

Sifat-Sifat Arang Aktif Kulit Batang Sagu Hasil Karbonisasi Hidrotermal

(The Properties of Hydrothermal Sago Bark Activated Charcoal)

Herman Siruru^{1*}, Wasrin Syafii², Nyoman J Wistara², Gustan Pari³

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, UNPATTI, Ambon

²Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Badan Litbang Kehutanan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Jl. Gunung Batu No.5 Bogor 16610

*Penulis korespondensi: sirherman78@gmail.com

Abstract

Sago bark is one of the solid wastes from the processing of sago flour (*Metroxylon sp*), which can be used as raw material for activated charcoal. This study aimed to determine the properties of activated charcoal from sago bark made by hydrothermal carbonization and steam activation methods. Precursors preparation preceded activated charcoal carbonization. Precursors were prepared by hydrothermal method at 250 °C and continued with activation at 800 °C. Proximate analysis was based on the SNI standard, and the active charcoal structure was observed by X-ray diffraction (XRD). The results showed that the yield, moisture content, volatile, ash content, fixed carbon, iodine absorption, the degree of crystalline of activated charcoal of sago bark were, respectively, 45.90-55.70%, 5.82-7.06%, 5.66-9.40%, 12.24-14.54%, 78.36-79.80%, 455.59-759.86 mg.g⁻¹, 31.66-38.81%. The best-activated charcoal was procured from sago bark with 80 minutes of steaming. The iodine number of the resulting activated charcoal fulfilled the SNI 06-3730-1995 standard, which is ≥ 750 mg.g⁻¹.

Keyword: activation, hydrothermal, Maluku, Papua, steam

Abstrak

Kulit batang sagu merupakan salah satu limbah padat pengolahan tepung sagu (*Metroxylon sp*) yang berpotensi digunakan sebagai bahan baku arang aktif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat arang aktif kulit batang sagu yang dibuat melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi *steam*. Pembuatan arang aktif didahului dengan pembuatan prekursor (bahan awal pembuatan arang aktif) melalui metode hidrotermal pada suhu 250 °C dan dilanjutkan dengan aktivasi pada suhu 800 °C selama 0, 60, 80, dan 100 menit. Pengujian proximat dan daya jerap iodin menggunakan standar SNI dan pengamatan struktur arang aktif menggunakan *X-ray diffraction* (XRD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen 45,90-55,70%, kadar air 5,82-7,06%, zat terbang 5,66-9,40%, kadar abu 12,24-14,54%, karbon terikat 78,36-79,80%, daya jerap iodin 455,59-759,86 mg.g⁻¹, dan derajat kristalinitas 31,66-38,81%. Arang aktif terbaik adalah arang aktif kulit sagu perlakuan *steaming* 80 menit yang memiliki daya jerap iodin sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu ≥ 750 mg.g⁻¹.

Kata kunci: aktivasi, hidrotermal, Maluku, Papua, *steam*

Pendahuluan

Pohon sagu (*Metroxylon spp*) merupakan salah satu tanaman asli Indonesia yang penyebarannya tidak merata. Beberapa daerah yang memiliki penyebaran tinggi berturut-turut adalah Papua, Papua Barat, Maluku, Kalimantan, Sulawesi, Sumatera, Jawa, dan Kepulauan Mentawai (Ehara *et al.* 2018). Daerah-daerah ini menggunakan pohon sagu sebagai sumber pangan yaitu tepung sagu terutama di daerah Papua, Maluku, dan kepulauan Mentawai. Salah satu limbah hasil pengolahan tepung sagu adalah kulit batang sagu. Kulit batang sagu umumnya digunakan sebagai bahan bangunan untuk lantai, dinding, pagar, dan bahan bakar (Flach 1997) sedangkan pemanfaatan lain seperti sebagai bahan baku arang aktif masih sebatas penelitian.

Kulit batang sagu merupakan bahan berlignoselulosa dengan kandungan selulosa sebanyak 44,0%, hemiselulosa 22,8%, dan lignin 29,4% (Siruru *et al.* 2019). Komposisi kimia kulit batang sagu menyerupai komposisi kimia kayu yaitu selulosa 40-44%, hemiselulosa 15-35%, dan lignin 18-35% (Shmulsky dan Jones 2011). Hal ini menyebabkan kulit batang sagu berpotensi sebagai bahan baku arang aktif. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Erabee *et al.* (2017) menghasilkan arang aktif kulit batang sagu yang memiliki luas permukaan $1634 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Penelitian ini menggunakan metode aktivasi kimia dengan ZnCl_2 . Penggunaan aktivator kimia memungkinkan adanya residu aktivator dalam arang aktif dan dapat berdampak buruk, terutama penggunaan arang aktif untuk pemurnian air minum. Penelitian lainnya yang dilakukan Siruru *et al.* (2018) menggunakan aktivasi fisika menghasilkan arang aktif kulit batang sagu dengan daya jerap iodin sebesar

$972,60 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Dalam penelitian ini pembuatan prekursor dilakukan melalui karbonisasi pirolisis dengan suhu yang lebih tinggi dari suhu karbonisasi hidrotermal. Karbonisasi suhu tinggi menyebabkan adanya peningkatan energi yang dapat berdampak pada biaya produksi arang aktif menjadi tinggi.

Karakteristik fisikokimia prekursor arang tergantung pada sifat-sifat bahan baku dan kondisi operasi seperti ukuran partikel, suhu, dan laju pemanasan (Cantrell *et al.* 2012). Sifat prekursor arang yang baik untuk arang aktif adalah memiliki daya serap tinggi dan mudah dimodifikasi. Hal ini dicirikan dengan ratio O/C dan H/C yang tinggi. Menurut Bagreev *et al.* (2001) mikroporositas dikembangkan seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi namun menurut Al-Wabel *et al.* (2013) semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin rendah ratio O/C dan H/C. Ratio O/C dan H/C yang rendah mencirikan peningkatan aromatik (Novak *et al.* 2013) yang menyebabkan arang semakin stabil dan sulit untuk dimodifikasi. Arang limbah sawit yang dibuat melalui metode hidrotermal pada suhu $250 \text{ }^\circ\text{C}$ memiliki sifat daya jerap iodin sebesar $378,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, luas permukaan $61,5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, dan kandungan karbon 67% (Budiman *et al.* 2019). Di sisi lain, hasil penelitian Darmawan (2014) menunjukkan bahwa arang yang dihasilkan melalui proses hidrotermal memiliki indeks kematangan karbon 0,20-0,33% dan aromatisasi 0,16-0,26%.

Penggunaan metoda hidrotermal untuk menghasilkan prekursor arang memiliki banyak keuntungan diantaranya adalah suhu karbonisasi hidrotermal lebih rendah dari suhu pirolisis (Kang *et al.* 2012). Menurut Mumme *et al.* (2011) hidrotermal adalah karbonisasi dalam media air pada suhu $180\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$ dan

tekanan antara 2 dan 10 MPa. Sedangkan menurut Titirici *et al.* (2007) semakin tinggi suhu hidrotermal semakin banyak struktur mikropori arang hidrotermal. Selain itu proses karbonisasi hidrotermal dapat meminimalkan produksi gas rumah kaca, ramah lingkungan, tidak berbahaya untuk kesehatan, dan berbiaya rendah (Hu *et al.* 2010, Xiao *et al.* 2012). Hal ini menjadikan arang hidrotermal sebagai bahan awal (prekursor) yang sangat baik untuk pembuatan arang aktif (Jain *et al.* 2016). Dengan demikian dalam penelitian ini digunakan kulit batang sagu sebagai bahan baku arang aktif dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat arang aktifnya melalui metode karbonisasi hidrotermal dan aktivasi *steaming*.

Bahan dan Metode

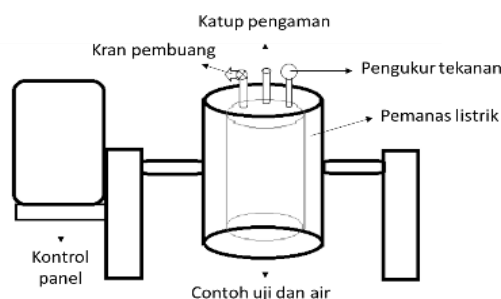
Persiapan bahan baku

Kulit batang sagu yang diperoleh dari Desa Amahai, Kabupaten Maluku Tengah Propinsi Maluku, dikering udarakan terlebih dahulu sebelum dibuat menjadi partikel menggunakan *ring flaker* dan dihaluskan menggunakan *diskmill*. Serbuk kulit batang sagu kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk ukuran 40-60 mesh.

Pembuatan arang hidrotermal

Serbuk kulit batang sagu dikarbonisasi menggunakan media air dalam tabung tertutup (Gambar 1) dengan perbandingan bahan dan air 1:5 (Darmawan 2014). Pemanasan dilakukan hingga suhu 250 °C (Parshetti *et al.* 2013) dengan laju pemanasan 1,2-1,4 °C per menit (waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 250 °C ± 3 jam) dan ditahan selama 5 jam pada suhu 250 °C. Selanjutnya arang hidrotermal dibiarkan dingin dalam tabung selama 24 jam, kemudian arang hidrotermal disaring dan

dibilas dengan aquades hingga pH air bilasan mendekati pH 7 dan dikering udarakan.

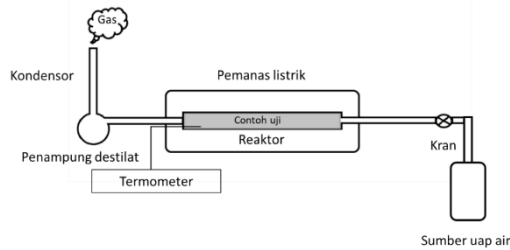


Sumber: Budiman 2019

Gambar 1 Perangkat karbonisasi hidrotermal.

Aktivasi arang kulit batang sagu

Arang hidrotermal diaktivasi dengan metode fisika menggunakan suhu 800 °C dan *steaming* dengan tekanan 100 milibar (Gambar 2). Arang hidrotermal dimasukan dalam reaktor dan suhu reaktor di-*setting* pada suhu 800 °C. Ketika suhu reaktor telah mencapai suhu 700 °C, tangki air yang terletak disamping reaktor dipanaskan. Pemanasan air dilakukan sekitar 1 jam untuk menghasilkan *steam* dengan tekanan 100 milibar. Setelah suhu reaktor 800 °C, *steam* dialirkan ke dalam reaktor dengan variasi *steaming* 60, 80, dan 100 menit. Perlakuan 0 menit adalah perlakuan tanpa *steaming*, yaitu ketika suhu reaktor mencapai 800 °C, pemanasan dihentikan. Setelah proses aktivasi selesai arang aktif dibiarkan dalam reaktor selama ± 20 jam. Arang aktif yang dihasilkan dihitung rendemennya dan dianalisis sifat-sifatnya meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, kadar karbon terikat dan daya jerap terhadap iodin berdasarkan SNI: 06-3730-1995.



Sumber: Budiman 2019

Gambar 2 Perangkat aktivitas dengan *steaming*.

Penetapan rendemen dan analisis sifat proksimat arang aktif kulit sagu

Penetapan rendemen.

Rendemen ditetapkan dengan membandingkan berat arang aktif yang diperoleh dengan berat prekursor arang sebelum aktivasi.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Berat arang aktif}}{\text{Berat prekursor arang}} \times 100 \%$$

Penetapan kadar air.

Contoh arang aktif sebanyak 1 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(\text{Berat awal}-\text{Berat akhir})}{\text{Berat awal}} \times 100 \%$$

Penetapan zat terbang.

Contoh arang aktif kering oven sebanyak 2 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya lalu dipanaskan dalam tanur pada suhu 950 °C selama 10 menit, kemudian didinginkan dalam desikator dan selanjutnya ditimbang.

$$\text{Zat terbang (\%)} = \frac{\text{Berat awal}-\text{berat setelah pemanasan dalam tanur}}{\text{Berat awal}} \times 100 \%$$

Penetapan kadar abu.

Contoh arang aktif kering oven sebanyak 2 g ditempatkan dalam cawan porselin yang telah diketahui massanya

dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 700 °C selama 6 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan selanjutnya ditimbang.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{Berat sisa contoh}}{\text{Berat awal}} \times 100\%$$

Penetapan karbon terikat.

Karbon terikat dihitung dari pengurangan seluruh berat contoh uji (100%) dengan zat mudah menguap dan kadar abu.

$$\text{Karbon terikat (\%)} = 100\% - (\text{Kadar abu} + \text{Zat terbang})$$

Pengukuran daya jerap iodin

Daya jerap iodin menunjukkan jumlah iodin yang dapat dijerap oleh 1 g arang aktif (mg iodin per g arang aktif). Sebanyak 0,2 g arang aktif dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL tertutup, kemudian ditambahkan 25 mL larutan iodin 0,1 N dan dikocok selama 15 menit dalam suhu kamar, selanjutnya larutan langsung disaring. Larutan hasil saringan tersebut dipipet 10 mL dan dititer dengan larutan natrium tio-sulfat 0,104 N sampai didapatkan larutan berwarna kuning, kemudian ditambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator. Larutan dititer kembali sampai warna biru dari larutan hilang. Daya jerap iodin dihitung berdasarkan rumus berikut (SNI 1995):

$$\text{Daya jerap arang terhadap iod} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{\left(10 - \frac{V \times N}{0,1} \right)}{D} \times 12,69 \times \text{fp}$$

Dengan:

V : larutan natrium tio-sulfat yg diperlukan (mL)

N : normalitas larutan tio-sulfat (0,104)

12,69 : jumlah iod sesuai dgn 1 mL larutan natrium tio-sulfat 0,1 N

D : berat contoh uji (g)

10 : volume larutan iodin yang telah dikocok dengan arang dan telah disaring

fp : faktor pengenceran

Pengujian struktur kristal

Struktur kristal arang aktif dianalisis menggunakan perangkat *X-Ray Diffractometer* (XRD) Shimadzu 7000 dengan sumber radiasi tembaga (Cu) menggunakan contoh uji berupa serbuk lolos saringan 100 mesh. Analisis dilakukan pada energi 40 kV, arus 30 mA, kecepatan pindai 2 ° per menit, pencatatan data setiap 0,02 ° per detik dan sudut pindai antara 10-80°. Parameter yang ditentukan adalah jarak antar lapisan aromatik karbon (d_{002}), tinggi lapisan aromatik (Lc), lebar lapisan aromatik (La), dan jumlah lapisan grafena (N). Derajat kristalinitas (X) dihitung menggunakan persamaan (Iguchi 1997, Kercher & Nagle 2003):

$$\text{Derajat kristalinitas (X\%)} = \frac{\text{bagian kristal}}{\text{bagian kristal} + \text{bagian amorf}} \times 100$$

$$\text{Jarak antar lapisan aromatik (d)} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

Tinggi lapisan aromatik (Lc):

$$Lc_{(002)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Lebar lapisan aromatik (La) :

$$La_{(100)} = K \lambda / \beta \cos \theta$$

Jumlah lapisan aromatik (N):

$$N = Lc / d$$

dengan:

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm (panjang gelombang radiasi sinar Cu)}$$

θ = Sudut difraksi

β = Intensitas ½ tinggi dan lebar (radian θ)

K= Tetapan untuk Lc (0,89) dan La (1.9)

Pengamatan permukaan arang aktif dengan SEM

Visualisasi morfologi permukaan arang aktif dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). dengan perbesaran gambar 2000x. Contoh uji kering oven dilekatkan dengan karbon tip pada tempat sampel. Selanjutnya contoh uji dilapisi dengan logam Au dan dianalisis menggunakan peralatan *Scanning Electron Microscopy* JSM-6510LA dalam kondisi vakum dan diberi nitrogen cair untuk mencegah terjadinya peningkatan suhu contoh uji.

Hasil dan Pembahasan

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa *steaming* berpengaruh signifikan terhadap rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat dan daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu. Hasil uji BNT rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat dan Dj. Iodin disajikan pada Tabel 1 sedangkan korelasi antar peubah pengamatan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, dan Dj. Iodin arang aktif kulit batang sagu

Waktu aktivasi	Peubah pengamatan					
	Rendemen, %	Kadar air, %	Zat terbang, %	Kadar abu, %	Karbon terikat, %	Dj. Iodin, mg.g ⁻¹
KS0	55,70 ± 1,95a	5,82 ± 0,04d	5,66 ± 0,12c	14,54 ± 0,22a	79,80 ± 0,12a	455,59 ± 2,56d
KS60	50,83 ± 1,00b	7,06 ± 0,15a	8,68 ± 0,15b	12,42 ± 0,45b	78,89 ± 0,58b	691,19 ± 4,29c
KS80	47,80 ± 0,53c	6,78 ± 0,11b	9,40 ± 0,30a	12,24 ± 0,37b	78,36 ± 0,52b	759,86 ± 8,49a
KS100	45,90 ± 0,26c	6,21 ± 0,08c	8,66 ± 0,51b	12,80 ± 0,23b	78,54 ± 0,47b	746,71 ± 0,94b
Uji F	**	**	**	**	*	**
Pola respon	L**	Q**	Q**	L**	L**	Q**

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada BNT α 5%. *: berbeda nyata pada α sebesar 5%, **: berbeda nyata pada α sebesar 1%.

L = linier; Q = kuadratik
0, 60, 80, 100 = Steaming (menit)

Tabel 2 Korelasi antar peubah pengamatan (rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, Dj. Iodin)

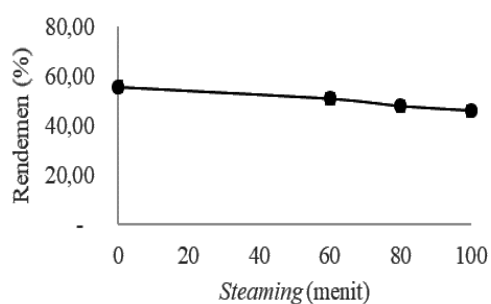
	Rendemen, %	Kadar air, %	Zat Terbang, %	Kadar Abu, %	Karbon Terikat, %	Dj Iodin, mg.g ⁻¹
Rendemen, %	1,0000					
Kadar air, %	-0,3898	1,0000				
Zat Terbang, %	-0,8283**	0,7488**	1,0000			
Kadar Abu, %	0,7606**	-0,8101**	-0,9330**	1,0000		
Karbon Terikat, %	0,7287**	-0,4843**	-0,8588**	0,6169*	1,0000	
Dj. Iodin, mg.g ⁻¹	-0,9162**	0,6627**	0,9691**	-0,9173**	-0,8136**	1,0000

Keterangan: ** = berkorelasi signifikan

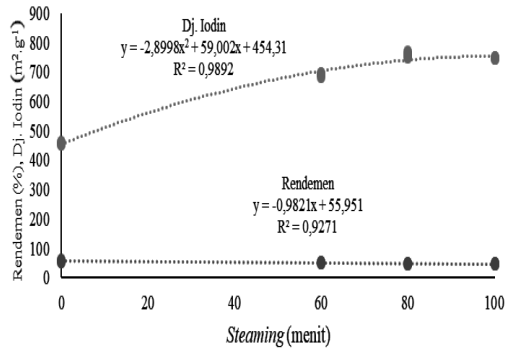
Rendemen

Hasil perhitungan rendemen arang aktif kulit batang sagu menunjukkan bahwa rendemen menurun seiring dengan kenaikan waktu/lama *steaming* (Gambar 3). Pengamatan pengaruh *steaming* terhadap rendemen berbentuk linier dan signifikan. Pola respon rendemen arang aktif terhadap *steaming* mengikuti persamaan regresi $y = -0,9821x + 55,951$ dengan nilai $R^2=0,92$ (Gambar 4). Model ini mampu menjelaskan bahwa rendemen dipengaruhi *steaming* sebesar 92% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Kenaikan *steaming* menyebabkan semakin banyak oksigen (berasal dari uap) yang bereaksi karbon arang aktif menghasilkan gas CO dan CO₂. Semakin banyak gas CO dan CO₂ yang dihasilkan maka akan terjadi penurunan rendemen arang aktif. Menurut Manocha *et al.* (2010) jumlah uap yang diberikan selama aktivasi dapat mempengaruhi jumlah karbon arang aktif yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil uji korelasi yang menunjukkan bahwa rendemen dan karbon terikat berkorelasi positif (Tabel 2).

Bila dibandingkan dengan arang aktif kulit batang sagu pirolisis (Siruru *et al.* 2018) rendemen arang aktif kulit batang sagu hidrotermal lebih rendah. Rendahnya rendemen arang aktif kulit batang sagu prekursor arang hidrotermal disebabkan karena arang hidrotermal memiliki kandungan oksigen dan zat terbang yang tinggi sedangkan kandungan karbonnya rendah (Siruru *et al.* 2020). Menurut Novak *et al.* (2013) kandungan karbon yang tinggi dan oksigen yang rendah mengindikasikan bahwa arang pirolisis lebih aromatik dan stabil terhadap perlakuan panas dibandingkan dengan arang hidrotermal.



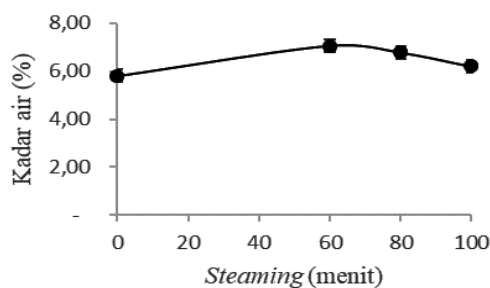
Gambar 3 Rendemen arang aktif kulit batang sagu.



Gambar 4 Pola respon Dj. Iodin dan rendemen terhadap steaming arang aktif kulit batang sagu.

Kadar air

Kadar air arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 15\%$. Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar air arang aktif meningkat pada perlakuan *steaming* 60 menit dan kemudian menurun seiring peningkatan *steaming*. Hal ini sesuai dengan pola respon yang menunjukkan bahwa pengaruh *steaming* terhadap kadar air arang aktif kulit sagu berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1). Artinya pada *steaming* tertentu terdapat titik maksimum kadar air arang aktif.

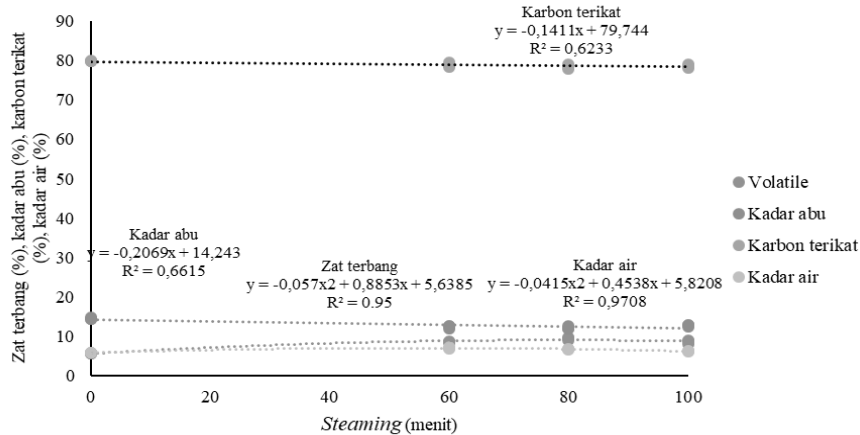


Gambar 5 Kadar air arang aktif kulit batang sagu.

Pola respon kadar air arang aktif kulit sagu mengikuti persamaan regresi $y = -0,0415x^2 + 0,4538x + 5,8208$, dengan

nilai $R^2=0,97$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa kadar air dipengaruhi *steaming* sebesar 97% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Pola kuadratik kadar air arang aktif didukung oleh hasil uji BNT menunjukkan bahwa kadar air perlakuan *steaming* 60 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ terhadap perlakuan lainnya.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air arang aktif. *Steaming* diduga dapat mempengaruhi jumlah gugus hidroksil. Gugus hidroksil terletak pada permukaan arang aktif (Jain *et al.* 2016) bersifat polar bertindak sebagai pusat adsorpsi air dan memfasilitasi pembentukan kelompok air pada permukaan arang aktif (Cybulak *et al.* 2016). Pada suhu 800 °C gugus hidroksil arang aktif mengalami degradasi sehingga arang aktif tanpa *steaming* memiliki kadar air yang rendah karena kemampuan higroskopis menurun. Berbeda dengan kadar air arang aktif yang diaktivasi dengan *steaming*. Kadar air arang aktif dengan aktivasi *steaming* lebih tinggi dari kadar air arang aktif tanpa *steaming*. Hal ini disebabkan karena kemampuan higroskopis arang aktif aktivasi *steaming* meningkat karena adanya pembentukan gugus hidroksil akibat *steaming*. *Steaming* diduga dapat membentuk gugus hidroksil, namun *steaming* lebih lama menyebabkan terjadinya degradasi gugus hidroksil sehingga kadar air arang aktif menurun seiring peningkatan waktu/lama *steaming*. Hal ini disebabkan karena unsur karbon arang aktif yang berfungsi sebagai tempat terbentuknya gugus hidroksil mengalami penurunan karena unsur karbon tersebut bereaksi dengan uap air menghasilkan gas.



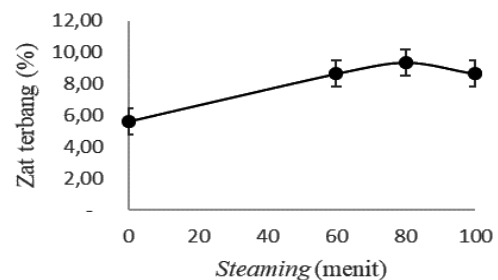
Gambar 6 Pola respon kadar abu, zat terbang, kadar abu dan karbon terikat terhadap *steaming* arang aktif kulit batang sagu.

Zat terbang

Zat terbang arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 25\%$. Gambar 7 menunjukkan bahwa zat terbang arang aktif meningkat seiring *steaming* hingga *steaming* 80 selanjutnya mengalami penurunan. Pengamatan pengaruh *steaming* terhadap zat terbang berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1). Artinya pada *steaming* tertentu terdapat titik maksimum zat terbang arang aktif. Pola respon zat terbang arang aktif terhadap *steaming* mengikuti persamaan regresi $y = -0,057x^2 + 0,8853x + 5,6385$, dengan nilai $R^2=0,95$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa zat terbang dipengaruhi *steaming* sebesar 95% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Pola kuadratik zat terbang arang aktif didukung oleh hasil uji BNT yang menunjukkan bahwa zat terbang perlakuan *steaming* 80 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ dengan perlakuan lainnya.

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap zat terbang arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* dapat mempengaruhi terbentuknya karbon

tidak stabil, sehingga pada pengujian zat terbang karbon tersebut mengalami gasifikasi menjadi CH_4 , CO_2 , CO , dan H_2 . Gas-gas yang mengandung unsur karbon mempengaruhi jumlah karbon yang tetap berada dalam arang aktif. Hal ini sesuai dengan hasil korelasi antar peubah yang menunjukkan bahwa zat terbang arang aktif berkorelasi negatif dengan karbon terikat (Tabel 2). Karbon tidak stabil dapat dikaitkan dengan hasil XRD (Tabel 3) yang menunjukkan nilai derajat kristalinitas yang berbanding terbalik dengan zat terbang arang aktif. Menurut Burchell (1999) arang dengan kristalinitas tinggi lebih stabil terhadap perubahan suhu. Sehingga tingginya derajat kristalinitas arang aktif dapat menyebabkan zat terbang arang aktif lebih rendah.



Gambar 7 Zat terbang arang aktif kulit batang sagu.

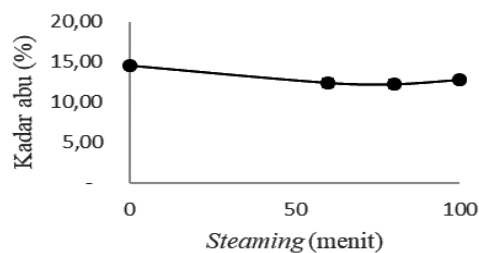
Kadar abu

Kadar abu arang aktif kulit batang sagu yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\leq 10\%$ sehingga kadar abu tidak memenuhi standar penggunaan arang aktif sebagai adsorben, namun untuk penggunaan lain seperti pupuk, kadar abu arang aktif yang lebih besar justru lebih baik karena kandungan abu sebagian besar terdiri dari nutrisi untuk pertumbuhan tanaman.

Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar abu arang aktif kulit menurun seiring *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami peningkatan. Walaupun perlakuan *steaming* 80 menit merupakan kadar abu terendah namun perlakuan *steaming* 80 menit bukan merupakan titik minimal kadar abu. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil analisis pola respon yang menunjukkan bahwa pola respon kadar abu arang aktif terhadap *steaming* berbentuk linear mengikuti persamaan regresi $y = -0,2069x + 14,243$ dengan nilai $R^2=0,66$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa rendemen dipengaruhi *steaming* sebesar 66% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Bentuk linier kadar abu dikuatkan dengan hasil BNT yang menunjukkan bahwa kadar abu perlakuan *steaming* 80 menit, *steaming* 60 dan *steaming* 100 menit tidak berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* diduga mampu menghilangkan mineral prekursor arang, hal ini dapat dijelaskan dengan adanya korelasi positif antara kadar abu dengan rendemen dan karbon terikat. Selain itu, pola respon rendemen dan karbon terikat yang berbentuk linier

dengan tren menurun (Gambar 5 dan Gambar 6) juga dapat menguatkan dugaan ini.



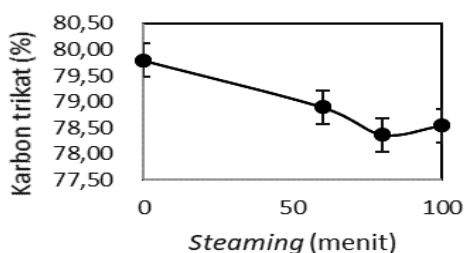
Gambar 8 Kadar abu arang aktif kulit batang sagu.

Karbon terikat

Karbon terikat arang aktif kulit batang sagu sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 yaitu $\geq 65\%$. Gambar 9 menunjukkan bahwa karbon terikat arang aktif kulit sagu menurun seiring *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami peningkatan. Berdasarkan pola respon karbon terikat arang aktif terhadap *steaming* berbentuk linear mengikuti persamaan regresi $y = -0,1411x + 79,744$ dengan nilai $R^2=0,62$ (Gambar 6). Model ini mampu menjelaskan bahwa karbon terikat dipengaruhi *steaming* sebesar 62% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Sehingga secara statistik kadar karbon terikat arang aktif tidak memiliki titik minimal dengan perlakuan *steaming*. Kondisi ini juga didukung oleh hasil uji BNT menunjukkan bahwa karbon terikat perlakuan *steaming* 80 menit, *steaming* 60 menit dan *steaming* 100 menit tidak berbeda nyata pada $\alpha=5\%$ (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh nyata terhadap karbon terikat arang aktif kulit batang sagu. Hal ini disebabkan adanya reaksi antara karbon arang dengan uap air menghasilkan gas yang mengandung karbon. Menurut Román *et al.* (2008) reaksi gasifikasi karbon dan uap air

menghasilkan karbon monoksida melalui persamaan $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$. Selain itu, semakin lama *steaming* semakin banyak karbon pada permukaan arang bereaksi dengan oksigen (Vitidsant *et al.* 1999) sehingga semakin sedikit karbon terikat arang aktif. Berkurangnya karbon terikat akan berdampak pada penurunan rendemen, hal ini didukung oleh hasil analisis korelasi yang menyatakan bahwa kadar karbon terikat berkorelasi positif dengan rendemen (Tabel 2).



Gambar 9 Karbon terikat arang aktif kulit batang sagu.

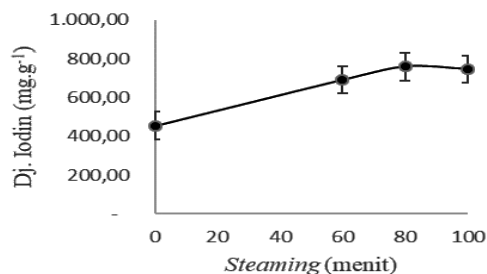
Daya jerap iodin arang aktif

Daya jerap arang aktif kulit batang sagu yang sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 hanya pada perlakuan *steaming* 80 menit yaitu $\geq 750 \text{ mg.g}^{-1}$. Gambar 10 menunjukkan bahwa daya jerap iodin arang aktif kulit sagu meningkat seiring dengan peningkatan *steaming* hingga *steaming* 80 menit selanjutnya mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan pola respon Dj. Iodin terhadap *steaming* yang berbentuk kuadratik dan signifikan (Tabel 1) mengikuti persamaan regresi $y = -2,8998x^2 + 59,002x + 454,31$ dengan nilai $R^2=0,98$ (Gambar 4). Model ini mampu menjelaskan bahwa daya jerap iodin dipengaruhi *steaming* sebesar 98% (R^2) dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Sehingga secara statistik perlakuan *steaming* tertentu terdapat titik maksimum Dj. Iodin arang aktif. Kondisi ini sejalan dengan hasil uji BNT

menunjukkan bahwa daya jerap iodin perlakuan *steaming* 80 menit berbeda nyata pada $\alpha=1\%$ dengan perlakuan lainnya (Tabel 1).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan *steaming* berpengaruh sangat nyata terhadap daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu. *Steaming* berperan untuk membersihkan pori-pori arang aktif dari deposit yang kaya unsur karbon (Vitidsant *et al.* 1999), sehingga daya jerap iodin arang meningkat. Terjadinya penurunan daya jerap iodin pada *steaming* 100 menit diduga karena terjadinya pengrusakan dinding pori akibat dari banyaknya uap air yang bereaksi dengan karbon yang membentuk dinding pori. Uap air dapat bereaksi dengan karbon arang aktif baik karbon dalam bentuk deposit maupun karbon pembentuk dinding pori. Karbon deposit lebih labil dibandingkan dengan karbon pembentuk dinding pori sehingga uap air akan bereaksi lebih dulu dengan karbon pembentuk deposit.

Daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu berkorelasi positif dengan kadar air dan zat terbang, dan berkorelasi negatif dengan rendemen, kadar abu dan karbon terikat. Peningkatan daya jerap iodin arang aktif berbanding terbalik dengan kadar karbon terikat. Hal ini mengindikasikan bahwa daya jerap iodin tidak bergantung pada jumlah karbon terikat arang aktif.



Gambar 10 Daya jerap iodin arang aktif kulit batang sagu.

Struktur kristalit arang aktif batang sagu

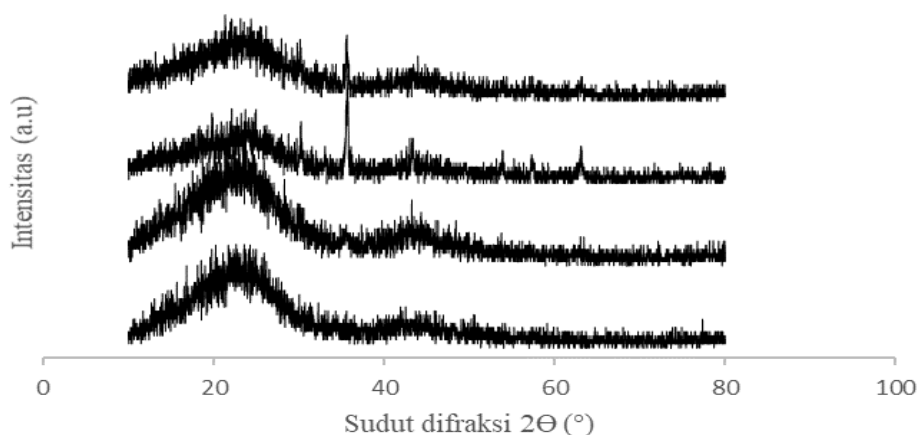
Hasil analisis struktur kristal (X-RD) arang aktif kulit batang sagu perlakuan *steaming* pada Gambar 18 menunjukkan bahwa semua arang aktif yang diperoleh memiliki pola struktur kristalit turbostatik yaitu dengan terbentuknya puncak pada sudut difraksi sekitar 21-24° (θ_{002}) dan puncak pada sudut difraksi sekitar 42-43° (θ_{100}). Kurva disudut 10-30° membentuk pola amorf, sementara itu pencari puncak grafit pada sudut disekitar 43° (Darmawan 2014), selanjutnya menurut Sonibare *et al.* (2010) perpaduan dari kedua karakter ini mengindikasikan bahwa karbon aktif bersifat *turbostatik*.

Derajat kristalinitas terendah arang aktif kulit batang sagu pada *steaming* 80 menit dan derajat kristalinitas tertinggi pada *steaming* 100 menit. Struktur kristal arang aktif yang telah terbentuk dapat dirombak oleh *steam* sehingga terjadi penurunan derajat kristalinitas, namun pada *steaming* yang lebih lama *steam* berperan dalam pembentukan struktur kristal baru. *Steaming* juga mengakibatkan terjadinya penataan karbon pada bidang mendatar dan vertikal yang ditandai dengan terdapatnya nilai La dan nilai Lc yang berbeda pada setiap perlakuan *steaming*. Sementara itu nilai jumlah lapisan aromatik (N) tergantung dari besarnya nilai Lc dan nilai d.

Tabel 3 Analisis XRD arang aktif kulit batang sagu

Arang aktif	X, %	θ_{002} , °	d, nm	θ_{100} , °	d, nm	Lc, nm	N	La, nm
KS 0	36,50	21,92	0,41	42,13	0,21	1,57	4,31	3,88
KS 60	33,92	23,82	0,37	43,14	0,21	1,63	3,11	4,37
KS 80	31,66	24,15	0,37	43,32	0,21	1,61	10,29	4,36
KS 100	38,81	22,16	0,40	43,35	0,21	1,86	11,50	4,63

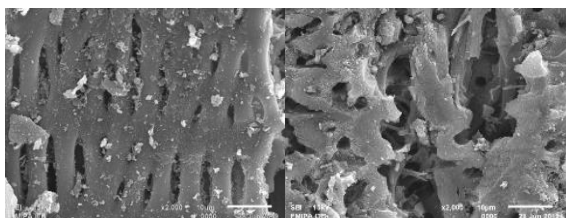
Catatan: KS= kulit batang sagu; 0, 60, 80, 100 = Steaming (menit)



Gambar 11 Difraktogram sinar-X arang aktif kulit batang sagu.

Morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu

Hasil analisis morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu (Gambar 11) menunjukkan bahwa morfologi permukaan arang aktif tanpa *steaming* dan *steaming* 80 menit berbeda. Permukaan arang aktif tanpa *steaming* memiliki permukaan dengan pori dengan bentuk dan ukuran yang hampir seragam. Pori arang aktif berbentuk memanjang dengan kedua ujung meruncing dan dinding pori yang tebal. Sedangkan permukaan arang aktif *steaming* 80 menit memiliki permukaan dengan pori dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa *steaming* dapat membantu pembentukan pori arang aktif. Menurut Molina-Sabio *et al.* (1996) aktivasi *steam* dapat mengembangkan mikropori menjadi mesopori dan makropori dengan penghilangan karbon pada pintu masuk mikropori.



(a) (b)

Gambar 12 Morfologi permukaan arang aktif kulit batang sagu tanpa *steam* (a) dan *steaming* 80 menit (b).

Kesimpulan

Arang aktif kulit batang sagu memiliki rendemen 45,90-55,70%, kadar air 5,82-7,06%, zat terbang 5,66-9,40%, kadar abu 12,24-14,54%, karbon terikat 78,36-79,80%, daya jerap iodin 455,59-759,86 mg.g⁻¹, dan derajat kristalinitas 31,66-38,81%. Arang aktif terbaik adalah arang aktif kulit sagu perlakuan *steaming* adalah perlakuan 80 menit, dengan rendemen 47,80%, kadar air 6,78%, zat

terbang 9,40%, kadar abu 12,24%, karbon terikat 78,38%, Dj. Iodin 759,86 mg.g⁻¹, derajat kristalinitas 31,66, dan memiliki struktur permukaan yang berpori dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi. Sifat proksimat, kadar air, dan Dj. Iodin sesuai dengan SNI 06-3730-1995 kecuali kadar abu.

Daftar Pustaka

- Al-Wabel MI, Al-Omran A, El-Naggar AH, Nadeem M, Usman ARA. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. *Bioresour. Technol.* 13:374–379.
- Bagreev A, Bandosz TJ, Locke DC. 2001. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *Carbon* 39:1971–1979.
- Budiman I, Hermawan D, Febrianto F, Pari G, Subyakto. 2019. Char properties and pollutant adsorption capability of oil palm shell using hydrothermal process. *Biomass. Convers. Biorefin.* 9:681–688.
- Burchell TD. 1999. *Carbon Materials for Advanced Technologies*. First edition. Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Biores Technol.* 107:419–428.
- Cybulak M, Sokołowska Z, Boguta P. 2016. Hygroscopic moisture content of podzolic soil with biochar. *Acta Agroph.* 23:533–543.
- Darmawan S. 2014. Karbon Nanoporous dari Biomassa Hutan melalui Proses Karbonisasi Bertingkat: Pirolisis,

- Hidrotermal dan Aktivasi. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ehara H, Toyoda Y, Johnson DV. 2018. *Sago Palm*. Multiple Contributions To Food Security and Sustainable Livelihoods. Singapore: Springer Nature.
- Erabee IK, Ahsan A, Daud NNN, Idrus S, Shams S, Din MFM, Rezanisa S. 2017. Manufacture of low-cost activated carbon using sago palm bark and date pits by physiochemical activation. *BioResources* 12:1916-1923.
- Flach M. 1997. *Sago Palm*. (*Metroxylon sagu* Rottb). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 13. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Hu B, Wang K, Wu LH, Yu SH, Antonietti M, Titirici MM. 2010. Engineering carbon materials from the hydrothermal carbonization process of biomass. *Adv. Mater.* 22:813–828.
- Iguchi M. 1997. Practice of Polymer X-ray Diffraction. Bandung, Bandung Institute Technology, Indonesia.
- Jain A, Balasubramanian R, Srinivasan MP. 2016. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: a review. *Chemical Engineering Journal* 283 (2016):789–805.
- Kang S, Li X, Fan J, Chang J. 2012. Characterization of hydrocarbons produced by hydrothermal carbonization of lignin, cellulose, d-xylose, and wood meal. *Industri Engineer Chem Res.* 51:9023-9031.
- Kercher AK, Nagle DC. 2003. Microstructural evolution during charcoal carbonization by X-ray diffraction analysis. *Carbon.* 41(1):15-27.
- Manocha S, Chavda AJ, Punvar PD, Patel K. 2010. Activated carbon from waste biomass of phyllisum husk: effect of steam activation on surface characteristics. *Journal of Pure and Applied Sciences.* 18:88-91.
- Molina-Sabio M, Gonzalez MT, F Rodriguez-Reinoso, Sepiijlveda-Escribano A. 1996. Effect of steam and carbon dioxide activation in the micropore size distribution of activated carbon. *Carbon.* 34:505-509,
- Mumme J, Eckervogt L, Pielert J, Diakit  M, Rupp F, Kern J. 2011. Hydrothermal carbonization of anaerobically digested maize silage. *Biores Technol* 102:9255–9260.
- Novak JM, Cantrell KB, Watts DW. 2013. Compositional and thermal evaluation of lignocellulosic and poultry litter chars via high and low temperature pyrolysis: high and low temperature pyrolyzed biochars. *Bioenergy Res.* 6:114–130.
- Parshetti GK, Hoekman SK, Balasubramanian R. 2013. Chemical, structural and combustion characteristics of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of palm empty fruit bunches. *Biores Technol.* 135:683-689.
- Román S, González JF, González-García CM, Zamora F. 2008. Control of pore development during CO₂ and steaming activation of olive stones. *Fuel Process Technol.* 89:715–720.

- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G, 2018. Pengaruh durasi *steam* terhadap kualitas arang aktif limbah sagu. *JITKT*. 16:116-131
- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G. 2019. Characteristics of *Metroxylon rumphii* (pith and bark waste) from Seram Island, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas*. 20:3517-3526.
- Siruru H, Syafii W, Wistara INJ, Pari G, Budiman I. 2020. Properties of sago waste charcoal using hydrothermal and pyrolysis carbonization. *Biomass Conver. Biorefin.* 1-12. https://www.researchgate.net/publication/344264639_Properties_of_sago_waste_charcoal_using_hydrothermal_and_pyrolysis_carbonization
- Shmulsky R, Jones PD. 2011. *Forest Products and Wood Science*. An Introduction. Sixth Edition. New Jersey: a John Wiley & Sons, Inc.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. Arang Aktif Teknis. 06-3730-1995. Jakarta: *Badan standarisasi Indonesia*.
- Sonibare OO, Haeger T, Foley SF. 2010. Structural characterization of Nigerian coals by X-ray diffraction, Raman and FTIR spectroscopy. *Energy*. 35:5347-5353.
- Titirici MM, Thomas A, Yu SH, Müller JO, Antonietti M. 2007. A direct synthesis of mesoporous carbons with bicontinuous pore morphology from crude plant material by hydrothermal carbonization. *Chem Mater* 19:4205–4212.
- Vitidsant T, Suravattanasakul T, Damronglerd S. 1999. Production of activated carbon from palm-oil shell by pyrolysis and steaming activation in a fixed bed reactor. *Science Asia* 25 (1999): 211-222. <https://www.semanticscholar.org/paper/Production-of-Activated-Carbon-from-Palm-oil-Shell-Vitidsant-Damronglerd/4f377bed7b1fe1208feef a2472480c7a9ba825e0> [20 Juni 2020].
- Xiao LP, Shi Z-J, Xu F, Sun RC. 2012. Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. Short communication. *Biores Technol.* 118:619–623.