

PENYIAPAN ARANG AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT SEBAGAI ADSORBEN ASAM LEMAK BEBAS DARI CPO (*CRUDE PALM OIL*)

MUHDARINA^{1*}, NURHAYATI¹, MHD. REZA PAHLEPI¹, ZETRIA PUJIANA¹, DAN SYAIFUL BAHRI²

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya KM 12,5 Panam, Pekanbaru

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya KM 12,5 Panam, Pekanbaru

*alamat email korespondensi: muhdarina.m@lecturer.unri.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Riwayat Naskah : Riwayat Naskah: Diterima pada 24 November 2019 Diterima setelah direvisi pada 23 Juni 2020 Diterbitkan pada 30 Juni 2020	Limbah pelepah sawit (LPS) dihasilkan secara periodik dari perkebunan kelapa sawit. Keberadaan LPS ini berpeluang digunakan sebagai bahan baku adsorben. LPS telah diubah menjadi arang aktif pelepah sawit (APS) melalui langkah karbonisasi pada temperatur 600°C selama waktu bervariasi (30, 60, dan 120 menit). APS yang diperoleh dilakukan analisis kadar air, abu dan zat menguap. APS juga dikarakterisasi dengan FTIR untuk menentukan gugus fungsi, keasaman permukaan dengan tirasi Bhoem serta SEM untuk mendeteksi morfologi permukaan. Kemampuan APS untuk menjerap asam lemak bebas (ALB) dari CPO dipelajari pada waktu adsorpsi dan dosis adsorben yang bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua APS memiliki kadar air, abu dan zat menguap yang sangat rendah, sehingga memenuhi SNI 06-3730-1995. Gugus fungsi yang dimiliki APS di antaranya C-O, O-H, C-O-C, C=O, C-C (aromatik) dan C-H. APS mengandung 14 mmol ^g ⁻¹ total asam dengan mayoritas asam fenolat sebanyak 12,3 mmol ^g ⁻¹ , sisanya sebagai asam karboksilat dan laktonat. Morfologi permukaan arang aktif membentuk rongga-rongga dengan ukuran yang semakin besar dan tersusun rapat seiring dengan lamanya waktu karbonisasi. Hasil uji adsorpsi ALB yang paling baik ditunjukkan oleh APS60 yang mampu menjerap hingga 77,8% ALB pada waktu adsorpsi 60 menit dan 1 g dosis adsorben. Dengan demikian, LPS layak dikembangkan menjadi arang aktif dan digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi kadar asam lemak bebas dalam CPO.
Kata Kunci: pelepah sawit; arang aktif; karbonisasi; adsorben; asam lemak bebas; permukaan	
Keywords: palm frond; active charcoal; carbonization; adsorbent; free fatty acid; surface.	<i>Palm frond waste (LPS) produced periodically from oil palm plantations. This LPS has potential to be used as a raw material for synthesizing of adsorbent material, such as active charcoal. The conversion process LPS into palm frond active charcoal (APS) using carbonization method at 600°C under time various of 30, 60 and 120 minutes, respectively. The APS obtained was analyzed for content of water, ash and evaporating substance. Furthermore, APS was characterized by FTIR to determine the functional groups, acidity using Bhoem method and SEM to investigate surface morphology, respectively. The APS was examined its ability on adsorption of free fatty acid (ALB) from CPO under variation of adsorption time and adsorbent dosages. Based on analysis has been done, LPS contained very low content of water, ash and vaporizing substance. These results showed that all APSs fulfilled SNI 06-3730-1995. The functional groups of APS include of C-O, O-H, C-O-C, C=O, C-C and C-H. It was also found total acidity of APS 14 mmol^g⁻¹, with the majority of phenolic acid of 12.3 mmol^g⁻¹, the rest given by carboxylic and lactonic acid. And then, refers to SEM measurement, it was proved morphology of APS forms cavities are larger and denser proportionally with the length of carbonization time. The best of adsorption result showed by APS60 having adsorption of ALB up to 77.8% at 60 minutes and 1 g dose of adsorbent. Hence, LPS is feasible to develop into active charcoal and used as an adsorbent to reduce levels of free fatty acids from CPO.</i>

PENDAHULUAN

Propinsi Riau merupakan wilayah perkebunan kelapa sawit terbesar di Indonesia. Menurut data statistik kelapa sawit Indonesia 2017 [1] menyebutkan areal perkebunan kelapa sawit Provinsi Riau hingga tahun 2017 diperkirakan seluas 2,26 juta ha. Rata-rata setiap ha lahan sawit

ditanami dengan ± 130 pohon sawit dan menghasilkan ± 167 m³ biomassa per ha, berupa pelepah dan daun yang dipangkas selama masa peremajaan dan bersamaan dengan pengambilan tandan buah segar saat panen dari perkebunan [2]. Pelepah kelapa sawit mengandung komponen lignoselulosa, yaitu selulosa 25,08%, hemiselulosa 24,06% dan lignin 18,46% [3, 4]. Potensi biomassa

yang sangat besar ini dan dengan didukung oleh komponen lignoselulosanya, maka material ini dapat dikembangkan menjadi material lain yang lebih berguna, diantaranya arang aktif yang dapat diaplikasikan sebagai adsorben. Pelepah kelapa sawit merupakan adsorben yang dapat menarik 54% Cu dari air limbah. Disamping kapasitas adsorpsinya rendah, ternyata pelepah kelapa sawit yang tidak dimodifikasi ini menimbulkan masalah lain yakni terjadi peningkatan kadar COD, BOD, dan TOC di dalam air limbah pasca adsorpsi [4]. Biochar pelepah kelapa sawit mampu mengadsorpsi kation $Pb > Cu > Zn > Ni$ [5]. Karbon aktif pelepah kelapa sawit yang diperoleh setelah melewati proses karbonisasi dan aktivasi kimia dengan KOH merupakan adsorben yang potensial untuk melepaskan asam 2,4-diklorofenoxyacetat dari larutan berair yang memerlukan waktu kesetimbangan adsorpsi kurang dari 5 jam [6].

Sejalan dengan luasnya lahan perkebunan sawit, Propinsi Riau juga merupakan produsen minyak kelapa sawit (CPO) terbesar di Indonesia. Pada tahun 2017 produksi CPO Riau sekitar 22,4% dari total produksi Indonesia, atau sekitar 7,7 juta ton [1]. Penggunaan CPO selain untuk produksi minyak goreng, juga dapat dikonversi menjadi biodiesel. CPO mengandung komponen terbesar ($\pm 95\%$) trigliserida dan asam lemak bebas (ALB) $\pm 4\%$ [7]. Meskipun jumlah ALB kecil, senyawa ini dapat menjadi tengik dan toksik jika masih tersisa masuk ke dalam minyak goreng yang kita konsumsi. Selain itu keberadaan ALB berlebih ($>2\%$) dalam CPO yang akan digunakan sebagai bahan baku penghasil biodiesel juga dapat mengganggu proses transesterifikasi, karena ada reaksi samping lain, yakni saponikasi atau reaksi penyabunan.

Upaya menyingkahkan ALB melalui proses adsorpsi telah dilaporkan oleh banyak peneliti. Efisiensi adsorpsi ALB sebesar 69,5% ditunjukkan oleh adsorben KOH/pati 0,25:1 (rasio molar). Hasil yang hampir sama juga ditunjukkan oleh adsorben magnesol, magnesium silikat komersil. Kedua adsorben ini memerlukan berat 3,5 g untuk mendapatkan adsorpsi yang efisien [8]. Lempung Maredan teraktivasi 0,2M asam sulfat (H_2SO_4 /lempung) mampu mereduksi 74% ALB dari CPO. Proses adsorpsi berlangsung pada kondisi temperatur $60^\circ C$, dosis adsorben 1,5 g dan waktu 75 menit [9]. Sebanyak 91,94% ALB dari CPO teradsorpsi pada adsorben KOH/kulit buah karet, setelah melewati 1% dosis adsorben dan waktu adsorpsi selama 30 menit [10]. Ampas tebu yang diaktifkan dengan 0,1N $KMnO_4$ dan memiliki ukuran partikel 236 mikron dapat menyingkahkan 96,6% ALB dari minyak jelantah,

namun menghabiskan waktu perendaman selama 3 hari [11].

Berdasarkan kepada penjelasan di atas, maka penelitian ini fokus pada topik “dari sawit untuk sawit”, yakni memanfaatkan pelepah sawit dari limbah perkebunan sawit sebagai sumber adsorben. Adsorben yang diperoleh digunakan untuk melepaskan asam lemak bebas dari CPO, suatu produk dari perkebunan dan industri kelapa sawit. Arang aktif yang diperoleh dikarakterisasi untuk mengkaji sifat yang dimilikinya. Kemampuan adsorpsi arang aktif terhadap ALB dipelajari melalui parameter waktu adsorpsi dan dosis adsorben.

EKSPERIMEN

Material

Bahan baku adsorben berupa limbah pelepah sawit, diperoleh dari perkebunan sawit masyarakat di Jl. Raya Pasir Putih KM 10, Kabupaten Siak, Riau. CPO dibeli dari PT.Wilmar Nabati Group Jl.Pulau Sumatera Kawasan Industri Dumai Riau. Reagensia diantaranya KOH (Merck), NaOH (Fisher), HCl (Sigma Aldrich), $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ (Sigma Aldrich), $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (Sigma Aldrich), Na_2CO_3 (Sigma Aldrich), $NaHCO_3$ (Fisher), *Potassium hydrogen phthalate*, PHP (Sigma Aldrich), Indikator *phenolphthalein* (Merck), 2-propanol (Merck) dan aqua DM.

Instrumentasi

Peralatan analisis yang digunakan di antaranya Fourier Transform Infra Red (FTIR) Spectrophotometer Shimadzu IR Prestige 21, Scanning Electron Microscope (SEM) 6510 LA.

Prosedur

Persiapan Arang Aktif Pelepah Sawit (APS)

Pelepah sawit dipotong-potong berukuran ± 2 cm dan dikeringkan di bawah sinar matahari [5]. Sampel dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu $600^\circ C$ selama 30 menit (APS30), 60 menit (APS60) dan 120 menit (APS120). APS digerus dan diayak sehingga didapatkan sampel dengan ukuran $80 \leq x \leq 120$ mesh (x = ukuran partikel). Sampel dikeringkan di dalam oven pada temperatur $100^\circ C$ selama 2 jam, selanjutnya ditempatkan di dalam desikator.

Karakterisasi

Kadar air, abu dan zat menguap di dalam APS ditentukan secara gravimetric dengan mengacu kepada SNI 06-3730-1995. Gugus fungsi permukaan dianalisis menggunakan instrumen FTIR metoda pelet KBr, morfologi ditentukan dengan SEM, sedangkan situs asam permukaan ditentukan dengan metoda Bhoem.

Penentuan situs-situs asam dilaksanakan dengan merendam selama 24 jam setiap 1 g APS ke dalam masing-masing 50 mL larutan NaOH 0,5 N, Na₂CO₃ 0,5 N dan NaHCO₃ 0,5 N, kemudian disaring. Sisa basa ditentukan secara titrasi dengan HCl 0,5 N (yang telah distandarisasi dengan Na₂B₄O₇) terhadap 5 mL filtrat hasil saringan [12]. Penggunaan ketiga basa di atas masing-masing: NaHCO₃ (pKa = 6,37) untuk menetralkan karboksilat, Na₂CO₃ (pKa = 10,27) untuk menetralkan gugus karboksilat dan laktonat, serta NaOH (pKa = 15,74) untuk menetralkan 3 gugus yaitu karboksilat, fenolat, dan laktonat [13, 14].

Pengurangan Asam Lemak Bebas (ALB) di Dalam CPO oleh APS

Sebelum proses adsorpsi sampel CPO disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring untuk memisahkan bagian padat dan cair. Kadar ALB di dalam CPO sebelum dan sesudah adsorpsi ditentukan dengan mengacu SNI 01-2901-2006. Kepada 1 g CPO ditambahkan 2-propanol panas (60°C), dititrasi dengan 0,1 M KOH dengan bantuan indikator fenoltalein.

Adsorben APS digunakan untuk menurunkan kadar ALB di dalam CPO. Proses adsorpsi dipelajari pada variasi waktu kontak adsorpsi (15; 30; 60; 90; 120) menit dan dosis adsorben (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1) g. Pemilihan waktu dan dosis masing-masing mengacu kepada [10] dan [8 dan 9]. Langkah adsorpsi dilakukan dengan mengontakkan 10 g sampel CPO dan sejumlah berat APS sambil diaduk pada kecepatan 300 rpm dengan bantuan *hot plate* pada temperatur 60°C selama waktu kontak dan dosis adsorben bervariasi (sudah disebutkan di atas). Campuran didiamkan selama 12 jam untuk memisahkan adsorben dengan filtrat. Filtrat dititrasi mengacu SNI di atas. Penentuan kadar ALB tersisa dihitung dengan persamaan:

$$\% \text{ ALB} = \frac{25,6 \times N \times V}{W} \quad (1)$$

dengan :

V (mL) = volume larutan titer yang digunakan

N = Normalitas larutan titer

W (g) = Berat contoh uji

25,6 = Konstanta untuk menghitung kadar asam lemak bebas (sebagai asam palmitat)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi APS sebagai Produksi dari Proses Kalsinasi

Kadar air, abu dan zat menguap dari APS produk karbonisasi pada temperatur 600°C dengan waktu pemanasan 30, 60, dan 120 menit disajikan di dalam **Tabel 1**. Melihat kepada data di Tabel ini, kadar air di dalam APS semakin berkurang seiring peningkatan waktu karbonisasi, artinya dengan peningkatan waktu karbonisasi proses dehidrasi berlangsung lebih baik. Mengenai kadar abu, semua arang APS tidak menunjukkan pengurangan yang berarti dengan perpanjangan waktu kalsinasi. Kadar abu di dalam semua APS rendah dapat dimaknai sebagai rendahnya kadar oksida logam di dalam APS tersebut, sehingga dengan demikian diharapkan APS dapat berfungsi maksimal sebagai adsorben.

Tabel 1. Kadar air, abu, dan zat menguap pada APS.

Jenis arang	Kadar, %		
	Air	Abu	Zat menguap
APS30	0,33	2,07	5,66
APS60	0,25	1,96	6,66
APS120	0,23	2,10	6,11
SNI 06-3730-1995	maks. 15	maks. 10	maks. 25

Zat menguap yang hilang dideteksi setelah melewati pemanasan pada 950°C/1 jam. Nampak bahwa penambahan waktu karbonisasi pada LPS menyebabkan kehilangan zat menguap bertambah. Ini berarti rentang waktu karbonisasi berperan menyisihkan senyawa karbon yang mudah menguap. Tetapi kehilangannya teramat maksimum pada lama karbonisasi 60 menit, selebihnya tidak terjadi kehilangan yang berarti, karena diperkirakan hampir semua zat sudah habis menguap. Hal yang berbeda didapatkan oleh [15], bahwa kadar zat menguap arang kayu kelapa tidak dipengaruhi oleh lamanya waktu karbonisasi. Secara keseluruhan ketiga parameter sifat APS tadi sudah memenuhi persyaratan teknis suatu arang aktif, menurut SNI 06-3730-1995.

Tabel 2. Identifikasi gugus fungsi permukaan APS

Gugus fungsi	Bilangan gelombang, cm ⁻¹				
	APS 30	APS 60	APS 120	Rujukan	
				[5]	[6]
O-H (alkohol, fenol)	3047	3047	3051	3341; 2898	3417
Vibrasi tekuk C-H	2360	2360	-	-	-
Vibrasi skeleton C-C (aroma-tik)	1680	1699	1584	1598	-
Vibrasi C=O	1586	1586	1584	-	-
Vibrasi C-O (asam karboksilat)	1289	1288	1395	1240	-
C-O-C	1192	1181	-	1036; 1242	1040

Menurut hasil identifikasi secara FTIR (spektra tidak ditampilkan) dibuktikan bahwa semua APS ini mengandung gugus-gugus fungsi seperti yang disajikan pada **Tabel 2**. Adanya gugus fungsi C-C aromatik menunjukkan pembentukan struktur heksagonal pada arang aktif [16]. Menurut [5] karbonisasi bahan baku LPS pada 320°C tidak mendegradasi senyawa-senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin secara sempurna. Dengan demikian karbonisasi pada temperatur yang lebih tinggi (600°C, penelitian ini) menyebabkan senyawa-senyawa tersebut dapat terdegradasi sempurna. Ini ditandai dengan kemunculan gugus fungsi C=O (karbonil), O-H (alkohol, fenol) dan C-O (karboksilat) pada APS. Terkait dengan perbedaan waktu karbonisasi terhadap LPS, didapatkan spektrum yang hampir sama pada kedua APS30 dan APS60, tetapi terjadi pergeseran bilangan gelombang atau hilangnya vibrasi pada APS120. Vibrasi C-O-C berasal dari senyawa ester atau ester dari bahan baku yang hilang dengan waktu pemanasan yang lebih lama [5].

Keasaman permukaan APS ditunjukkan pada **Tabel 3**.

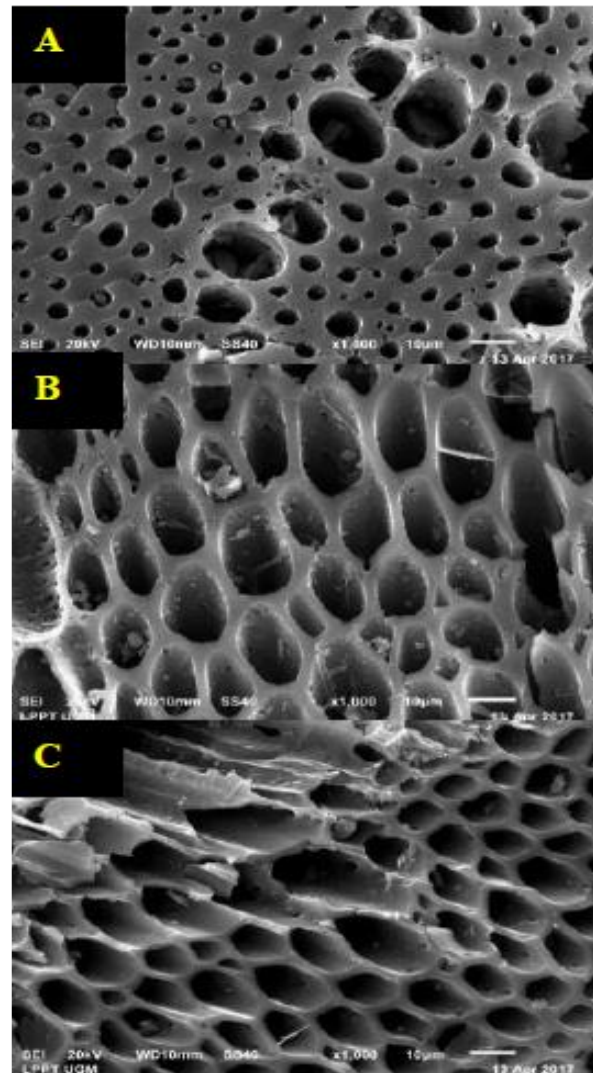
Tabel 3. Jenis dan jumlah situs asam pada APS.

Jenis arang	mmol g ⁻¹			
	Karboksilat	Fenolat	Laktonat	Total asam
APS30	0,867	12,336	0,798	14,001
APS60	1,020	12,001	0,980	14,001
APS120	5,306	7,496	1,044	13,846

Penambahan waktu karbonisasi menunjukkan pertambahan situs asam karboksilat dan laktonat, sebaliknya mengurangi jumlah asam fenolat. Pertambahan kedua asam, karboksilat dan laktonat didukung oleh pergeseran vibrasi C-O ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi pada APS120. Penambahan kedua asam ini dapat menyumbang penambahan gugus oksigen. Secara keseluruhan, ketiga APS ini didominasi oleh asam fenolat, yang lebih memperkuat lagi bahwa APS ini

kaya dengan oksigen negatif dan polar [12, 16] yang diharapkan berperan dalam proses adsorpsi.

Morfologi permukaan arang aktif APS disajikan pada **Gambar 1**.

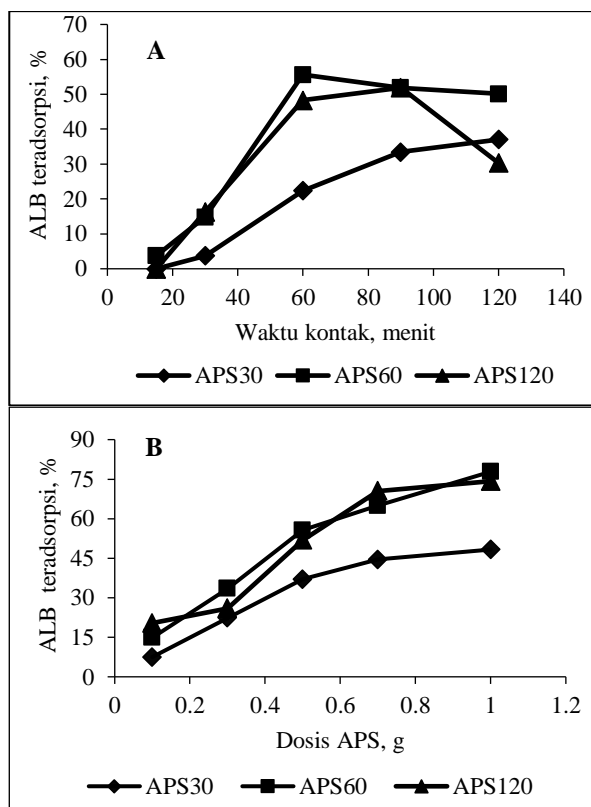
**Gambar 1.** Morfologi permukaan APS30 (A), APS60 (B) dan APS120 (C) pada pembesaran 1000x

Perpanjangan waktu karbonisasi LPS dari 30 menit ke 60 menit menunjukkan perubahan morfologi permukaan APS dari volume pori yang heterogen menuju lebih homogen. Kejadian ini diduga karena terjadi pembukaan pori yang disebabkan oleh penguapan komponen selulosa

yang terdegradasi, sehingga dihasilkan rongga yang semakin besar dengan susunan yang rapat. Fakta ini didukung oleh peningkatan zat menguap (**Tabel 1**) yang lepas dari permukaan arang aktif pada rentang waktu karbonisasi yang sama. Hal yang sama juga dilaporkan oleh [16]. Bentuk pori yang nampak pada **Gambar 1 B** dan C mirip dengan paras SEM biochar oleh [5], yang menyatakan adanya makropori (> 50 nm), sehingga diperkirakan APS memiliki pori berukuran makro.

Adsorpsi Asam Lemak Bebas (ALB) dari CPO oleh APS

Kemampuan APS dalam mengurangi jumlah ALB di dalam CPO dipelajari melalui proses adsorpsi. Jumlah ALB awal (sebelum adsorpsi) di dalam CPO dijumpai sebanyak 6,13%. Parameter yang dipelajari selama tahap adsorpsi adalah waktu adsorpsi dan dosis adsorben.



Gambar 2. ALB teradsorpsi pada setiap APS berdasarkan perbedaan waktu kontak pada 5% berat adsorben (A) dan perbedaan dosis adsorben (B) pada waktu kontak optimum A.

Pada **Gambar 2A** ditunjukkan bahwa penjerapan ALB belum terjadi pada waktu 15 menit, tetapi terus meningkat dengan penambahan waktu kontak bila menggunakan APS30, tetapi tidak sama halnya dengan 2 adsorben yang lain, APS60 dan APS120. Proses adsorpsi ALB berlangsung cepat pada awal proses, karena situs

adsorpsi di permukaan APS masih kosong sehingga dengan cepat ALB masuk dan teradsorpsi di sana. Dengan bertambahnya waktu, jumlah situs kosong berkurang, sehingga adsorpsi berjalan lambat dan pada suatu saat ketika situs adsorpsi semakin menipis maka akan terjadi tolakan antara adsorbat di permukaan adsorben dan adsorbat di dalam fasa alir [6] yang menyebabkan adsorbat kembali ke fasa alir. Pada Gambar yang sama juga dinyatakan bahwa APS60 memberi efisiensi adsorpsi ALB sedikit lebih tinggi dari pada APS120, pada waktu 30-90 menit. Ini dapat dijelaskan dari keberadaan gugus asam fenolat yang ada pada kedua adsorben tersebut yang mendukung terjadinya peristiwa adsorpsi.

Gambar 2B menunjukkan pengaruh dosis adsorben terhadap prosentasi ALB yang terjerap pada ketiga arang aktif. Nampak bahwa peningkatan dosis adsorben menyebabkan peningkatan ALB terjerap di permukaan. Tentu saja hal ini terjadi karena jumlah situs adsorpsi semakin banyak dengan bertambahnya dosis adsorben. Hal lain yang tampak dari Gambar 2B adalah APS60 dan APS120, keduanya menunjukkan kemampuan adsorpsi ALB yang hampir sama dan lebih tinggi dari pada APS30. Kejadian ini bisa ditinjau dari sebaran pori kedua adsorben ini yang lebih homogen dari pada APS30. Di samping itu kadar air pada APS30 juga lebih tinggi dari dua arang aktif lainnya, yang menyebabkan kemampuan jerapan terhadap ALB terhalangi oleh adanya air, sehingga ALB yang teradsorpsi juga rendah. Sebaliknya jumlah gugus fungsi laktonat pada kedua APS60 dan APS120 lebih besar, sehingga kemampuan keduanya mengikat ALB melalui ikatan hidrogen lebih banyak dari pada APS30. APS60 merupakan arang aktif dengan kemampuan menghilangkan ALB paling tinggi, yakni sebanyak 317 mg g^{-1} atau setara dengan 77,8%. Pasca adsorpsi, ALB yang tinggal di dalam CPO hanya 1,36%, artinya CPO siap digunakan sebagai bahan baku penghasil biodiesel.

Jumlah ALB yang teradsorpsi rendah bukan semata-mata karena permasalahan daya serap adsorben terhadap ALB, melainkan karena ada senyawa lain yang hadir bersama ALB di dalam CPO, seperti trigliserida dalam jumlah yang jauh lebih besar. Bagaimanapun senyawa ini ikut bersama ALB dalam memperebutkan situs adsorpsi atau bahkan telah lebih dahulu menutupi permukaan adsorben APS.

Efisiensi adsorpsi APS60 ternyata lebih tinggi dari pada adsorben KOH/pati [8] dan H_2SO_4 /lempung [9], tetapi lebih rendah dari pada KOH/kulit buah karet [10] dan KMnO_4 /ampas tebu [11]. Perbedaan tersebut disebabkan oleh alasan yang berbeda pula. Secara umum kemampuan

adsorpsi oleh karbon aktif banyak diperankan oleh gugus fungsional asam dengan atom oksigen [17]. Begitu pula adsorpsi ALB di permukaan, selain dipengaruhi oleh ukuran pori adsorben, juga ditentukan oleh gugus fungsional asam yang mengandung oksigen [18].

SIMPULAN

Limbah kelapa sawit, LPS dapat diubah menjadi arang aktif, APS melalui langkah karbonisasi pada temperatur 600°C dengan waktu 30, 60, dan 120 menit. Situs permukaan APS didominasi oleh asam fenolat dengan rongga pori yang relatif besar. Semua APS sudah sesuai standar SNI 06-3730-1995 terkait parameter kadar air, abu dan zat menguap. APS mampu mengurangi kadar asam lemak bebas, ALB dari CPO. APS60 adalah arang aktif yang paling baik, mampu mengurangi 77,8% ALB pada waktu kontak 60 menit dan dosis adsorben 1 g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Dekan FMIPA UNRI yang telah memberi perhatian yang besar dan menyemangati tim secara moril sehingga penelitian ini dapat diselesaikan tepat waktu.

REFERENSI

- [1] Anonim, *Statistik Kelapa Sawit Indonesia, Indonesian Oil Palm Statistics 2017*. Badan Pusat Statistik, Katalog 5504003, 2018, <https://www.bps.go.id> [diakses 17 Oktober 2019].
- [2] L. Wardani, M.Y. Massijaya, and M.F. Machdi, "Pemanfaatan Limbah Pelepah Sawit Dan Plastik Daur Ulang (RPP) Sebagai Papan Komposit Plastik", *Jurnal Hutan Tropis*, vol. 1 no. 1, pp. 146-53, 2013.
- [3] L.S Hong, D. Ibrahim, and I.C. Omar, "Oil Palm Frond for the Production of Bioethanol", *International Journal of Biochemistry and Biotechnology*, vol. 1 no. 1, pp. 007-011, 2012.
- [4] M. Vakili, M. Rafatullah, M.H. Ibrahim, A.Z. Abdullah, B. Salamatinia, and Z. Gholami, "Oil Palm Biomass as an Adsorbent for Heavy Metals", *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 232, pp. 61-88, 2014.
- [5] A. Md. Som, Z Wang, and A. Al-Tabbaa, "Palm frond biochar production and characterisation", *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. 103, pp 1-10, 2012.
- [6] J.M. Salman, V.O. Njokua, and B.H. Hameed, "Batch and fixed-bed adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid onto oil palm frond activated carbon", *Chemical Engineering Journal*, vol. 174, no. 1, pp 33-40, 2011.
- [7] R Tambun. *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2006.
- [8] A. Ismaila, N.N. Saimon, M. Jusoh, Z.Y. Zakaria, "Adsorption of Free Fatty Acid in Biodiesel from Palm Fatty Acid Distillate using KOH-Activated Starch", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 56, pp. 619-624, 2017.
- [9] E. Damayanti, D.K. Putri, Muhdarina, and N. Nurhayati, "Activated Maredan Clay as Adsorbent of Free Fatty Acid in Crude Palm Oil", *Proceedings of iMIT SIC*, Pekanbaru, Indonesia, 2018.
- [10] S. Pandia, M.S. Sinaga, Z. Masyithah, A. Husin, S. Nurfadilla, Fitriani, and B.K.S. Sipahutar, "Rubber Fruit Shell (Hevea brasiliensis) as bio sorbent to remove FFA (Free Fatty Acid) content in CPO (Crude Palm Oil)", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 309, 012085, pp. 1-6, 2018.
- [11] S. Rahayu, Supriyatin, and A. Bintari, "Activated carbon-based bio-adsorbent for reducing free fatty acid number of cooking oil", *AIP Conference Proceedings*, 050004, pp. 1-5, 2018.
- [12] R. Harti, Allwar, and N. Fitri, "Karakterisasi Dan Modifikasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit Dengan Asam Nitrat Untuk Menjerap Logam Besi Dan Tembaga Dalam Minyak Nilam", *Indonesian Journal of Chemical Research*, vol. 2, no. 1, pp. 74-83, 2014.
- [13] A. A. Contescu, C. Contescu, K. Putyera, and Sch J.A. Schwarz, "Surface Acidity of Carbons Characterized By Their Continuous pK DistDistribution And Boehm Titration", *CarCarbon*, vol. 35, no. 1, pp. 83-94, 1997.
- [14] N. Saha, D. Xin, P.C. Chiu, and M.T. Reza, "Effect of Pyrolysis Temperature on Acidic Oxygen-Containing Functional Groups and Electron Storage Capacities of Pyrolyzed Hydrochars", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 7, pp. 8387-8396, 2019.

- [15] F.F. Polii, "Pengaruh Suhu Dan Lama Aktifasi Terhadap Mutu Arang Aktif Dari Kayu Kelapa", *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, vol. 12. no. 2, pp 21-28, 2017.
- [16] M.J. Rampe and V.A. Tiwow, "Fabrication and Characterization of Activated Carbon from Charcoal Coconut Shell Minahasa, Indonesia", *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conference Series* 1028, 012033, pp. 1-7, 2018.
- [17] X. Liang, J. Chi, and Z. Yang, "The influence of the functional group on activated carbon for acetone adsorption property by molecular simulation study", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 262, pp. 77-88, 2018.
- [18] Y. Ahn and S-Y. Kwak, "Functional mesoporous silica with controlled pore size for selective adsorption of free fatty acid and chlorophyll", *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 306, 2020.