Vol.9 No.2 Hal. 864-870
Oktober 2026

BEST JOURNAL
(Biology Education,Science & Technology)
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

ISSN (Print) : 2614 – 8064
ISSN (Online): 2654 – 4652

# Aktivasi Bertingkat Asam Basa Pada Cangkang Sawit Untuk Meningkatkan Daya Adsorpsi Karoten Dari *Crude Palm Oil*

**Rafael Remit Winardi (1), Mahyunis (2) , Rahimah (3), Riswanda (4), Ahmad Padli (5)**

(1,2,) Prodi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan
(3) Prodi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan
(4)(5) Mahasiswa Prodi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan

rafael@itsi.ac.id (1), mahyunis@itsi.ac.id (2), rahimah@itsi.ac.id (3), riswanda@gmail.com (4), ahmadpadli@gmail.com (5)

**ABSTRAK**

Cangkang kelapa sawit merupakan biomassa lignoselulosa yang berpotensi dikonversi menjadi adsorben melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik morfologi dan sifat fisik arang cangkang sawit tanpa aktivasi (BA), teraktivasi HCl 0,5 M (AA), serta teraktivasi bertingkat menggunakan HCl 0,5 M dan KOH 30% (AH), serta mengkaji kemampuannya dalam menurunkan bilangan DOBI dan kadar karoten pada crude palm oil (CPO). Karakterisasi dilakukan terhadap kadar air, kadar abu, permukaan partikel (SEM), luas permukaan partikel (BET), pola gugus fungsi (FTIR), bilangan DOBI, dan kadar karoten. Hasil menunjukkan bahwa kadar air rata-rata arang BA, AA, dan AH berturut-turut sebesar 8,75 ± 1,20%; 6,97 ± 1,41%; dan 6,29 ± 0,01%. Kadar abu masing-masing sebesar 2,79 ± 0,07%; 2,78 ± 0,07%; dan 2,74 ± 0,04%. Terjadi perubahan permukaan, peningkatan luas permukaan dan pola gugus fungsi pada partikel arang cangkang sawit setelah diaktivasi, Bilangan DOBI CPO awal sebesar 2,56 ± 0,14 dan setelah perlakuan menggunakan BA, AA, dan AH berturut-turut menjadi 2,42 ± 0,02; 2,39 ± 0,03; dan 2,35 ± 0,02. Kadar karoten menurun dari 494,75 ± 19,91 ppm pada CPO awal menjadi 439,90 ± 1,82 ppm setelah perlakuan BA, 415,67 ± 3,05 ppm setelah AA, dan 384,63 ± 2,46 ppm setelah AH. Penurunan terbesar terjadi pada arang yang mengalami aktivasi bertingkat HCl 0,5 M dan KOH 30%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivasi kimia dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi arang cangkang sawit terhadap komponen berwarna, khususnya karoten dalam CPO.

**Keywords** : arang cangkang; sawit; aktivasi_HCl; aktivasi_KOH; karoten

**ABSTRACT**

Palm kernel shells are a form of lignocellulosic biomass with the potential to be converted into adsorbents through carbonization and activation processes. This study aimed to evaluate the morphological characteristics and physical properties of palm kernel shell charcoal—specifically non-activated (BA), activated with 0.5 M HCl (AA), and sequentially activated using 0.5 M HCl and 30% KOH (AH)—and to assess their ability to reduce the DOBI value and carotene content of crude palm oil (CPO). Characterization was conducted regarding moisture content, ash content, particle surface (SEM), particle surface area (BET), functional group patterns (FTIR), DOBI value, and carotene content. The results showed that the average moisture content for BA, AA, and AH charcoal was 8.75 ± 1.20%, 6.97 ± 1.41%, and 6.29 ± 0.01%, respectively. Ash content values were 2.79 ± 0.07%, 2.78 ± 0.07%, and 2.74 ± 0.04%, respectively. Changes in surface morphology, as well as increases in surface area and alterations in functional group patterns, were observed in the palm kernel shell charcoal particles following activation. The initial DOBI value of the CPO was 2.56 ± 0.14; after treatment with BA, AA, and AH, the values became 2.42 ± 0.02, 2.39 ± 0.03, and 2.35 ± 0.02, respectively. Carotene levels decreased from 494.75 ± 19.91 ppm in the initial CPO to 439.90 ± 1.82 ppm following BA treatment, 415.67 ± 3.05 ppm following AA, and 384.63 ± 2.46 ppm following AH. The greatest reduction occurred with charcoal subjected to sequential activation using 0.5 M HCl and 30% KOH. These results indicate that chemical activation can enhance the adsorption capacity of palm shell charcoal for colored components, specifically carotene, in CPO..

**Keywords**: palm kernel shell charcoal, HCl activation, KOH activation, carotene

# I. PENDAHULUAN

## 1. Latar belakang

Karbon aktif merupakan material adsorben yang banyak digunakan karena memiliki luas permukaan dan struktur pori yang berkembang. Karakteristik tersebut dapat ditingkatkan melalui proses aktivasi fisik maupun kimia. Aktivasi kimia menggunakan basa seperti KOH diketahui mampu mengembangkan struktur mikropori dan meningkatkan karakteristik permukaan karbon. Williams (2022) menjelaskan bahwa aktivasi menggunakan KOH dapat menghasilkan karbon dengan perkembangan pori yang tinggi melalui reaksi kimia antara bahan karbon dan agen aktivator. Sementara itu, Schaubeder *et al*. (2023) menunjukkan bahwa kondisi aktivasi merupakan faktor penting dalam menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik permukaan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan adsorpsi.Cangkang kelapa sawit dan palm kernel shell telah banyak diteliti sebagai bahan baku karbon aktif. Pam *et al.* (2022) melaporkan bahwa karbon aktif berbasis palm kernel shell memiliki karakteristik fisikokimia dan struktur pori yang mendukung penggunaannya sebagai adsorben. Penelitian Kwiatkowski (2021) juga menunjukkan bahwa kondisi aktivasi kimia berpengaruh terhadap perkembangan struktur pori karbon yang berasal dari cangkang kelapa sawit. Aktivasi dengan basa bahkan dapat menghasilkan struktur yang sangat mikropori sebagaimana dilaporkan Hafizuddin *et al.* (2021).Dalam industri pengolahan CPO, salah satu parameter yang berkaitan dengan kualitas minyak adalah *deteriorasion of bleachability index* (DOBI). Nilai DOBI mencerminkan tingkat kemudahan minyak untuk diputihkan dan berkaitan dengan keberadaan produk oksidasi serta pigmen dalam minyak. Nilai DOBI yang lebih tinggi umumnya menunjukkan mutu CPO yang lebih baik. Proses adsorpsi menggunakan material berpori dapat menghilangkan sebagian komponen pengotor dan pigmen sehingga berpotensi memengaruhi karakteristik DOBI minyak.Karoten merupakan salah satu pigmen utama pada CPO dan memberikan warna merah-oranye yang khas. Senyawa karoten juga berperan sebagai antioksidan, tetapi keberadaannya perlu dikendalikan sesuai tujuan proses pemurnian minyak. Penelitian Almeida *et al.* (2024) menunjukkan bahwa proses adsorpsi memiliki peranan penting dalam penghilangan karoten selama pengolahan minyak sawit. Oleh karena itu, material karbon berpori yang berasal dari limbah biomassa berpotensi digunakan sebagai alternatif adsorben dalam proses pemurnian CPO.Aktivasi dengan menggunakan asam dan basa secara sendiri-sendiri telah mampu meningkatkan daya adsorpsi, akan tetapi aktivasi material adsorben secara bertingkat belum banyak diketahui karakter dan kemampuan adsorpsinya. Oleh karena itu penelitian ini akan dilakukan untuk untuk mengetahui karakteristik arang cangkang sawit sebelum dan setelah aktivasi menggunakan HCl 0,5 M serta aktivasi bertingkat menggunakan HCl 0,5 M dan KOH 30%, serta mengevaluasi pengaruh perlakuan tersebut terhadap kadar air, kadar abu, bilangan DOBI, dan kadar karoten CPO.

## 2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah : bagaimana penelitian dengan judul Aktivasi Bertingkat Asam Basa Pada Cangkang Sawit Untuk Meningkatkan Daya Adsorpsi Karoten Dari *Crude Palm Oil* dapat dilaksanakan dengan baik dan sesuai prosedur

## 3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil penelitian dari judul Aktivasi Bertingkat Asam Basa Pada Cangkang Sawit Untuk Meningkatkan Daya Adsorpsi Karoten Dari *Crude Palm Oil*.

## 4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian bermanfaat untuk menyelamatkan potensi kandungan karoten pada CPO dari bahan baku biodiesel agar dapat dimanfaatkan sebagai suplemen fungsional untuk Kesehatan manusia.

## II. METODE PENELITIAN

### 1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan, yaitu bulan Juni 2026 sampai dengan Agustus 2026 dengan lokasi preparasi sampel di Laboratorium Institut Teknologi Sawit Indonesia.

### 2. Tahapan Penelitian

Tahap I**.** Persiapan bahan cangkang sawit. Cangkang sawit dibersihkan dari kotoran dan minyak dengan cara dicuci dengan air mengalir, dan dibilas dengan menggunakan aquades. Selanjutnya dikeringkan pada oven 105°C selama 2 jam. Cangkang yang sudah bersih dan kering dilakukan pirolisis dan pengecilan ukuran sampai mendapatkan partikel yang lolos saringan 100 mesh dan disimpan sementara. Partikel halus cangkang diuji kadar air, kadar abu, SEM, Tahap II. Aktivasi kimia Tingkat I, partikel cangkang sawit direndam dalam HCl 0,5 M (rasio 1:10 b/v), kemudian dipanaskan pada suhu 80$^{o}$C, selama 60 menit, kemudian dinetralkan sampai pH 7, dikeringkan pada suhu 105 $^{o}$C selama 2 jam, disimpan untuk selanjutnya dilakukan aktivasi Tingkat II. Aktivasi kimia Tingkat II, partikel cangkang sawit direndam dalam KOH 30% (rasio 1:10 b/v), kemudian dipanaskan pada suhu 80$^{o}$C, selama 60 menit, dan dinetralkan sampai pH 7, dikeringkan pada suhu 105 $^{o}$C selama 2 jam, disimpan untuk aplikasi. Sebelum digunakan pada aplikasi adsorpsi karoten, masing-masing adsorben yang tidak teraktivasi kimia maupun yang teraktivasi kimia dilanjutkan dengan aktivasi termal pada furnace dengan pemanasan pada suhu 500°C selama 2 jam. Kemudian didinginan dalam desikator untuk menghindari adsorpsi kelembaban. Asorben teraktivasi kimia diuji kadar air, kadar abu, SEM dan FTIR.Tahap III. Uji adsorpsi karoten dari CPO. Sampel CPO yang telah diuji kadar karotennya ditambahkan adsorben yang tidak teraktivasi kimia maupun yang teraktivasi kimi Tingkat I dan Tingkat II dengan variasi dosis 3% b/v massa sampel. Diaduk pada 70°C selama 120 menit. Kemudian disaring untuk memisahkan adsorben. Filtrat yang dihasilkan dianalisis kadar karotennya menggunakan UV-Vis pada 446 nm dan bilangan DOBI.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Kadar air arang cangkang sawit

Hasil pengujian kadar air arang cangkang sawit menunjukkan adanya perbedaan pada sampel belum diaktivasi (BA), diaktivasi HCl 0,5 M (AA), dan diaktivasi bertingkat HCl 0,5 M+KOH 30% (AH). Nilai kadar air rata-rata masing-masing perlakuan adalah 8,75 ± 1,20% untuk BA, 6,97 ± 1,41% untuk AA, dan 6,29 ± 0,01% untuk AH. Dengan demikian, terjadi kecenderungan penurunan kadar air setelah proses aktivasi, dengan urutan BA > AA > AH, seperti terlihat pada Tabel 1

**Tabel 1**. Kadar air arang cangkang sawit (%)

| Perlakuan | Ulangan | | | Jumlah | Rata-Rata | Stdev |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | |
| BA | 9,34 | 9,55 | 7,36 | 26,25 | 8,75 | 1,20 |
| AA | 6,04 | 8,59 | 6,28 | 20,91 | 6,97 | 1,41 |
| AH | 6,30 | 6,29 | 6,28 | 18,87 | 6,29 | 0,01 |

Berdasarkan Tabel 1, kadar air tertinggi terdapat pada arang tanpa aktivasi (BA), yaitu 8,75 ± 1,20%. Setelah aktivasi menggunakan HCl 0,5 M, kadar air menurun menjadi 6,97 ± 1,41%. Kadar air terendah diperoleh pada arang dengan aktivasi bertingkat HCl 0,5 M dan KOH 30% (AH), yaitu 6,29 ± 0,01%.Penurunan kadar air setelah aktivasi menunjukkan bahwa perlakuan kimia berpengaruh terhadap karakteristik fisik arang. Aktivasi dapat menghilangkan komponen volatil dan sebagian material yang mudah menahan air. Selain

itu, proses pencucian setelah aktivasi dapat mengurangi material larut dan meningkatkan kemurnian fraksi karbon.

**2. Kadar abu arang cangkang sawit**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar abu arang cangkang sawit mengalami kecenderungan penurunan setelah proses aktivasi. Arang cangkang sawit yang belum diaktivasi (BA) memiliki kadar abu rata-rata sebesar 2,79 ± 0,07%, arang setelah aktivasi menggunakan HCl 0,5 M (AA) sebesar 2,78 ± 0,07%, sedangkan arang setelah aktivasi bertingkat menggunakan HCl 0,5 M dan KOH 30% (AH) memiliki kadar abu rata-rata paling rendah, yaitu 2,74 ± 0,04%, seperti terlihat pada Tabel 2.

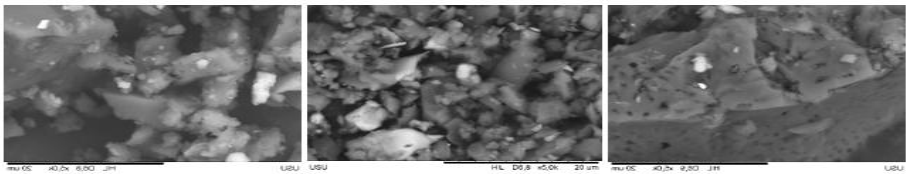
**Tabel 2**. Kadar abu arang cangkang sawit (%)

| Perlakuan | Ulangan | | | Jumlah | Rata-Rata | Stdev |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | |
| BA | 2,85 | 2,71 | 2,82 | 8,37 | 2,79 | 0,07 |
| AA | 2,70 | 2,80 | 2,83 | 8,34 | 2,78 | 0,07 |
| AH | 2,71 | 2,78 | 2,74 | 8,23 | 2,74 | 0,04 |

Kadar abu arang cangkang sawit menunjukkan perubahan yang relatif kecil antar perlakuan. Kadar abu BA sebesar 2,79 ± 0,07%, kemudian sedikit menurun menjadi 2,78 ± 0,07% pada AA dan 2,74 ± 0,04% pada AH.Penurunan kadar abu pada perlakuan AH menunjukkan adanya kemungkinan penghilangan sebagian komponen mineral selama tahapan aktivasi dan pencucian. HCl dapat melarutkan sebagian mineral anorganik, sedangkan perlakuan basa dapat menyebabkan perubahan lebih lanjut pada permukaan material.Namun demikian, selisih kadar abu antarperlakuan relatif kecil, yaitu hanya sekitar 0,05 poin persentase antara BA dan AH.

**3. Morfologi permukaan arang cangkang sawit berdasarkan SEM**

Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa proses aktivasi menyebabkan perubahan morfologi permukaan arang cangkang sawit. Pada arang tanpa aktivasi (BA), permukaan relatif lebih tertutup oleh deposit karbon dan struktur pori belum berkembang secara optimal.



BA AA AH

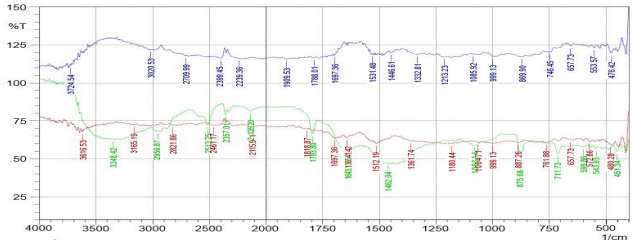
Keterangan :
BA = Arang cangkang sawit tanpa aktivasi
AA = Arang cangkang sawit setelah aktivasi HCl 0,5 M
AH = Arang cangkang sawit setelah aktivasi bertingkat (HCl 0,5 M dan KOH 30%)

**Gambar 1.** Citra permukaan sampel berdasarkan SEM

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses karbonisasi saja belum sepenuhnya menghasilkan permukaan yang terbuka dan memiliki akses pori yang tinggi. Aktivasi menggunakan HCl 0,5 M (AA) diperkirakan menyebabkan perubahan pada permukaan arang melalui penghilangan sebagian komponen mineral dan pengotor yang menutupi permukaan. Proses tersebut dapat meningkatkan keterbukaan permukaan sehingga pori lebih mudah diakses oleh molekul adsorbat. Penggunaan aktivasi kimia untuk mengontrol struktur pori karbon telah dilaporkan dapat menghasilkan material karbon dengan karakteristik permukaan yang berbeda dibandingkan karbon tanpa aktivasi (Kwiatkowski, 2021; Schaubeder *et al.* 2023).

**4. Gugus Fungsi Berdasarkan FTIR**

Hasil uji FTIR terhadap ketiga sampel yang diuji menunjukkan pola gambar sebagai berikut.




Keterangan :
BA = pola garis biru
AA = pola garis hijau
AH = pola garis merah

**Gambar 2.** Pola gugus fungsi arang cangkang sawit sebelum dan sesudah aktivasi

**5 Luas permukaan**

Hasil uji BET menunjukkan perubahan paling besar pada karakteristik tekstural arang cangkang sawit adalah luas permukaan, seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 3**. Luas permukaan hasil uji BET

| Perlakuan | BET ($m^2/g$) |
|---|---|
| BA | 2,37 |
| AA | 16,09 |
| AH | 27,37 |

Luas permukaan meningkat dari 2,37 $m^2/g$ pada BA menjadi 16,09 $m^2/g$ pada AA, kemudian meningkat lagi menjadi 27,37 $m^2/g$ pada AH. Menurut Gayathiri *et al*. (2022), aktivasi merupakan salah satu faktor terpenting dalam meningkatkan luas permukaan dan mengembangkan struktur pori karbon yang berasal dari biomassa. Mereka menekankan bahwa metode aktivasi dan karakteristik prekursor menentukan perkembangan porositas dan kemampuan adsorpsi. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan dengan temuan Lua, (2024), yang menunjukkan bahwa kondisi aktivasi karbon dari limbah oil-palm shell dapat menghasilkan perubahan sangat besar terhadap luas permukaan BET. Dalam penelitian tersebut, kondisi optimum bahkan menghasilkan BET sebesar 1433 $m^2/g$.

**6. Bilangan DOBI CPO sebelum dan setelah perlakuan**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa bilangan DOBI CPO mengalami penurunan setelah diberi perlakuan menggunakan arang cangkang sawit sawit. CPO awal mempunyai nilai DOBI rata-rata 2,5610 ± 0,1395, kemudian menurun menjadi 2,4231 ± 0,0217 setelah perlakuan dengan arang cangkang sawit sawit belum diaktivasi (BA), 2,3946 ± 0,0290 setelah perlakuan dengan arang yang diaktivasi HCl 0,5 M (AA), dan 2,3466 ± 0,0215 setelah perlakuan dengan arang yang diaktivasi bertingkat HCl 0,5 M–KOH 30% (AH), seperti tercantum dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 4**. Bilangan DOBI pada CPO sebelum dan setelah perlakuan

| Perlakuan | Ulangan | | | Jumlah | Rata-Rata | Stdev |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | |
| CPO Awal | 2,40 | 2,64 | 2,64 | 7,68 | 2,56 | 0,14 |
| BA | 2,40 | 2,44 | 2,44 | 7,27 | 2,42 | 0,02 |
| AA | 2,37 | 2,39 | 2,43 | 7,18 | 2,39 | 0,03 |
| AH | 2,33 | 2,34 | 2,37 | 7,04 | 2,35 | 0,02 |

Bilangan DOBI CPO awal memiliki nilai rata-rata 2,56 ± 0,14. Setelah perlakuan dengan arang cangkang sawit tanpa aktivasi (BA), nilai tersebut menurun menjadi 2,42 ± 0,02. Perlakuan dengan arang teraktivasi HCl 0,5 M (AA) menghasilkan nilai DOBI sebesar 2,39 ± 0,03, sedangkan perlakuan AH menghasilkan nilai terendah, yaitu 2,35 ± 0,02.Jika dibandingkan dengan CPO awal, penurunan DOBI masing-masing perlakuan adalah sekitar 5,47% pada BA, 6,64% pada AA, dan 8,20% pada AH. Dengan demikian,

perlakuan AH menunjukkan perubahan terbesar terhadap nilai DOBI. Penurunan DOBI dapat dikaitkan dengan terjadinya adsorpsi komponen tertentu dari CPO oleh permukaan arang.

**7. Kadar Karoten CPO**

Berdasarkan hasil pengujian, jumlah karoten CPO mengalami penurunan setelah diberi perlakuan menggunakan arang cangkang sawit sawit. CPO awal mempunyai jumlah karoten rata-rata sebesar 494,75, kemudian menurun menjadi 439,90 setelah perlakuan dengan arang cangkang sawit sawit belum diaktivasi (BA), 415,67 setelah menggunakan arang yang diaktivasi HCl 0,5 M (AA), dan 384,63 setelah menggunakan arang yang diaktivasi bertingkat HCl 0,5 M–KOH 30% (AH). Hasil uji karoten dicantumkan pada Tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5**. Kadar karoten pada CPO sebelum dan setelah perlakuan

| Perlakuan | Ulangan | | | Jumlah | Rata-Rata | Stdev |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | | | |
| CPO Awal | 488,71 | 478,55 | 516,98 | 1484,24 | 494,75 | 19,91 |
| BA | 438,70 | 439,00 | 442,00 | 1319,70 | 439,90 | 1,82 |
| AA | 413,00 | 415,00 | 419,00 | 1247,00 | 415,67 | 3,05 |
| AH | 382,00 | 385,00 | 386,88 | 1153,88 | 384,63 | 2,46 |

Kadar karoten CPO awal sebesar 494,75 ± 19,91 ppm. Setelah perlakuan menggunakan arang cangkang sawit tanpa aktivasi, kadar karoten turun menjadi 439,90 ± 1,82 ppm. Perlakuan dengan arang teraktivasi HCl 0,5 M menghasilkan kadar karoten sebesar 415,67 ± 3,05 ppm, sedangkan perlakuan dengan arang yang diaktivasi bertingkat HCl 0,5 M dan KOH 30% menghasilkan kadar karoten terendah, yaitu 384,63 ± 2,46 ppm.Berdasarkan nilai rata-rata tersebut, persentase penurunan kadar karoten dapat dihitung sebagai berikut: BA: (494,75 − 439,90)/494,75 × 100% = 11,09%. AA: (494,75 − 415,67)/494,75 × 100% = 15,98%, AH: (494,75 − 384,63)/494,75 × 100% = 22,26%Dengan demikian, aktivasi bertingkat HCl 0,5 M dan KOH 30% menghasilkan kemampuan penurunan karoten paling tinggi, yaitu 22,26%.

**8. Hubungan aktivasi dengan kemampuan adsorpsi**

Secara keseluruhan, data penelitian menunjukkan pola bahwa peningkatan tingkat aktivasi diikuti oleh peningkatan kemampuan arang dalam menurunkan kadar karoten CPO.Pola tersebut memperlihatkan bahwa aktivasi bertingkat menghasilkan arang dengan karakteristik yang lebih mendukung proses adsorpsi. Pengembangan struktur pori memungkinkan molekul adsorbat berinteraksi lebih luas dengan permukaan karbon.

## IV. KESIMPULAN

1. Arang cangkang sawit menunjukkan perubahan karakteristik setelah dilakukan aktivasi menggunakan HCl 0,5 M dan aktivasi bertingkat HCl 0,5 M–KOH 30%. Kadar air menurun dari 8,75 ± 1,20% pada BA menjadi 6,29 ± 0,01% pada AH, sedangkan kadar abu hanya mengalami perubahan kecil dari 2,79 ± 0,07% menjadi 2,74 ± 0,04%.
2. Perlakuan arang terhadap CPO menyebabkan penurunan bilangan DOBI dari 2,56 ± 0,14 pada CPO awal menjadi 2,42 ± 0,02; 2,39 ± 0,03; dan 2,35 ± 0,02 masing-masing pada BA, AA, dan AH. Kadar karoten juga mengalami penurunan dari 494,75 ± 19,91 ppm menjadi 439,90 ± 1,82 ppm pada BA, 415,67 ± 3,05 ppm pada AA, dan 384,63 ± 2,46 ppm pada AH.
3. Penurunan kadar karoten tertinggi diperoleh pada perlakuan AH sebesar 22,26%, diikuti AA sebesar 15,98% dan BA sebesar 11,09%. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivasi bertingkat menggunakan HCl 0,5 M dan KOH 30% memberikan kemampuan adsorpsi paling tinggi terhadap karoten CPO.

**DAFTAR PUSTAKA**

Almeida, E. S., Carmona, P. O., Monteiro, S., Silva Júnior, I. J., Rodríguez Castellón, E., & Cecilia, J. A. (2024). The role of carotenes in preventing oxidation during palm oil processing: Adsorption studies. *Industrial Crops and Products, 216*, 118691. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118691

Aprilianti, R., Selviani, D., Lestari, D., & Aldila, H. (2023). Green synthesis nanopartikel karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Riset Fisika Indonesia, 4*(1), 37–41. https://doi.org/10.33019/jrfi.v4i1.4525

Gayathiri, M., Thiruchelvi, P., Lee, K.T. & Kumar, S,. (2022). Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*, Vol. 294. Article 133764 Elsivier;

Hafizuddin, M. S., Lee, C. L., Chin, K. L, H'ng, P. S., Khoo, P. S., & Rashid, U. (2021). Fabrication of highly microporous structure activated carbon via surface modification with sodium hydroxide. *Polymers, 13*(22), 3954. https://doi.org/10.3390/polym13223954

Hisbullah, (2022). Characterization Of Physically And Chemically Activated Carbon Derived From Palm Kernel Shells. *International Journal Of Geomate*. 23(97). Doi:10.21660/2022.97.7554

Idris, S., Boyi, Y. M., Jamiu, W., Kontagora, N., & Job, P. A. (2026). Physicochemical properties and characterisation of activated carbon prepared from palm kernel shell. *Communication in Physical Sciences*.

Jasri, K., Abdulhameed, A. S., Jawad, A. H., AlOthman, Z. A., Yousef, T. A., & Al Duaij, O. K. (2023). Mesoporous activated carbon produced from mixed wastes of oil palm frond and palm kernel shell using microwave radiation-assisted $K_2CO_3$ activation for methylene blue dye removal: Optimization by response surface methodology. *Diamond and Related Materials, 131*, 109581.

Kong, S. H., Chin, C. Y. J., Yek, P. N. Y., Wong, C. C., Wong, C. S., Cheong, K. Y., Liew, R. K., & Lam, S. S. (2022). Removal of heavy metals using activated carbon from microwave steam activation of palm kernel shell. *Environmental Advances, 9*, 100272. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100272

Kwiatkowski, M. (2021). Computer analysis of the effects of time and gas atmosphere of the chemical activation on the development of the porous structure of activated carbons derived from oil palm shell. *Energies, 14*(19), 6067. https://doi.org/10.3390/en14196067

Lai, J. Y., Chew, J. J., & Ngu, L. H. (2024). Concurrent activation and surface modification (CAM) process to produce surface-modified palm kernel shell-derived activated carbon (PKSdAC). *Biomass Conversion and Biorefinery, 14*, 32091–32108. https://doi.org/10.1007/s13399-023-05054-3

Mian, M. M., Liu, G., & Fu, B. (2022). Biochar-based materials for environmental remediation: A review of recent advances and perspectives. *Environmental Research, 204*, 112006.

Nuñez-Vargas, D, Burgos, J.B, Perez, J.G[1], Diaz, L, Dalai, A.K, & Borugadda, B.G (2026). Oil Palm Shell-Derived Activated Carbon: Adsorption Kinetics, Thermodynamics, and Interaction Mechanism for Lufenuron 50-EC Pesticide. *ACS Omega.* 27;11(5):7005-7013. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10096



| Accepted Date | Revised Date | Decided Date | Accepted to Publish |
|---|---|---|---|
| 07 Oktober2026 | 15 Oktober 2026 | 23 Oktober 2026 | Ya |