung senyawa organik tinggi, berpotensi untuk digunakan sebagai bahan dasar karbon berpori. Pembentukan karbon berpori dari sekam padi dilakukan melalui pelarutan silika dari arang sekam padi menggunakan larutan kalium karbonat dengan proses hidrotermal. Pada proses hidrotermal ini dilakukan dengan variasi rasio mol kalium karbonat terhadap silika (1:1, 1,5:1, 2:1, 2,5:1. dan 3:1) serta variasi waktu 1, 2, 3, dan 4 jam. Karbon yang mempunyai kadar abu terendah kemudian di kalsinasi pada suhu 500, 700, dan 900°C. Pelarutan silika yang paling efektif menggunakan larutan kalium karbonat yaitu pada perbandingan 3: 1 dengan suhu 120°C selama 2 jam. Semakin tinggi suhu kalsinasi konduktivitas karbon meningkat dan konduktivitas tertinggi diperoleh pada karbon dikalsinasi pada suhu 900 °C selama 2 jam dengan konduktivitas 17,29 S.m⁻¹.

Kata kunci: arang sekam padi, hidrotermal, karbon konduktif, karbon berpori, sekam padi

Abstract: Rice husk, a by-product in rice mills, can be used as a carbon source that is abundant, renewable and inexpensive. The main components of rice husk are cellulose (38%), hemi-cellulose (18%), lignin (22%), and silica. Rice husk contains high organic compounds, has the potential to be used as a porous carbon base material. The formation of carbon from rice husk has been carried out by dissolving silica from rice husk charcoal using a solution of potassium carbonate with a hydrothermal process. In this hydrothermal process, the variation of the ratio of moles of potassium carbonate to silica (1: 1, 1.5: 1, 2: 1, 2.5: 1 and 3: 1) and time variations of 1, 2, 3, and 4 hour. The carbon which has the lowest ash content is calcined at temperatures of 500, 700, and 900 °C. The most effective silica extraction uses a potassium carbonate solution at a ratio of 3: 1 at 120 °C for 2 hours. The increased calcination temperature resulted in an increase in carbon conductivity and the highest conductivity was obtained on calcined carbon at 900 °C for 2 hours with a conductivity value of 17.29 S.m⁻¹.

Keywords: rice husk char, hydrothermal, conductive carbon, porous carbon, rice husk

PENDAHULUAN

Salah satu sumber karbon yang melimpah, terbarukan dan murah adalah sekam padi yang merupakan produk samping pada penggilingan padi. Menurut laporan BPS, produksi padi nasional pada tahun 2012 mencapai 69 juta ton lebih dan di Jawa Barat lebih dari 11 juta ton. Padi tersebut dapat menghasilkan sekam sekitar 17% dari berat gabah kering giling, sehingga jumlah sekam yang dihasilkan secara nasional sebanyak 11,7 ton lebih dan di Jawa Barat sebanyak 1,9 juta ton. Komponen utama dari sekam padi adalah selulosa (38%), hemi-selulosa (18%), lignin (22%), dan SiO₂ (Worasuwannarak *et al.* 2007). Banyaknya senyawa karbon dan kandungan silika dalam sekam padi, karbon yang

dihasilkan dari proses karbonisasinya berupa komposit yang mengandung karbon dan silika.

Bahan karbon berpori telah banyak menarik minat peneliti dalam beberapa tahun terakhir, karena berpotensi untuk digunakan dalam berbagai bidang terutama sebagai pendukung katalis, elektroda baterai, kapasitor, penyimpan gas, dan rekayasa lainnya (Farag *et al.* 1998; Quin 2000; Frackowiak & Beguin 2001). Bahan karbon berpori mengandung fraksi karbon sp³ dan karbon sp², besarnya masing-masing fraksi tergantung pada kondisi persiapan dan bahan baku yang digunakan. Keberadaan struktur karbon sp² meningkatkan penggunaan bahan karbon lebih luas khususnya yang berhubungan konduktivitas listrik (Chhowalla *et al.* 1997).

Material komposit karbon berpori berbasis sekam padi, mengandung komponen karbon dan silika. Seperti telah diketahui bahwa silika bersifat isolator, maka sifat konduksi karbon berpori berbasis sekam padi berasal dari komponen bahan karbon. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada evaluasi metode pelepasan silika dan konduktivitas komponen karbon.

Seperti yang diuraikan dalam beberapa literatur, masih ada kelemahan dalam pembuatan karbon konduktif dari sekam padi seperti konduktivitas listriknya yang masih rendah (Kennedy *et al.* 2005), prosesnya yang masih rumit dan tidak ramah lingkungan (Wang *et al.* 2013; Fey *et al.* 2010). Masalah utama dalam pembentukan karbon dari arang sekam padi adalah pelepasan silikanya. Pelepasan silika yang relatif murah, sederhana dan ramah lingkungan yaitu menggunakan larutan kalium karbonat secara refluks (Solihudin *et al.* 2018). Selain itu dari hasil pelarutannya diperoleh silika dan pengeksrak yang digunakan juga dapat distabilkan kembali (Liu *et al.* 2011; Liu *et al.* 2012). Silika yang diperoleh dapat digunakan untuk membuat berbagai bahan silika seperti silika gel, silika koloid, pendukung katalis, zeolit, silika mesopori dan lain-lain.

Penelitian yang dilakukan yaitu mempelajari proses pelarutan silika menggunakan larutan kalium karbonat secara hidrotermal. Pada penelitian ini juga dipelajari pengaruh suhu kalsinasi karbon terhadap konduktivitas listriknya.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi dari penggilingan padi di Jatinangor, Sumedang. Kalium karbonat sebagai ekstraktan kualitas ACS dari Merck. Asam klorida dan asam nitrat untuk menghilangkan pengotor dan pengkondisi.

Preparasi Arang dari Sekam Padi

sebanyak 400 g Sekam padi kering dikarbonisasi dalam alat karbonisasi dengan suhu 400°C selama 4 jam. Selanjutnya arang sekam padi yang diperoleh digerus sampai lolos pada saringan 100 mesh dan diukur kadar abunya.

Pelarutan Silika

Arang sekam padi ditimbang sebanyak 50 g, kemudian kalium karbonat ditimbang sehingga diperoleh rasio mol kalium karbonat terhadap silika 1:1, 3:2, 2:1, 5:2, dan 3:1. Masing-masing rasio dimasukkan dalam bejana hidrotermal 500 mL ditambah 300 mL air suling kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan variasi suhu 100, 110, dan 120°C serta variasi waktu 1, 2, 3, dan 4 jam. Setelah pemanasan, campuran disaring dalam kondisi masih panas dengan kertas saring Whatman No. 40 menggunakan corong Buchner dan dicuci dengan air

panas hingga pH netral. Residu (karbon) dipisahkan, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 4 jam. Selanjutnya arang direfluks dengan asam nitrat 1 M selama 2 jam, didinginkan, dan disaring dengan kertas saring Whatman No. 40 menggunakan corong Buchner. Residu dicuci dengan air suling hingga pH mendekati netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 4 jam, didinginkan dan ditimbang. Serbuk arang sekam padi yang relatif bebas pengotor logam, kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dan komposisinya.

Kalsinasi Karbon

Arang hasil aktivasi dengan kadar abu paling rendah, kemudian dimasukkan lagi dalam tanur untuk proses karbonisasi tahap kedua pada suhu 500, 700, dan 900°C selama 2 jam. Pada proses karbonisasi tahap kedua ini, ke dalam tanur yang berisi serbuk arang dialirkan gas argon dengan laju 0,5 mL/detik.

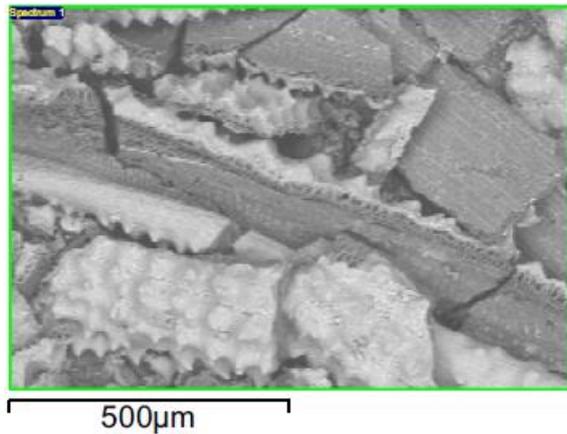
Karakterisasi

Struktur karbon hasil kalsinasi ditentukan berdasarkan analisis *X-ray Diffraction* (XRD), gugus fungsi ditentukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan morfologi dan komposisi partikel karbon diukur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX). Selain karakterisasi tersebut juga diukur konduktivitas listriknya dengan menggunakan metode *four line probe*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arang sekam padi

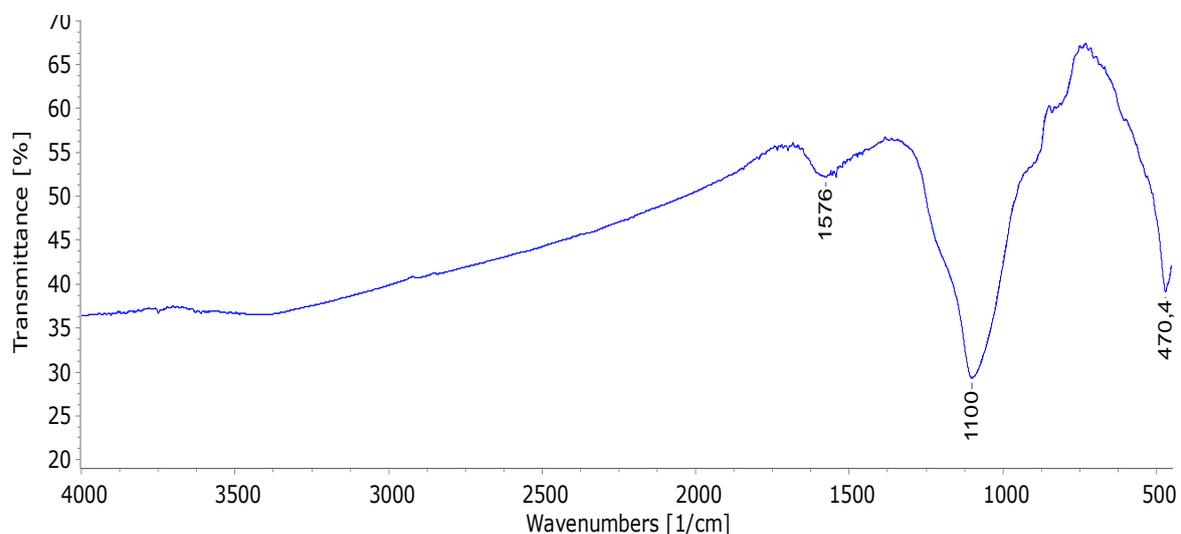
Sekam padi yang diperoleh dikarbonisasi dengan menggunakan alat karbonisasi menggunakan energi listrik pada suhu 400°C selama 4 jam untuk mendapatkan arang. Pada proses ini senyawa organik yang ada dalam sekam padi akan terurai menjadi arang yang disertai dengan perubahan berat akibat penguraian senyawa organik tersebut. Struktur arang ini terbentuk karena adanya selulosa dan lignin yang terkandung dalam sekam padi yang mengalami proses pirolisis. Karbonisasi tidak dilakukan pada suhu di atas 400°C di lingkungan udara bebas (atmosfer udara) karena pada suhu di atas 400°C karbon yang terdapat dalam arang akan terbakar (Kumar *et al.* 2012). Apabila suhu tinggi tanpa oksigen diberikan pada sampel, maka senyawa-senyawa hasil pirolisis yang mudah menguap akan terlepas dan unsur karbon serta senyawa anorganik lainnya akan tertinggal sebagai arang (Bharadwaj *et al.* 2004). Perolehan arang pada karbonisasi suhu 400 °C sekitar 40% dengan kadar abunya sekitar 54%. Kadar abu ini dijadikan dasar untuk menentukan jumlah pengeksrak yang digunakan dengan asumsi semua abu merupakan silika.



Gambar 1. Foto SEM arang sekam padi

Unsur-unsur dan morfologi arang sekam padi diketahui dengan karakterisasi menggunakan SEM-EDX. Pada foto SEM (Gambar 1) terlihat bahwa morfologi permukaannya berbeda-beda. Permukaan dengan benjolan-benjolan berwarna putih berasal dari bagian luar sekam sedangkan permukaan yang berwarna hitam berasal dari bagian dalam sekam, penampang melintang dan penampang membujur. Hasil pengukuran unsur-unsur dengan EDX arang sekam padi menunjukkan kandungan oksigen cukup banyak (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan silikon pada sekam padi terdapat sebagai silika (SiO_2). Keberadaannya silika paling banyak di bagian permukaan luar, tidak merata di seluruh bagian arang. Hal tersebut sesuai dengan hasil pemetaan unsur-unsur pada arang sekam padi (Solihudin 2015). Namun di bagian dalam arang juga masih tampak adanya silika, hal ini mengakibatkan sulitnya pelepasan silika secara total.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam arang sekam padi hasil preparasi, maka dilakukan karakterisasi dengan FTIR. Gambar 2 merupakan spektrum hasil pengukuran FTIR arang sekam padi hasil preparasi. Garis dasar yang miring/naik



Gambar 2. Spektrum hasil pengukuran FTIR arang sekam padi hasil preparasi

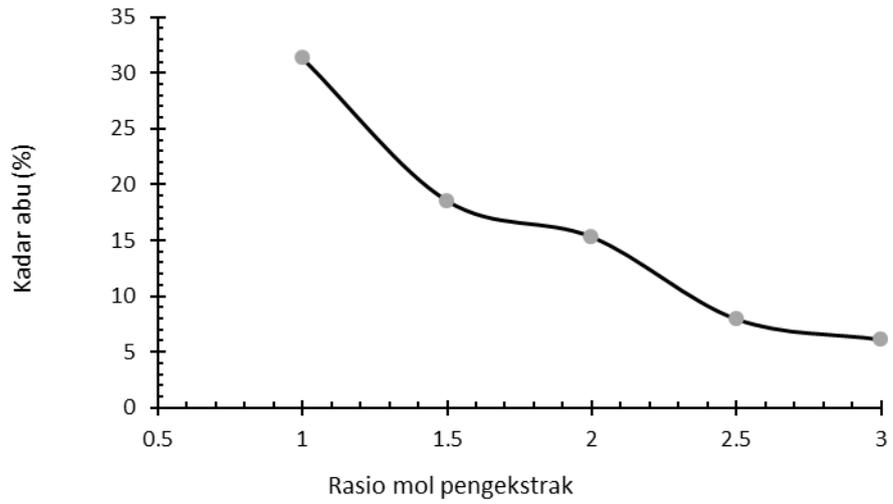
Tabel 1. Hasil penentuan unsur-unsur dengan EDS

Unsur	Komposisi (%)
Karbon	46,21
Oksigen	38,45
Aluminium	0,29
Silikon	14,44
Kalium	0,61

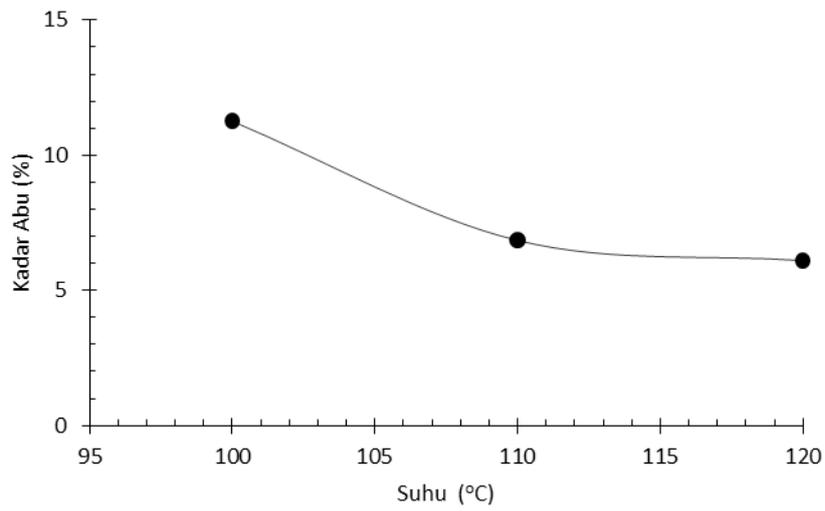
merupakan ciri khas dari spektrum karbon amorf dan adanya serapan lebar serta terdapat serapan-serapan kecil sekitar bilangan gelombang 1576 cm^{-1} menandakan adanya karbon sp². Serapan tajam dan kuat terjadi pada 1100 cm^{-1} , bahu di sekitar 840 cm^{-1} , dan serapan tajam pada 470 cm^{-1} yang masing-masing mengidentifikasi adanya vibrasi regang asimetri Si-O-Si, vibrasi tetrahedral SiO_4 dan vibrasi tekuk Si-O-Si (Hossain *et al.* 2017).

Pelarutan silika

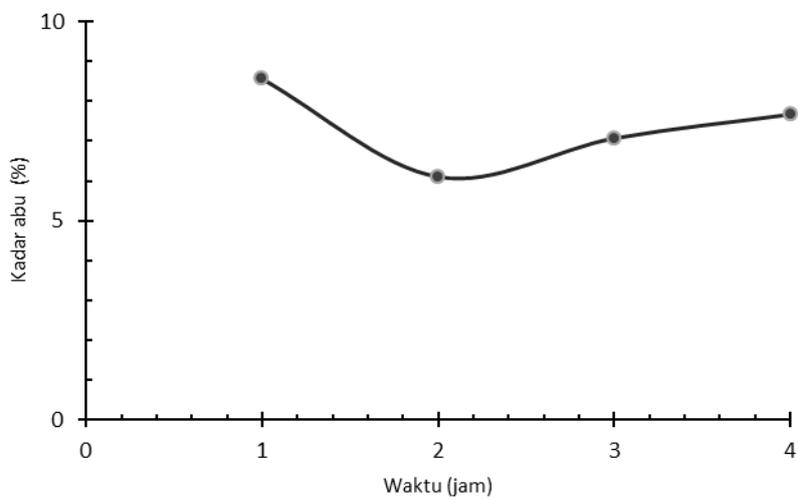
Variasi rasio mol pengekstrak terhadap kandungan silika pada arang dilakukan untuk mengetahui rasio terbaik untuk pelarutan silika sehingga diperoleh karbon yang murni. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3 yang menjelaskan kadar abu yang diperoleh pada masing-masing rasio pengekstrak. Pada Gambar 3 tersebut dengan jelas terlihat turunnya kandungan silika pada arang sekam padi dengan bertambahnya rasio mol pengekstrak. Pada rasio 2:1, reaksi stoikiometrianya, menunjukkan kadar abu masih tinggi (15,30%) hal tersebut menunjukkan reaksi yang terjadi bukan reaksi sempurna tetapi merupakan reaksi kesetimbangan. Kadar abu dalam arang setelah pelarutan dengan rasio mol 2,5 dan 3,0 menunjukkan tidak terjadi perubahan secara nyata yaitu masing-masing 7,94% dan 6,10%. Karbon yang memiliki kadar abu yang



Gambar 3. Pengaruh rasio mol pengestraks/silika terhadap kadar abu



Gambar 4. Pengaruh suhu hidrotermal terhadap kadar abu



Gambar 5. Pengaruh waktu pelarutan terhadap kadar abu

paling rendah diperoleh dari pelarutan dengan rasio mol pengestrak 3:1.

Variasi suhu hidrotermal untuk mengetahui suhu optimal ekstraksi silika dari arang sekam padi dicantumkan pada Gambar 4. Pada gambar tersebut tampak bahwa pada suhu 100°C (sekitar titik didih air), penurunan kadar abu sudah terjadi secara nyata (54,0% menjadi 11,26%) dan mulai suhu 110°C sudah tidak terjadi perubahan kadar abu secara signifikan (sekitar 6,82 % pada suhu 110°C dan 6,10% pada suhu 120°C). Hasil tersebut masih sedikit lebih tinggi dari hasil yang diperoleh dengan cara refluks pada rasio yang sama namun dengan waktu refluks 3 jam yaitu 4,34% (Solihudin *et al.* 2018).

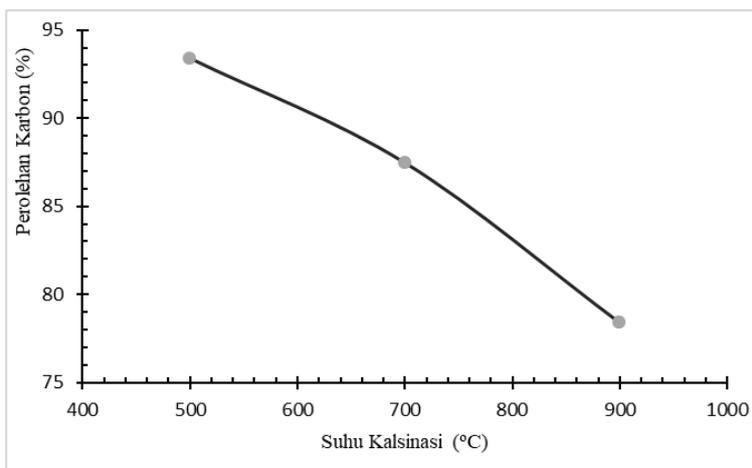
Variasi waktu pelarutan dilakukan pada rasio 1:3 dicantumkan pada Gambar 5. Pelarutan dengan metode hidrotermal kadar abu terendah sebesar 6,10% diperoleh pada waktu pelarutan selama 2 jam. Waktu pelarutan yang lebih lama tampak terjadi peningkatan kembali kadar abu hal ini disebabkan terjadinya difusi silikat pada pori arang sehingga pada saat pecucian/ penyaringan masih terperangkap pada pori tersebut. Kandungan silika sangat berpengaruh pada kualitas arang yang dihasilkan. Keberadaan silika dapat menyebabkan terjadinya

penyumbatan pori-pori pada arang sehingga luas permukaan arang menjadi berkurang. Selain itu silika bersifat isolatif sehingga dapat mempengaruhi konduktivitas karbon yang diperoleh.

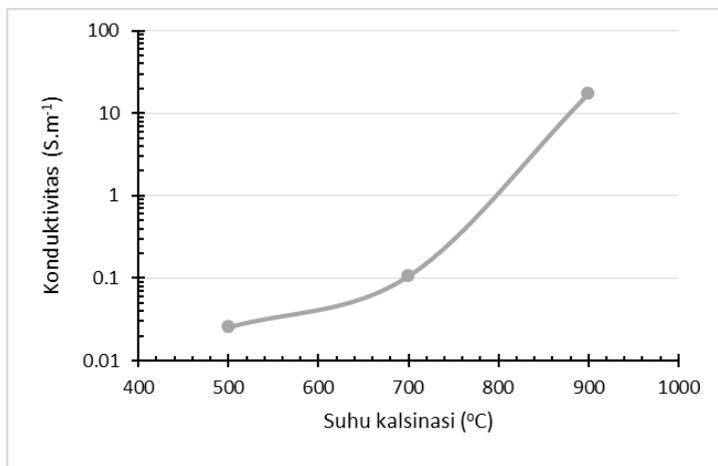
Kalsinasi

Arang yang mempunyai kadar abu paling sedikit kemudian dikalsinasi pada suhu yang divariasikan (500, 700, dan 900°C) selama 2 jam dalam atmosfer gas argon. Fungsi kalsinasi adalah untuk meningkatkan derajat karbonisasi, karena suhu tinggi mampu menghilangkan komponen-komponen mudah menguap pada arang sehingga dapat meningkatkan kadar karbon dan menambah keteraturan strukturnya yang mendekati struktur grafit. Keteraturan struktur tersebut berkaitan dengan nilai konduktivitas (sifat daya hantar listrik) (Wang *et al.* 2013).

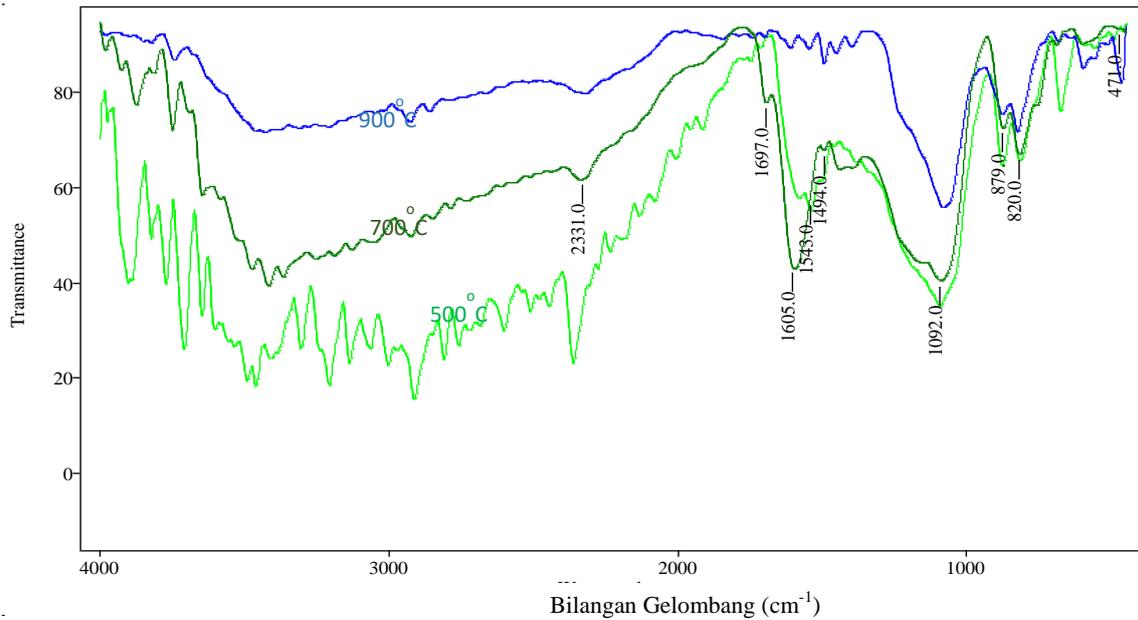
Gambar 6 merupakan grafik persentase karbon yang diperoleh selama proses kalsinasi variasi suhu dalam atmosfer gas argon. Persentase karbon berkurang dengan meningkatnya suhu kalsinasi, hal ini dikarenakan semakin banyaknya zat-zat yang mudah menguap yang hilang dari karbon sekam padi sehingga kemurnian karbon akan semakin meningkat.



Gambar 6. Grafik persentase karbon yang diperoleh pada proses kalsinasi



Gambar 7. Grafik suhu kalsinasi terhadap nilai konduktivitas



Gambar 8. Spektrum FTIR dari karbon yang telah dikalsinasi pada suhu 500, 700, dan 900°C

Karakteristik Karbon

Penentuan nilai konduktivitas menggunakan metode *four line probe*, pelet karbon dijepit pada 4 kawat sejajar yang kemudian dialiri arus konstan dari 0,1 mA–0,5 mA, tegangan akan terukur dari alat voltmeter yang dihubungkan ke alat tersebut. Dari kedua nilai ini dapat dihitung nilai konduktivitasnya. Peningkatan nilai konduktivitas dengan bertambahnya suhu kalsinasi seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

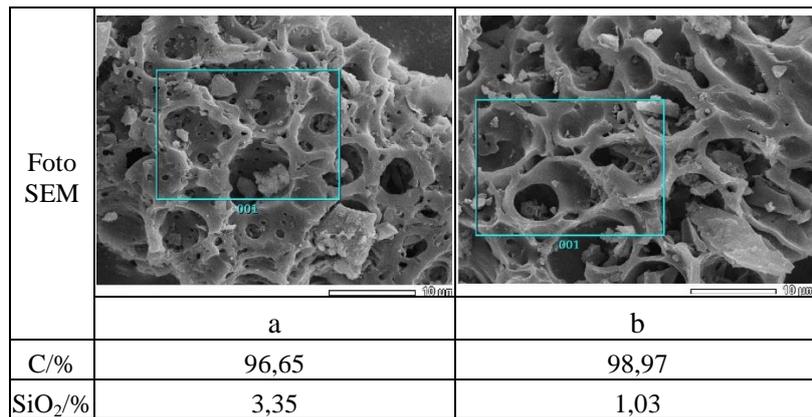
Nilai konduktivitas karbon sekam padi tertinggi yaitu 17,29 S.m⁻¹ pada suhu kalsinasi 900°C. Nilai konduktivitas tersebut terletak pada daerah nilai konduktivitas listrik yang dimiliki oleh material semikonduktor yaitu terletak pada nilai 10⁻⁸ S.m⁻¹ sampai 10³ S.m⁻¹. Hasil ini jika dibandingkan dengan *carbon black* dari sekam padi hasil penelitian Wang *et al.* (2011) memiliki nilai konduktivitas yang hampir sama. Wang *et al.* (2013) menghasilkan dengan konduktivitas tertinggi 21,6 S.m⁻¹ dan juga hampir sama dengan *commercial carbon black* yang memiliki konduktivitas sebesar 25,3 S.m⁻¹.

Gambar 8 merupakan spektrum FTIR dari karbon yang telah dikalsinasi pada suhu 500-900 °C selama 2 jam. Pada spektrum FTIR hasil kalsinasi pada suhu 500°C dan 700°C pola spektrumnya relatif sama. Serapan yang muncul pada panjang gelombang 3408 cm⁻¹ merupakan vibrasi regang O-H, 2930 cm⁻¹ regang C-H alifatik, 1091 cm⁻¹, dan 820 cm⁻¹ vibrasi tetrahedral SiO₄. Pada spektrum FTIR hasil kalsinasi pada suhu 900°C pola spektrumnya menunjukkan perbedaan yang jelas yaitu hilangnya serapan yang tajam pada bilangan gelombang sekitar 1600 cm⁻¹ dan timbulnya serapan tajam dengan intensitas rendah pada bilangan gelombang sekitar 470 cm⁻¹. Hal tersebut menunjukkan telah hilangnya gugus karbonil dan terbentuk gugus Si-O-Si akibat terjadinya kondensasi Si-OH. Dengan demikian

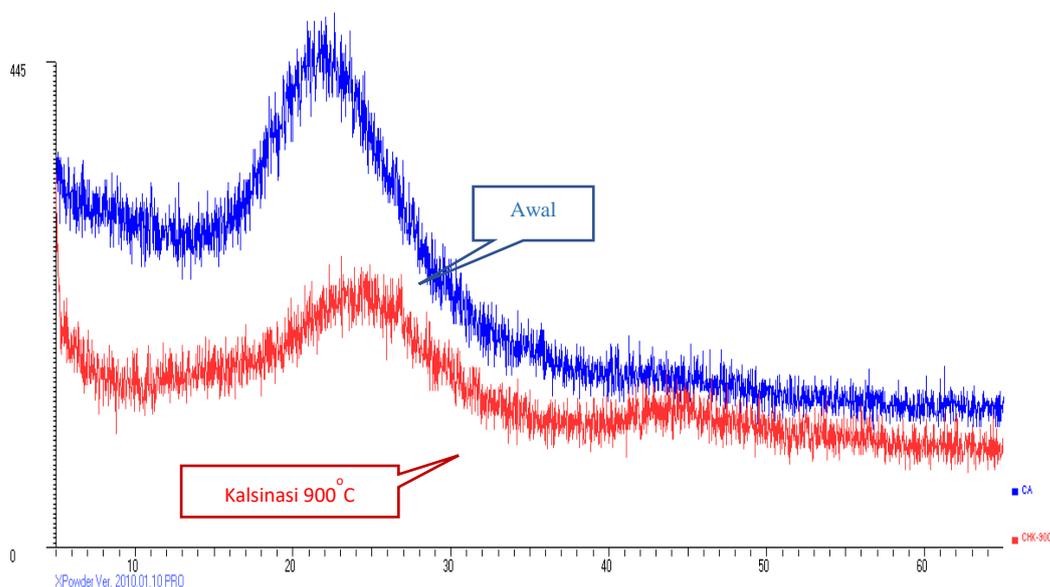
karbon hasil kalsinasi pada suhu 900 °C mengandung karbon tetap (*fixed carbon*) tinggi namun masih mengandung silika dalam kadar rendah.

Gambar 9 merupakan foto SEM-EDS dari karbon sekam padi setelah pelarutan silika dengan kalium karbonat yang dikalsinasi pada medium gas argon. Pada foto SEM karbon setelah pelarutan silika dengan kalium karbonat, morfologi permukaan luarnya sudah tidak tampak tonjolan-tonjolan seperti pada arangnya, namun terdapat rongga-rongga makropori yang tersebar merata di seluruh bagian karbon. Hal tersebut menunjukkan silika yang banyak terkandung pada permukaan luar arang telah larut semuanya dan karbon yang terkandung merupakan karbon tetap (*fixed karbon*). Di dalam rongga-rongga karbon tampak adanya silika yang terjebak, hal tersebut menyebabkan karbon yang diperoleh masih mengandung silika. Silika yang terdapat dalam karbon tampaknya merupakan silika telah terlarut kemudian terdifusi pada pori arang dan terjadinya pendinginan saat penyaringan menyebabkan kelarutannya menurun dan menimbulkan endapan silika yang menempel pada permukaan dan pori arang. Keberadaan silika dalam karbon juga berasal dari silika yang berasal dari bagian dalam arangnya itu sendiri sesuai dengan hasil pemetaan unsur-unsur pada arang sekam padi (Gambar 1), silika yang ada di bagian dalam arang sulit terjangkau oleh larutan.

Analisis XRD dilakukan terhadap karbon untuk mengetahui struktur padatan yang dihasilkan. Analisis XRD dilakukan pada karbon hasil kalsinasi pada atmosfer gas argon. Gambar 10 menunjukkan difraktogram pada karbon awal (sebelum ekstraksi silika) dan karbon setelah pelarutan silika serta kalsinasi pada suhu 900°C. Dilihat dari pola difraktogram pada karbon awal dan karbon hasil



Gambar 9. Foto SEM-EDS dari karbon sekam padi setelah pelarutan silika dengan kalium karbonat kalsinasi (pembesaran 3000×) a. 700°C, b. 900°C



Gambar 10. Difraktogram pada arang sebelum dan sesudah kalsinasi

kalsinasi terlihat adanya sedikit pergeseran puncak difraksi. Pergeseran ini disebabkan adanya perubahan komposisi, pada arang awal banyak mengandung silika yang mempunyai puncak amorf pada $2\theta=23,0^\circ$ yang lebih rendah dari puncak amorf karbon. Pola difraktogram pada karbon setelah pelarutan dengan kalium karbonat memiliki puncak yang lebar pada $2\theta= 24,1^\circ$ dan pada $43,9^\circ$. Pola adanya puncak pada $2\theta = 43,9^\circ$ menunjukkan bahwa karbon yang dihasilkan telah mengalami grafitisasi sebagian (Larichev *et al.* 2015).

KESIMPULAN

Pelarutan silika dengan larutan kalium karbonat secara hidrotermal paling efektif dengan rasio pengestrak terhadap silika sebesar 1:3 pada suhu 120°C selama 2 jam. Karbon yang diperoleh mempunyai kadar abu 6,10% dan amorf. Konduktivitas karbon setelah dikalsinasi pada suhu 900°C selama 2 jam sebesar $17,29 \text{ S.m}^{-1}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Ristek Dikti melalui Penelitian PTUPT Nomor 1200/UN6.D/LT/2019 atas dukungan dana pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bharadwaj, A., Wang, Y., Sridhar, S. & Arunachalam, V.S. (2004). Pyrolysis of rice husk. *Current Science*. **87(7)**: 981-986.
- Chhowalla, M., Robertson, J., Chen, C.W., Silva, S.R.P., Davis, C.A., Amaratunga, G.A.J. & Milne, W.I. (1997). Influence of ion energy and substrate temperature on the optical and electronic properties of tetrahedral amorphous carbon (*ta-C*) films. *Journal of Applied Physics*. **81(1)**: 139-145.
- Farag, H., Whitehurst, D.D. & Mochida, I. (1998). Synthesis of active hydrodesulfurization carbon-supported Co– Mo catalysts.

- Relationships between preparation methods and activity/selectivity. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **37(9)**: 3533-3539.
- Fey, G.T.K., Cho, Y.D., Chen, C.L., Lin, Y.Y., Kumar, T.P. & Chan, S.H. (2010). Pyrolytic carbons from acid/base-treated rice husk as lithium-insertion anode materials. *Pure and Applied Chemistry*. **82(11)**: 2157-2165.
- Frackowiak, E. & Beguin, F. (2001). Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. *Carbon*. **39(6)**: 937-950.
- Hossain, S.S., Mathur, L., Singh, P. & Majhi, M.R. (2017). Preparation of forsterite refractory using highly abundant amorphous rice husk silica for thermal insulation. *Journal of Asian Ceramic Societies*. **5(2)**: 82-87.
- Kennedy, L.J., Vijaya, J.J. & Sekaran, G. (2005). Electrical conductivity study of porous carbon composite derived from rice husk. *Materials Chemistry and Physics*. **91(2-3)**: 471-476.
- Kumar, A., Mohanta, K., Kumar, D. & Parkash, O. (2012). Properties and industrial applications of rice husk: A review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. **2(10)**: 86-90.
- Larichev, Y.V., Yeletsky, P.M. & Yakovlev, V.A. (2015). Study of silica templates in the rice husk and the carbon-silica nanocomposites produced from rice husk. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. **87**: 58-63.
- Liu, Y., Guo, Y., Zhu, Y., An, D., Gao, W., Wang, Z., Ma, Y. & Wang, Z. (2011). A sustainable route for the preparation of activated carbon and silica from rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials*. **186(2-3)**: 1314-1319.
- Liu, Y., Guo, Y., Gao, W., Wang, Z., Ma, Y. & Wang, Z. (2012). Simultaneous preparation of silica and activated carbon from rice husk ash. *Journal of Cleaner Production*. **32**: 204-209.
- Solihudin, Noviyanti, A.R. & Rukiah (2015). Aktivasi arang sekam padi dengan larutan natrium karbonat dan karakterisasinya. *Chimica et Natura Acta*. **3 (1)**: 11-16.
- Solihudin, Rustaman & Haryono. (2018). Simple method and environmentally friendly ash content removal process from rice husk char using potassium carbonate solution. *Research Journal of Chemistry and Environment*. **22(Special Issue 2)**: 285-288
- Wang, L., Schnepf, Z. & Titirici, M.M. (2013). Rice husk-derived carbon anodes for lithium ion batteries. *Journal Of Materials Chemistry A*. **1(17)**: 5269-5273.
- Worasuwannarak, N., Sonobe, T. & Tanthapanichakoon, W. (2007). Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. **78(2)**: 265-271.
-