



Vol. 8 No. 2 (2017) 55-66

**Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

Pengaruh aktivasi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit terhadap adsorpsi kadmium terlarut

The effect activation of activated carbon from oil palm empty fruit bunches to dissolved cadmium adsorption

Nida Sopiah*, Djoko Prasetyo, Dwindrata B Aviantara

Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah, Kedeputan TPSA, BPPT. Gedung 820 (Geostek) Kawasan Puspittek, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 08 Maret 2017

Direvisi 27 Mei 2017

Disetujui 29 Mei 2017

Dipublikasikan online

21 November 2017

Keywords :

Oil palm empty fruit bunches (OPEFB)

Activated carbon

Adsorbent

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomaterial yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan dasar karbon aktif. Adanya lignoselulosa sebesar 55-60% memungkinkan untuk dikarbonisasi dan diaktivasi menjadi adsorben logam berat. Pada penelitian ini C-aktif dari tandan kosong kelapa sawit dikarbonisasi pada suhu 300°C, 350°C dan 400°C selama 60 menit, dilanjutkan dengan aktivasi kimia C-aktif menggunakan natrium asetat 1N, amonium klorida 1N dan amonium sulfat 1N selama 60 menit. Masing-masing dengan dua perlakuan, yaitu aktivasi dengan pemanasan pada suhu 120°C selama 60 menit dan aktivasi tanpa pemanasan. Uji adsorpsi C-aktif dilakukan terhadap larutan kadmium dengan rasio sebesar 1:15 (b:v). Hasil penelitian menunjukkan bahwa C-aktif yang diaktivasi menggunakan natrium asetat 1 N memberikan kemampuan adsorpsi yang paling baik dibandingkan ammonium klorida dan ammonium sulfat. Aktivasi kimia C-aktif yang dikarbonisasi pada suhu 350°C dan diaktivasi menggunakan natrium asetat pada suhu ambien mampu mengadsorpsi kadmium terlarut sebesar 99,3% (b/v) dan 96,51% (b/v) pada suhu karbonisasi 300°C. Sedangkan aktivasi C-aktif yang dikarbonisasi pada suhu 350°C dengan pemanasan 120°C selama 60 menit mampu mengadsorpsi kadmium terlarut sebesar 100% (b/v).

ABSTRACT

Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB) are biomaterials that have potential to be developed as a raw material for activated carbon. OPEFB consists of 55-60% lignocellulose which is can be utilized as an adsorbent to treat heavy metals. In this study the activated carbon from OPEFB was prepared by carbonization at 300, 350 and 400°C for 60 minutes followed by chemical activation using sodium acetate 1N, ammonium chloride 1N and ammonium sulfate 1N with heating temperatures at 120°C for 60 minutes and ambient temperature respectively. The formed adsorbents were tested by using 1:15 ratio (w/v) to adsorb the dissolved cadmium. The results showed that activated carbon which was activated by using sodium acetate 1N had the highest adsorption compared to ammonium chloride 1N and ammonium sulfate 1N. Activated carbon which was treated at ambient temperature by using sodium acetate 1N had adsorption of dissolved cadmium in amount of 99.3% (w/v) at 350°C and 96.51% (w/v) at 300°C, whilst by heating temperatures of 120°C for 60 minutes, its adsorption of dissolved cadmium was 100% (w/v) at 350°C.

*Alamat korepondensi :

E-mail : nidasusetyo@gmail.com (N. Sopiah)

Telp.

doi : <https://10.21771/jrtppi.2017.v8.no.2.p55-66>

2503-5010/2087-0965© 2017 Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri-BBTPPI (JRTPPPI-BBTPPI).

This is an open acces article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Accreditation number : (LIPI) 756/Akred/P2MI-LIPI/08/2016

1. PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah utama berlignoselulosa yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga banyak tandan kosong yang dibiarkan begitu saja tanpa ada proses pengolahan. TKKS yang tidak tertangani ini menyebabkan bau busuk dan menjadi tempat bersarangnya serangga lalat sehingga dianggap sebagai limbah yang dapat mencemari lingkungan dan menyebarkan bibit penyakit (Rahmalia dkk., 2015; Gaol dkk., 2013). Tandan kosong kelapa sawit merupakan 23 persen dari tandan buah segar yang mengandung bahan lignoselulosa sebesar 55-60% berat kering. Lignoselulosa merupakan komponen utama penyusun TKKS yang memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat karena mengandung gugus-gugus aktif seperti $-OH$ dan $-COOH$ (Rahmalia dkk., 2015; Hernández dkk., 2015).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material yang mengandung lignoselulosa dapat dijadikan bahan prekursor pembuatan karbon aktif (C-aktif) (Kurniawan dkk., 2014; Wang dkk., 2010) dengan cara memodifikasi gugus fungsi pada lignoselulosa maka kemampuan adsorpsi dari C-aktif akan meningkat (Vennilamani dkk., 2005; Ngah dan Hanafiah, 2008). Selain senyawa yang berlignoselulosa, bahan lain yang berpotensi dijadikan sebagai adsorben adalah silika-kitosan (Ali dkk., 2013), limbah industri seperti *fly ash* (Javadian dkk., 2015), *blast furnace slag*, *black liquor lignin*, *red mud* dan *waste slurry* (Ahmaruzzaman, 2011).

Pada penelitian sebelumnya telah dipelajari pemanfaatan C-aktif untuk adsorpsi logam dalam air limbah (Tilaki dan Shariat, 2005; Piraján dan Giraldo, 2012; Barakat, 2011; Sankararamakrishnan dkk., 2008; Ahmaruzzaman, 2011), adsorpsi senyawa organik dalam air limbah (Ali dkk., 2012), adsorpsi metilen biru (Rafatullah dkk., 2010) dan adsorpsi fenol (Irma dkk., 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aktivasi karbon aktif dari TKKS terhadap

kemampuan adsorpsi kadmium terlarut. Adapun bahan yang digunakan dalam aktivasi ini menggunakan tiga jenis aktivator yang berbeda yaitu natrium asetat, amonium klorida dan amonium sulfat. Pemilihan kadmium sebagai adsorbat yang digunakan karena kadmium mempunyai efek buruk terhadap lingkungan dan manusia, karena dapat mengakibatkan kanker payudara, gangguan pernafasan, gagal ginjal serta kematian.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit PT. Kertajaya, Malingping Banten, aluminium foil, kertas whatman, *aquadest*, larutan natrium asetat (CH_3COONa) 1N, amonium klorida (NH_4Cl) 1N, amonium sulfat ($(NH_4)_2SO_4$) 1N, larutan standar kadmium 1000 ppm. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat gelas kimia, *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)* AA-6800 F, oven, *furnace*, pipet volumetrik, timbangan analitik dan pH meter.

2.2. Prosedur

2.2.1. Karbonisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Karbonisasi TKKS dilakukan dengan menimbang sebanyak 200 g TKKS, kemudian dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 250, 300, 350 dan 400°C selama 1 jam (penentuan waktu pemanasan ditetapkan berdasarkan lamanya waktu yang diperlukan terjadinya proses karbonisasi). Sebelum masuk ke dalam *furnace*, TKKS dibungkus dengan aluminium foil untuk mengisolasi udara yang masuk. Kemudian ditentukan persen kehilangan air TKKS setelah proses karbonisasi.

2.2.2. Aktivasi Arang Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Arang TKKS yang digunakan dalam proses aktivasi kimia adalah arang yang diperoleh dari hasil karbonisasi pada suhu 300, 350 dan 400°C sedangkan karbonisasi pada suhu 250°C tidak dilanjutkan ke proses aktivasi karena

proses karbonisasi belum sempurna. Larutan aktivator kimia yang digunakan adalah natrium asetat (CH_3COONa), amonium klorida (NH_4Cl) dan amonium sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), masing-masing dengan konsentrasi 1 N.

Perbandingan campuran antara berat TKKS dan larutan aktivator adalah 1:15 (b/v). Perbandingan ini ditetapkan agar TKKS yang akan diaktivasi terendam sempurna dalam larutan aktivator. Aktivasi dilakukan dengan 2 perlakuan, yakni aktivasi dengan pemanasan pada suhu 120°C dan aktivasi tanpa pemanasan, dimana keduanya dilakukan dalam waktu 1 jam. Proses selanjutnya adalah filtrasi dan pencucian dengan *aquadest* beberapa kali untuk menghilangkan sisa dari garam. Kemudian arang tersebut dikeringkan dalam *oven* pada suhu 60°C dan ditimbang berat arang yang telah teraktivasi tersebut.

2.2.3. Adsorpsi Kadmium Terlarut dengan C-aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Sebanyak satu gram C-aktif TKKS dimasukan ke dalam *beaker* yang berisi 15 ml larutan logam kadmium $25 \mu\text{g/mL}$ dan didiamkan selama 1 jam. Kemudian disaring dan filtrat hasil penyaringannya dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)* pada panjang gelombang $228,71 \text{ nm}$. Nilai absorbansinya yang diperoleh berada dalam rentang nilai kurva kalibrasi larutan baku sehingga konsentrasi kadmium dalam larutan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan garis regresinya. Besar daya serap C-aktif terhadap logam kadmium dapat dihitung dalam bentuk persen menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Daya serap C-aktif}_{\text{TKKS}} (\%) = \frac{C_b - C_a}{C_b} \times 100\%$$

Keterangan:

C_a = konsentrasi larutan kadmium setelah diadsorpsi C-aktif TKKS ($\mu\text{g/mL}$);

C_b = konsentrasi sebelum dilakukan proses adsorpsi (blanko) ($\mu\text{g/mL}$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karbonisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif sebelum dilakukan proses karbonisasi terlebih dahulu dilakukan proses pengeringan secara alami, dengan cara diangin-anginkan di udara terbuka sampai diperoleh tandan kosong dengan kadar air kurang dari 5%. Tahap selanjutnya adalah proses karbonisasi yang dilakukan di dalam *furnace*. Suhu karbonisasi atau pengarangan sangat menentukan kualitas karbon aktif yang akan dijadikan sebagai bio adsorben. Pada proses karbonisasi ini dilakukan beberapa variasi suhu yang digunakan dalam proses pemanasannya yaitu suhu 250, 300, 350 dan 400°C .

Karbon aktif yang dihasilkan melalui proses penghilangan kadar air (dehidrasi) dari bahan baku, dilanjutkan dengan proses karbonisasi dan diakhiri dengan proses aktivasi akan diperoleh karbon aktif yang memiliki struktur yang sangat berpori dengan luas permukaan antara 600 sampai $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Karbon aktif dengan karakteristik seperti ini dapat dimanfaatkan sebagai multi-adsorben seperti adsorben untuk ion logam, anion, pewarna, fenol, deterjen, pestisida, senyawa humat, hidrokarbon terklorinasi dan senyawa kimia lainnya (Bhatnagar dan Sillanpää, 2010). Dari hasil proses karbonisasi ini didapatkan *rendemen* arang TKKS seperti pada Tabel 1.

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa waktu pemanasan sangat menentukan *rendemen* dari arang yang dihasilkan. Pada pemanasan dengan suhu 250°C , *rendemen* yang dihasilkan sebanyak 70%, naiknya suhu pemanasan pada proses karbonisasi akan menghasilkan *rendemen* yang lebih rendah. Menurunnya *rendemen* yang dihasilkan dengan naiknya suhu pemanasan dapat disebabkan karena dengan adanya kenaikan suhu maka energi pemutusan ikatan antar molekul dalam senyawa lignoselulosa akan semakin besar, dan dengan adanya energi tersebut maka akan terbentuk senyawa-senyawa *volatile* yang mudah menguap, hal ini nampak terlihat dari terbentuknya asap yang keluar dari *furnace*.

Tabel 1. *Rendemen* Arang yang Dihasilkan dari Proses Karbonisasi TKKS

Suhu (°C)	Bobot Awal TKKS (g)	Bobot Akhir TKKS (g)	Bobot Kehilangan (g)	Persentase Kehilangan (%)	<i>Rendemen</i> Arang (%)
250	200	140	60	30	70
300	200	115	85	42	58
350	200	80	120	60	40
400	200	60	140	70	30

Secara teoritis kadar selulosa dan hemiselulosa pada tandan kosong kelapa sawit adalah sebesar 36,81 dan 27,01%, dimana selulosa maupun hemiselulosa merupakan senyawa organik yang tersusun dari senyawa-senyawa hidrokarbon (C-H) dan memiliki gugus hidroksil (-OH) (Gaol dkk., 2013). Proses karbonisasi akan menyisakan unsur karbon saja.

Pada proses karbonisasi dengan suhu 250°C terjadi perubahan warna TKKS dari coklat menjadi coklat kehitaman sampai hitam. Arang yang dihasilkan pada suhu ini belum terbentuk secara merata bahkan masih ada bagian yang belum menjadi arang, sehingga dapat dikatakan bahwa pada suhu tersebut proses karbonisasi belum terjadi secara sempurna. Dengan demikian karbonisasi pada suhu 250°C tidak dilanjutkan ke proses selanjutnya. Aktivasi menggunakan 3 garam hanya dilakukan untuk arang TKKS yang dikarbonisasi pada suhu 300°C, 350°C dan 400°C.

3.2. Aktivasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Karbon aktif adalah bahan berupa karbon bebas yang masing-masing berikatan secara kovalen atau arang yang telah dibuat dan diolah secara khusus melalui proses aktivasi, sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian mempunyai daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fase cair maupun dalam fase gas. Pada proses karbonisasi masih dihasilkan karbon dengan pori-pori yang kecil dan berkerut. Proses karbonisasi akan menghasilkan produk dekomposisi bahan-bahan penyusun organik yang dapat menutupi pori-pori sampel sehingga luas permukaan spesifik relatif rendah (Rahmalia dkk.,

2015). Dengan ini, maka perlu adanya suatu bahan pengaktivasi untuk memperbesar luas permukaan karbon aktif.

Proses aktivasi mampu mengembangkan struktur pori dengan cara membuka pori yang tertutup tar maupun karbon amorf dan juga membentuk pori baru oleh adanya dekomposisi thermal, sehingga secara tidak langsung berpengaruh pada berat jenis yang dihasilkan. Luas permukaan ini menunjukkan berkembangnya struktur pori dari karbon aktif sehingga menghasilkan berat jenis yang terkecil.

Pada umumnya karbon aktif digunakan sebagai adsorben mempunyai luas permukaan berkisar antara 300-3500 m²/gram dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan arang aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorbsinya selektif, tergantung besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif. Kemampuan adsorpsi C-aktif ditentukan oleh jenis bahan kimia yang digunakan. Adapun bahan-bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator adalah hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl₂, asam-asam anorganik seperti H₂SO₄ dan H₃PO₄, dan uap air pada suhu tinggi (Kurniawan dkk., 2014).

Pada penelitian ini digunakan tiga macam zat pengaktivasi, yaitu natrium asetat (CH₃COONa), amonium klorida (NH₄Cl), amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) dengan konsentrasi masing-masing 1 N. Penggunaan 3

jenis bahan pengaktivasi ini didasari adanya pasangan elektron bebas yang dimiliki masing-masing garam, sehingga dengan terikatnya senyawa kimia tersebut pada C-aktif, maka akan mampu meningkatkan kemampuannya dalam mengadsorpsi logam. Arang TKKS yang diaktivasi lebih lanjut oleh ketiga garam tersebut berasal dari hasil karbonisasi pada suhu 300, 350 dan 400°C karena hanya pada hasil arang ketiga suhu inilah yang menghasilkan arang yang merata dari seluruh sampel TKKS.

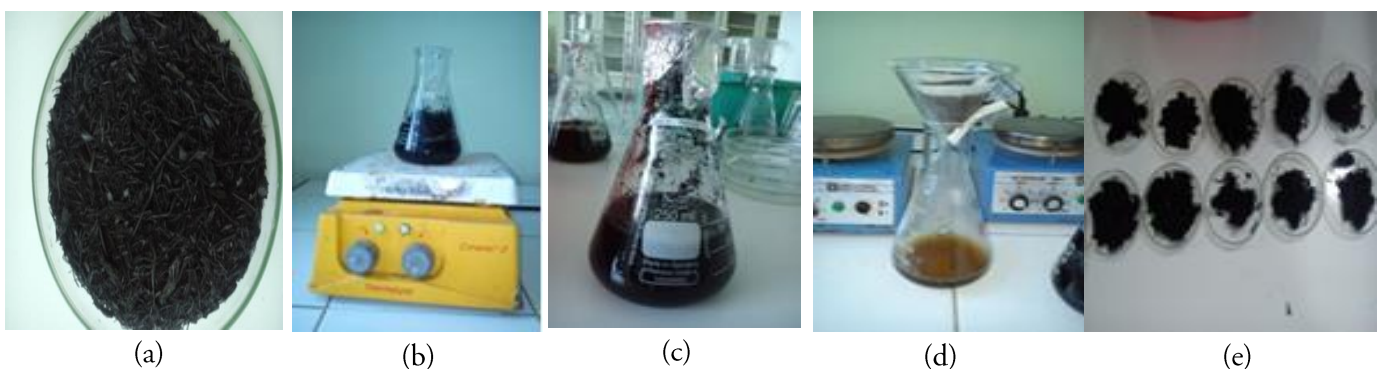
Proses aktivasi dilakukan dengan melakukan perendaman/aktivasi karbon aktif hasil karbonisasi ke dalam bahan pengaktivasi. Aktivasi ini dilangsungkan dalam 2 cara yang berbeda, yakni dengan menggunakan pemanasan pada suhu 120°C dan tanpa pemanasan dengan disertai proses pengadukan selama 1 jam pada kedua perlakuan tersebut. Proses selanjutnya adalah dilakukan penyaringan dan pencucian dengan *aquadest* beberapa kali untuk menghilangkan sisa garam bahan pengaktivasi pada C-aktif dan dilanjutkan dengan pengeringan dengan oven pada suhu 60°C. Berikut gambar 1 menunjukkan proses mulai dari karbonisasi sampai diperoleh C-aktif TKKS.

Aktivasi menggunakan larutan NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan CH_3COONa memungkinkan garam tersebut untuk melakukan penetrasi ke dalam sampel dan secara efektif mampu menghilangkan produk dekomposisi yang dihasilkan selama proses karbonisasi. Proses aktivasi yang dibantu oleh pemanasan akan mempercepat proses

penetrasi dan akan membuka pori-pori karbon yang tertutup sehingga dihasilkan luas permukaan yang relatif lebih tinggi (C-aktif) dibandingkan aktivasi yang dilakukan tanpa pemanasan.

Pemanasan dilakukan pada suhu 120°C dan dalam waktu 1 jam. Keadaan ini cukup efisien untuk menghasilkan karbon aktif yang mempunyai daya serap yang bagus terhadap logam berat. Pada proses aktivasi ini karbon bereaksi dengan bahan pengaktivasi (NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ataupun CH_3COONa) sehingga akan membentuk pori-pori baru serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. Struktur pori ini berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori C-aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsinya dapat bertambah. Selain struktur pori, adanya gugus fungsi yang terdapat pada permukaan karbon aktif sangat mempengaruhi daya adsorpsi suatu karbon aktif.

Proses selanjutnya yakni pencucian karbon aktif TKKS dengan *aquadest* beberapa kali agar sisa-sisa garam yang masih menempel di permukaan karbon aktif dapat dihilangkan. Pencucian dilakukan hingga pH karbon aktif TKKS menjadi netral. Karbon aktif TKKS yang telah netral dikeringkan dalam oven pada temperatur 60°C selama 24 jam untuk menguapkan airnya. Setelah pengeringan di oven didapatkan karbon aktif seperti pada Tabel 2.



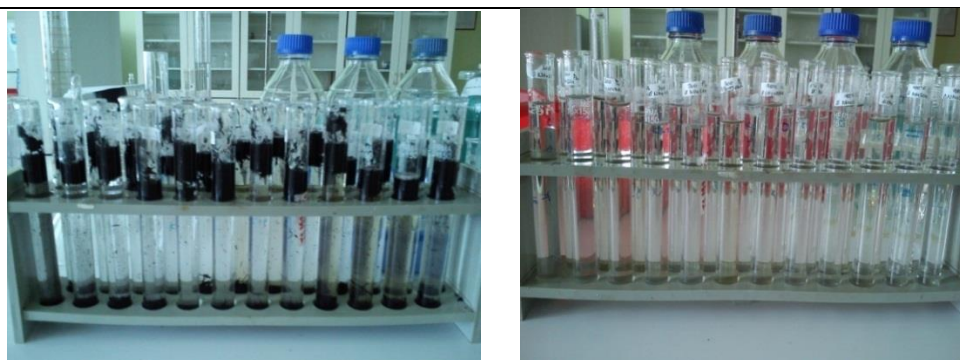
Gambar 1. Proses Pembuatan Arang Aktif Termodifikasi, (a) arang tandan kosong kelapa sawit (TKKS); (b) aktivasi arang TKKS dengan pemanasan 120°C; (c) aktivasi arang TKKS tanpa pemanasan (suhu ruang); (d) penyaringan TKKS yang telah diaktivasi; (e) C-aktif TKKS hasil modifikasi menggunakan CH_3COONa , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Tabel 2. Data Pengamatan Bobot C-Aktif TKKS Setelah Proses Aktivasi

Perlakuan Aktivasi	Suhu Karbonisasi (°C)	Bobot Sebelum Aktivasi (g)	Bobot C-Aktif Setelah Aktivasi (g)		
			NH ₄ Cl 1N	NH ₄ SO ₄ 1N	CH ₃ COONa 1N
Dengan Pemanasan	300	10	8,6	9,7	8,0
	350	10	9,1	11,6	7,8
	400	10	10,1	10,9	7,6
Tanpa Pemanasan	300	10	9,0	8,9	8,4
	350	10	9,2	9,4	7,2
	400	10	9,3	9,8	7,4

Tabel 3. Adsorpsi Kadmium (25 mg/L) oleh C-Aktif dari TKKS

Preparasi Karbon Aktif dari TKKS			Persentase Daya Serap Adsorpsi TKKS (%)
Perlakuan Aktivasi	Suhu Karbonisasi (°C)	Aktivator Kimia (1 N)	
Dengan Pemanasan	300	NH ₄ Cl	7,64
		NH ₄ SO ₄	24,00
		CH ₃ COONa	63,90
	350	NH ₄ Cl	-
		NH ₄ SO ₄	-
		CH ₃ COONa	100
	400	NH ₄ Cl	-
		NH ₄ SO ₄	-
		CH ₃ COONa	45,86
Tanpa Pemanasan	300	NH ₄ Cl	12,96
		NH ₄ SO ₄	20,75
		CH ₃ COONa	96,51
	350	NH ₄ Cl	31,07
		NH ₄ SO ₄	2,34
		CH ₃ COONa	99,31
	400	NH ₄ Cl	-
		NH ₄ SO ₄	-
		CH ₃ COONa	43,34



Gambar 2. Adsorpsi C-Aktif TKKS Terhadap Kadmium

Tabel 4. Hasil Analisis Statistika Anova: *Two-factor Without Replication*

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Dengan Pemanasan	3	95.54	31.84667	837.4745
	3	100	33.33333	3333.333
	3	45.86	15.28667	701.0465
Tanpa Pemanasan	3	130.22	43.40667	2130.144
	3	132.72	44.24	2480.882
	3	43.34	14.44667	626.1185
Metode				
CH ₃ COONa	6	448.92	74.82	730.6334
NH ₄ Cl	6	51.67	8.611667	149.3423
NH ₂ SO ₄	6	47.09	7.848333	128.492

Dari data yang disajikan pada tabel 2, aktivasi dengan NH₄Cl baik dengan perlakuan pemanasan ataupun tidak, bobot C-aktif setelah diaktivasi mengalami kenaikan seiring dengan naiknya suhu karbonisasi, begitu juga pada arang TKKS yang diaktivasi dengan (NH₄)₂SO₄ baik tanpa maupun dengan pemanasan mengalami kenaikan bobot C-aktifnya. Pemanasan karbonisasi pada suhu 400°C akan menghasilkan arang dengan pori-pori yang lebih besar. Kadar air (pengotor) yang terdapat pada permukaan arang TKKS dan senyawa-senyawa *volatile* yang masih ada dapat hilang selama proses pemanasan. Selain itu, proses aktivasi ini juga menghilangkan beberapa atom karbon menjadi gas CO₂ yang ikut keluar. Dengan terbukanya pori-pori tersebut memungkinkan terjadinya reaksi antara aktivator dan arang TKKS ini, sehingga menyebabkan bobot dari C-aktif yang dihasilkan oleh proses karbonisasi pada suhu lebih tinggi akan lebih besar. Namun C-aktif yang diaktivasi dengan CH₃COONa justru banyak mengalami penurunan bobot setelah diaktivasi. Kemungkinan besar ini disebabkan teroksidasinya senyawa karbon pada reaksi tersebut membentuk CO₂.

3.3 Proses Adsorpsi

Daya adsorpsi karbon aktif disebabkan karena karbon mempunyai pori-pori dalam jumlah besar dan

adsorpsi akan terjadi karena adanya perbedaan energi potensial antara permukaan karbon dan zat yang diserap. Karbon merupakan bahan padat berpori dan umumnya diperoleh dari hasil pembakaran kayu atau bahan yang mengandung unsur karbon. Umumnya karbon mempunyai daya adsorpsi yang rendah terhadap zat warna dan daya adsorpsi tersebut dapat diperbesar dengan cara mengaktifkan karbon menggunakan uap atau bahan kimia (Kurniawan dkk., 2014).

Aktivasi kimia pada C-aktif dari TKKS ini dilakukan secara kimia menggunakan garam NH₄Cl, (NH₄)₂SO₄ dan CH₃COONa. Dalam menentukan jenis garam yang paling efektif yang digunakan sebagai bahan pengaktivasi, dilakukan pengujian proses adsorpsi terhadap larutan kadmium 25 ppm, dengan rasio C-aktif terhadap volume larutan 1:15 (b/v). C-aktif dari TKKS dari setiap jenis suhu karbonisasi diuji kemampuan daya adsorpsinya. Masing-masing adsorpsi dilakukan selama 1 jam. Pengukuran daya adsorpsi dari C-aktif TKKS dilakukan menggunakan alat AAS dengan cara mengukur kadar awal sebelum adsorpsi dan kadar akhir setelah adsorpsi.

Hasil dari adsorpsi kadmium oleh C-aktif dari tandan kosong kelapa sawit disajikan dalam Tabel 3. Pada adsorpsi kadmium oleh C-aktif dari TKKS yang diaktivasi oleh NH₄Cl maupun NH₄SO₄, baik dengan perlakuan

pemanasan ataupun tidak, kemampuan daya adsorpsinya terhadap kadmium masing-masing kurang dari 32%, pada ke-3 suhu karbonisasi. Sedangkan C-aktif dari TKKS yang diaktivasi menggunakan CH_3COONa memberikan hasil yang cukup signifikan dalam menjerat kadmium dibandingkan dengan kedua garam yang lainnya. C-aktif dari TKKS diaktivasi CH_3COONa dapat mengadsorpsi kadmium hingga mendekati 100%. Pada TKKS yang dikarbonisasi pada suhu 350°C baik dengan bantuan pemanasan ataupun tanpa pemanasan, mampu mengadsorpsi masing-masing sebesar 100% dan 99,31%. Sedangkan C-aktif TKKS yang dihasilkan dari proses karbonisasi pada suhu 300°C yang diaktivasi tanpa pemanasan mempunyai kemampuan adsorpsi sebesar 96,51%.

3.4 Uji Statistika

Berdasarkan hasil uji statistika *ANOVA* untuk kelompok pengaruh faktor perlakuan pemanasan dan tanpa pemanasan pada aktivasi kimia, dengan tingkat signifikansi (α) 5%, diperoleh hasil distribusi F_{tabel} dengan $df_1 = 5$ dan $df_2 = 10$, didapat nilai F_{tabel} sebesar 3,326; dan F_{hitung} diperoleh nilai sebesar 2,067; dengan nilai probabilitas 0,154. Karena nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} ($2,067 < 3,326$) dengan probabilitas $> 0,05$, maka hipotesis (H_0) diterima, artinya pengaruh perlakuan pemanasan pada proses pembuatan C-aktif tandan kosong kelapa sawit tidak berbeda nyata baik aktivasi menggunakan pemanasan maupun tidak terhadap C-aktif tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan. Sedangkan pengaruh perlakuan bahan aktivasi kimia yang digunakan dalam proses pembuatan C-aktif tandan kosong kelapa

sawit sangat berpengaruh nyata, hal ini terlihat dari hasil uji statistika, F_{tabel} dengan $df_1 = 2$ dan $df_2 = 10$ didapat nilai F_{tabel} sebesar 4,103; dan F_{hitung} diperoleh nilai sebesar 35,77; dengan nilai probabilitas $2,77 \times 10^{-5}$. Karena nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} ($35,77 > 4,103$) dengan probabilitas $< 0,05$, maka hipotesis (H_0) ditolak, artinya pengaruh garam yang digunakan dalam aktivasi arang tandan kosong kelapa sawit sangat berbeda nyata terhadap C-aktif tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Adsorpsi kadmium oleh C-aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dikarbonisasi pada suhu 350°C dan diaktivasi menggunakan natrium asetat 1 N, mempunyai efektifitas adsorpsi paling besar dibandingkan dengan C-aktif dari TKKS yang dihasilkan dari proses karbonisasi pada suhu 300°C maupun 400°C . Uji statistika *ANOVA*, menunjukkan bahwa pengaruh pemanasan dalam pembuatan C-aktif tidak berbeda nyata terhadap kemampuan adsorpsi dari C-aktif dalam mengadsorpsi kadmium, sedangkan penggunaan garam dalam mengaktivasi arang tandan kosong kelapa sawit sangat berpengaruh nyata terhadap C-aktif yang dihasilkan.

C-aktif dengan karbonisasi pada suhu 350°C dengan aktivasi natrium asetat pada suhu 120°C dapat mengadsorpsi sampai 100%, sedangkan aktivasi tanpa pemanasan dapat mengadsorpsi sebesar 99,31% untuk C-aktif dengan karbonisasi pada suhu 300°C dan aktivasi tanpa pemanasan dapat mengadsorpsi sebesar 96,51%.

Tabel 5. *Analysis of Variance (ANOVA)*

Source of Variation	SS	df	MS	F_{hitung}	P-value	F_{Tabel}
Rows	2563.0011	5	512.6002	2.067489	0.153665	3.325835
Columns	17738.66	2	8869.33	35.77299	2.77E-05	4.102821
Error	2479.3373	10	247.9337			
Total	22780.999	17				

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Teknologi Pengolahan Air dan Limbah (BTPAL) - BPPT yang telah mendukung kegiatan penelitian remediasi lingkungan, Kepala Laboratorium Analitik - BTPAL yang telah memfasilitasi sarana dan prasarana penggunaan alat *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)* AA-6800 F dan rekan-rekan BTPAL atas dukungannya selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmaruzzaman M., 2011, Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater Laden with heavy metals, *Advances in Colloid and Interface Science* 166(1–2):36–59.
- Ali I., Asim M., Khan TA., 2012, Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater, *Journal of Environmental Management* 113:170–183.
- Ali M., Mulyasuryani A., Sabarudin A., 2013, Adsorption of cadmium by silica chitosan, *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research* 2(2):62–66.
- Barakat MA., 2011, New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry* 4(4):361–377.
- Beltrán-Hernández RI., Vázquez-Rodríguez GA., Juárez-Santillán LF., Martínez-Ugalde I., Coronel-Olivares C., Lucho-Constantino CA., 2015, Cadmium removal from aqueous systems using *Opuntia Albicarpa* L. Scheinvar as biosorbent, *BioMed Research International* 2015:1–6.
- Bhatnagar A., Sillanpää M., 2010, Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment-A review, *Chemical Engineering Journal* 157(2–3):277–296.
- Irma KN., Wahyuni N., Zaharah TA., 2015, Adsorpsi fenol menggunakan adsorben karbon aktif dengan metode kolom, *JKK* 4(1):17–21.
- Javadian H., Ghorbani F., Tayebi H., Hosseini Asl S., 2015, Study of the adsorption of Cd (II) from aqueous solution using zeolite-based geopolymer, synthesized from coal fly ash; kinetic, isotherm and thermodynamic studies, *Arabian Journal of Chemistry* 8:837–849.
- Kurniawan R, Mustofa Lutfi WAN., 2014, Karakterisasi luas permukaan BET (Braunanear, Emmelt dan Teller) karbon aktif dari tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit dengan aktivasi asam fosfat, *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* 2(1):15–20.
- Lumban Gaol MR., Roganda S., Yanthi S., Indra S., Renita M., 2013, Pembuatan selulosa asetat dari α -selulosa tandan kosong kelapa sawit, *Jurnal Teknik Kimia* 2(3), 33–39.
- Moreno-Piraján JC., Giraldo L., 2012, Heavy metal ions adsorption from wastewater using activated carbon from orange peel, *E-Journal of Chemistry* 9(2):926–937.
- Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R., Ahmad A., 2010, Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, *Journal of Hazardous Materials* 177(1–3):70–80.
- Rahmalia W., Yulistira F., Ningrum J., Qurbaniah M., Ismadi M., 2015, Pemanfaatan potensi tandan kosong kelapa sawit (*Elais guineensis* Jacq) sebagai bahan dasar C-aktif untuk adsorpsi logam perak dalam larutan, *PKMP* 3(13):1–10.
- Sankaramakrishnan N., Kumar P., Singh Chauhan V., 2008, Modeling fixed bed column for cadmium removal from electroplating wastewater, *Separation and Purification Technology* 63(1):213–219.
- Tilaki RAD., Shariat M., 2005, A study on the removal of cadmium from water environment by biological activated carbon, *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences* 15(45):22–30.
- Vennilamani N., Kadirvelu K., Sameena Y., Pattabhi S., 2005, Utilization of activated carbon prepared from industrial solid waste for the removal of chromium(VI) ions from synthetic solution and industrial effluent, *Adsorption Science & Technology* 23(2):145–160.
- Wan Ngah WS., Hanafiah MAKM., 2008, Removal of

heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, *Bioresource Technology* 99(10):3935–3948.

Wang FY., Wang H., Ma JW., 2010, Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent--bamboo charcoal, *Journal of Hazardous Materials* 177(1–3):300–306.