

## Potensi Arang Aktif dari Limbah Sabut Pinang (*Areca catechu L.*) Provinsi Jambi sebagai Biosorben

Wiji Utami<sup>a</sup>, Devie Novallyan<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Kimia, Universitas Islam negeri Sultan Thaha Saifuddin Jambi, Jl.Jambi Ma. Bulian, KM. 16 3636, Muara Jambi, email:wijiutami@uinjambi.ac.id

<sup>b</sup>Tadris Biologi, Universitas Islam negeri Sultan Thaha Saifuddin Jambi, Jl.Jambi Ma. Bulian, KM. 16 3636, Muara Jambi

### Article Info

#### Article history:

Received 20 Mei 2019

Received in revised form 27 Mei 2019

Accepted 25 Juni 2019

#### DOI:

<http://doi.org/10.32938/slk.v2i1.628>

#### Keywords:

arang aktif

biosorben

limbah sabut pinang

### Abstrak

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui potensi limbah sabut pinang (*Areca catechu L.*) dari Tanjung Jabung Timur, Provinsi Jambi sebagai sumber karbon yang akan digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan biosorben. Pembuatan arang aktif dilakukan menggunakan aktivasi fisika pada 400°C, 300°C, dan tanpa karbonisasi. Arangs aktif yang diperoleh diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Biosorben dikarakterisasi kadar air, kadar abu, gugus fungsi dan luas permukaan. Berdasarkan hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa proses karbonisasi dapat membuka pori-pori material untuk meningkatkan adsorpsi. Kadar air, kadar abu, dan luas permukaan sampel 300°C adalah 2%; 45,72 % dan 25,77 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>. Gugus fungsi pada permukaan biosorben akan berinteraksi dengan adsorbat pada proses adsorpsi.

### 1. Pendahuluan

Air merupakan komponen abiotik yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk melangsungkan hidupnya. Saat ini kebutuhan akan air bersih terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di dunia. Beberapa organisasi dunia melaporkan bahwa 70% penggunaan air bersih global untuk irigasi dan pembuatan makanan, dan penggunaan air itu diperkirakan akan meningkat 19% mengikuti pertumbuhan populasi secara global 40 tahun yg akan datang (Wong dkk.,2018). Namun, kegiatan urbanisasi dan industri banyak menyebabkan pencemaran perairan (Gupta dkk.,2016; Ammari 2014; Lalhmunsiam dkk., 2013). Pencemar yang sering dijumpai yaitu logam berat (Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Hg<sup>2+</sup>) (Ahmad and Haseeb 2017; Gupta dkk., 2016), polutan organik, zat warna, dan pestisida (Singh dkk., 2018). Keberadaan polutan tersebut sangat berbahaya jika tersuspensi di dalam air meskipun dalam konsentrasi yang rendah sekalipun. Oleh karena itu, kontaminasi air oleh polutan merupakan masalah lingkungan dan kesehatan dunia (Ammari, 2014; Binoy dkk., 2016), sehingga membutuhkan sebuah teknik pengolahan air menjadi air yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia.

Air yang tercemar berbagai macam polutan termasuk logam berat akan menyebabkan berbagai gangguan kepada makhluk hidup yang memanfaatkannya. Beberapa Gangguan tersebut misalnya parkinson, pernafasan kronis, karsinogenik (Rani dkk., 2018), dan brain disorder (Ebrahimzadeh dkk., 2015; Siddiqui and Ahmad 2017). Terdapat begitu banyak metode dalam proses pengolahan air tercemar yaitu presipitasi, ekstraksi pelarut, *reverse osmosis* (RO), pertukaran kation, oksidasi reduksi kimia (Dickhout dkk., 2017), koagulan, evaporasi, pemisahan membran (Dickhout dkk., 2017; Lalhmunsiam dkk., 2013). Metode konvensional tersebut memerlukan biaya yang sangat tinggi sehingga para ilmuwan berusaha untuk mencari metode alternatif lainnya. Metode alternatif tersebut adalah metode adsorpsi yang memiliki keuntungan yaitu tingginya selektifitas, lebih efisiensi, mudah dioperasikan, ekonomis untuk skala besar, dan ramah lingkungan (Chakravarty dkk., 2012; Ammari 2014; Benaissa and Elouchdi, 2007; Liu dkk., 2014; Shakoor dkk., 2016; Puranik and Paknikar 1997), regenerasi, dan minimalisir lumpur (Kim dkk., 2015).

Saat ini material biosorben banyak diperoleh dari bahan samping bidang pertanian dan limbah bidang industri. Hal ini memberikan dampak yang baik yaitu dengan pemanfaatan limbah maka dapat mengurangi jumlah limbah secara perlahan. Biosorben yang baik dapat didesain dari bahan baku limbah pertanian, alga (Dickhout dkk., 2017), jamur (Burakov dkk., 2018), bakteri, limbah rumah tangga, industri, dan biomaterial lainnya (Kim dkk., 2015).

Tanaman pinang (*Areca catechu L.*) mengandung berbagai zat kimia dengan berbagai manfaat untuk bahan baku industri farmasi. Tanaman pinang tersebar di Cina, Taiwan, Florida bagian selatan dan daerah tropis seperti Indonesia (Zheng dkk., 2008). Provinsi Jambi merupakan salah satu provinsi penghasil tanaman pinang terbesar di Pulau Sumatera. Sisa pengolahan pinang menghasilkan limbah padat (Perdagangan, 2017). Sabut buah pinang mengandung beberapa komposisi senyawa kimia yaitu celulosa (63,20%), hemiselulosa (32,98%), lignin (7,20%), dan lemak (0,64%) (Muslim dkk., 2015). Senyawa kimia tersebut merupakan sumber karbon dalam pembuatan arang aktif atau adsorben (Li dkk., 2010). Kajian terdahulu telah menunjukkan bahwa tanaman pinang efektif sebagai adsorben dalam menyerap logam berat, seperti besi (Nabanita and Sarma 2012), kation Cd<sup>2+</sup> dan Cu<sup>2+</sup> (Zheng dkk., 2008), kation Cu<sup>2+</sup> (Muslim dkk., 2015), dan kation Pb<sup>2+</sup> (Li dkk., 2010). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis biosorben dari limbah sabut pinang (*Areca catechu L.*). Tujuan spesifik penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar air, kadar abu, gugus fungisional, dan luas permukaan dari material biosorben yang telah disintesis sehingga berpotensi digunakan sebagai biosorben.

### 2. Metode

#### 2.1 Preparasi Biosorben

Limbah sabut pinang (*Areca catechu L.*) telah diperoleh dari Kabupaten Tanjung Jabung Timur sebagai residu padat dari pengolahan biji pinang. Sabut kulit pinang dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan pengotor

sebelum dilakukan pembuatan biosorben, kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama 5 hari. Limbah sabut pinang selanjutnya dipotong-potong dengan ukuran 1 x 1 cm untuk mempercepat reaksi pembuatan biosorben. Limbah sabut pinang yang bersih kemudian dikeringkan di dalam oven pada 110°C selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan H<sub>2</sub>O yang tersisa (Palanichamy and Ariharaputhiran 2013). Perlakuan yang dilakukan pada sampel yaitu karbonisasi dan tanpa karbonisasi. Sampel yang diproses tanpa karbonisasi yaitu langsung digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Proses karbonisasi dilakukan di Laboratorium Peternakan Universitas Jambi pada suhu 300 dan 400 °C selama 1 jam menggunakan instrumen Furnace. Setelah proses karbonisasi selesai, sampel limbah diayak menggunakan ayakan 100 mesh sehingga akan menghasilkan bubuk arang aktif dengan ukuran 149 µm. Sampel tersebut disimpan di dalam desikator (Zhang and Chen, 2018).

#### 2.2. Karakterisasi Biosorben

Bubuk biosorben dikarakterisasi untuk mengetahui performa dari material berpori tersebut. Karakterisasi tersebut yaitu uji kadar air, kadar abu dan gugus fungisional (*Fourier Transform Infrared*) di Laboratorium Sains Material Universitas Riau, dan luas permukaan (Breneur-Emmet-Teller) di Laboratorium Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung menggunakan instrumen *Quantachrome Instrument ©1994-2010 version 11.0*. (Muslim dkk., 2015; Tong dkk., 2011).

### 3. Hasil dan Pembahasan

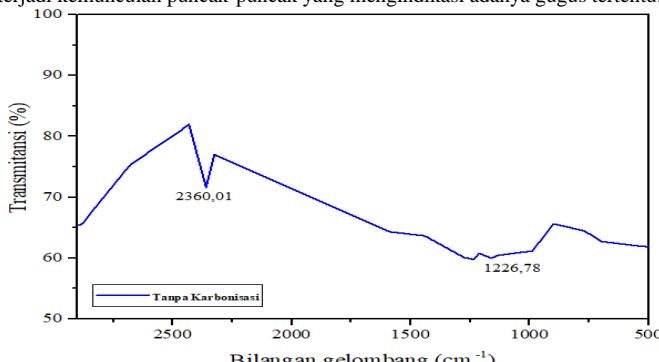
Pengukuran kadar abu dilakukan untuk mengetahui banyaknya mineral atau logam yang terukur dalam bentuk oksida logam pada material biosorben yang terdapat pada Tabel 1. Selain itu pengukuran kadar abu bertujuan untuk mengetahui kadar senyawa anorganik. Proses penentuan kadar abu dilakukan menggunakan metode gravimetri. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa kadar abu material 400° C memiliki kandungan terendah dibandingkan material biosorben lainnya yaitu 10, 952 %. Hasil pada penelitian ini masih memperlihatkan hasil di atas batas maksimal dari SNI No.06-3730-1995 yaitu 10%. Jika kadar abu bekaris antara 2-10 % maka performa biosorben tersebut sangat baik. Karena, dapat memblokir grup senyawa kimia sensitif, sehingga dapat meningkatkan kestabilan termal. Hal ini disebabkan banyaknya kadar mineral yang terdapat pada material biosorben. Kadar abu dalam penelitian ini lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya yaitu 2,75 % (SenthilKumar dkk., 2011) dan 5,08 % (Binoy dkk., 2016).

**Tabel 1.** Kadar abu biosorben dari limbah sabut pinang

Kondisi sampel (°C, Jam)	Kadar abu (%)	Kadar air (%)
400, 1	10,95	2
300, 1	45,72	2
Tanpa karbonisasi	93,60	22

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa kadar air yang terdapat pada material biosorben karbonisasi 300 dan 400°C memiliki hasil yang sama yaitu 2 %, sedangkan untuk biosorben yang tidak mengalami proses karbonisasi memiliki kandungan air tertinggi yaitu 22%. Kadar air material biosorben sampel karbonisasi 300 dan 400°C. telah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995 tentang pesyaratan arang aktif yaitu maksimal 15 %. Kadar air pada material biosorben tanpa karbonisasi memiliki kadar tertinggi dibandingkan dengan material biosorben lainnya. Semakin rendah kadar air di bawah kadar maksimal yang ditetapkan oleh SNI maka material biosorben tersebut akan memiliki performa yang baik dalam proses adsorpsi dalam fasa larutan. Kadar air pada material yang diproses melalui karbonisasi disebabkan panas yang ada dapat menyebabkan lepasnya molekul air (H<sub>2</sub>O) dari pori dan permukaan material biosorben tersebut. Sedangkan untuk material tanpa karbonisasi hanya dipanaskan pada suhu 110°C, pada kondisi ini air yang terlepas hanya air yang terdapat pada permukaan material saja. Air yang terdapat pada pori-pori material masih cukup tinggi sehingga hal ini dapat mengurangi performa adsorptivitas material tersebut.

Analisis menggunakan instrumen FTIR dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsional yang terdapat pada permukaan material biosorben akibat treatmen yang berbeda terdapat pada Tabel 2. Dengan mengetahui gugus fungsional yang terdapat pada permukaan material maka karakter interaksi antara biosorben dengan adsorbat dapat diketahui (Ahsan dkk., 2018). Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran puncak yang terjadi secara signifikan. Dimana biosorben tanpa karbonisasi tidak menunjukkan keberadaan puncak yang dominan (dapat dilihat pada Gambar 1). Akan tetapi setelah diberi perlakuan karbonisasi pada suhu 300 dan 400°C, maka terjadi kemunculan puncak-puncak yang mengindikasi adanya gugus tertentu.



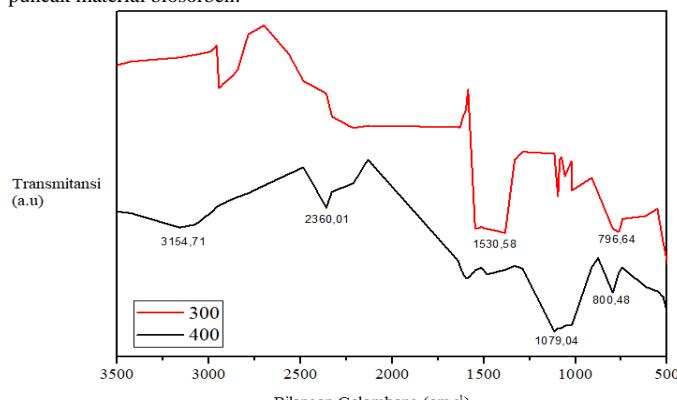
Gambar 1. Spektrum FTIR biosorben dari limbah sabut pinang (*Areca catechu L.*) tanpa proses karbonisasi.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa, pada biosorben tanpa karbonisasi muncul puncak dominan pada bilangan gelombang 1226,78 cm<sup>-1</sup> hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yaitu –C-O stretching (1241 cm<sup>-1</sup>) (Chakravarty dkk., 2010). Selain itu terjadi pergeseran puncak dari ke 2212,45 cm<sup>-1</sup> (300 °C) ke 2360,01 cm<sup>-1</sup> (400 °C) pada Gambar 2, hal ini menandakan adanya gugus fungsi –CH (Ahmad and Haseeb, 2017). Pada biosorben 300 dan 400 °C terdapat puncak sekitar daerah 3160,50 cm<sup>-1</sup> dan 3154,71 cm<sup>-1</sup> pada puncak tersebut mengindikasi adanya gugus fungsi –OH (hidroksil) dari alkohol dan fenol yang terdapat pada permukaan material biosorben. Hal ini menyerupai dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu pada area puncak 3200-3650 cm<sup>-1</sup> (Muslim dkk., 2015).

Tabel 2. Puncak FTIR biosorben dari limbah sabut pinang

300 °C (cm <sup>-1</sup> )	400 °C (cm <sup>-1</sup> )	Tanpa karbonisasi (cm <sup>-1</sup> )	Keterangan
796,64	800,48	C-H cincin aromatis	
1115,87	1079,04	1226,78	C-O Alkohol, eter, asam, karboksilat, ester
1530,58	1502,61		NO <sub>2</sub>
2212,45	2360,01	2360,01	C=N Nitril
2660,01			O-H ikatan hidrogen karboksilat
3160,50	3154,71		O-H
3659,12			O-H Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol

Serapan muncul 3659,12 cm<sup>-1</sup> untuk sampel 300 °C yang menandakan adanya gugus fungsi –OH bebas termasuk ikatan hidrogen dari alkohol, fenol dan asam karboksilat (Palanichamy and Ariharaputhiran 2013; Babbington 2007). Puncak 796,64 dan 800,48 cm<sup>-1</sup> menandakan adanya gugus fungsi –CH– dari cincin aromatis, hasil ini mendekati hasil yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yaitu 968 dan 623 cm<sup>-1</sup> (Fadhil dkk., 2017). Proses karbonisasi yang dilakukan pada suhu 300 dan 400 °C memberikan pengaruh terhadap pergeseran puncak material biosorben.



Gambar 2. Spektrum FTIR biosorben dari limbah sabut pinang (*Areca catechu L.*) dari proses karbonisasi 300 dan 400°C.

Pengaruh pemanasan terhadap aktivasi permukaan biosorben dapat diketahui dengan melakukan pengukuran luas permukaan pada sampel karbonisasi 300 dan 400°C. Karakter luas permukaan pada material biosorben berkaitan dengan daya serat terhadap adsorbat, yaitu semakin luas permukaan maka kemampuan adsorpsi semakin meningkat. Data luas permukaan biosorben dapat dilihat pada Tabel 3. Penentuan luas permukaan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Breneur-Emmet-Teller (BET) dengan hasil tertinggi pada sampel karbonisasi 300°C.

Tabel 3. Karakterisasi luas permukaan biosorben

Kondisi (°C, Jam)	Luas permukaan (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
300, 1	25,77
400, 1	9,44

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa karbonisasi pada suhu 300°C memiliki luas permukaan tertinggi, hal ini disebabkan karena proses pemanasan pada suhu tinggi. Proses karbonisasi menyebabkan molekul air yang terdapat pada permukaan dan pori-pori material biosorben menghilang. Hilangnya molekul air menyebabkan pori-pori karbon semakin besar karena molekul air yang terikat ini menutupi pori-pori karbon. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan akan semakin bertambah. Luas permukaan akan mempengaruhi kinerja material itu sendiri, bersama porositas pada permukaan material sebagai tempat terjadinya reaksi molekul (adsorbat) dengan gugus fungsi spesifik (Wong dkk., 2018). Hasil analisis luas permukaan pada penelitian ini mendapat hasil yang lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya yaitu 0,97 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> yang terbuat dari gambar (Tong dkk., 2011).

#### 4. Simpulan

Penelitian ini memperlihatkan bahwa proses karbonisasi (aktivasi fisika) dapat meningkatkan karakteristik biosorben. Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa kondisi karbonisasi 300 °C selama 1 jam memberikan luas permukaan yang paling tinggi dengan kadar air sebanyak 2%. Akan tetapi, kadar abu yang dimiliki oleh biosorben 300 lebih tinggi dibanding biosorben 400 °C yaitu 45,72 %. Hal ini menunjukkan bahwa limbah sabut pinang dari Provinsi Jambi berpotensi sebagai bahan pembuatan biosorben. Namun, perlu dilakukan penelitian tingkat lanjut dengan variabel penelitian yang lebih banyak untuk memperoleh kondisi optimum, sehingga akan memperoleh hasil maksimal.

#### Pustaka

- Ahmad, Rais, and Shazia Haseeb. 2017. “Adsorption of Pb(II) on Mentha Piperita Carbon (MTC) in Single and Quaternary Systems.” *Arabian Journal of Chemistry* 10: S412–21. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.09.013>.
- Ahsan, Md Ariful, Vahid Jabbari, Md Tariqul Islam, Hoejin Kim, Jose Angel Hernandez-Viecas, Yirong Lin, Carlos A. Diaz-Moreno, Jorge Lopez, Jorge Gardea-Torresdey, and Juan C. Noveron. 2018. “Green Synthesis of a Highly Efficient Biosorbent for Organic, Pharmaceutical, and Heavy Metal Pollutants Removal: Engineering Surface Chemistry of Polymeric Biomass of Spent Coffee Waste.” *Journal of Water Process Engineering* 25 (August): 309–19. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.08.005>.
- Ammari, Tarek G. 2014. “Utilization of a Natural Ecosystem Bio-Waste; Leaves of Arundo Donax Reed, as a Raw Material of Low-Cost Eco-Biosorbent for Cadmium Removal from Aqueous Phase.” *Ecological Engineering* 71: 466–73. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.067>.
- Babbington, Gabrielle. 2007. *Infant Antibiotics May up Asthma Risk*. Australian Doctor. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jcledpro.2018.06.261>.
- Benaissa, H., and M. A. Elouchdi. 2007. “Removal of Copper Ions from Aqueous Solutions by Dried Sunflower Leaves.” *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46 (7): 614–22. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.08.006>.
- Binoj, J. S., R. Edwin Raj, V. S. Sreenivasan, and G. Rexin Thusnavis. 2016. “Morphological, Physical, Mechanical, Chemical and Thermal Characterization of Sustainable Indian Areca Fruit Husk Fibers (Areca Catechu L.) as Potential Alternate for Hazardous Synthetic Fibers.” *Journal of Bionic Engineering* 13 (1): 156–65. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(14\)60170-0](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(14)60170-0).
- Burakov, Alexander E., Evgeny V. Galunin, Irina V. Burakova, Anastassia E. Kucherova, Shilpi Agarwal, Alexey G. Tkachev, and Vinod K. Gupta. 2018. “Adsorption of Heavy Metals on Conventional and Nanostructured Materials for Wastewater Treatment Purposes: A Review.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148 (August 2017): 702–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.034>.
- Chakravarty, Paresh, Dinesh C. Deka, Neelopal S. Sarma, and Hari P. Sarma. 2012. “Removal of Copper (II) from Wastewater by Heartwood Powder of *Areca Catechu*: Kinetic and Equilibrium Studies.” *Desalination and Water Treatment* 40 (1–3): 194–203. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.671167>.
- Chakravarty, Paresh, N. Sen Sarma, and H. P. Sarma. 2010. “Biosorption of cadmium(II) from Aqueous Solution Using Heartwood Powder of Areca Catechu.” *Chemical Engineering Journal* 162 (3): 949–55. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.06.048>.

- Dickhout, J. M., J. Moreno, P. M. Biesheuvel, L. Boels, R. G.H. Lammertink, and W. M. de Vos. 2017. "Produced Water Treatment by Membranes: A Review from a Colloidal Perspective." *Journal of Colloid and Interface Science* 487: 523–34. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.10.013>.
- Ebrahimzadeh, Homeira, Ali Akbar Asgarinezhad, Elahe Moazzen, Mostafa M. Amini, and Omid Sadeghi. 2015. "A Magnetic Ion-Imprinted Polymer for lead(II) Determination: A Study on the Adsorption of lead(II) by Beverages." *Journal of Food Composition and Analysis* 41 (ii): 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.02.001>.
- Fadhil, Abdela Rahman B., Adnan I. Ahmed, and Hamid A. Salih. 2017. "Production of Liquid Fuels and Activated Carbons from Fish Waste." *Fuel* 187: 435–45. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.09.064>.
- Gupta, V. K., O. Moradi, I. Tyagi, S. Agarwal, H. Sadegh, R. Shahryari-Ghoshekandi, A. S.H. Makhlof, M. Goodarzi, and A. Garshasbi. 2016. "Study on the Removal of Heavy Metal Ions from Industry Waste by Carbon Nanotubes: Effect of the Surface Modification: A Review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 46 (2): 93–118. <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1061874>.
- Kim, Namgyu, Munsik Park, and Donghee Park. 2015. "A New Efficient Forest Biowaste as Biosorbent for Removal of Cationic Heavy Metals." *Bioresource Technology* 175: 629–32. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.092>.
- Lalhmuniama, Seung Mok Lee, and Diwakar Tiwari. 2013. "Manganese Oxide Immobilized Activated Carbons in the Remediation of Aqueous Wastes Contaminated with copper(II) and lead(II)." *Chemical Engineering Journal* 225: 128–37. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.03.083>.
- Li, Xiao ming, Wei Zheng, Dong Bo Wang, Qi Yang, Jian Bing Cao, Xiu Yue, Ting Ting Shen, and Guang Ming Zeng. 2010. "Removal of Pb (II) from Aqueous Solutions by Adsorption onto Modified Areca Waste: Kinetic and Thermodynamic Studies." *Desalination* 258 (1–3): 148–53. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.03.023>.
- Liu, Xiang, Guan Ru Chen, Duu Jong Lee, Tohru Kawamoto, Hisashi Tanaka, Man Li Chen, and Yu Kuo Luo. 2014. "Adsorption Removal of Cesium from Drinking Waters: A Mini Review on Use of Biosorbents and Other Adsorbents." *Bioresource Technology* 160: 142–49. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.012>.
- Muslim, A, E Devrina, and H Fahmi. 2015. "Adsorption of Cu(II) From The Aqueous Solution By Chemical Activated Adsorbent of Areca Catechu Shell." *Journal Od Engineering Science and Technology* 10 (12): 1654–66.
- Nabanita, Haloi, and H P Sarma. 2012. "Removal of Iron from Ground Water by Using Heart Wood Charcoal of Areca Catechu." *Journal of Environmental Research And Development* 7 (2): 688–93.
- Palanichamy, Kalyani, and Anitha Ariharaputhiran. 2013. "Areca Leaves as a Source of Carbon: Preliminary Investigation as Catalyst Support for Electrolytic Hydrogen Evolution in Acidic Medium." *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (5): 2263–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.003>.
- Perdagangan, Dinas Perindustrian Dan. 2017. *Buku Data Base Potensi Komoditi Industri Agro*.
- Puranik, P R, and K M Paknikar. 1997. "Biosorption of Lead and Zinc from Solutions Using Streptoverticillium Cinnamoneum Waste Biomass." *J.Biotechnol.* 55: 113–24.
- Rani, Grandhe Usha, Ananda Kumar Konreddy, and Sumit Mishra. 2018. "Novel Hybrid Biosorbents of Agar: Swelling Behaviour, Heavy Metal Ions and Dye Removal Efficacies." *International Journal of Biological Macromolecules* 117 (2017): 902–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.163>.
- SenthilKumar, P., S. Ramalingam, V. Sathyaselvabala, S. Dinesh Kirupha, and S. Sivanesan. 2011. "Removal of copper(II) Ions from Aqueous Solution by Adsorption Using Cashew Nut Shell." *Desalination* 266 (1–3): 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.003>.
- Shakoor, Muhammad Bilal, Nabeel Khan Niazi, Irshad Bibi, Ghulam Murtaza, Anitha Kunhikrishnan, Balaji Seshadri, Muhammad Shahid, dkk., 2016. "Remediation of Arsenic-Contaminated Water Using Agricultural Wastes as Biosorbents." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 46 (5): 467–99. <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1109910>.
- Siddiqui, Shaziya H., and Rais Ahmad. 2017. "Pistachio Shell Carbon (PSC) – an Agricultural Adsorbent for the Removal of Pb(II) from Aqueous Solution." *Groundwater for Sustainable Development* 4 (ii): 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2016.12.001>.
- Singh, Santosh, Nargis Parveen, and Himanshu Gupta. 2018. "Adsorptive Decontamination of Rhodamine-B from Water Using Banana Peel Powder: A Biosorbent." *Environmental Technology and Innovation* 12: 189–95. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.09.001>.
- Tong, K. S., M. Jain Kassim, and A. Azraa. 2011. "Adsorption of Copper Ion from Its Aqueous Solution by a Novel Biosorbent Uncaria Gambir: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamic Studies." *Chemical Engineering Journal* 170 (1): 145–53. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.03.044>.
- Wong, Syieluing, Norzita Ngadi, Ibrahim M. Inuwa, and Onn Hassan. 2018. "Recent Advances in Applications of Activated Carbon from Biowaste for Wastewater Treatment: A Short Review." *Journal of Cleaner Production* 175: 361–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.059>.
- Zhang, Kui, and Tao Chen. 2018. "Dried Powder of Corn Stalk as a Potential Biosorbent for the Removal of Iodate from Aqueous Solution." *Journal of Environmental Radioactivity* 190–191 (February): 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.008>.
- Zheng, Wei, Xiao ming Li, Fei Wang, Qi Yang, Pin Deng, and Guang ming Zeng. 2008. "Adsorption Removal of Cadmium and Copper from Aqueous Solution by Areca-A Food Waste." *Journal of Hazardous Materials* 157 (2–3): 490–95. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.029>.