

## ***Synthesis of Adsorbent from Palm Kernel Shell through Microwave-Alkali Assisted Delignification and Its Performance in Used Palm Cooking Oil Purification***

### **Sintesis Adsorben dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Metode Delignifikasi - Microwave Alkali dan Uji Performanya pada Pemurnian Minyak Sawit Jelantah**

**Dara Alhusnah<sup>a</sup>, Ariany Zulkania<sup>a</sup>, Khamdan Cahyari<sup>a\*</sup>**

<sup>a</sup>*Program Studi Teknik Kimia Program Magister, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM 14,5, Yogyakarta 55584, Indonesia*

\*Corresponding author: [khamdan.cahyari@uii.ac.id](mailto:khamdan.cahyari@uii.ac.id)

Diterima: 12 Agustus 2024, Direvisi: 28 Oktober 2024, Diterbitkan: 09 Desember 2024

#### **ABSTRACT**

*Palm kernel shell (PKS), a byproduct accounting for up to 60% of palm oil production, is often used solely as fuel. However, due to its silica content, PKS can also function as an adsorbent. This study aimed to evaluate the impact of delignification on the quality of PKS as an adsorbent, specifically its ability to adsorb free fatty acids from used palm cooking oil. Delignification was performed using a microwave-alkali (Mw-A) method. Initially, PKS was cleaned, ground into powder, and sieved to 25 mesh. The powder was then delignified using Mw-A before activation with NaOH concentrations of 10%, 20%, and 30%. The temperature settings were 70°C, 80°C, and 90°C, with durations of 30, 35, and 40 minutes. The delignified PKS was carbonized at 400°C for 2 hours to produce the adsorbent. The adsorption capacity of each adsorbent was tested on free fatty acids in used palm cooking oil. Results indicated that the Mw-A assisted delignification significantly enhanced the adsorption efficiency, achieving a 55% adsorption capacity at 30% NaOH concentration, 90°C temperature, and 35 minutes. In comparison, PKS without Mw-A assisted delignification adsorbed only 32% of free fatty acids. It was showed that the adsorption kinetics belong to pseudo-first order reaction. Thus, delignification proved to be an effective pretreatment method to enhance PKS's adsorption capacity.*

**Keywords:** *Adsorbent, Free Fatty Acid, Lignin, Microwave-alkali (Mw-A) Assisted Delignification, Palm Kernel Shell (PKS), Used Palm Cooking Oil*

#### **ABSTRAK**

Cangkang kelapa sawit (CKS) merupakan limbah yang menyumbang sebanyak 60% dari produksi minyak kelapa sawit. Limbah ini sering kali hanya digunakan sebagai bahan bakar. Namun, CKS mengandung silika yang memungkinkan penggunaannya sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh delignifikasi terhadap kualitas CKS sebagai adsorben, yang diuji melalui daya serapnya terhadap asam lemak bebas dalam minyak sawit jelantah. Metode delignifikasi yang digunakan adalah delignifikasi *microwave-alkali* (Mw-A), yang menghilangkan sejumlah lignin dari CKS. CKS sebagai bahan baku dibersihkan, dihaluskan menjadi bubuk, dan diayak hingga berukuran 25 mesh. Selanjutnya, bubuk CKS didelignifikasi dengan Mw-A sebelum diaktifkan menjadi adsorben dengan variasi konsentrasi NaOH sebesar 10%, 20%, dan 30%. Suhu yang digunakan bervariasi antara 70 °C, 80 °C, dan 90 °C, dengan waktu delignifikasi selama 30, 35, dan 40 menit. CKS yang telah didelignifikasi kemudian dikarbonisasi menjadi adsorben menggunakan tungku pada suhu 400 °C selama 2 jam. Setiap adsorben diuji kapasitasnya melalui

adsorpsi *batch* asam lemak bebas dalam minyak sawit jelantah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben yang diperlakukan dengan delignifikasi Mw-A memiliki efisiensi penyerapan yang lebih tinggi, dengan peningkatan kapasitas adsorben hingga 55% pada konsentrasi NaOH sebesar 30%, suhu delignifikasi 90 °C selama 35 menit. Sementara itu, adsorben tanpa delignifikasi Mw-A hanya dapat menyerap 32% asam lemak bebas. Evaluasi kinetika adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti order reaksi 1 semu. Oleh karena itu, delignifikasi Mw-A dapat dijadikan metode perlakuan awal pada CKS untuk meningkatkan daya serapnya sebagai adsorben.s

**Kata Kunci:** Adsorben, Asam Lemak Bebas, Cangkang kelapa sawit (CKS), Delignifikasi Microwave-alkali (Mw-A), Lignin, Minyak Sawit Jelantah

## PENDAHULUAN

Minyak goreng sebagai kebutuhan pokok yang pemakaiannya tidak lepas dari aktivitas manusia dan berkaitan dengan konsumsi bahan pangan yang berfungsi sebagai penghantar panas, memberikan nilai kalori, dan memberikan rasa gurih pada makanan (Ayu Putranti, 2018). Minyak goreng dari kelapa sawit mengandung asam lemak bebas yang berasal dari hidrolisis lemak atau reaksi oksidasi selama proses fermentasi kelapa sawit. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-3741-2013, kadar maksimal asam lemak bebas dalam minyak goreng yang layak dikonsumsi adalah 0,6 mg KOH/g. Kadar asam lemak bebas dalam minyak goreng akan bertambah seiring dengan frekuensi penggunaan minyak tersebut. Minyak goreng yang sudah digunakan berulang kali disebut minyak jelantah. Peningkatan kadar asam lemak bebas bisa terjadi karena adanya proses oksidasi dan dekomposisi termal yang dapat menyebabkan terjadinya pemecahan molekul

lemak menjadi komponen asam lemak bebas. Minyak goreng yang memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi sangat berbahaya bagi kesehatan manusia jika dikonsumsi secara terus menerus (Anwar, 2016).

Salah satu proses yang sering digunakan untuk menangani minyak jelantah ini adalah melalui proses pemurnian. Metode yang paling sederhana dalam memurnikan minyak jelantah adalah adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Adsorpsi adalah teknik yang umum karena biayanya, kemudahan penggantian, dan desain yang mudah. Teknik adsorpsi secara keseluruhan merupakan suatu strategi dimana suatu zat secara tersusun disatukan pada lapisan terluar bahan adsorpsi (adsorben) (Saif, 2024). Adsorpsi dapat terjadi secara fisika maupun kimia. Adsorpsi fisika sering disebut fisiosorpsi, terjadi akibat adanya gaya tarik-menarik (interaksi elektrolisis antar dipol) antara permukaan adsorben dengan molekul-molekul adsorben yang disebabkan oleh ikatan Van der Waals. Sedangkan jika partikel adsorben yang melekat pada permukaan

adsorben dengan membentuk ikatan kimia disebut adsorpsi kimia. Adsorben yang digunakan dapat bersifat polar (silika dan alumina) ataupun non polar (arang aktif, lempung bentonit). Salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan menjadi adsorben adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah utama dalam industri minyak kelapa sawit, dengan presentase kontribusinya sebanyak 60% dari produksi minyak (Novita, 2023).

Penelitian-penelitian tentang adsorben dari cangkang kelapa sawit sudah dilakukan sebelumnya. Cangkang kelapa sawit yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar dalam industri minyak kelapa terbukti dapat dijadikan adsorben karena memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Silika merupakan senyawa yang memiliki kemampuan adsorpsi yang baik terhadap berbagai jenis zat teralut. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Lidya pada tahun 2020. Penelitian ini menggunakan variasi berat cangkang kelapa sawit 5 g, 10 g, 15 g, dan 20 g, serta variasi waktu kontak antara adsorben dengan minyak jelantah selama 1,2,3, dan 4 minggu. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kadar asam lemak bebas dalam minyak jelantah menurun sebesar 59,01 % dengan massa adsorbent 20 g dan waktu kontak selama 2 minggu.

Lignin memiliki sifat hidrofilisitas yang rendah, sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk dapat dijadikan dispersant. Untuk mengurangi kadar lignin yang terkandung di dalam biomassa, harus dilakukan delignifikasi. Delignifikasi adalah proses degradasi lignin agar struktur lignoselulosa menjadi terbuka. Dengan terbukanya struktur lignoselulosa maka enzim yang dapat memecah polimer polisakarida menjadi monomer gula lebih mudah mengakses selulosa. Akibatnya selulosa dapat keluar dari dinding sel dan disusun menjadi serat. Penelitian yang dilakukan oleh J. Prasetya (2023) tentang delignifikasi tandan buah kosong kelapa sawit dengan metode *microwave*-alkali menunjukkan lignin berhasil terdegradasi hingga 27%. Sehingga delignifikasi metode *microwave*-alkali efisien untuk mendegradasi lignin dan menghasilkan adsorben yang lebih berkualitas.

Oleh karena itu., penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh delignifikasi *microwave*-alkali pada cangkang kelapa sawit terhadap kualitas adsorben yang dihasilkan berdasar nilai kapasitas adsorpsinya terhadap asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah. Sehingga diharapkan dari penelitian ini dapat diperoleh metode modifikasi

cangkang kelapa sawit menjadi adsorben yang lebih efisien.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

#### Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah labu ukur 500 ml, gelas beker 25 ml, timbangan analitik, penggiling, pengayak 25 mesh, *microwave*, oven, *furnace*, pengaduk magnetik, Erlenmeyer, serta buret dan statif .

#### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit, natrium hidroksida (NaOH), *aquadest*, 0,1 N kalium hidroksida (KOH), ethanol 96%, dan indikator PP.

### Proses Delignifikasi

Cangkang kelapa sawit yang sudah dibersihkan dan dihaluskan menjadi 25 mesh dicampur dengan NaOH (10%; 20%; 30%) dalam tabung pemanas dengan perbandingan massa 1:5. Larutan dipanaskan menggunakan *microwave* pada suhu 70 °C, 80 °C, dan 90 °C selama 30, 35, dan 40 menit. Setelah proses delignifikasi, cangkang kelapa sawit dipisahkan dari larutan dan dikeringkan menggunakan oven. Rancangan eksperimen delignifikasi cangkang kelapa sawit dirangkum dalam Tabel 1.

### Proses Karbonisasi

Masing-masing sampel yang sudah didelignifikasi, kemudian dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 400 °C selama 2 jam dengan laju pemanasan 10 °C/menit. Tujuan proses karbonisasi ini adalah mengubah cangkang kelapa sawit menjadi karbon aktif. Selain sampel yang terdelignifikasi, bahan mentah cangkang kelapa sawit juga dikarbonisasi guna membandingkan kapasitas adsorpsinya. Masing-masing sampel disimpan dalam wadah tertutup.

**Tabel 1.** Rancangan eksperimen delignifikasi cangkang kelapa sawit berdasarkan variasi konsentrasi, suhu, dan waktu

Kode Sampel	Konsentrasi NaOH (%)	Suhu (°C)	Waktu (menit)
1	10	70	35
2	30	70	35
3	20	70	30
4	20	70	40
5	10	80	30
6	30	80	30
7	20	80	35
8	30	80	40
9	10	80	40
10	20	90	30
11	30	90	35
12	10	90	35
13	20	90	40

### Pengujian Kapasitas Adsorpsi

Setiap adsorben yang sudah jadi, diuji kapasitas adsorpsinya melalui adsorpsi asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak jelantah. Adsorben dan minyak jelantah dicampur ke dalam gelas beker dengan perbandingan massa 1: 10. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 50 °C selama 1 jam. Campuran kemudian kembali dipisahkan untuk menguji kadar asam lemak bebas dalam minyak jelantah setelah diadsorpsi.

### Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas

Minyak jelantah yang sudah mendapat perlakuan adsorpsi, diuji kadar asam lemak bebas yang terkandung di dalamnya melalui titrasi asam-basa. Sebanyak 2 g minyak jelantah dan 50 mL ethanol 96% dicampur dalam Erlenmeyer dan kemudian diaduk sekitar 30 detik hingga homogen. Indikator PP ditambahkan sebanyak 5 tetes. Larutan kemudian dititrasi menggunakan KOH 0,1 N hingga larutan berubah warna mejadi merah muda. Volume KOH tertitrasi dicatat untuk kemudian dilakukan perhitungan kadar asam lemak bebas menggunakan persamaan berikut,

$$FFA = \frac{V_{KOH} \cdot N_{KOH} \cdot BM_{KOH}}{M_{sampel}} \quad (1)$$

FFA	: kadar asam lemak bebas
V KOH	: volume KOH tertitrasi (mL)
N KOH	: normalitas KOH (N)
BM KOH	: berat molekul KOH (g/mol)
M sampel	: massa minyak jelantah (g)

Pengujian kadar asam lemak bebas juga dilakukan pada minyak jelantah sebelum diperlakukan adsorpsi untuk mengetahui presentase asam lemak bebas yang berhasil diadsorpsi.

## PEMBAHASAN

### Delignifikasi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku dalam penelitian ini dihaluskan dan diayak pada 25 mesh. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menstandarkan ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaannya. Setelah memperoleh ukuran yang seragam, cangkang kelapa sawit kemudian didelignifikasi dengan metode *microwave-alkali* (Mw-A). Delignifikasi cangkang kelapa sawit dilakukan dengan Natrium Hidroksida (NaOH) yang dibantu oleh *microwave*. Tujuan dari delignifikasi ini adalah untuk menguraikan lignin dalam cangkang kelapa sawit, sehingga membuka struktur lignoselulosa dan meningkatkan jumlah pori-porinya. Selama delignifikasi Mw-A, lignin mengalami degradasi dan perubahan kimia. NaOH menyebabkan lignin

terdegradasi menjadi berbagai produk antara, termasuk asam organik, fenol, dan senyawa kompleks lainnya. Produk-produk ini berwarna gelap, yang menyebabkan cangkang kelapa sawit menjadi lebih gelap setelah delignifikasi (Naveen, 2023).



(a)

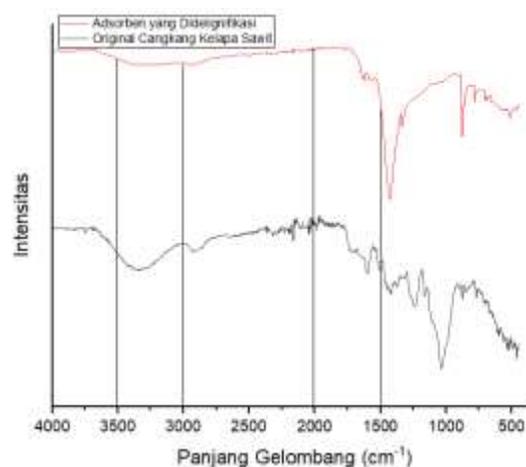


(b)

**Gambar 1.** (a) Original cangkang kelapa sawit (b) Cangkang kelapa sawit menjadi lebih gelap setelah delignifikasi

Spektrum FTIR mendeteksi perubahan struktural akibat delignifikasi, sehingga puncak spektrum antara original cangkang kelapa sawit dan adsorben yang didelignifikasi terlihat berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Puncak sekitar  $3000-3500\text{ cm}^{-1}$  terkait dengan simpul peregangan serta penyerapan molekul air. Puncak tersebut secara signifikan berkurang pada adsorben yang didelignifikasi karena penghilangan gugus hidroksil alifatik yang

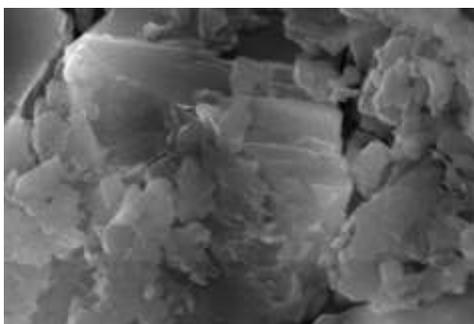
menempel pada rantai lignin selama proses delignifikasi (Gazliya, 2019). Puncak pada  $1590\text{ cm}^{-1}$  adalah puncak karakteristik yang menunjukkan lignin pada tanaman (Allison, 2011). Puncak ini terkait dengan getaran ikatan C=C dalam cincin aromatik lignin dan juga vibrasi C-O yang ada dalam struktur lignin. Oleh karena itu, puncak sekitar  $1500-2000\text{ cm}^{-1}$  juga terlihat berkurang pada adsorben yang didelignifikasi.



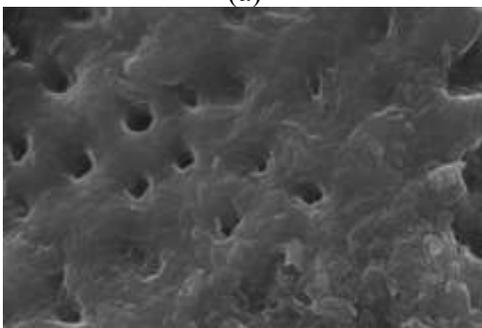
**Gambar 2.** Hasil Uji FTIR

Efek delignifikasi juga terlihat dari morfologi permukaan cangkang kelapa sawit setelah didelignifikasi. Berdasarkan gambar 2.a, dapat diketahui bahwa permukaan cangkang kelapa sawit original (sebelum delignifikasi) masih tertutup dan belum terbentuk pori-pori. Pori-pori pada permukaannya terbentuk setelah delignifikasi seperti yang terlihat di gambar 2.b. Hasil uji SEM bonggol jagung yang didelignifikasi dengan metode Mw-A juga

menunjukkan terdapat banyak bagian yang hancur dan terdapat lubang-lubang yang diakibatkan oleh adanya NaOH sebagai alkali dan panas serta gelombang radiasi dari *microwave*, sehingga memudahkan selulosa dan hemiselulosa keluar dari lapisan lignin (Poppy, 2018). Morfologi suatu biomassa sebagai bahan baku berpengaruh pada kualitas adsorben yang dihasilkan. Salah satu kriteria adsorben yang dapat digunakan adalah memiliki pori-pori yang dapat memperbesar luas permukaan sebagai media penyerap zat adsorbat.



(a)



(b)

**Gambar 3.** Morfologi permukaan cangkang kelapa sawit (a) Original (b) Setelah delignifikasi

### Karbonisasi Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 400 °C selama 2 jam dengan laju pemanasan 10 °C/menit. Proses ini menghasilkan cangkang kelapa sawit berwarna hitam (arang aktif) yang sudah siap diaplikasikan sebagai adsorben. Karbonisasi ini menghasilkan produk berupa karbon, gas, dan cairan melalui beberapa tahap reaksi kimia.



**Gambar 4.** Adsorben dari cangkang kelapa sawit setelah dikarbonisasi

Tahap awal dari proses ini terjadi pada suhu 100-200 °C yaitu reaksi dehidrasi yang melibatkan pemecahan molekul glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) menjadi selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) dan air ( $H_2O$ ) (Smith et al., 2022). Air yang terkandung dalam cangkang kelapa sawit akan menguap. Reaksi selanjutnya terjadi pada rentang suhu 200-300°C, yaitu reaksi dekarboksilasi. Dekarboksilasi adalah penghilangan gugus karboksil ( $COOH$ ) dari suatu senyawa, menghasilkan senyawa hidrokarbon ( $R-H$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Reaksi ini dapat mengurangi jumlah oksigen dengan menghasilkan lebih banyak  $CO_2$ . Pada tahap ini, hemiselulosa mulai

terurai menjadi senyawa volatil seperti asam asetat, furfural, dan gas ringan seperti CO<sub>2</sub> dan CO (Jones et al., 2021). Pada suhu 300-400 °C selulosa mulai terurai menjadi senyawa volatil seperti levoglukosan, asam asetat dan gas ringan (Lee et al., 2023). Selain itu, dalam rentang suhu 250-400 °C lignin mulai terurai menghasilkan fenol, guaiacol, metoksi-fenol, dan berbagai senyawa volatil lainnya (Kim et al., 2020).

### Kapasitas Adsorpsi Asam Lemak Bebas dalam Minyak Jelantah

Penentuan kadar asam lemak bebas dilakukan melalui titrasi asam-basa pada minyak jelantah, baik sebelum maupun sesudah diperlakukan adsorpsi, guna mengetahui kapasitas adsorpsinya. Dalam titrasi asam-basa, asam lemak bebas dalam minyak jelantah harus dilarutkan terlebih dahulu. Oleh karena itu digunakan ethanol 96% sebagai pelarut minyak yang efisien. Titrasi dilakukan hingga larutan berubah menjadi warna merah muda yang menunjukkan batas akhir titrasi. Hal ini mengindikasikan larutan dalam Erlenmeyer sudah menjadi pH netral karena seluruh asam didalamnya sudah bereaksi dengan basa yang dititrasi dengannya.

Hasil penentuan kapasitas adsorpsi asam lemak bebas (ALB) dalam minyak jelantah oleh adsorben dapat dilihat pada

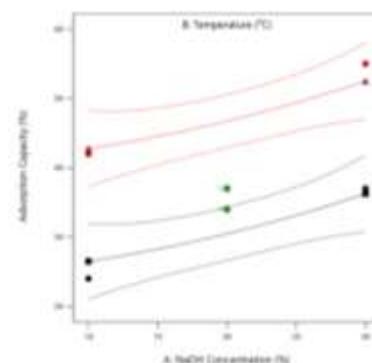
Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, adsorben yang mendapat perlakuan delignifikasi dapat menyerap asam lemak bebas hingga 55% (sampel 11). Sementara original adsorben yang tidak didelignifikasi hanya mampu menyerap asam lemak bebas sebesar 32%. Hal ini disebabkan karena delignifikasi mampu menghilangkan lignin dari struktur lignoselulosa, yang mengakibatkan perubahan secara fisik dan kimia (Gambar 2) material sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Penelitian tentang penyerapan asam lemak bebas dengan adsorben cangkang kelapa sawit sudah dilakukan sebelumnya (Novita, 2020). Hasil dari penelitian ini menunjukkan sebanyak 59,01% asam lemak bebas terserap oleh cangkang kelapa sawit yang diaktivasi tanpa *pretreatment* dengan durasi adsorpsi selama 2 minggu. Hal ini menunjukkan delignifikasi mampu mempercepat proses adsorpsi jika dibandingkan dengan adsorben tanpa perlakuan delignifikasi.

**Tabel 2.** Kapasitas adsorpsi asam lemak bebas dalam minyak jelantah oleh adsorben dari cangkang kelapa sawit

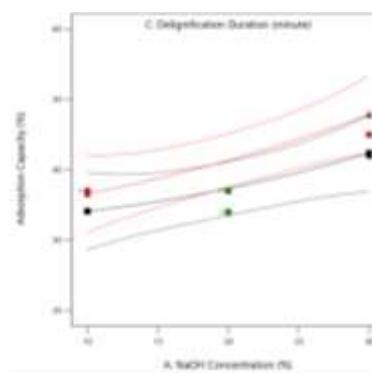
Kode Sampel	Kadar Awal	Kadar Akhir	Kapasitas Adsorpsi (%)
	ALB	ALB	

Ori	1,06	0,73	32
1	1,06	0,81	24
2	1,06	0,67	37
3	1,06	0,73	32
4	1,06	0,65	39
5	1,06	0,67	37
6	1,06	0,62	42
7	1,06	0,70	34
8	1,06	0,59	45
9	1,06	0,67	37
10	1,06	0,56	47
11	1,06	0,48	55
12	1,06	0,62	42
13	1,06	0,50	53

Berdasarkan hasil analisa kapasitas adsorpsi, konsentrasi NaOH, suhu dan waktu delignifikasi memberikan pengaruh pada kualitas adsorben. Hubungan konsentrasi NaOH, suhu dan waktu terhadap kapasitas adsorpsi digambarkan dengan grafik pada Gambar 5. Kedua grafik menunjukkan bahwa baik konsentrasi NaOH, waktu maupun suhu delignifikasi memberi pengaruh yang signifikan dan linear terhadap kapasitas adsorpsi.



Ket : — suhu delignifikasi  
— konsentrasi NaOH  
(a)



Ket: — waktu delignifikasi  
— konsentrasi NaOH  
(b)

**Gambar 5.** Pengaruh variabel delignifikasi (a) konsentrasi NaOH & suhu vs kapasitas adsorpsi (b) konsentrasi NaOH & waktu vs kapasitas adsorpsi

### Model Kinetika Adsorpsi

Evaluasi model kinetika adsorpsi dilakukan melalui pengujian adsorben dengan kode sampel 11 pada beberapa durasi waktu. Tujuan evaluasi ini untuk mengetahui bagaimana interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben seiring waktu. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah.

**Tabel 3.** Pengujian adsorpsi sampel 11 pada beberapa variasi waktu

Waktu (menit)	ALB Akhir (mg KOH/g)	ALB Ter- adsorpsi (mg KOH/g)	Konsen- trasi ALB Akhir (mg/L)
0	1,57	0	142,8
5	1,46	0,11	132,6
10	1,29	0,28	117,3
15	1,07	0,50	96,9
20	0,79	0,78	71,4
25	0,56	1,01	51
30	0,50	1,07	45,9
35	0,48	1,09	43,35
40	0,48	1,09	43,35
45	0,45	1,12	40,8
50	0,45	1,12	40,8
55	0,45	1,12	40,8
60	0,45	1,12	40,8

Note: Kandungan ALB awal = 1,57 mg KOH/g; Massa minyak jelantah analisis = 10 gram; Volume minyak jelantah analisis = 11 mL; Normalitas KOH = 0,1 N; BM KOH = 56,1 gr/mol.

Dalam evaluasi ini, dua model yang umum digunakan adalah model orde satu semu dan model orde dua semu. Model orde satu semu memiliki persamaan sebagai berikut,

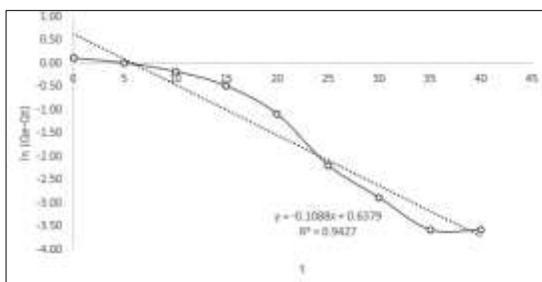
$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 \cdot t \quad (2)$$

Sementara model orde dua semu memiliki persamaan berikut,

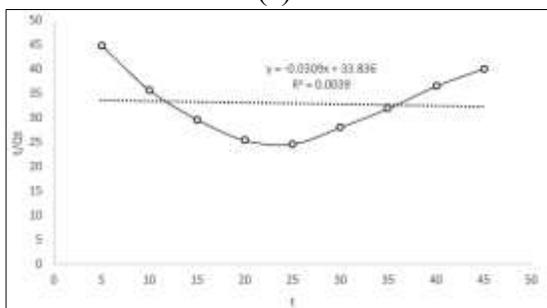
$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e} t \quad (3)$$

di mana  $t$  adalah waktu adsorpsi,  $Q_e$  adalah jumlah asam lemak bebas (ALB) teradsorpsi pada kesetimbangan,  $Q_t$  adalah jumlah ALB teradsorpsi pada waktu  $t$ , serta  $k_1$  dan  $k_2$  berturut-turut adalah konstanta laju orde satu dan orde dua semu. Nilai  $k_1$  dapat ditentukan dari kemiringan garis linear pada plot  $\ln(Q_e - Q_t)$  terhadap  $t$ . Sedangkan nilai  $k_2$  didapatkan dengan membuat plot  $t/Q_t$  terhadap  $t$ .

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa adsorpsi asam lemak bebas dalam minyak jelantah oleh adsorben 11 mengikuti model kinetika adsorpsi orde satu semu dilihat dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) model orde satu semu lebih tinggi jika dibandingkan  $R^2$  untuk model orde dua semu dengan nilainya berturut-turut adalah 0,9427 dan 0,0039. Artinya laju adsorpsi bergantung pada perbedaan antara jumlah zat teradsorpsi pada suatu waktu dan kapasitas adsorpsi pada keadaan setimbang. Dari kedua grafik di bawah dapat ditentukan nilai  $k_1$  dan  $k_2$  melalui persamaan garis linear yang dihasilkan. Nilai  $k_1$  dan  $k_2$  berturut-turut adalah 0,1088 dan  $2,8 \times 10^{-5}$ .



(a)



(b)

**Gambar 5.** Grafik model kinetika adsorpsi (a) orde satu semu (b) orde dua semu

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, delignifikasi sebagai *pretreatment* cangkang kelapa sawit mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben yang dihasilkan. Adsorben yang mendapat perlakuan delignifikasi mampu menyerap asam lemak bebas dalam minyak jelantah sebanyak 0,59 mg KOH/g dengan kapasitas adsorpsi sebesar 55%. Sementara adsorben original tanpa perlakuan delignifikasi hanya mampu menyerap sebanyak 0,34 mg KOH/g dengan kapasitas adsorpsi 32%. Hal ini terjadi karena delignifikasi mampu menghilangkan lignin dari struktur

lignoselulosa yang dapat dilihat dari perubahan gugus fungsionalnya.

Konsentrasi NaOH, suhu dan waktu delignifikasi memiliki pengaruh terhadap kualitas adsorben yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai variabel tersebut semakin tinggi kapasitas adsorpsi dari adsorben yang dihasilkan. Delignifikasi dengan metode *microwave*-alkali dapat menghasilkan adsorben dengan kapasitas adsorpsi lebih efisien secara waktu, karena penelitian ini menunjukkan dengan metode *microwave*-alkali, delignifikasi selama 35 menit mampu menghasilkan adsorben dengan kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi.

Model kinetika adsorpsi pada proses penyerapan asam lemak bebas dalam minyak jelantah oleh adsorben dari cangkang kelapa sawit mengikuti model kinetika orde satu semu yang menunjukkan laju adsorpsi bergantung pada konsentrasi adsorbat dalam larutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allison, G. G. 2011. Application of Fourier Transform Mid-Infrared Spectroscopy (FTIR) for Research into Biomass Feed-Stocks. In Fourier transforms - new analytical approaches and FTIR strategies, P. G. Nikolic ed. IntechOpen. Doi:10.5772/15785.
- Almahibi, Saif. Nurlaila, Rizka. 2024. Adsorpsi Asam Lemak Bebas CPO Dengan Adsorben Dari Limbah

- Cangkang Kulit Telur Ayam. Chemical Engineering Journal Storage. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i1.14784>.
- Amenaghawon, A., Anyalewechi, C., Okieimen, C., & Kusuma, H. (2021). Biomass pyrolysis technologies for value-added products: a state-of-the-art review. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 14324 - 14378. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01276-5>.
- Anwar, R. N. 2016. Pemanfaatan Bentotit Teraktivasi Asam Klorida untuk Pengolahan Minyak Goreng Bekas. *Indonesia Journal of Chemical Science*. Vol. 5. No. 6.
- Apendi, Widayaka, K., Sumarmono, J. 2013. Evaluasi Kadar Asam Lemak Bebas dan Sifat Organoleptik pada Telur Asin Asap dengan Lama Pengasapan Yang Berbeda, *Jurnal Ilmiah Peternakan*, Vol. 1. No. 1. Hal 142-150.
- Baby, R., & Hussein, M.Z. 2019. Palm Kernel Shell as an Effective Adsorbent for the Treatment of Heavy Metal Contaminated Water. *Scientific Reports* 9(1). Doi: 10.1038/s41598-019-55099-6.
- Dewi, I. A. 2021. Optimization of NaOH concentration and cookingtime in delignification of mature coconut (*Cocusnucifera* L.) coir. *IOP Conf. Series: Earth and Enviromental Science* 733. Doi:10.1088/1755-1315/733/1/012034.
- Ethaib, Saleem. Omar, R. 2015. *Microwave-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass: A review*. *Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 97 – 109.
- Gazliya, N., & Aparna, K. 2019. *Microwave-assisted alkaline delignification of banana peduncle*. *Journal of Natural Fibers*. Doi: 10.1080/15440478.2019.1645786.
- Hasyim, U. H., Kurniaty, I. K., Mahmudah, H., Hermanti, M. 2019. Pengaruh Waktu Adsorpsi Asam Lemak Bebas Dalam Minyak Kelapa Sawit Mentah Pada Pembuatan Bioadsorben Limbah Batang Pisang, *Jurnal Konversi Univeritas Muhammadiyah Jakarta*, Vol. 8. No.1.
- I., W., Suarsa. 2022. Adsorpsi Asam Lemak Bebas pada Minyak Jelantah dengan  $TiO_2$ /Zeolit Alam. *Journal of Chemistry*. Vol. 16. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2022.v16.i02.p09>
- J., Prasetya. 2023. Delignification Of Palm Oil Empty Fruit Bunch by Hydroxyl Radical of *Microwave* Radiation Under Alkaline Condition. *Wood Research*. Doi: 10.37763/wr.1336-4561/68.1.167182.
- Jones, A., Li, Z., Zhang, Y. 2021. The effect of temperature on the pyrolysis of biomass: A review. *Renewable Energy Journal*, Vol. 172, 1238-1250.
- Kim, S., Choi, Y., Lee, J. 2020. Characteristics and applications of biochar produced from palm kernel shells. *Industrial Crops and Products*, Vol. 146, 112202
- Kumar, Naveen. Saharan, Vicky. Yadav, Anita. 2023. Ultrasound-assisted alkaline pretreatment of *Parthenium hysterophorus* for fermentable sugar

- production using a response surface approach. *Sustainable Chemistry for Climate Action*. Vol. 2. <https://doi.org/10.1016/j.scca.2023.100027>
- Lee, H., Kim, J., Park, S. 2023. Advances in bio-oil production from biomass via fast pyrolysis: Challenges and future prospects. *BioResource Technology*, Vol. 355, 127284.
- Liu, Juping., & Chen, Xu. 2022. Biomass pyrolysis mechanism for carbon-based high-value products. *Proceedings of the Combustion Institute* 39.
- Malgorzata, S. 2022. Pyrolysis of Biomass Wastes into Carbon Materials. *Energies* 2022, 15, 1941. <https://doi.org/10.3390/en150519>.
- Novita, Lidya. 2020. Utilization of Palm Kernel Shell Ash to Improve Used Palm Cooking Oil Quality. *Advances in Health Sciences Research*. Vol. 22.
- Novita, Lidya. 2023. Palm Kernel Shell Ash: The Effect Of Weight And Stirring Duration On Waste Palm Cooking Oil Quality. *Jurnal Kimia Riset*. Vol. 8.
- Nusa, M. Iqbal. & Sipahutar, Y. B. 2018. Penggunaan Biosorben Biji Pepaya untuk Merekondisi Kualitas Minyak Jelantah. *Agrintech : Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian* 1(2) : 95-102. doi: 10.30596/agrintech.v1i2.2009.
- Oon, M., Muniandy, K., Zaiton, S. N. A., Wahit, M. U. (2023): Free Fatty Acid Reduction in Used Frying Oil via Bio Adsorbent: A Short Review, *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 106.
- Pandia, S., Sinaga, M.S., Masyitah, A. Husin, S. Nurfadilla. 2018. Rubber Fruit Shell (*Hevea Brasiliensis*) as Bio Sorbent to Remove FFA (Free Fatty Acid) Content in CPO (Crude Palm Oil). *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. Vol. 309. Institute of Physics Publishing.
- Purwanti, I. F., H. S. Titah, I. B. Santoso, & Z. Qotrunnadha. 2023. Ability of Palm Kernel Shell Adsorbent in Reducing Mercury (Hg). *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. Vol. 1250. Institute of Physics.
- Putranti, A., & Monika, L. 2018. Adsorption of Free Fatty Acid (FFA) in Low-Grade Cooking Oil Used Activated Natural Zeolite as Adsorbent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 299. Institute of Physics Publishing.
- Rengga, W. D. P. 2021. Isotherm Adsorption of Free Fatty Acid in Waste Cooking Oil Used Activated Carbon of Banana Peel as Bio-Adsorbent. *Journal of Physics : Conference Series*. Vol. 1918. IOP Publishing Ltd.
- Sari, Poppy D. Puri, Wuwuh A., Hanum, Dinarta. 2018. Delignifikasi Bonggol Jagung dengan Metode *Microwave* Alkali. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian "AGRIKA"*. Vol. 12. No. 2.
- Smith, J., Brown, P., Johnson, T. 2022. Thermal degradation and kinetic analysis of palm kernel shell during pyrolysis. *Journal of Biomass and Bioenergy*, Vol. 128, 105573.
- Triwiswara, Mutiara, Chang Gu Lee, Joon Kwan Moon, and Seong Jik Park.

2020. Adsorption of Triclosan from Aqueous Solution onto Char Derived from Palm Kernel Shell. *Desalination and Water Treatment* 177:71–79. Doi : 10.5004/dwt.2020.