

Pengaktifan Kimia Berbantuan Gelombang Mikro Karbon Aktif dari Kulit Kacang dengan Waktu Pra-karbonisasi yang Berbeda

Awitdrus[✉], Dewi Mulfida, Rakhmawati Farma, Saktioto, dan Iwantono

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Riau

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima:
27 November 2018
Disetujui:
27 Desember 2018
Dipublikasikan:
27 Desember 2018

Keywords:
Kulit kacang, pra-karbonisasi, pengaktifan kimia, gelombang mikro, sifat fisika karbon aktif

ABSTRAK

Karbon aktif berbahan dasar kulit kacang (*Arachis hypogaea L*) disintesis menggunakan metode pengaktifan kimia berbantuan gelombang mikro. Kulit kacang dipra-karbonisasi pada temperatur 200 °C selama 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Pengaktifan kimia dilakukan menggunakan kalium hidroksida dengan rasio massa pra-karbonisasi dan kalium hidroksida adalah 2:1 selama 24 jam. Iradiasi gelombang mikro dilakukan pada daya keluaran 630 watt selama 20 menit. Sifat fisika karbon aktif dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur mikro, isoterma adsorpsi/desorpsi N₂ untuk mengetahui parameter porositas, serta Fourier transform infrared untuk mengetahui struktur rantai karbon aktif. Pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa semua karbon aktif memiliki struktur turbostratik yang ditandai dengan adanya puncak (002) dan (100). Luas permukaan dan volume pori karbon aktif tertinggi adalah 153 m²/g dan 0,064 cm³/g untuk karbon aktif dengan waktu pra-karbonisasi selama 2 jam. Struktur rantai karbon menunjukkan adanya gugus fungsi P=O, C-O, C-C, C-H pada bilangan gelombang 1031 cm⁻¹, 1609,67 cm⁻¹, 2363,87 cm⁻¹, dan 2867,31 cm⁻¹.

ABSTRACT

Activated peanut-based activated carbon (*Arachis hypogaea L*) is synthesized using a microwave-assisted chemical activation method. Peanut shells were pre-carbonized at 200 °C for 2 hours, 3 hours and 4 hours. Chemical activation was carried out using potassium hydroxide with a pre-carbonization mass ratio and potassium hydroxide of 2: 1 for 24 hours. Microwave irradiation is carried out at 630 watts of output power for 20 minutes. The physical properties of activated carbon were characterized using X-ray diffraction to determine microstructure, isothermic adsorption / desorption N₂ to determine porosity parameters, and Fourier transform infrared to determine the chain structure of activated carbon. X-ray diffraction patterns indicate that all activated carbon has a turbostratic structure which is characterized by the presence of peaks (002) and (100). The highest surface area and pore volume of activated carbon are 153 m²/g and 0.064 cm³/g for activated carbon with a pre-carbonization time of 2 hours. The carbon chain structure shows the functional groups P = O, C-O, C-C, C-H at wave numbers 1031 cm⁻¹, 1609.67 cm⁻¹, 2363.87 cm⁻¹, and 2867.31 cm⁻¹.

PENDAHULUAN

Proteksi terhadap lingkungan telah menjadi perhatian dan fokus dunia sejak beberapa dekade belakangan ini karena meningkatnya kualitas dan kuantitas limbah yang dihasilkan oleh industri, pertanian, dan rumah tangga. Limbah ini dapat mengancam kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan jika tidak ditanggulangi dengan baik. Salah satu cara penanggulangan limbah ini yang berbasis biomassa yaitu dengan memanfaatkan sebagai karbon aktif. Karbon aktif telah terbukti menjadi bahan penyerap yang efektif untuk menyingkirkan berbagai macam polutan organik dan anorganik yang larut dalam media berair maupun lingkungan bergas, seperti pengolahan air limbah (Crini, 2006; Hameed dan Daud, 2008), industri kimia dan farmasi (Yu dkk., 2008), pemrosesan makanan (Mudoga dkk., 2008), pengurangan polutan organik (Foo dan Hammed, 2012), dan pemurnian gas (Phalakomkule dkk., 2012). Penggunaannya yang luas dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan yang tinggi, struktur pori yang baik, stabilitas termal yang tinggi, serta reaktivitas yang rendah terhadap asam dan basa.

Karbon aktif memiliki aplikasi dalam skala besar, tetapi tersedia di pasaran dengan harga yang relatif mahal. Berbagai bahan-bahan berkarbon seperti batu bara, petroleum coke, kayu dan tempurung kelapa telah digunakan untuk menghasilkan karbon aktif komersial. Bahan potensial untuk memproduksi karbon aktif adalah dengan menggunakan biomassa berbasis limbah pertanian karena berharga murah, material tersedia dalam jumlah yang besar, ramah lingkungan, dapat diperbaharui, dan memiliki struktur berpori. Beberapa peneliti telah menggunakan biomassa sebagai bahan dasar karbon aktif, seperti limbah kopi (Ma and Ouyang, 2013), limbah zaitun (Baccarab dkk., 2012), sekam padi (Ding dkk., 2014), ampas tebu (Gad dan El-Sayed, 2008), tongkol jagung (Song dkk., 2013), jerami wijen (Park dkk., 2016), serta tomat (Saygili dan Guzel, 2016).

Pengaktifan karbon aktif biasanya dilakukan dengan pengaktifan kimia dan pengaktifan fisika atau kombinasi keduanya. Kedua metode pengaktifan ini berbiaya mahal dan lama. Aktivasi kimia berbantuan gelombang mikro merupakan salah satu metode yang murah dan cepat. Karbon aktif merupakan bahan yang baik dalam menyerap gelombang mikro serta menerima energi gelombang langsung melalui rotasi dipol dan konduksi ionik. Pemanasan gelombang mikro memiliki keunggulan-keunggulan, diantaranya efisiensi yang tinggi, kenaikan temperatur yang cepat, distribusi temperatur yang seragam, hemat energi, dan waktu yang lebih singkat (Ahmed dan Theydan, 2014).

Pada penelitian ini, karbon aktif disediakan dari kulit kacang (*Arachis hypogaea* L) yang merupakan limbah dari agroindustri kacang tanah. Sintesis karbon aktif dilakukan dengan menggunakan metode pengaktifan kimia (kalium hidroksida) berbantuan gelombang mikro. Karbon aktif dihasilkan dengan waktu pra-karbonisasi yang berbeda. Karakterisasi karbon aktif meliputi difraksi sinar-X, isoterma adsorpsi/desorpsi N₂, dan Fourier transform infrared.

METODE

Karbon aktif dibuat dari kulit kacang yang dipotong dengan ukuran ± 1 cm dan dijemur di bawah sinar matahari selama 12 jam. Pra-karbonisasi kulit kacang dilakukan di dalam oven pada temperatur 200 °C selama 2, 3 dan 4 jam. Penghalusan dilakukan di dalam mortar kemudian diayak sehingga diperoleh butiran pra-karbonisasi kulit kacang berukuran 149 μm . Metode pengaktifan yang digunakan adalah pengaktifan kimia berbantuan iradiasi gelombang mikro. Zat pengaktif yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH). Rasio massa pra-karbonisasi kulit kacang dan KOH adalah 2:1. Pengaktifan kimia dilakukan selama 24 jam pada suhu ruang dan diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Iradiasi gelombang mikro terhadap sampel dilakukan pada daya keluaran 630 watt selama 20 menit dengan menggunakan oven gelombang mikro dalam lingkungan gas N₂. Tahap selanjutnya, karbon aktif dicuci menggunakan air suling dan aquades sehingga

larutan mencapai pH ~ 7 dan dikeringkan pada temperatur 105 °C selama 24 jam. Karbon aktif diberi label KA2, KA3 dan KA4 yang merujuk pada waktu pra-karbonisasi 2, 3, dan 4 jam.

Karakterisasi karbon aktif meliputi difraksi sinar-X, isoterma adsorpsi/desorpsi N₂, dan Fourier transform infrared. Data difraksi sinar-X digunakan untuk menghitung sifat mikro karbon aktif yang terdiri dari jarak antar bidang (d_{hkl}) dan dimensi mikrokristalit (tinggi timbunan, L_c dan lebar timbunan, L_a). Jarak antar bidang dihitung dengan menggunakan formulasi Bragg, $n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$, sedangkan tinggi dan lebar timbunan dihitung dengan formulasi Scherer, $L_{c,a} = \frac{K\lambda}{\beta_{c,a} \cos \theta}$, di mana K adalah tetapan 0,89 dan 1,84 masing-masing untuk L_c dan L_a , λ adalah panjang gelombang sinar-X, β adalah lebar puncak pada setengah maksimum, dan θ adalah sudut difraksi. Isoterma adsorpsi/desorpsi N₂ pada temperatur 77 K digunakan untuk mengetahui parameter porositas, yaitu luas permukaan BET (SBET), luas permukaan pori mikro (SMikro) dan pori meso (SMeso), volume pori, serta diameter rata-rata pori. Karakterisasi Fourier transform infrared digunakan untuk mengetahui gugus fungsi rantai karbon dari karbon aktif pada bilangan gelombang tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Yield karbon aktif merupakan rasio massa karbon aktif setelah pengaktifan terhadap massa karbon mula-mula. Persentase *yield* dapat dihitung dengan persamaan $\%Yield = \frac{m_f}{m_i} \times 100\%$, dengan m_i adalah massa karbon sebelum pengaktifan dan m_f adalah massa karbon aktif yang dihasilkan (Gao dkk., 2013). *Yield* karbon aktif yang telah disintesis ditunjukkan pada Tabel 1. *Yield* karbon aktif berbanding lurus dengan waktu pra-karbonisasi, artinya semakin lama waktu pra-karbonisasi *yield*-nya semakin besar. Linieritas waktu pra-karbonisasi terhadap *yield* adalah sebesar $R^2 = 0,9999$ mengikuti persamaan $y = 7,1x + 22$. Waktu pra-karbonisasi berpengaruh terhadap *yield* yang dihasilkan karena pada saat pra-karbonisasi bahan-bahan menguap (*volatile matter*) telah dibuang dan juga telah terjadi pemutusan gugus -OH dan -CH₂OH serta mulai terbentuknya karbon konjugat linier (Marsh dan Rodrigues-Reinoso, 2006).

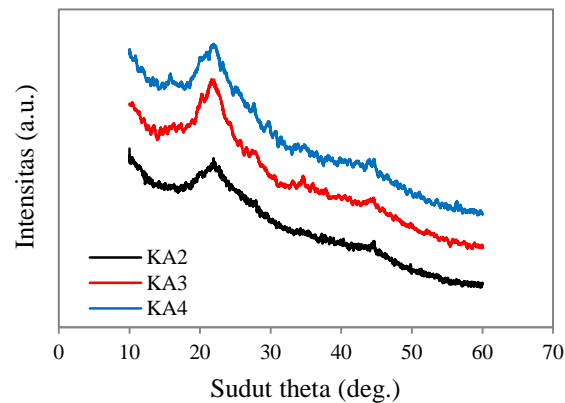
Tabel 1. *Yield* karbon aktif sebelum dan setelah diaktivasi

Sampel	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	<i>Yield</i> (%)
KA2	20	7,23	36,15
KA3	20	8,68	43,40
KA4	20	10,07	50,35

Pola difraksi sinar-X untuk semua sampel karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 1. Pola difraksi yang terbentuk merupakan tipikal dari karbon aktif berbasis biomassa, dengan kehadiran dua puncak yaitu (002) dan (100) masing-masing berada di sekitar sudut 2θ 21-22° dan 42-44°. Kehadiran puncak (002) dan (100) mengindikasikan bahwa semua karbon aktif berstruktur turbostratik. Model turbostratik ini diasumsikan terbuat menyerupai grafit mikrokristalit yang terikat oleh jaringan taut silang, yang terdiri dari beberapa lapisan menyerupai grafit, bertumpuk hampir sejajar dan berjarak sama dengan masing-masing lapisan memiliki orientasi acak (Coutinho dkk., 2000).

Jarak antar bidang d_{002} dan d_{100} yang dihitung dengan menggunakan persamaan Bragg disajikan dalam Tabel 2. Tinggi timbunan L_c dan lebar timbunan L_a dimensi mikrokristalit karbon aktif juga disajikan dalam Tabel 2. Perhitungan L_c dan L_a dibantu menggunakan *fitting* dengan perangkat lunak *microcal origin* dalam penentuan lebar puncak pada setengah maksimum. Jarak antar bidang, baik d_{002} maupun d_{100} menurun terhadap kenaikan waktu pra-karbonisasi yang menyebabkan adanya pergeseran puncak 2θ ke arah sudut yang lebih besar. Pergeseran sudut yang

tidak signifikan ini mengindikasikan adanya pergerakan atom-atom karbon yang menyusun diri ke sudut 2θ yang sebenarnya.



Gambar 1. Pola difraksi sinar-X karbon aktif.

Nilai dimensi mikrokrystalit L_c , juga mengalami penurunan. Sebaliknya L_a meningkat terhadap kenaikan waktu pra-karbonisasi. Ini mengindikasikan bahwa luas permukaan yang terbentuk menurun dengan kenaikan waktu pra-karbonisasi. Namun nilai L_c yang dihasilkan masih relatif kecil sehingga dapat diprediksi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan relatif kecil. Menurut Qu (2002), nilai L_c berbanding lurus dengan luas permukaan yang berarti semakin besar nilai L_c maka luas permukaan juga akan semakin tinggi. Nilai L_c dan L_a pada Tabel 2 mengindikasikan bahwa KA2 memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan KA3 dan KA4. Jumlah lapisan rata-rata mikrokrystalit N_p diperoleh dari perbandingan tinggi timbunan L_c dan jarak antara bidang d_{002} . Perilaku ini dikaitkan dengan perkembangan struktur pori-pori karbon aktif dan dapat mempengaruhi luas permukaan.

Tabel 2. Jarak antar bidang dan dimensi mikro-kristalit

Sampel	Jarak antar bidang (nm)		Dimensi mikrokrystalin (nm)		N_p
	d_{002}	d_{100}	L_c	L_a	
KA2	0,409	0,211	2,525	1,262	6,172
KA3	0,405	0,210	2,374	1,503	5,857
KA4	0,399	0,203	1,994	1,790	4,996

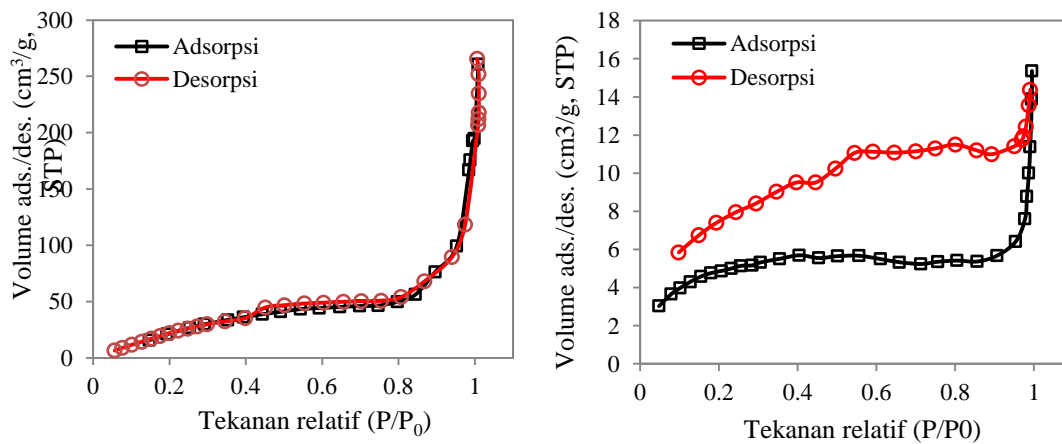
Luas permukaan merupakan salah satu faktor indikasi kualitas karbon aktif melalui uji BET. Isotherma adsorpsi/desorpsi N_2 pada suhu 77 K terhadap karbon aktif berbasis kulit kacang untuk sampel KA2 dan KA4 ditampilkan pada Gambar 2. Gambar 2a dan 2b masing-masing untuk KA2 dan KA4. Isotherma adsorpsi/desorpsi KA2 berdasarkan standar IUPAC menunjukkan tipe I yang merupakan mayoritas berpori mikro, sedangkan KA4 menunjukkan tipe IV dengan mayoritas pori meso (Sing dkk., 1985). Pemilihan KA2 dan KA4 ini berdasarkan pada analisis data L_c , yang terbesar dan yang terkecil.

Perbandingan isoterma adsorpsi/desorpsi KA2 dan KA4 menunjukkan bahwa pra-karbonisasi karbon aktif selama 2 jam memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar pra-karbonisasi selama 4 jam. Interpretasi isoterma adsorpsi/desorpsi yang meliputi luas permukaan BET (SBET), luas permukaan pori mikro (SMikro), luas permukaan pori meso (SMeso), dan diameter rata-rata pori (D) ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3. Parameter karakteristik pori untuk KA2 dan KA4

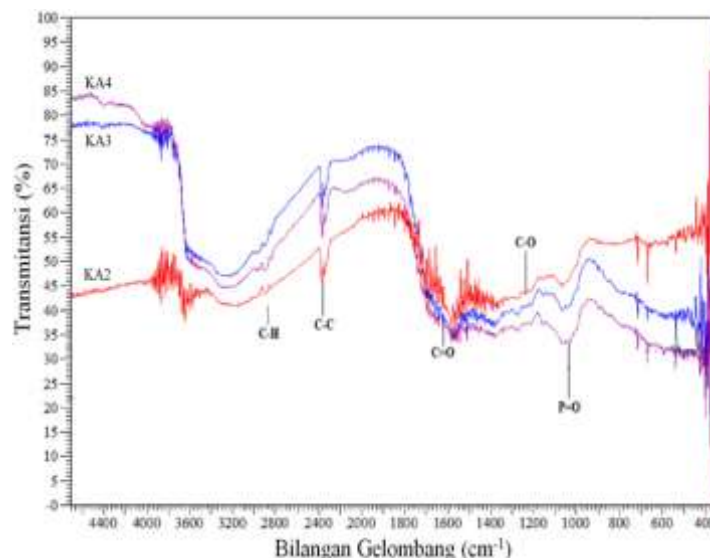
Sampel	S_{BET} (m^2/g)	S_{Mikro} (m^2/g)	S_{Meso} (m^2/g)	V_{Total} (cm^3/g)	D (nm)
KA2	153	125	28	0,064	1,52
KA4	17	4	13	0,024	2,13

Luas permukaan yang dihasilkan relatif kecil karena berhubungan dengan nilai L_c yang juga relatif kecil. Karbon aktif dengan waktu pra-karbonisasi selama 2 jam memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif dengan waktu pra-karbonisasi selama 4 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa waktu pra-karbonisasi yang lebih lama dari 2 jam (waktu optimum) akan mengakibatkan karbon semakin terkikis serta pori-pori yang terbentuk semakin banyak dan terbuka. Waktu pra-karbonisasi yang terlalu lama akan menyebabkan kerusakan pada struktur karbon sehingga pori-pori yang terbentuk semakin besar dan luas permukaan semakin kecil sehingga volume pori karbon aktif semakin kecil (Kalderis dkk., 2008).

Gambar 2. Isotherma adsorpsi/desorpsi N_2 pada temperatur 77 K (a) KA2 dan (b) KA4

Gambar 3 menunjukkan spektra *Fourier transform infrared* terhadap bilangan gelombang dari bilangan gelombang 300 cm^{-1} sampai dengan 4600 cm^{-1} untuk semua karbon aktif, yaitu KA2, KA3 dan KA4. Terlihat jelas dari gambar bahwa tidak tampak perbedaan spektra yang signifikan. Ini menunjukkan bahwa waktu pra-karbonisasi tidak memberikan efek yang signifikan terhadap gugus fungsi yang dihasilkan.

Bilangan gelombang $2867,31 \text{ cm}^{-1}$ pada karbon aktif KA2 menunjukkan adanya gugus C-H. Ikatan C-C terjadi pada bilangan gelombang $2363,87 \text{ cm}^{-1}$, gugus karbonil C=O pada bilangan gelombang $1609,67 \text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang $1280,79 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O peregangan asimetri dari ether aromatik, ester dan fenol. Pita serapan pada bilangan gelombang 1031 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi P=O dalam ester fosfat. Bilangan gelombang $2867,31 \text{ cm}^{-1}$ pada karbon aktif KA2 menunjukkan adanya gugus C-H. Ikatan C-C terjadi pada bilangan gelombang $2363,87 \text{ cm}^{-1}$, gugus karbonil C=O pada bilangan gelombang $1609,67 \text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang $1280,79 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O peregangan asimetri dari ether aromatik, ester dan fenol. Pita serapan pada bilangan gelombang 1031 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi P=O dalam ester fosfat.



Gambar 3. Spektra *Fourier transform infrared* untuk KA2, KA3 dan KA4

Karbon aktif KA3 menunjukkan adanya gugus aldehyd C-H pada bilangan gelombang $2872,13 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan bilangan gelombang $2303,11 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi C-C. Ikatan C-O asimetri peregangan dari eter aromatik, ester dan fenol terdapat pada bilangan gelombang $1280,79 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi P=O dalam ester fosfat terjadi pada bilangan gelombang $1039,68 \text{ cm}^{-1}$. Karbon aktif KA4 mempunyai pita serapan gugus C-H pada bilangan gelombang $2870,20 \text{ cm}^{-1}$, serta mempunyai ikatan C-C pada bilangan gelombang $2360,01 \text{ cm}^{-1}$. Gugus C-O pada asam karboksilat, alkohol, fenol dan ester terdapat pada bilangan gelombang $1216,17 \text{ cm}^{-1}$, serta P=O dalam ester fosfat pada pita serapan $1034,85 \text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang dari masing-masing gugus fungsi terjadi pada bilangan gelombang yang berdekatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Riau atas dukungan dana penelitian Unggulan Universitas Riau dengan nomor kontrak 995/UN.19.5.1.3/PP/2017 tahun 2017.

SIMPULAN

Karbon aktif berbahan dasar kulit kacang telah berhasil disintesis menggunakan metode metode pengaktifan kimia (KOH) berbantuan gelombang mikro pada variasi waktu pra-karbonisasi. *Yield* karbon aktif berbanding terbalik terhadap waktu pra-karbonisasi. Karbon aktif bersifat turbostratik yang ditandai dengan kehadiran puncak (002) dan (100) masing-masing pada sudut 2θ disekitar $21-22^\circ$ dan $42-44^\circ$. Nilai tinggi timbunan L_c tertinggi diperoleh oleh KA2 dengan nilai $2,525 \text{ nm}$ dengan luas permukaan BET sebesar $153 \text{ m}^2/\text{g}$. Jarak antar bidang, baik d_{002} dan d_{100} tidak berbeda secara signifikan terhadap kenaikan waktu pra-karbonisasi. Spektra *Fourier transform infrared* dengan bilangan gelombang dari 360 cm^{-1} sampai 4600 cm^{-1} tidak menunjukkan adanya pengaruh gugus fungsi terhadap waktu pra-karbonisasi yang signifikan. Gugus-gugus fungsi yang teridentifikasi diantaranya P=O dalam ester pospat, gugus karbonil C=O, ikatan C-C, dan peregangan asimetrik gugus aldehyd C-H.

REFERENSI

- Ahmed, M.J. and Theydan S.K.. (2014). Optimization of microwave preparation conditions for activated carbon from Albizia lebbeck seed pods for methylene blue dye adsorption. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 105, 199–208.
- Baccar, R., Sarrà, M., Bouzid, J., Feki, M., and Blánquez, P. (2012). Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product. *Chemical Engineering Journal*, 211–212, 310-317.
- Coutinho, A.R., Rocha, J.D. & Luengo, C.A. (2000). Preparing and characterizing biocarbon electrodes. *Fuel Processing Technology* 67: 93-102.
- Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbent for dye-removal: A review. *Bioresource Technology* 97(9), 1061-1085.
- Ding, L., Zou, B., Gao, W., Liu, Q., Wang, Z., Guo, Y., Wang, X. and Li, Y. (2014). Adsorption of Rhodamine-B from aqueous solution using treated rice husk-based activated carbon. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 446, 1-7.
- Foo, K.Y. and Hameed, B.H. (2012). Porous structure and adsorptive properties of pineapple peel based activated carbons prepared via microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation. *Microporous and Mesoporous Materials* 148, 191–195.
- Gad, H.M.H. and El-Sayed, A.A. (2009). Activated carbon from agricultural by-products for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials* 168, 1070-1081.
- Gao, J.J, Qin, Y., Zhou, T., Cao, D., Xu, P., Hotchstetter, D., and Wang, Y. (2013). Adsorption of methylene blue onto activated carbon produced from tea (*Camellia sinensis* L.) seed shell. *Journal of Zhejiang University Science B* 14(7), 650–658.
- Hameed, B.H. and Daud F.B.M. (2008). Adsorption studies of basic dye on activated carbon derived from agricultural waste: *Hevea brasiliensis* seed coat. *Chemical Engineering Journal* 139(1), 48–55.
- Kalderis, D., Bethanis, S., Paraskeva, P. and Diamadopoulos, E. (2008). Production of activated carbon from bagasse and rice husk by a single-stage chemical activation method at low retention times. *Bioresource Technology* 15, 6809-6816.
- Ma, X. and Ouyang, F. (2013). Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Applied Surface Science* 268, 566-570.
- Marsh, H. and Rodrigues Reinoso. (2006). *Activated Carbon*. Elsevier Ltd. Holland.
- Mudoga, H.L., Yucel, H., and Kincal, N.S. (2008). Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beetpulp based activated carbons,” *Bioresource Technology* 99, 3528–3533.
- Park, J.-H., Ok, Y.S., Kim, S.-H., Cho, J.-S., Heo, J.-S., Delaune, R.D. and Seo, D.C. (2016). Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions. *Chemosphere* 142, 77-83.
- Phalakornkule, C., Fongchuen, J. and Pitakchon, T. (2012). Impregnation of Chitosan onto Activated Carbon for High Adsorption Selectivity towards CO₂: CO₂ Capture from Biohydrogen, Biogas and Flue Gas. *Journal of Sustainable Energy & Environment* 3, 153-157.
- Qu, D. (2002). Studies of the activated carbon used in double-layer supercapacitors. *Journal of Power Sources* 109, 403-107
- Saygılı, H. and Güzel, F. (2016). High surface area mesoporous activated carbon from tomato processing solid waste by zinc chloride activation: process optimization, characterization and dyes adsorption. *Journal of Cleaner Production* 113, 995-1004.

- Sing, Sing, K.S.W., Everett, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouquerol, J., Siemieniewska, T. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure and Applied Chemistry* 57, 603–619.
- Song, M., Jin, B., Xiao, R., Yang, L., Wu, Y., Zhong, Z., and Huang, Y. (2013). The comparison of two activation techniques to prepare activated carbon from corn cob. *Biomass and Bioenergy* 48, 250-256.
- Yu, Z., Peldszus, S., and Huck, P.M. (2008). Adsorption characteristics of selected pharmaceuticals and an endocrine disrupting compound-Naproxen, carbamazepine and nonylphenol-on activated carbon. *Water Research* 42(12), 2873-2882.