

**POTENSI KARBON AKTIF DARI LIMBAH PERTANIAN SEBAGAI MATERIAL
PENGOLAHAN AIR LIMBAH**

**POTENTIAL OF ACTIVATED CARBON PRODUCED FROM AGRICULTURE WASTE
FOR WATER TREATMENT MATERIAL**

Fery Eko Pujiono, Tri Ana Mulyati

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima: 29 Mei 2017

Disetujui: 1 Juni 2017

Dipublikasikan: 16 Juni
2017

Kata Kunci :

Karbon aktif, Limbah
Pertanian, Pengolahan
Air limbah

Keywords :

*Activated Carbon,
Agriculture Waste,
Water Treatment*

Abstrak

Latar belakang: Karbon aktif adalah karbon yang mengalami proses pengaktifan menggunakan bahan pengaktif sehingga pori-porinya terbuka, luas permukaan karbon menjadi lebih besar, dan kapasitas adsorpsinya menjadi lebih tinggi. Daya adsorpsi yang tinggi dari karbon aktif berpotensi pemanfaatan karbon aktif sebagai material pengolahan air limbah. **Tujuan:** Mengetahui karakteristik karbon aktif dari limbah pertanian dan daya adsorpsinya. **Metode:** Proses pembuatan karbon aktif melalui beberapa tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi dan aktivasi karbon sehingga dihasilkan karbon aktif. Pembuatan karbon aktif ini menggunakan aktivasi secara kimia menggunakan variasi asam yaitu HCl, H₂SO₄ dan H₃PO₄. **Hasil:** Limbah pertanian dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif didapatkan karakteristik dengan aktivator HCl, H₂SO₄ dan H₃PO₄ pada waktu aktivasi 90 menit yaitu kadar air 8,023%, 6,318%, dan 4,555%, kadar abu 1,131%, 1,028% dan 0,985%, dan daya adsorpsi terhadap iod 817,6 mg/g, 848,9 mg/g, dan 932,4 mg/g. **Kesimpulan dan Saran:** Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari limbah pertanian berpotensi digunakan sebagai material pengolahan air limbah. Perlu dilakukan uji lanjut untuk menentukan luas permukaan seperti uji adsorpsi hidrogen.

Abstract

Background: Activated Carbon is carbon which activated use activator to increase porous sized, surface area, and adsorption capacity. Adsorption capacity of carbon cause potential of activated carbon produced for agriculture waste for water treatment. **Objective:** To determine characterization of activated carbon which produced from agriculture waste and its adsorption capacity. **Methods:** Activated carbon has been produced for agriculture waste through dehydration process, carbonization and activation process use HCl, H₂SO₄ and H₃PO₄. **Results:** Characteristic of activated carbon was produced with activator HCl, H₂SO₄, and H₃PO₄, water content of 8.023%, 6.318% and 4.555%, ash content of 1.131%, 1.028% and 0.985%, and capacity of the iodine adsorption 817.6 mg/g, 848.9 mg/g, and 932.4 mg/g. **Conclusion and Suggestion :** Based on the analysis it can be concluded that the activated carbon from agricultural waste material could potentially be used as water treatment. Surface characterization of activated carbon

will be done for the next experiment.

PENDAHULUAN

Karbon aktif adalah karbon yang telah mengalami aktivasi baik secara kimia^{1,2,3}, fisika^{4,5,6,7} atau keduanya⁸. Proses aktivasi ini menghasilkan struktur karbon dengan pori-porinya terbuka⁹, luas permukaan karbon menjadi lebih besar¹⁰ dan kapasitas adsorpsinya menjadi lebih tinggi^{11,12,13}. Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti pengolahan air^{14,15,16,17,18,27}, katalis^{19,20,21}, elektrokimia^{7,22,23} penyimpanan gas^{24,25,26,37}, serta industri kosmetik dan farmasi^{28,29}.

Karbon aktif dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung sumber karbon seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pektin³⁰. Ketertarikan pemilihan bahan baku untuk karbon aktif dalam jumlah besar disebabkan oleh berbagai factor yaitu ketersediaannya, harga terjangkau, dan tidak menyebabkan pencemaran. Selain itu proses pembuatan dan penggunaan produk juga merupakan hal yang dipertimbangkan³¹.

Perkusor-perkusor yang digunakan untuk memproduksi karbon aktif adalah bahan organik yang kaya karbon, seperti : batu bara, bamboo³², kayu^{16,33}, bagasse^{33,34}. Meskipun batu bara merupakan perkusor yang sangat banyak digunakan. Namun, limbah pertanian pada saat ini merupakan pilihan yang sangat menjanjikan^{17,21,22}. Hal ini menunjukkan bahwa limbah pertanian dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif untuk meningkatkan daya ekonominya. Penelitian tentang karbon aktif telah banyak dilakukan antara lain Budiono²⁷ telah membuat karbon aktif dari tempurung kelapa dengan activator H₂SO₄ dan H₃PO₄ serta Karbon aktif dari tempurung kelapa sawit juga banyak dibuat dengan berbagai activator³⁷ seperti HCl³⁵, H₂SO₄^{13,37} dan H₃PO₄³⁸.

Pembuatan karbon aktif berbahan dasar limbah pertanian digunakan cara aktivasi kimia. Hal ini berdasarkan

pertimbangan aspek ekonomis jika dibandingkan proses aktivasi fisika yang membutuhkan suhu tinggi yaitu 600-900°C dan memerlukan energi listrik yang cukup besar sehingga memerlukan biaya yang tinggi³⁹. Kelebihan aktivasi kimia adalah kondisi suhu dan tekanan operasinya relatif lebih rendah³⁷. Selain itu, efek penggunaan bahan kimia mampu meningkatkan jumlah pori-pori dalam produk^{2,3}. Residu karbon yang dihasilkan aktivasi kimia juga lebih tinggi dari aktivasi fisika. Proses aktivasi menggunakan aktivator asam yaitu HCl, H₂SO₄ dan H₃PO₄. Penggunaan aktivator asam karena asam- asam tersebut merupakan *dehydrating agent* yang kuat sehingga dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon³⁹.

Berdasarkan latar belakang maka akan dilakukan penelitian Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi karbon hasil dari limbah pertanian dengan cara aktivasi kimia menggunakan variasi asam untuk mengetahui kemampuan asam terhadap ukuran pori dan daya adsorpsi dari karbon tersebut.

METODE PENELITIAN

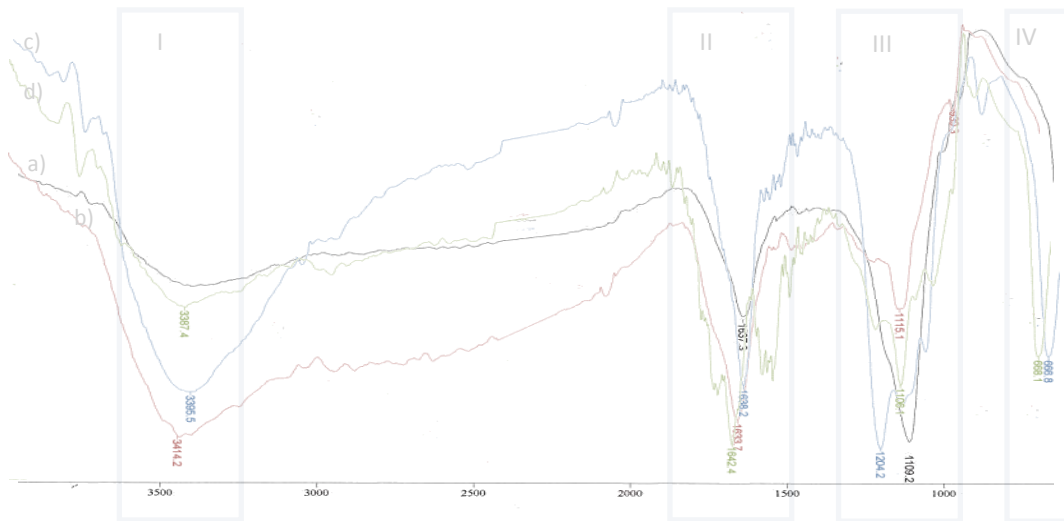
Penelitian ini menggunakan sampel campuran limbah berbagai pertanian (pohon tebu, jagung, padi, dan kulit kacang) dengan rancangan penelitian Eksperimental berdasarkan modifikasi penelitian Budiono, Nazzal dan Budinova^{27,40,42} yang terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap (1) pembuatan karbon dari limbah pertanian menggunakan furnace pada suhu 700 °C selama 2 jam, tahap (2) aktivasi karbon yang terbentuk dengan HCl 4 M, H₂SO₄ 4 M dan H₃PO₄ 4 M selanjutnya tahap (3) karakterisasi karbon aktif menggunakan FT-IR, SEM dan uji adsorptivitas terhadap I₂

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan FTIR pada karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 Menunjukkan bahwa karbon sebelum aktivasi (a) memiliki perbedaan spektra pada panjang gelombang spesifiknya (I, II, III dan IV) dengan karbon sesudah aktivasi (b, c, dan d).

menunjukkan adanya perbedaan yang dipengaruhi oleh luas permukaan dan ukuran porinya.

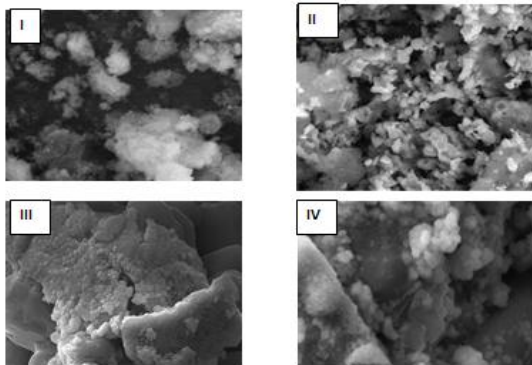
Berdasarkan hasil penelitian didapatkan Sifat karbon aktif dari limbah pertanian berupa kadar air, kadar abu dan daya adsorpsi terhadap I₂ yang ditunjukkan pada table 1.



Gambar 1. Spektra FTIR karbon sebelum aktivasi (a) dan sesudah diaktivasi dengan HCl (b), H₂SO₄ (c) dan H₃PO₄ (d)

Perbedaan juga terjadi pada bentuk morfologi permukaannya dari SEM pada gambar 2.

Tabel 1. Sifat Karbon Aktif Hasil Penelitian



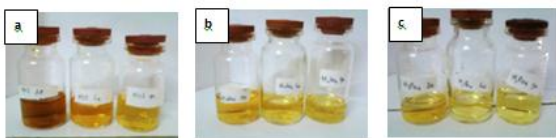
Sifat	Aktivator			SNI No. 06-3730-1998
	HCl	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	
Kadar air (%)	8,023	6,318	4,555	Maks. 15
Kadar Abu (%)	1,131	1,028	0,985	Maks.10
Daya Adsorpsi I ₂ (mg/g)	817,6	848,9	932,4	Min. 750

Gambar 2. Morfologi SEM dari karbon sebelum aktivasi (I) dan karbon diaktivasi dengan HCl(II); H₂SO₄(III); dan H₃PO₄(IV)

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa kadar air dan kadar abu karbon yang diaktivasi dengan H₃PO₄ memiliki kadar air dan abu paling kecil dibandingkan dengan karbon yang diaktivasi dengan HCl dan H₂SO₄ namun memiliki daya adsorpsi terhadap I₂ lebih besar. Besarnya daya adsorpsi ini terlihat secara fisik pada gambar 3.

Gambar 2 menunjukkan bahwa morfologi permukaan karbon sebelum dan sesudah diaktivasi memiliki perbedaan yang

Gambar 3. Hasil Uji Adsorpsi Karbon Aktif dengan aktivator a. HCl; b. H₂SO₄; c. H₃PO₄ terhadap I₂



Gambar 3 menunjukkan bahwa warna larutan Iod yang direndam dengan karbon aktif terlihat lebih jernih dibandingkan dengan activator HCl dan H₂SO₄ hal ini sesuai dengan daya adsorpsinya terhadap I₂.

PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Karbon Aktif

Hasil identifikasi menggunakan spektroskopi infra merah (Gambar 1) terhadap karbon non aktivasi terdapat pita serapan didaerah 1637.3 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C=C (II) dan pita didaerah 1109.2 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi C-O (III). Pada karbon non aktivasi tidak terdapat pita serapan didaerah 3500 cm⁻¹ yang merupakan gugus aktif -OH (I). Disisi lain, karbon yang telah diaktivasi mengalami pergeseran pada pita serapan C=C dan C-O dan munculnya pita serapan didaerah 3500 cm⁻¹ yang merupakan gugus aktif -OH (I) dan muncul pita serapan dibawah 1000 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya sisa aktivator. Munculnya gugus aktif -OH dan sisa aktivator dapat meningkatkan daya adsorpsi karbon yang sudah diaktivasi karena menunjukkan adanya gugus aktif pada permukaan karbon aktif²⁷.

Sifat adsorpsi arang aktif tidak hanya ditentukan oleh ukuran pori tetapi juga dipengaruhi oleh komposisi kimia dari arang aktif berupa gugus fungsi yang merupakan gugus aktif dari arang aktif serta morfologi permukaan dari karbon aktif. Adanya proses aktivasi dapat mempengaruhi pembentukan

pori, Semakin besar kekuatan activator dapat menyebabkan kerusakan permukaan dan pori-pori karbon aktif^{27,38}. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2, Karbon yang telah diaktivasi memiliki morfologi permukaan yang lebih teratur dibandingkan dengan sebelum aktivasi. Disisi lain, kekuatan asam zat aktivator mempengaruhi keteraturan morfologi dari karbon aktif⁴¹ dimana karbon yang diaktivasi oleh H₃PO₄ yang merupakan asam lemah dibandingkan dengan HCl dan H₂SO₄ memiliki morfologi yang lebih teratur.

Hasil Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap I₂

Hasil karakteristik karbon aktif dari limbah pertanian pada tabel 1 menunjukkan bahwa Penurunan kadar air juga sangat erat hubungannya dengan sifat higroskopis dari aktivator HCl, H₂SO₄ dan H₃PO₄). H₃PO₄ *dehydrating agent* yang sangat kuat hingga berat karbon aktif konstan. dari pada H₂SO₄ dan HCl sehingga daya terikatnya air oleh H₃PO₄ lebih kuat dibandingkan dengan HCl dan H₂SO₄^{27,39,38}. Terikatnya molekul air yang ada pada arang aktif oleh aktivator menyebabkan pori-pori pada arang aktif semakin besar. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan arang aktif semakin bertambah. Bertambahnya luas permukaan ini mengakibatkan semakin meningkatnya kemampuan adsorpsi dari arang aktif. Meningkatnya kemampuan adsorpsi dari arang aktif maka semakin baik kualitas dari arang aktif tersebut.

Penurunan kadar abu terjadi karena logam dan oksida logam yang terikat pada karbon larut dalam aktivator sehingga membuka pori-pori karbon. Aktivasi karbon dengan aktivator H₃PO₄ kadar abu dalam karbon aktif sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena H₃PO₄ mampu melarutkan logam dan oksidan logam lebih baik dibandingkan H₂SO₄ dan HCl^{27,39}. Hasil karakteristik kadar air dan abu dari karbon aktif mendukung daya adsorpsi terhadap I₂ (Gambar 3). Hasil

penelitian menunjukkan H_3PO_4 merupakan *dehydrating agent* yang sangat kuat dari pada H_2SO_4 dan HCl karena asam fosfat memiliki $3H^+$ yang mampu mendorong zat-zat yang tidak mudah menguap yang masih tertinggal sehingga pori-pori pada karbon aktif semakin besar dan struktur dindingnya kuat³⁸. Semakin besar pori-pori maka luas permukaan karbon aktif semakin bertambah.

Bertambahnya luas permukaan ini mengakibatkan semakin meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Meningkatnya kemampuan adsorpsi dari karbon aktif maka semakin baik kualitas dari karbon aktif tersebut. Selain itu, kecilnya daya adsorpsi terhadap iod karbon yang diaktivasi dengan HCl dan H_2SO_4 , dapat disebabkan rusaknya dinding struktur dari karbon tersebut sehingga mempengaruhi bentuk morfologi permukaannya (Ditunjukkan Gambar 2)^{27,38}. Hal tersebut akan berakibat pada daya adsorpsi terhadap iod semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan perubahan warna Iod yang menunjukkan banyaknya iod yang teradsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3.

SIMPULAN

Limbah pertanian dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif dengan cara aktivasi kimia dengan menggunakan berbagai asam yaitu HCl, H_2SO_4 dan H_3PO_4 dengan hasil karakteristik kadar air, kadar abu, dan daya serap terhadap iod menunjukkan bahwa karbon aktif dari limbah padat berpotensi sebagai material pengolahan air limbah.

SARAN

Perlu dilakukan uji lanjut seperti uji dengan uji adsorpsi-desorpsi nitrogen untuk menentukan ukuran dan karakteristik pori dari

karbon aktif serta aplikasinya untuk adsorpsi limbah lainnya.

REFERENSI

1. Abechi SE, Gimba CE, Uzairu A, Dallatu YA. 2013. Preparation and characterization of activated carbon from Palm Kernel shell by chemical activation. *Res J Chem Sci*. Vol: 3. Hal :54–61.
2. Geng Z, Wang D, Zhang C, Zhou X, Xin H, Liu X, Cai M. 2014. Spillover enhanced hydrogen uptake of Pt/Pd doped corn-cob-derived activated carbon with ultra-high surface area at high pressure. *international journal of hydrogen energy*. Hal: 1-7
3. Vicinisvarri I, Kumar SS, Aimi NAW, Norain I, Izza NH. 2013. Preparation and characterization of phosphoric acid activated carbon from Canarium Odontophyllum (Dabai) nutshell for methylene blue adsorption. *Res J Chem Environ*. Vol : 28. Hal : 57–62
4. Alothman ZA, Habila MA Ali R. 2011. Preparation of activated carbon using the copyrolysis of agricultural and municipal solid wastes at a low carbonization temperature. *Proceedings of the international conference on biological and environmental chemistry*. Vol. 24. Hal67–72.
5. Mutah, M., Akira, K., Zaiton, A.M., Jafariah, J., Razman, A.M., Eman, I.N. 2013. "Production of Sugarcane Bagasse Based Activated Carbon for Cd^{2+} Removal using Factorial Design". *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. Vol: 2. Hal: 121-125
6. Muthanna J. A., Samar K. T. 2013. Physical and chemical characteristics of activated carbon prepared by pyrolysis of chemically treated date stones and its

- ability to adsorb organics. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 229. Hal: 237–245
7. Adinaveen, L. John Kennedy, J. Judith Vijaya, G. Sekaran. 2013 Studies on structural, morphological, electrical and electrochemical properties of activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol: 19. Hal: 1470–1476
 8. Nowicki, J. Kazmierczak, R. Pietrzak. 2015. Comparison of physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared by physical and chemical activation of cherry stones. *Powder Technol.* Vol : 269. Hal:312-319
 9. Chowdhury, Zain S.M., Khan, R.A, Khalid, K.. 2012. Batch and fixed bed adsorption studies of lead(II) cations from aqueous solutions onto granular activated carbon derived from Mangostana garcinia shell. *BioResources*. Vol. 7. Hal : 2895-2915
 10. Idris S, Iyaka YA, Dauda BEN, Ndamitso MM, Umar MT. 2012. Kinetic study of utilizing groundnut shell as an adsorbent in removing chromium and nickel from dye effluent. *Am Chem Sci J.* Vol : 2. Hal12–24.
 11. Syuhadah, N. S., Muslim, N. Z., Rohasliney, H. 2015. “Determination of Heavy Metal Contamination from Batik Factory Effluents to the Surrounding Area”. *International Journal of Chemical, Environmental and Biological Sciences (IJCEBS)*. Vol: 3. Hal: 7-9
 12. Sethia, G., Sayari, A.2016. “Activated carbon with optimum pore size distribution for hydrogen storage”. *Carbon*. Volume: 99. Hal: 289-294
 13. Mook, W. T., Aroua, M. K., Szlachta, M. 2016. Palm Shell-Based Activated Carbon for Removing Reactive Black 5 Dyes : Equilibrium and Kinetics Studies. *BioResource*. Vol : 11. Hal : 1432-1447.
 14. Amor, M. Ismail. 2015. Adsorption of chromium (VI) on activated carbon prepared by acid activation of date stones, *Int. J. Sci. Res. (IJSR)*. Vol : 4. Hal :309-314
 15. Manoochehri M, Khorsand A, Hashemi E. 2015. Role of modified activated carbon by H₃PO₄ or K₂CO₃ from natural adsorbent for removal of Pb(II) from aqueous solutions. *Carbon Lett.* Vol .13(2). Hal:115–120
 16. Muthanna J. Ahmed. 2016. Preparation of activated carbons from date (Phoenix dactylifera L.) palm stones and application for wastewater treatments: Review. *Process. Safety and Environment Protection*
 17. Maneerung, Johan Liew, Yanjun Dai, Sibudjing Kawi, Clive, Chong, Chi-Hwa Wang. 2015. Activated carbon derived from carbon residue from biomass gasification and its application for dye adsorption: kinetics, isotherms and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*
 18. Rashidi N. A., Suzana Yusup. 2016. An overview of activated carbons utilization for the post-combustion. Carbon dioxide capture. *Journal of CO₂ Utilization*. Vol :13 Hal : 1–16
 19. Liu, Y. Yang, X. Shi, K. Li. 2015. Fast photocatalytic degradation of methylene blue dye using a low-power diode laser, *J. Hazard. Mater.*, Vol. 283. Hal : 267-275.
 20. Zhou, J. Ma, H. Zhang, Y. Shao, Y. Li, 2015. Fabrication of magnetic carbon composites from peanut shells and its application as a heterogeneous Fenton catalyst in removal of methylene blue, *Appl. Surface Sci.*, Vol. 324 Hal : 490-498.

-
21. Ramakrishnan K, Namasivayam C. 2009. Development and characteristics of activated carbons from Jatropha husk, an agro industrial solid waste, by chemical activation methods. *J Environ Eng Manag.* Vol.19. Hal:173–8.
22. Abioye A.M., Farid Nasir Ani. 2015. Recent development in the production of activated carbon electrodes from agricultural waste biomass for supercapacitors: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* Vol. 52. Hal:1282–1293
23. Nagarjuna, S. Roy, R. Ganesan. 2015. Polymerizable sol–gel precursor mediated synthesis of TiO₂ supported zeolite-4A and its photo degradation of methylene blue, *Microporous Mesoporous Mater.*, Vol. 211 Hal: 1-8.
24. Iwaniec, I. W., Dł’ez, N., Gryglewicz, G. 2015. “Chitosan-Based Highly Activated Carbons for Hydrogen Storage”. *International Journal of Hydrogen Energy.* Vol: 40. Hal: 5788–5796
25. Shestakova M., Vinatoru, Mason, Sillanpää. 2015. Sonoelectrocatalytic decomposition of methylene blue using Ti/Ta. *Sonchemistry*, Vol.23 Hal :135-141
26. Mahmoud, M.S, Farah, J.Y., Farrag, T.E., 2013. Enhanced removal of methylene blue by electrocoagulation using iron electrodes, *Egyptian J. Petroleum*, Vol. 22. Hal :211-216.
27. Budiono, A., Suhartana, Gunawan. 2009. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat Untuk Adsorpsi Fenol. Semarang: Universitas Diponegoro
28. Chandrakant D. Shendkar, Rasika C. Torane, Avinash B. Pawar, Kavita S. Mundhe , Nirmala R. Deshpande, Characterization And Application Of Activated Carbon Prepared From Waste Weed. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, Vol 5, Issue 2, 2013
29. Ahed J Alkhatib, Khalid Al Zailaey. 2015. Medical And Environmental Applications Of Activated Charcoal: Review Article. *European Scientific Journal* . Vol.11
30. Goncalves, G. C., Pereira, N. C., Veit, M. T. 2016. “Production of bio-oil and activated carbon from sugarcane bagasse and molasses”. *Biomass and Bioenergy.* Vol: 85. Hal: 178-186
31. Mandava, Veena, et. Al. 2007. Histon modification in Trypanosoma Brucei, *Molecular & Biochemical Parasitology*, Vol : 156, Hal: 41-50
32. Saidur R, Abdelaziz EA, Demirbas A, Hossain MS, Mekhilef S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable Sustainable Energy Rev* Vol 22, Hal : 62–89.
33. Acharya, J., Sahu, J.N., Sahoo, B.K., Mohanty, C.R., Meikap, B.C., 2009. Removal of chromium(VI) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood activated with zinc chloride. *Chem. Eng. J.* Vol : 150, Hal : 25–39.
34. Tao, H. C., Zhang, H. R., Ding, W. Y. 2015. Biomass Based Activated Carbon Obtained from Sludge and Sugarcane Bagasse. *Bioresource Technology.* Vol: 192. Hal: 611-617.
35. Tan, I.A.W., Ahmad, A.L., and Hameed, B.H., 2009. Fixed-bed adsorption performance of oil palm shell based activated carbon for removal of 2,4,6-trichlorophenol. *Bioresource Technology*, Vol. 100, Hal : 1494-1496.
36. Kushwaha, S., Sreelatha, G., Padmaja, P. 2013. Physical and chemical modified

- forms of palm shell: preparation, characterization and preliminary assessment as adsorbents. *J. Porous Matter*, Vol : 20, Hal : 21-36
37. Armandi, M. 2008. "Post-Synthesis Modifications of SBA-15 Carbon Replicas: Improving Hydrogen Storage by Increasing Microporous Volume". *Catalysis Today*. Vol: 138. Hal: 244–248.
38. Lim, W.C., Srinivasakannan, C., and Balasubramanian, N. 2010. Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high yielding activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Vol : 88, Hal : 181-186.
39. Viswanathan, B., Neel P. I., Varadarajan T. K.. 2009. "Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials". *National Centre for Catalysis Research*
40. Nazzal, J.S., Kamiriska, W., Michalkiewicz, B., Koren, Z.C. 2013. "Production, Characterization and Methane Storage Potential of KOH-Activated Carbon from Sugarcane Molasses". *Industrial Crops and Products*. Vol: 47. Hal: 153–159
41. Sahira, J., Mandira, A., Prasad, P. B., Ram, P. R. 2013. Effects of Activating Agents on the Activated Carbons Prepared from Lapsi Seed Stone, *Research Journal of Chemical Sciences* Vol: 3. Hal: 19-24
42. Budinova, T., Ekinci, E., Yardim F., Grimm, A., Bjornbom E., Minkova, V., Goranova, M. 2006. Characterization and application of activated carbon produced by H₃PO₄ and water vapor activation. *Fuel Processing Technology* Vol: 87. Hal : 899-905