

KARAKTERISTIK ADSORBEN KARBON AKTIF DARI LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT (REVIEW)

CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON ADSORBENT FROM OIL PALM SOLID WASTE (REVIEW)

Dwi Ermawati Rahayu¹⁾²⁾, Wahyono Hadi²⁾

- 1) Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman Samarinda
- 2) Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

Abstrak

Agroindustri kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa dengan volume yang besar. Limbah tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi bioadsorben untuk digunakan dalam pengolahan air limbah, air minum dan remediasi tanah. Kualitas adsorben yang baik mempunyai karakteristik porositas tinggi, stabilitas fisik kimia dan luas area permukaan besar. Untuk menghasilkan bioadsorben karbon aktif maka dilakukan proses karbonisasi dilanjutkan dengan proses aktivasi. Proses ini meliputi aktivasi fisik, kimia serta gabungan fisik-kimia maupun kimia-fisik. Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan mesopori dan makropori sehingga dihasilkan karbon aktif dengan luas permukaan spesifik yang besar. Pemilihan proses aktivasi secara fisik, kimia asam atau basa untuk proses aktivasi akan berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan, terutama berpengaruh terhadap afinitas alifatik grup fungsional yang terdapat pada permukaan atas karbon aktif.

Kata kunci: adsorben, karbon aktif, limbah padat kelapa sawit

Abstract

Palm agricultural lignocellulosic biomass generate the abundant amount of biomass waste. The biomass wastes had potential to be utilized as a bioadsorbent for water and wastewater treatment, soil remediation. Great quality of adsorbent has characteristic of high porosity, physicochemical stability, large specific surface area. Bioadsorbent activated carbon processed with carbonization in the first step and then followed by activation process. The process consist of physical, chemical and physical-chemical activation. The activation purpose is to increase mesoporosity and macroporosity so that activated carbon with large specific surface area are produced. The effect of different activation process and the characteristic of activated carbon products were reviewed.

Keywords: activated carbon, adsorbent, oil palm solid waste

1. PENDAHULUAN

Agroindustri kelapa sawit berkembang pesat di kawasan Asia Tenggara terutama Indonesia dan Malaysia disebabkan meningkatnya konsumsi minyak dunia. (Hansen, 2015). Kegiatan di sector ini akan menghasilkan limbah biomassa dengan volume yang cukup besar berupa tempurung biji sawit 5,5-7%, tandan kosong 22-23%, pelepah sawit 13,5-15% (Kong, 2014). Limbah biomassa umumnya dimanfaatkan

sebagai bahan bakar boiler pada industri minyak Sawit (Kong, 2014). Selain sebagai bahan bakar, limbah biomassa mempunyai potensi besar untuk dikonversi sebagai bioadsorben yang berkualitas. Bioadsorben tersebut dapat digunakan dalam pengolahan air minum (Mohan, 2014, Summers, 2013 (Gupta, 2009; Sharma, 2011; Crini, 2006; Mittal, 2013) pengolahan air limbah Sadeek, 2015; Ujile, 2013; Khosravihaftkhany, 2013; Mohan, 2006; Wan, 2010; Bilal, 2013; Ghasemi (2014), remediasi tanah (Kong, 2014). Kualitas

bioadsorben yang baik mempunyai karakteristik fisik dan kimia yaitu porositas yang tinggi, stabilitas fisik kimia, luas area permukaan besar (Yahya, 2015; Oramahi, 2015, Fuadi, 2014; Hesas, 2013; Bilal, 2013; Joseph, 2009). Untuk menghasilkan bioadsorben karbon aktif maka dilakukan proses karbonisasi dilanjutkan dengan proses aktivasi. Proses ini meliputi aktivasi fisik, kimia serta gabungan fisik-kimia maupun kimia-fisik (Hesas, 2015; Widyastuti, A., 2013) dengan berbagai jenis aktivator. Proses aktivasi akan berpengaruh pada sifat sifat dari karbon aktif yang tidak terbentuk secara alamiah. Namun dipengaruhi oleh afinitas alifatik fungsional grup yang terdapat pada permukaan atas karbon aktif (Das, 2015). Aktivasi akan menghilangkan bagian karbon yang tidak terbentuk pada proses pengarangan sehingga bagian permukaan menjadi terbuka membentuk struktur mikropori. Struktur pori dapat diperbesar dengan menghilangkan dinding antar pori sehingga meningkatkan mesopori dan makropori. Produk akhir proses ini akan menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan spesifik yang besar (Nowicki, 2015). Sehingga pemilihan proses aktivasi secara fisik, kimia asam atau basa untuk proses aktivasi akan berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Kajian ini diperlukan untuk mengetahui pengaruh dari aktivasi asam basa terhadap karakteristik adsorben yang dihasilkan sehingga dihasilkan karakteristik karbon aktif yang sesuai dengan parameter air limbah maupun air bersih yang akan diturunkan.

Limbah Padat Kelapa Sawit Pada Proses Produksi *Palm Knell Oil*

Pelepah kelapa sawit merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses peremajaan pohon kelapa sawit. Satu hektar tanaman kelapa sawit menghasilkan pelepah daun sebanyak 10,4 ton dari pangkasan per tahun (Departemen pertanian, 2006). Satu hektar tanaman sawit akan dihasilkan 6.400 - 7.500 pelepah pertahun. Pelepah ini mengandung selulosa (16,6%), hemiselulosa (27,6%) dan silika (3,8%). Tanaman kelapa sawit yang tumbuh memiliki pelepah berjumlah 40 - 60 buah dengan panjang

mencapai 7,5 - 9 meter, Jumlah anak daun pada tiap pelepah antara 250 - 400 helai.

Limbah padat agroindustri kelapa sawit tersebut berasal dari kegiatan di perkebunan kelapa sawit itu sendiri dan di industri pengolahan sawit, sebagaimana diagram alir sesuai gambar 1. Limbah padat yang dihasilkan dari agroindustri kelapa sawit adalah pelepah, pohon sawit dari perkebunan di sektor hulu. Sedangkan tandan buah kosong, serat buah, cangkang biji dari industri pengolahan kelapa sawitnya.

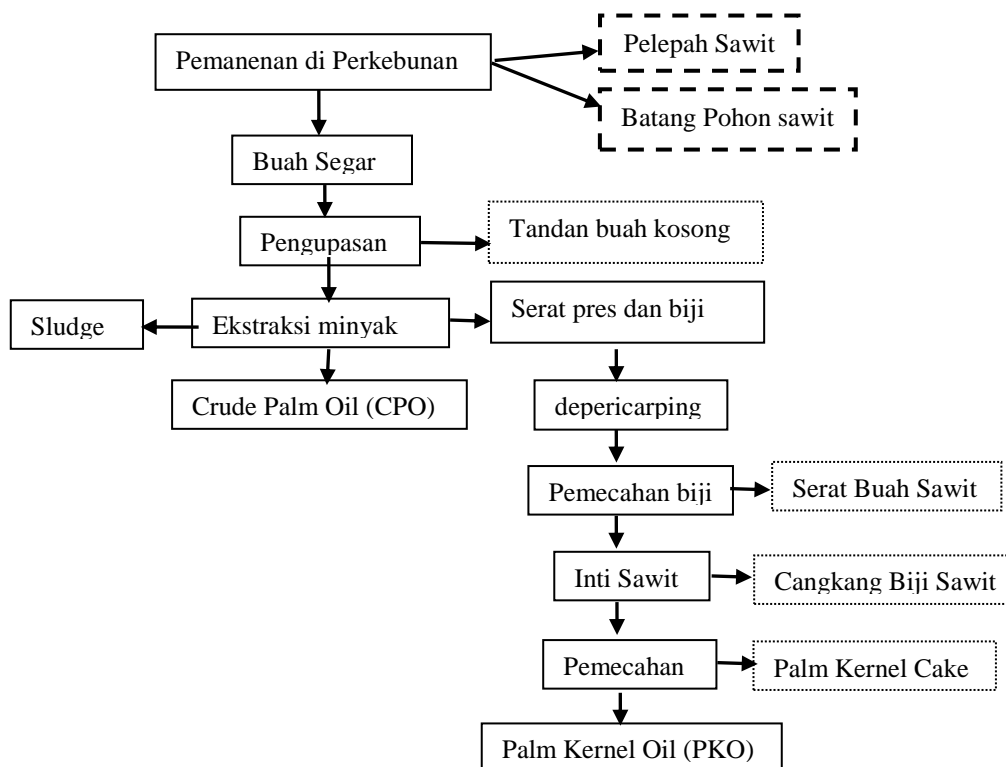
Karakteristik Limbah Padat Biomassa

Limbah padat kelapa sawit tergolong material lignoselulosik yang disebut juga photomass karena dihasilkan dari proses fotosintesis (Abdolali, 2014). Terdapat beberapa tipe selulosa yang terdapat di dinding sel material lignoselulose. Material tersebut meliputi tiga komponen yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin . Sekitar 65% selulosa merupakan komponen yang dapat berbentuk kristal yang tidak larut dalam air. Struktur selulosa berikatan dengan hemiselulosa (20-40%) dan lignin (15-25%) (Abdolali, 2014). Selulosa tidak terlarut dalam air pada suhu ruang namun sebagian akan terlarut pada suhu 302°C dan terlarut seluruhnya pada suhu 330°C (Kumar, 2008).

Hemisellulosa merupakan komponen yang kompleks dengan banyak cabang dan heterogenya jaringan polimernya, didasarkan pada pentosa termasuk xylose dan arabinose berbentuk glukosa, mannososa, galaktosa dan asam gula (Guidicianni, 2013). Bentuk hemiselulosa sekitar 20-30% dari berat kering tanaman kayu. Bentuk hemiselulosa lebih tidak stabil sehingga lebih mudah untuk didegradasi oleh panas. Lignin merupakan heteropolymer yang terdiri dari tiga komponen yaitu hydroxycinnamyl alcohol monomers yang berbeda beda dalam tingkatan methoxylation p-coumaryl, coniferyl dan sinapyl alkohol (Giudicianni, 2013). Lignin terdapat pada 18-25% kayu keras dan 25-35% pada kayu lunak. Tanaman menggunakan lignin sebagai penguat struktur, menahan aliran fluida, mencegah serangan mikroorganisme dan menyimpan energi.

Penelitian terhadap limbah biomassa agroindustry kelapa sawit menunjukkan karakteristik kandungan selulosa, hemisellulosa dan lignin dari masing masing bagian seperti tabel 1. Hanya cangkang sawit

yang mempunyai komposisi dominan lignin, sedangkan tipe limbah padat yang lain memiliki rasio komponen yang tertinggi adalah selulosanya. Hal ini akan berpengaruh terhadap karakteristik adsorben yang dihasilkan.



Keterangan :

□ : Proses produksi

□ : Limbah Padat yang dihasilkan

Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Agroindustri Kelapa Sawit

Sumber (Abdolali, 2014, Saswattecha, 2015)

Tabel 1. Karakteristik kandungan biomassa

Tipe biomassa	Komponen kimia (% berat kering)		
	hemisellulosa	Selulosa	Lignin
Serat mesocarp	26,1	33,9	27,7
Tandan buah kosong	35,3	38,3	22,1
Cangkang buah sawit	22,7	20,8	50,7
Batang pohon sawit	23,94	34,44	35,89
Pelepah sawit	23,18	50,33	21,7
Daun kelapa sawit	22,97	32,49	26,00
Tulang daun kelapa sawit	23,17	46,1	29,31

Sumber: (Kong, 2014; Abnisa, 2015)

Karbon Aktif

Secara konvensional karbon aktif merupakan sintesis char dari proses pirolisis material organik yang diaktivasi secara fisik maupun kimia pada temperatur tinggi (Islam, 2015).

Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dengan beberapa metode pemanasan yaitu pirolisis dengan berbagai tipe dan produk yang dihasilkan sebagaimana tabel berikut ini:

Tabel 2. Tipe Pirolisis, Kondisi Operasional dan Produk yang Dihasilkan

Tipe pirolisis	Kondisi Operasional	Produk yang dihasilkan
Cepat	Suhu reaktor 500 °C Kecepatan pemanasan sangat tinggi > 1000 °C/det Waktu tinggal uap sekitar 1 detik	Padatan 12% Cairan 75% Gas 13%
Sedang	Suhu reaktor 400-500 °C Kecepatan pemanasan 1-1000 °C/detik Waktu tinggal uap sekitar 10-30 detik	Padatan 25% Cairan 50% Gas 25%
Lambat	Suhu reaktor 290°C Kecepatan pemanasan 1°C/detik Waktu tinggal uap sekitar 30 menit	Padatan 77% Cairan 0-5% Gas 23%
Lambat	Suhu reaktor 400-500 °C Kecepatan pemanasan sangat tinggi 1°C/detik Waktu tinggal uap sekitar 1 detik	Padatan 33% Cairan 30% Gas 35%

Sumber: Kong, 2014

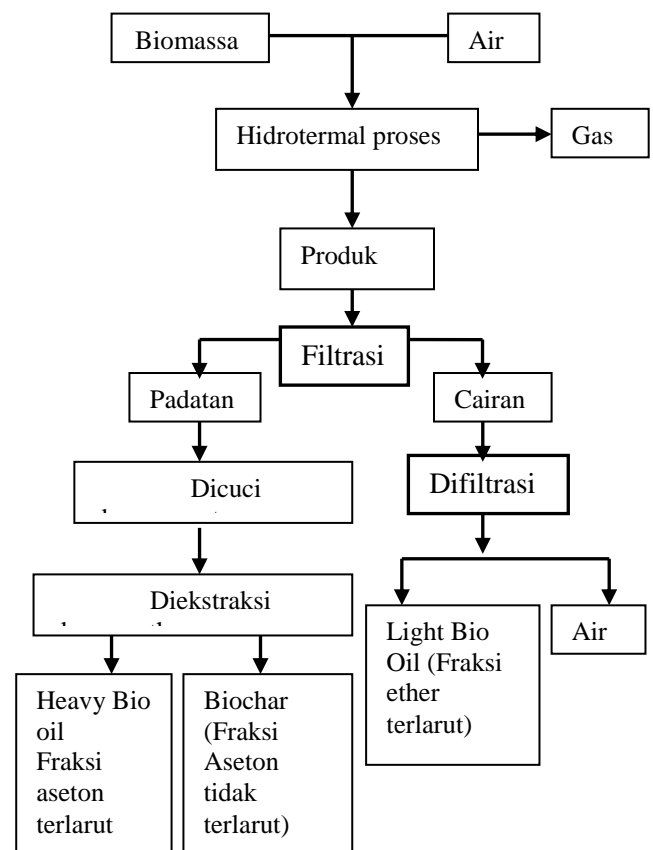
Pada proses pirolisis, bahan baku yang mengandung komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin maka akan mengalami perubahan menjadi komponen sebagaimana tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pirolisis Komponen Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

Sampel	Prosentase (% berat)		
	Bio oil	Gas	Char
Selulosa	81,41	12,15	6,44
Hemiselulosa	44,20	36,73	19,05
Lignin	21,77	37,90	40,33

Sumber : Wang, 2011

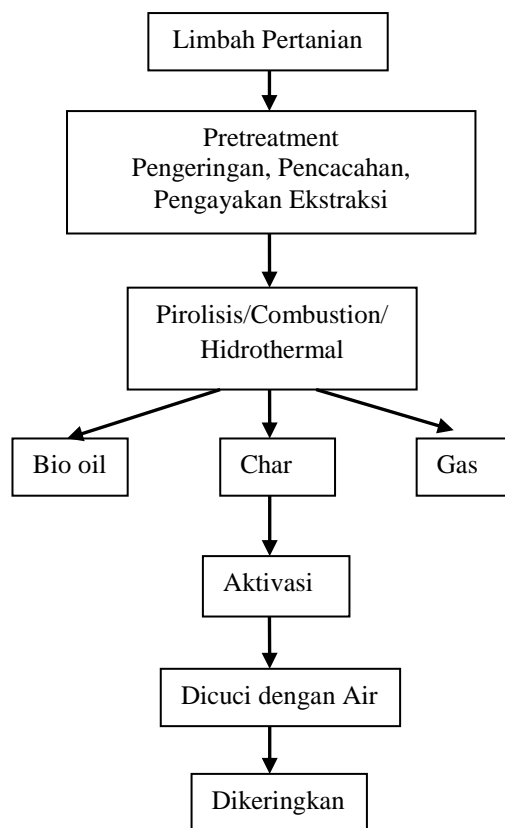
Berdasarkan tabel tersebut maka dekomposisi komponen bahan baku akan sangat berpengaruh terhadap produk hasil pirolisis. Untuk memperoleh GAC dan biochar maka komponen utama yang arur terdapat dalam bahan baku dalam jumlah yang besar adalah komponen lignin yang 40,33%. nya akan terdekomposisi menjadi arang. Selain dengan pirolisis, pembuatan karbon aktif dan biochar dapat dilakukan dengan dengan metode hidrotermal sebagaimana gambar berikut ini:



Gambar 2. Tahapan Proses Pembuatan Biochar dengan Metode Hidrotermal

Sumber: (Tekin, 2014)

Setelah terbentuk biochar maka memerlukan proses untuk menghasilkan karbon aktif yaitu dengan proses aktivasi terhadap biochar yang terbentuk melalui aktivasi. Aktivasi dilakukan secara fisik, kimia maupun fisik kimia dengan tahapan sebagaimana gambar 3.



Gambar 3. Tahapan Proses Pembuatan Karbon aktif

Sumber: (Dermibas, 2009)

Karbon aktif yang dihasilkan dari biomassa tanaman umumnya lebih rendah kualitasnya dibandingkan dengan antrasit, batubara dan gambut (Yahya, 2015) karena terdapat material volatil (Lua, 2006) yang tertinggal pada GAC yang terbentuk. Sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan kualitas dengan proses aktivasi. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas karbon yang dihasilkan menjadi karbon aktif yang mempunyai micropori, mesopori, makropori yang kecil namun luas permukaan besar (Nasri, N.S., 2014; Largitte, L., 2015). Sehingga setelah proses karbonisasi dilanjutkan dengan proses aktivasi. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan aktivasi fisik, kimia serta gabungan fisik-kimia maupun kimia-fisik (Hesas, R.H., 2015; Widyastuti, A., 2013) dengan berbagai jenis aktivator dan metoda.

Aktivasi Karbon Aktif Secara Fisik

Proses aktivasi fisik dilakukan menggunakan steam (Cagnon, 2009., Hidayu, 2013, Amosa, 2015), pemanasan (Foo, 2012, Meisrilestari, 2013., Nasri, 2014) dan dengan gas CO₂ (Niva, 2011., Omri, 2013., Hashemian, 2013).

Perbedaan mendasar aktivasi fisik dan kimia adalah tahapan proses dan suhu aktivasi. Aktivasi fisik dilakukan pada suhu yang lebih tinggi (800-1000 °C) sedangkan aktivasi kimia pada suhu lebih rendah (200-800 °C).

Aktivasi Karbon Aktif Secara Kimia

Selain aktivasi secara fisik dilakukan juga aktivasi kimia menggunakan ZnCl₂ (Hesas, 2013., Ceyhan, 2013., Meisrilestari, 2013, Niva, 2011), H₂SO₄ (Lee, 2014), P₃PO₄ (Widyastuti, 2013., Niva, 2011) dan KOH (Hesas, 2015). Aktivasi dengan secara kimia menghasilkan karbon aktif yang lebih baik dibanding aktivasi secara fisik. Zat lain yang digunakan adalah ammonium salts, borates, calcium dioxide, komponen ferri dan ferro, mangan dioksida, garam nikel, asam hidroklorik, asam nitrit dan asam sulfat (Mohan, D., 2006). Pada aktivasi secara kimia terjadinya penggabungan kontak antara inorganic additive, logam klorida termasuk aink klorida atau asam phosphoric kedalam biochar sebelum dikarbonisasi tahap dua. (Mohan, 2006). Karbon aktif dengan struktur dinding meso dan mikropori dihasilkan dari penggunaan ZnCl₂. Sedangkan aktivasi KOH akan meningkatkan luas permukaan karbon aktif volume porinya (Mohan, 2006). Bahan kimia yang digunakan sebagai activator adalah bahan kimia yang bersifat basa seperti KOH, K₂CO₃, NaOH, dan Na₂CO₃, bersifat alkali tanah dengan garam metal AlCl₃, FeCl₃, and ZnCl₂ atau menggunakan bahan kimia bersifat asam H₃PO₄, H₂SO₄. Bahan tersebut akan mendekomposisi material of karbon, menghalangi terbentuknya tar dan meningkatkan karbon yield (Kumar, 2015). Untuk mendapatkan karakteristik karbon aktif yang baik maka dapat dilakukan peningkatan rasio carbon dengan activator, suhu dan waktu aktivasi.

Penelitian yang ada lebih banyak membandingkan bahan activator terhadap kualitas karbon aktif yang terbentuk meliputi Surface area (S_{BET}), Total volume dan rata rata ukuran pori (V_{tot} dan DAC), Mikropori volume

(V_{mic}), Mikropori surface area (S_{mic}). Namun karakteritik kimia permukaan karbon aktif yang dihasilkan yang diakibatkan penggunaan activator kimia belum dilakukan

Tabel 4. Berbagai metode aktivasi karbon aktif

Jenis Aktivasi	Aktivator	Metode Aplikasi	Referensi
Fisik	Steam	Suhu 800°C selama 120min	Cagnon, 2009
		Suhu 765°C selama 77min, debit 129ml/jam	Hidayu, 2013
		Suhu 900 °C dengan debit steam 2, 4, 6, 8, 10mL/min selama 15 min.	Amosa, 2015
Pemanasan		Dalam furnace 750°C selama 3 jam	Meisrilestari, 2013
		Dalam furnace 800°C selama 2 jam	Nasri, 2014
		Dengan pemanasan microwave 2,45 GHz, power 90, 180, 360, 600, 800 watt	Foo, 2012
		Dengan pemanasan microwave power 600 watt selama 10menit	Foo, 2012
		Dengan pemanasan microwave power 550-850watt selama 5-45menit	
Gas CO2			Hashemian, 2013 Omri, 2013
		Pemanasan suhu 850°C dengan debit CO ₂ 100 mL/min selama 1–7jam dengan kecepatan pemanasan 10°C/min	Niya, 2011

Jenis Aktivasi	Aktivator	Metode Aplikasi	Referensi
Kimia	ZnCl ₂	0.15, 0.28, 0.40, 0.53, 0.65, 0.78 0.90 berat/gram adsorben	Hesas, 2013
		Tahap 1 15 ml ZnCl ₂ dengan rasio 1:1; 1:2; 1:3; 1:4 Mixing pada suhu 30, 50, 80°C selama 3 jam Tahap 2 Pemanasan suhu 150-350°C heating rate 5°C/min	Ceyhan, 2013
	250 ml ZnCl ₂ 0,1N diamkn 24jam cuci dengan aquades keringkan suhu 100°C selama 1jam	0.56, 1.13, 1.69, 2.25 , 2.81 XZn, berat zinc mass/gr bahan dipanaskan dan stirer selama 2jam pada suhu 85°C, Dilanjutkan dengan microwave oven dengan daya microwave of 750, 900, 1050, 1200 dan 1300 W dan waktu aktivasi 5, 10, 15, 20, 25 menit	Hesas, 2013
		Aktivasi suhu 500°C selama 2 jam dengan kecepatan pemanasan 5°C/min dengan debit N ₂ 100 mL/min	Meisrilestari, 2013 Niya, 2011
	H ₂ SO ₄	Dipanaskan di suhu 300–800°C dengan heating rate 10 °C/min selama 1 jam GAC yang dihasilkan dicuci dengan 3M HCl dan dipanaskan pada 90°C selama 30 min, filter dan dicuci dengan air hangat sampai pH netral kemudian dikeringkan pada 105°C selama 12 jam.	(Açıkyıldız et al. 2014)
		Tandan kosong:H ₂ SO ₄ = 4:3 dengan combustion 250°C selama 2jam, dicuci sampai pH 5 dikeringkan 24jam dengan suhu 110°C	Lee, 2014
H ₃ PO ₄	Aktivasi larutan 10% selama 24jam kemudian dioven 110°C selama 2jam	Widyastuti, 2013	
	Aktivasi suhu 450°C selama 2 jam dengan kecepatan pemanasan 5°C/min dengan debit N ₂ 100 mL/min	Niya, 2011	
KOH	Rasio 0,5;1,5;2,5;3,5 Xk (mass KOH/gr adsorben) stirer selama 2jam pd suhu 85°C dipanaskan sampai titik didih, disimpn di oven 24jam suhu 110°C	Hesas, 2015	

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolali, A., Guo, W.S., Ngo, H.H., Chen, S.S., Ngyuen, N.C., Tung, K.L., Typical Lignocellulosic wastes And By Products For Biosorption Process In water And Wastewater Treatment, *Biosource technology*, 2014, 160, 57-66
- Ahmaruzzaman, Md., Adsorption of Phenolic Compound On Low Cost Adsorbent : A Review, *Advances In Colloid And Interface Science*, 2008, 143, 48-67
- Bilal, M., Shah., J.A., Ashfaq, T., Gardazi, S.M.H., Tahir, A.A., Pervez, A., Haroon, H., Mahmood, Q., Waste Biomass Adsorbents For Copper Removal From Industrial Wastewater-A Review, *Journal of hazardous Materials*, 2013, 263, 322-333
- Crini, G., Non Convebtional Low Cost Adsorbents For Dye Removal : A Review, *Bioresource Technology*, 2006, 97, 1061-1085
- Foo, K.Y., Hameed, B.H., Microwave-Assisted Preparation And Adsorption Performance of Activated Carbon From Biodiesel Industry Solid Reside : Influence of Operation Parameters, *Bioresource Technology*, 2012, 103, 398-404
- Foo, K.Y., Hameed, B.H., Dynamic Adsorption Behavior of Methylene Blue Onto Oil Palm Shell Granular Activated Carbon Prepared By Microwave Heating, *Chemical Engineering Journal*, 2012, 203, 81-87
- Foo, K.Y., Hameed, B.H., Preparation Characyerization And Evaluation of Adsorptive Properties of Orange Peel Based Activated Carbon Via Microwave Induced K_2CO_3 Activation, *Bioresource Technology*, 2012, 104, 669-686
- Hansen, S.B., Padfields, R., Sgayuti, K., Evers, S., Zakariyah, Z., Mastura, S., Trends In Global Palm Oil Sustainability Research, *Journal of Cleaner Production*, 2015, 100, 140-149
- Hesas, R.H., Niya, A.A., Daud, W.M.A.W., Sahu, J.N., Microwave-Assisted Production of Activated Carbons From Oil Palm Shell In Presence of CO_2 or N_2 For CO_2 Adsorption, *Jornal of Industrial And Engineering Chemistry*, 2015, 24, 196-205
- Hidayu, A.R., Mohammad, N.F., Matali, S., Sharifah, A.S.A.K., Characterization of Activated Carbon Prepared From Oil Palm Empty Fruit Bunch Using BET and FT-IR Techniques, *Procedia Engineering*, 2013, 68, 379-384
- Kong, S.H., Loh, S.K., Bachman. R.T., Rahim, S.A., Salimon, J., Bichar From Oil Palm Biomass : A Review of Its Potential And Challenges, *Renewable and Sustainable Energy*, 2014, 39, 729-739
- Hossain, M.A., Ngo, H.H., Guo, W.S., Nguyen T.V., Short Communication Palm Oil Fruit Shells As Biosorbent For Copper Removal From Water and Wastewater : Experiments and Sorption Models, *Bioresource Technology*, 2012, 113, 97-101
- Kumar, A., Jena, H.M., High surface area microporous activated carbons prepared from Foxnut (*Euryale ferox*) shell by zinc chloride activationArvind, *Jurnal Applied Surface Science*, 2015, 356, 753-761
- Largitte, L., Brudey, T., Tant, T., Dumesnil, P.C., Lodewyckx, P., Review Comparison of The Adsorption of Lead By Activated Carbons From Three Lignocellulosic Precursors, *Microporous and Mesoporous Materials*, 2015, 1-11
- Lee, T., Zubir, Z.A., Jamil, F.M., Matsumoto, A., Combustion and Pyrolysis of Activated Carbon Fibre From Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibre Assisted Through Chemical Activation With Acid Treatment, *Journal*

- of Analytical and Applied Pyrolysis, 2014, 110, 408-418
- Meisrilestari, Y., Khomaini, R., Wijayanti, H., Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisik, Kimia dan Fisika Kimia, Jurnal Konversi, 2013, 2(1), 46-51
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y.S., Pittman Jr. C.U., Organic And Inorganic Contaminants Removal From waste With Biochar A Renewable Low Cost And Sustainable Adsorbent-A Critical Review, Bioresource Technology, 2014, 160, 191-202
- Mohan, D., Pittman Jr, C.U., Review Activated Carbons and Low Cost Adsorbents For Remediation of Tri and Hexavalent Chromium From Water, Journal of Hazardous Material, 2006, B.137, 762-811
- Nasri, N.S., Hamza, U.D., Ismail, S.N., Ahmed, M.M., Mohsin, R., Assessment of Porous Carbons Derived From Sustainable palm Solid Waste For Carbon Dioxide Capture, Journal of Cleaner Production, 2014, 71, 148-157
- Oramahi, H.A., Wahida, Diba, F., Nurhaida, Yoshimura, T., Optimization of Production of Lignocellulosic Biomass Bio-Oil From oil Palm Trunk, Procedia Environmental Sciences, 2015, 28, 769-777
- Saka, C., BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, Iodine Number Analysis and Preparation of Activated Carbon From Acorn Shell by Chemical Activation With $ZnCl_2$, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2012, 95, 21-24
- Sharma, P., Kaur, K., Sharma, M., Sahore, V., A Review On Applicability of Naturally Available Adsorbents For The Removal of Hazardous Dyes From Aqueous Waste, Environmental Monitoring Assessment, 2011, 183, 151-195
- Sivashankar, R., Sathya, A.B., Vasantharaj, K., Sivasubramanian, V., Magnetic Composite An Environmental Super Adsorbent For Dye Sequestration-A Review, Environmental nanotechnology, Monitoring & Management, 2014, 1-2, 36-49
- Sun, Ke., Kang, M., Ro, K.S., Libra, J.A., Zhao, Y., Xing, B., Variation In Sorption Of Propiconazole With Biochar: The Effect of Temperature, Mineral, Molecular Structure an Nano-Porosity, Chemosphere, 2015
- Saswattecha K., Kroeze, C., Jwjit, W., Hein, L., Assessing The Environmental Impact Of Palm Oil Produced In Thailand, Journal of Cleaner Production, 2015, 100, 150-169
- Tan, I.A.W., Ahmad, A.L., Hameed, B.H., Adsorption Isotherm, Kinetics, Thermodynamics and Desorption Studies of 2,4,6-Trichlorophenol on Oil Palm Empty Fruit Bunch Based Activated Carbon, 2009, 164, 473-482
- Widyastuti, A., Sitorus, B., Jayuska, A., Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas Dalam Biogas Fermentasi Anaerobik Sampah Organik, Jurnal JKK, 2013, 2(1), 30-33
- Yahya, M.A., Al-Qodah, Z., Ngah, C.W.Z., Agricultural Bio-Waste Material As Potential Sustainable Precursors Used For Activated Carbon Production : A Review, 2015, 56, 218-235