

REDUKSI COD PADA PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) DENGAN MENGGUNAKAN ARANG AKTIF DARI BIOMASSA KELAPA SAWIT

Krissandarta Tarigan^a, Yenny Sitanggang^a, Fauzatu Arabica Yatasya Hasibuan^{a,*}

^aProgram Studi Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri, 20228, Medan, Indonesia

*E-mail: fauzatuarabica@ptki.ac.id

Masuk Tanggal: 20 Mei, revisi tanggal: 4 Juni, diterima untuk diterbitkan tanggal: 30 Juni 2025

Abstrak

Produksi minyak kelapa sawit yang terus meningkat secara signifikan telah menghasilkan volume limbah cair pabrik kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent/POME*) yang tinggi, yang jika tidak ditangani secara tepat dapat mencemari lingkungan. POME mengandung konsentrasi tinggi bahan organik yang diukur melalui parameter Chemical Oxygen Demand (COD). Meskipun berbagai metode pengolahan telah dikembangkan, pendekatan yang ramah lingkungan dan berbasis limbah biomassa lokal masih belum dioptimalkan secara luas. Studi sebelumnya cenderung berfokus pada penggunaan satu jenis bahan baku untuk karbon aktif, sementara pemanfaatan kombinasi biomassa, seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan cangkang kernel sawit, serta pengaruh komposisinya terhadap efektivitas adsorpsi COD, masih jarang diteliti secara mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengkaji pengaruh variasi komposisi karbon aktif dari TKKS dan kernel terhadap efisiensi penurunan COD dalam POME. Karbon aktif disintesis dari kombinasi TKKS dan kernel dengan variasi proporsi, kemudian digunakan sebagai adsorben dalam sistem batch. Sebanyak 0,5–1 g karbon aktif (1,5–3,5% w/v) dicampurkan ke dalam 30 mL POME, diaduk pada suhu 45°C dan kecepatan 200 rpm selama 15 menit. Kinerja adsorpsi dievaluasi berdasarkan persentase reduksi COD. Hasil menunjukkan bahwa komposisi optimum sebesar 25% TKKS dan 75% kernel mampu menurunkan COD hingga 44,21%, menunjukkan sinergi pori dan karakter permukaan dari kedua jenis biomassa. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi biomassa lokal dapat menjadi solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah cair industri sawit.

Kata Kunci: Karbon aktif, POME, TKKS, Cangkang kelapa sawit

Abstract

The rapid growth of palm oil production has led to a significant increase in palm oil mill effluent (POME), which contains high levels of organic pollutants, primarily measured through Chemical Oxygen Demand (COD). Improper management of POME poses serious environmental threats. Although numerous treatment methods have been proposed, environmentally friendly approaches utilizing local agricultural biomass remain underdeveloped. Prior studies have mostly focused on single-source activated carbon, while the synergistic potential of combining different biomass types—such as empty fruit bunches (EFB) and palm kernel shells—and their compositional influence on adsorption performance have not been thoroughly explored. This study aims to address that research gap by investigating the effect of varying compositions of activated carbon derived from EFB and PKS on the efficiency of COD reduction in POME. Activated carbon was synthesized from different mixtures of EFB and PKS and applied as an adsorbent in a batch adsorption system. A total of 0.5–1 g of carbon (1.5–3.5% w/v) was mixed with 30 mL of POME, and the mixture was stirred at 45°C and 200 rpm for 15 minutes. The performance was evaluated based on the percentage reduction in COD. The results indicate that a composition of 25% EFB and 75% PKS achieved the highest COD reduction efficiency, reaching 44.21%, suggesting that the combined porous structure and surface properties of the two biomass types significantly enhance adsorption. These findings demonstrate that utilizing mixed local biomass as a carbon source offers a more effective and sustainable solution for POME treatment in the palm oil industry.

Keywords: Activated carbon, POME, EFB, Palm shell.

1. PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis di Indonesia yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional. Namun, di balik produktivitasnya, industri ini juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar, salah satunya adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME merupakan limbah cair yang dihasilkan selama proses ekstraksi minyak sawit mentah, mengandung bahan organik tinggi, padatan tersuspensi, minyak, dan lemak. Jika dibuang tanpa pengolahan yang memadai, POME dapat mencemari lingkungan perairan, mengganggu ekosistem, dan mengancam kesehatan masyarakat sekitar [1].

Upaya pengolahan POME telah banyak dikembangkan, mulai dari metode biologis, fisik, hingga kimia [2]. Namun, beberapa metode tersebut masih menghadapi kendala seperti waktu proses yang lama, efisiensi yang rendah, dan biaya yang tinggi. Dalam konteks ini, adsorpsi menggunakan arang aktif dari biomassa lokal muncul sebagai alternatif yang menjanjikan. Adsorpsi merupakan metode yang efisien, sederhana, dan ekonomis untuk menghilangkan bahan organik dari limbah cair, termasuk senyawa penyumbang COD. COD merupakan indikator penting yang mencerminkan jumlah bahan organik yang dapat teroksidasi secara kimia dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan keberadaan limbah organik dalam jumlah besar, yang dapat mengurangi kualitas air dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan [3][4].

Indonesia, produsen kelapa sawit terbesar di dunia, menghasilkan limbah padat yang melimpah: Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan cangkang kelapa sawit (kernel). Potensi limbah TKKS saja diperkirakan mencapai 14,24 juta ton per tahun [5]. Limbah lignoselulosa ini kaya akan karbon, sehingga berpotensi untuk diolah menjadi arang/karbon aktif (*activated carbon*, AC) yang memiliki luas permukaan tinggi dan *adsorption-site* beragam [6].

TKKS dan kernel merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit yang jumlahnya melimpah di Indonesia [7]. Dengan proses karbonisasi, limbah tersebut dapat dikonversi menjadi arang aktif yang memiliki luas permukaan dan porositas tinggi. Oleh karena itu, efektif digunakan untuk menyerap senyawa organik dalam air limbah [8].

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter kunci untuk menilai beban pencemar organik dalam air limbah. COD yang tinggi pada limbah cair industri kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent*/POME) menunjukkan

tingginya potensi deoksigenasi perairan dan kerusakan ekosistem akuatik [9]. Upaya penurunan COD secara efisien, murah, dan berkelanjutan menjadi prioritas, terutama di negara-negara produsen sawit seperti Indonesia [10].

Arang aktif dari kernel dan TKKS memiliki potensi besar sebagai adsorben alami berpori tinggi. Mekanisme adsorpsi melibatkan interaksi fisik dan kimia yang dipengaruhi oleh karakteristik pori, luas permukaan, serta gugus fungsional permukaan. Karakteristik pori dapat dioptimalkan melalui metode aktivasi yang sesuai, memungkinkan arang aktif dari limbah kelapa sawit ini diaplikasikan secara luas dalam pengolahan air, pemurnian gas, dan industri kimia. Menurut berbagai penelitian, aktivasi kimia atau fisika pada arang aktif dari kernel dan TKKS dapat meningkatkan luas permukaan hingga lebih dari 1000 m²/g tergantung kondisi aktivasi, seperti suhu dan jenis aktivator (misalnya ZnCl₂, KOH, H₃PO₄) [11].

Sejumlah penelitian telah membuktikan efektivitas adsorben berbasis limbah sawit untuk menurunkan COD:

- Arang aktif TKKS (dosis 20 g L⁻¹) mampu mereduksi COD POME hingga 98% hanya dalam 30 menit [12].
- Biofilter serat TKKS berpori halus (250–425 μm) mencapai efisiensi 90,9% *COD removal* pada sistem kolom berkelanjutan [13].
- Media granular kernel kelapa sawit dalam kolom filtrasi anaerob menurunkan COD terklarifikasi sebesar ±77% dalam 120 jam [9].

Walaupun hasil di atas menjanjikan, studi-studi tersebut umumnya memanfaatkan satu jenis limbah saja. Padahal, secara teoritis, kombinasi TKKS (cenderung mesopori serta berserat) dan kernel (dominan mikropori) dapat menghasilkan karbon dengan distribusi pori lebih luas, meningkatkan difusi molekul organik berukuran besar maupun kecil, serta memperbaiki stabilitas mekanik adsorben.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja karbon aktif hasil karbonisasi campuran TKKS dan kernel dalam menurunkan COD POME. Hasil yang diharapkan:

1. Menyediakan alternatif teknologi adsorpsi berbiaya rendah dan ramah lingkungan.
2. Memaksimalkan pemanfaatan dua limbah sawit terbesar sekaligus, sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular.
3. Menjadi dasar pengembangan unit pengolahan limbah terintegrasi di industri

kelapa sawit maupun sektor domestik lain yang menghasilkan limbah organik tinggi.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan berkontribusi pada peningkatan kualitas air, pemanfaatan limbah biomassa, dan pencapaian target keberlanjutan industri kelapa sawit di Indonesia.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahapan yaitu sintesis karbon aktif (karbonisasi dan aktivasi) dari tandan kosong kelapa sawit dan pengolahan POME menggunakan karbon aktif melalui proses adsorpsi. Jangka waktu sintesis karbon aktif beserta aktivasinya dilakukan selama 3 bulan di PTKI Medan. Sementara, pengolahan POME untuk pengujian karbon aktif yang telah disintesis dilakukan selama 4 bulan. Skema alur eksperimen dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai peralatan gelas dan instrumentasi laboratorium. Proses pengeringan dan pemanasan dilakukan masing-masing menggunakan oven dan *furnace*. Pencampuran dan pengadukan dilakukan menggunakan *heat stirrer*. Filtrasi dilakukan menggunakan kertas saring 0,45 μm dan kain saring nilon 150 mikron. Instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk mengkarakterisasi morfologi permukaan sampel.

Bahan yang digunakan meliputi tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku biomassa diperoleh dari Pabrik Mini Kelapa Sawit Politeknik Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan. Berbagai reagen kimia yang digunakan dalam penelitian ini mencakup asam posfat, *digestion solution*, dan asam sulfat. *Palm oil mill effluent* (POME) digunakan sebagai sampel air limbah, dan karbon aktif komersial berfungsi sebagai adsorben pembanding dalam analisis komparatif.

2.3. Sintesis Karbon Aktif

Tandan kosong kelapa sawit dan dicuci dan dikeringkan pada 105 °C selama 24 jam. TKKS tersebut digiling menjadi partikel berukuran 1-2 mm. TKKS kering diaktivasi secara kimiawi dan fisik dengan dimasukkan ke dalam beaker 500 mL yang berisi larutan asam posfat dengan konsentrasi tertentu (40%-w) dengan rasio asam posfat dan biomassa sawit sebesar 5:1. Campuran dalam beaker tersebut dipanaskan pada 85 °C selama 45 menit dengan menggunakan heat stirrer.

Setelah itu, campuran tersebut didinginkan pada temperatur ruang selama 2 jam. TKKS teraktivasi selanjutnya dicuci dengan aquades sebanyak 3-4 kali hingga pH 7 dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 12 jam [14] [15].

TKKS yang teraktivasi secara kimiawi dan fisik kemudian dikarbonisasi pada 450 °C selama 2 jam dengan menggunakan *furnace* untuk menghasilkan karbon aktif. Karbon aktif didinginkan pada temperatur ruang selama semalam. Selanjutnya, ditimbang, digiling, dan disaring hingga partikelnya berukuran kurang dari 150 mikron [16].

2.4 Karakterisasi Karbon Aktif

Sebagai persiapan sampel, karbon aktif dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven pada suhu 105 °C selama 2-4 jam untuk mengurangi kelembaban. Morfologi permukaan karbon aktif diamati pada perbesaran mikroskop 5000x dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) (FEI Nova NanoSEM 450).

2.5. Proses Adsorpsi

Sampel palm oil mill effluent (POME) diambil dari berbagai sampling points, misalnya aliran keluaran secondary atau tertiary treatment pabrik kelapa sawit. POME disimpan dalam refrigerator pada temperatur 4 °C sebelum digunakan. Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan mencampurkan 0,5-1 g (1,5-3,5% w/v) adsorben (karbon aktif) dengan 30 mL POME. Campuran tersebut diaduk pada 45 °C dan 200 rpm selama 15 menit. Kecepatan putar yang tinggi ini digunakan untuk memastikan bahwa POME dan karbon aktif tercampur secara homogen, sehingga kapasitas adsorpsinya lebih maksimal. Efisiensi pemurnian untuk semua parameter dihitung seperti persamaan (1) [17], [18].

$$\% \text{Reduksi} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan C_0 = Konsentrasi awal (mg/L) dan C_f = Konsentrasi akhir (mg/L)

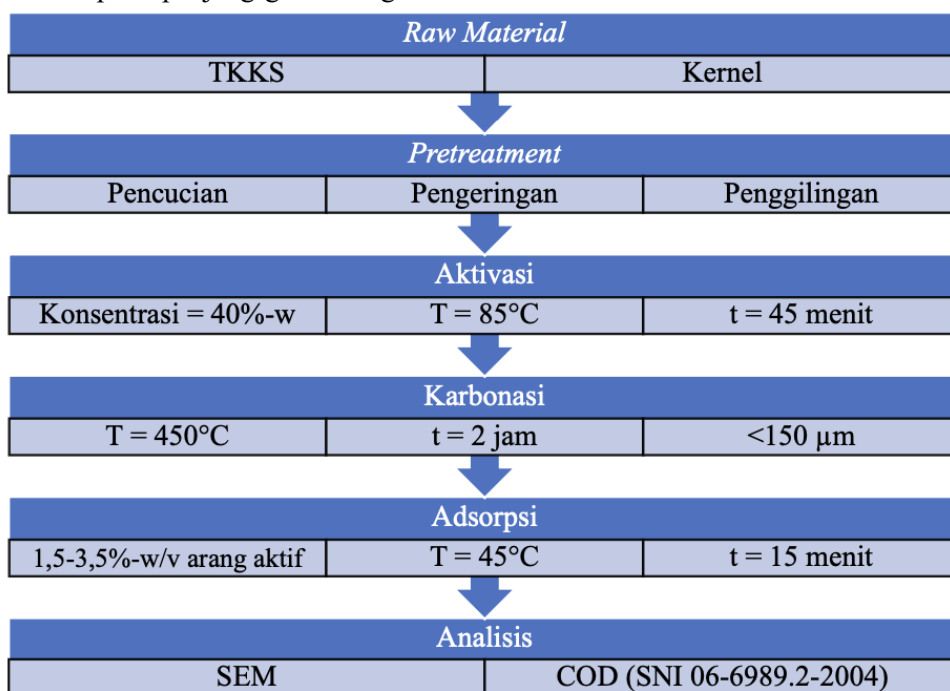
2.6. Pengujian COD

Metode pengujian COD mengacu pada SNI 06-6989.2-2004. Sebanyak 2,5 mL sampel diambil dengan pipet volum dan ditambah dengan 1,5 mL *digestion solution*. Selanjutnya, ditambahkan dengan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat ke dalam tabung.

Tabung ditutup dan dikocok perlahan sampai homogen. Tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C (refluks dilakukan selama 2 jam). Dinginkan perlahan sampel yang telah direfluks sampai suhu

ruang untuk mencegah terjadinya endapan. Pereaksi air digunakan sebagai larutan referensi. Serapannya diukur pada panjang gelombang 600

nm. Kadar COD diukur berdasarkan persamaan linear kurva kalibrasi.



Gambar 1. Skema alur eksperimen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Komposisi Karbon Aktif

Mengingat tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah utama dari pabrik kelapa sawit. Untuk memaksimalkan pemanfaatannya, sebagai langkah awal, karbon aktif yang berasal dari TKKS, tanpa pencampuran dengan karbon aktif dari kernel, diuji kinerjanya melalui parameter COD. Pengukuran COD dilakukan pada tiga kondisi variasi aktivasi (*low*, *intermediate*, dan *high*) untuk mengetahui kinerja karbon aktif TKKS dalam mereduksi COD dari POME [9]. Hasil pengukuran COD untuk tiga kondisi variasi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase pengurangan COD pada berbagai kondisi aktivasi karbon

Run	Kons. asam posfat (%-w)	Suhu aktivasi (°C)	Waktu (menit)	%COD Removal
A1	20	70	30	4,05%
A2	40	85	45	10,44%
A3	60	100	60	4,63%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase pengurangan COD yang masih cukup rendah, yaitu pada rentang 4,05-10,44%. Awalnya, persentase reduksi COD yang dihasilkan naik dari 4,05% menjadi 10,44%, namun nilai tersebut turun kembali menjadi 4,63% pada suhu dan waktu aktivasi yang lebih tinggi. Pada suhu tinggi dan waktu aktivasi yang cukup lama, struktur

karbon aktif kemungkinan mengalami penyusutan pori atau kerusakan struktur yang menyebabkan luas permukaan spesifik menurun. Akibatnya, kapasitas adsorpsinya menurun dan persentase reduksi COD menjadi rendah [19].

Nilai persentase pengurangan COD ini masih cukup rendah yang menunjukkan bahwa karbon aktif TKKS memiliki keterbatasan dalam menyerap senyawa organik kompleks yang terdapat dalam POME. Oleh karena itu, dilakukan percobaan lanjutan dengan mencampurkan karbon aktif berbahan dasar TKKS dan cangkang kelapa sawit (kernel) dalam komposisi tertentu. Pemilihan cangkang kelapa sawit didasarkan pada karakteristik materialnya yang memiliki struktur pori lebih stabil dan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan TKKS [11].

Karbon aktif TKKS dan kernel divariasikan komposisinya menjadi 25% TKKS & 75% kernel (C1), 50% TKKS & 50% kernel (C2), 75% TKKS & 25% kernel (C3), 100% TKKS (C4), dan 100% Kernel (C5) (diuraikan pada Tabel 2). POME yang telah melalui proses adsorpsi dan filtrasi dengan berbagai variasi (C1 s.d C5) dibandingkan dengan POME sebelum adsorpsi (*raw*) dan setelah adsorpsi.

Hasil pengukuran COD setelah penambahan adsorben karbon TKKS dan kernel menunjukkan terjadinya penurunan kadar COD dari 342 mg/L saat sebelum ditambahkan adsorben menjadi 190,8-277,2 mg/L setelah ditambahkan adsorben

karbon TKKS dan kernel. Efisiensi penurunan kadar COD dengan menggunakan adsorben TKKS dan kernel pada variasi komposisi 25% TKKS & 75% kernel sebesar 44,21%, komposisi 50% TKKS & 50% kernel sebesar 32,63%, komposisi 75% TKKS & 25% kernel sebesar 30,53%, TKKS murni sebesar 18,95%, dan kernel murni sebesar 27,37%. Kadar COD berhasil direduksi karena adanya proses adsorpsi yang terjadi, yaitu senyawa organik akan diserap atau diikat oleh adsorben, akibatnya, nilai COD yang awalnya tinggi menjadi lebih rendah [20]. Komposisi dengan menggunakan karbon dari kernel lebih banyak (75%) dapat mengadsorpsi lebih baik.

Tabel 2. Nilai COD sebelum dan setelah proses adsorpsi

Run	Jenis karbon aktif	COD before treatment (mg/L)	COD after treatment (mg/L)	%Reduksi COD
C1	25% TKKS & 75% Kernel	342	190,8	44,21
C2	50% TKKS & 50% Kernel	342	230,4	32,63
C3	75% TKKS & 25% Kernel	342	237,6	30,53
C4	100% TKKS	342	248,4	27,37
C5	100% Kernel	342	277,2	18,95

3.2. Perbandingan Karbon Aktif Sintesis dan Komersial

Karbon aktif yang berhasil disintesis pada penelitian ini akan dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif campuran (25% TKKS dan 75% kernel) yang diaktivasi pada konsentrasi asam posfat 40%-w dan temperatur 85°C selama 45 menit. Nilai perbandingan COD dari POME sebelum dan setelah diadsorpsi dengan menggunakan karbon aktif sintesis dan komersial dibandingkan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa sampel POME sebelum diadsorpsi menggunakan arang aktif memiliki kadar COD sebesar 342 mg/L. Kadar limbah tersebut sangat tinggi, bahkan hampir mencapai ambang batas yang ditetapkan oleh peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, yaitu sebesar 350 mg/L. Tabel 3 menunjukkan adanya persentase penurunan kadar COD pada POME pasca penambahan arang aktif komersial dan arang aktif

sintesis. Pasca penambahan arang aktif komersial ke dalam POME diperoleh kadar COD sebesar 277,2 mg/L, sementara setelah penambahan arang aktif sintesis, nilai COD turun menjadi 190,8 mg/L. Perbandingan persentase reduksi COD antara karbon aktif komersial dan sintesis adalah masing-masing sebesar 18,95% dan 44,21%. Nilai ini juga lebih tinggi dibandingkan persentase reduksi COD dari proses adsorpsi menggunakan 0,25–1 g nano karbon aktif selama 30 menit, yaitu pada rentang 20-40% [21].

Tabel 3. Perbandingan kinerja karbon aktif sintesis dan komersial

Parameter	Nilai COD (mg/L)
POME awal	342
POME dengan karbon aktif komersial	277,2
POME dengan karbon aktif sintesis	190,8
Nilai ambang batas Menteri Lingkungan Hidup R.I Nomor 5 Tahun 2014	350

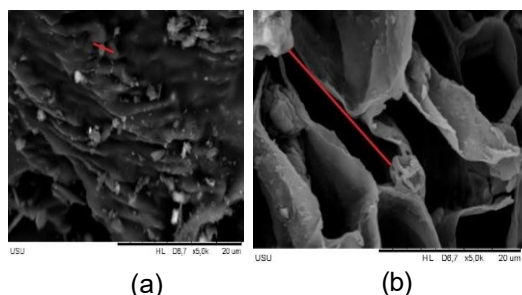
3.3. Karakterisasi Karbon Aktif dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

Pada penelitian ini analisis SEM digunakan untuk mengetahui karakteristik morfologi dari karbon aktif campuran TKKS dan kernel pada perbesaran 5000x. Pada analisis ini dilakukan perbandingan antara karbon aktif kernel dan karbon aktif TKKS sebelum aktivasi dan sesudah aktivasi yang dapat dilihat pada Gambar 2. Terdapat pori-pori dari permukaan adsorben karbon aktif kernel dan TKKS. Berdasarkan Gambar 1, karbon aktif kernel sebelum aktivasi memiliki pori-pori dengan ukuran berkisar 1,82 µm hingga 3,24 µm, pori – pori tampak lebih banyak, kecil dan tersebar merata dibandingkan dengan karbon kernel yang sudah diaktivasi, dengan memiliki pori-pori ukuran berkisar 10,12 µm hingga 13,36 µm, dengan pori-pori yang lebih besar dan tidak teratur [22].

Struktur pori arang aktif terdiri dari tiga jenis utama, yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2–50 nm), dan makropori (>50 nm) [23]. Masing-masing jenis pori memainkan peranan penting dalam mendukung mekanisme adsorpsi terhadap senyawa organik yang terdapat dalam POME. Makropori berfungsi sebagai jalur transportasi awal bagi molekul-molekul organik berukuran besar untuk memasuki jaringan internal arang aktif. Setelah melalui makropori, senyawa organik seperti protein, lignin, dan senyawa aromatik terdifusi lebih dalam ke dalam mesopori, dimana adsorpsi aktif dapat terjadi. Mesopori menyediakan luas permukaan yang cukup besar untuk interaksi dengan molekul menengah hingga besar, sehingga sangat penting dalam penurunan

COD dari POME, yang didominasi oleh senyawa organik kompleks. Sementara itu, mikropori berperan penting dalam adsorpsi molekul kecil seperti asam lemak, asam asetat, dan senyawa karbon rantai pendek. Karena luas permukaannya yang tinggi, mikropori mampu menjebak molekul kecil melalui gaya van der Waals yang lemah namun efektif [24]

Keberhasilan adsorpsi sangat bergantung pada kecocokan antara ukuran molekul organik dan ukuran pori adsorben. Jika ukuran molekul lebih besar dari ukuran pori, maka molekul tersebut tidak dapat terdifusi masuk dan adsorpsi menjadi tidak efektif. Sebaliknya, apabila ukuran pori terlalu besar, maka luas permukaan efektif berkurang dan menyebabkan efisiensi adsorpsi menurun [22]. Dengan demikian, penggunaan arang aktif dari biomassa seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS) atau cangkang kernel sawit, yang memiliki distribusi pori dominan di rentang mesopori dan mikropori, sangat sesuai untuk proses adsorpsi dalam pengolahan POME. Pemilihan biomassa dan metode aktivasi yang tepat memungkinkan arang aktif tersebut menyerap berbagai jenis molekul organik secara efisien, sehingga mampu menurunkan nilai COD secara signifikan [25].



Gambar 2. Morfologi karbon aktif campuran TKKS dan kernel (a) sebelum aktivasi; (b) setelah aktivasi dengan H_3PO_4 .

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari TKKS dan kernel telah berhasil diaktivasi dibuktikan dengan membesarnya ukuran pori-pori karbon aktif TKKS dan cangkang setelah diaktivasi, dari 1,82-3,24 μm dan 10,12-13,36 μm . Campuran karbon aktif yang terdiri dari 25% TKKS dan 75% kernel merupakan komposisi optimum dengan persentase reduksi COD tertinggi, yaitu pada 44,21%. Nilai ini lebih tinggi dari reduksi COD dengan menggunakan karbon aktif komersial yang hanya sebesar 18,95%. Temuan ini diharapkan dapat berimplikasi secara positif bagi industri kelapa sawit dalam pemanfaatan biomassa kelapa sawit sebagai adsorben yang efektif dan dapat

diterapkan pada pengolahan limbah cair organik, khususnya POME.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan atas dukungan finansial atas penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lacalamita, C. Mongiovi, and G. Crini, "Chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand analysis of discharge waters from laundry industry: monitoring, temporal variability, and biodegradability," *Front Environ Sci*, vol. 12, 2024, doi: 10.3389/fenvs.2024.1387041.
- [2] L. Wojnárovits, R. Homlok, K. Kovács, A. Tegze, and E. Takács, "Wastewater Characterization: Chemical Oxygen Demand or Total Organic Carbon Content Measurement?," *Molecules*, vol. 29, no. 2, Jan. 2024, doi: 10.3390/molecules29020405.
- [3] Z. Lv, X. Ran, J. Liu, Y. Feng, X. Zhong, and N. Jiao, "Effectiveness of Chemical Oxygen Demand as an Indicator of Organic Pollution in Aquatic Environments," Jun. 28, 2024, *American Association for the Advancement of Science*. doi: 10.34133/olar.0050.
- [4] N. Mustofa and L. Febriyana, "Analisis Kadar Chemical Oxygen Demand (Cod) pada Air Limbah Domestik dengan Metode Refluks menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis," *JRSKT - Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, vol. 10, no. 1, pp. 139–146, Jul. 2024, doi: 10.21009/jrskt.101.06.
- [5] R. Heryadi and B. Widianarko, "Bio-Dimethyl Ether from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Sustainability Assessment of Bio-Dimethyl Ether: A Case Study in Indonesia," *Curr Appl Sci Technol*, vol. 22, no. 5, 2022, doi: 10.55003/cast.2022.05.22.004.
- [6] H. M. El-Bery, M. Saleh, R. A. El-Gendy, M. R. Saleh, and S. M. Thabet, "High adsorption capacity of phenol and methylene blue using activated carbon derived from lignocellulosic agriculture wastes," *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-09475-4.
- [7] S. Tuomikoski, R. Kupila, H. Romar, D. Bergna, T. Kangas, H. Runtti and U. Lassi

- “Zinc adsorption by activated carbon prepared from lignocellulosic waste biomass,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 21, Nov. 2019, doi: 10.3390/app9214583.
- [8] G. E. Harimisa, N. W. C. Jusoh, L. S. Tan, N. A. Ghafar, and A. Masudi, “Adsorption of Contaminants from Palm Oil Mill Effluent Using Agricultural Biomass Wastes as Adsorbents,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1051, no. 1, p. 012062, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1051/1/012062.
- [9] E. Awere, P. A. Obeng, and A. Bonoli, “Application of Palm Kernel Shell Granular Filter Medium for Decolourisation and COD Removal from Clarified Palm Oil Mill Effluent,” *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 14, no. 5, pp. 329–339, Oct. 2023, doi: 10.18178/ijesd.2023.14.5.1452.
- [10] I. B. Paśmionka, P. Herbut, G. Kaczor, K. Chmielowski, J. Gospodarek, E. Boligłowa, M. Bik-Małodzińska and F. M. C. Vieira “Influence of COD in Toxic Industrial Wastewater from a Chemical Concern on Nitrification Efficiency,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/ijerph192114124.
- [11] J. Thoe, N. Surugau, and H. Chong, “Application of Oil Palm Empty Fruit Bunch as Adsorbent: A Review,” 2019. [Online]. Available: <http://tost.unise.org/>
- [12] S. Mohammad, S. Baidurah, T. Kobayashi, N. Ismail, and C. P. Leh, “Palm oil mill effluent treatment processes—A review,” 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/pr9050739.
- [13] C. E. Almeida-Naranjo, E. Gallegos, E. Domínguez, P. Gutiérrez, V. Valle, A. D. Aguilar, A. Debut and C. Vasco “From Renewable Biomass to Water Purification Systems: Oil Palm Empty Fruit Bunch as Bio-Adsorbent for Domestic Wastewater Remediation and Methylene Blue Removal,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 23, Dec. 2023, doi: 10.3390/w15234116.
- [14] Y. Utomo, Risnawati, F. M. Rohimsyah, M. Tominaga, F. Kurniawan, W. Astuti, A. I. Ismail, Y. Triana “Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) Activated Carbon as Promising Electrode Materials for Battery,” *Solid State Phenomena*, vol. 368, pp. 61–76, 2024.
- [15] N. Intarachandra, S. Siriworakon, and T. Sangmanee, “Preparation of oil palm empty fruit bunch based activated carbon for adsorption of dye from aqueous solution,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 268, p. 06008, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201926806008.
- [16] C. S. Lin, N. Ibrahim, N. Ahmad, M. A. Hanif, and S. Abdullah, “Nitric oxide removal by zinc chloride activated oil palm empty fruit bunch fibre,” 2021.
- [17] Y. M. N. S. Ismail, N. Ngadi, M. H. Hassim, M. J. Kamaruddin, A. Johari, and M. A. A. Aziz, “Preparation of activated carbon from oil palm empty fruit bunch by physical activation for treatment of landfill leachate,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Dec. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/458/1/012036.
- [18] N. Jalani, A. Aziz, N. Wahab, W. W. Hassan, and N. Zainal, “Application of Palm Kernel Shell Activated Carbon for the Removal of Pollutant and Color in Palm Oil Mill Effluent Treatment,” *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, vol. 2, no. 1, p. 15, 2016, doi: 10.4103/2423-7752.181802.
- [19] M. Gayathiri, T. Pulingam, K. T. Lee, and K. Sudesh, “Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism,” *Chemosphere*, vol. 294, no. 133764, Jan. 2022.
- [20] N. B. Hoang, T. C. Q. Ngo, T. K. N. Tran, and V. T. Lam, “Comprehensive review on synthesis, physicochemical properties, and application of activated carbon from the Arecaceae plants for enhanced wastewater treatment,” Jan. 01, 2022, *De Gruyter Open Ltd*. doi: 10.1515/chem-2021-0117.
- [21] A. Munandar, S. Muhammad, and S. Mulyati, “Penyisihan COD dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit menggunakan Nano Karbon Aktif,” *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 11, no. 1, pp. 24–31, Jun. 2016, doi: 10.23955/rkl.v11i1.4231.
- [22] Y. Hendrawan, D. Y. Nurseta, R. Utami, Daisy, M. I. A. Trilaksana, S. H. Sumarlan and Y. Wibisono “Effect of carbonisation temperature and activating agents on the characteristics of activated carbon produced from oil palm empty fruit bunch,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, May 2021. doi: 10.1088/1755-1315/733/1/012004.

- [23] T. J. Mays, "A new classification of pore sizes," in *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 160, Elsevier, 2007, pp. 57–62.
- [24] S. Li, T. Xing, Y. Wang, P. Lu, W. Kong, S. Li, X. Su and X. Wei "Pore Structure Regulation and Electrochemical Performance Characterization of Activated Carbon for Supercapacitors," *Front Energy Res*, vol. 9, May 2021, doi: 10.3389/fenrg.2021.680761.
- [25] N. Ahmad, N. Ibrahim, P. Y. Fu, and R. Ahmad, "Influence of carbonisation temperature on the surface pore characteristics of acid-treated oil palm empty fruit bunch activated carbon," *J Teknol*, vol. 82, no. 5, pp. 127–133, Jul. 2020, doi: 10.11113/jt.v82.14598.