



Adsorpsi Anilin oleh Karbon Aktif Magnetik Cangkang Kelapa Sawit

Hani Alfiyani, Nurlina Nurlina, Nelly Wahyuni*

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Indonesia

*Corresponding author: nellywahyuni@chemistry.untan.ac.id

DOI: 10.20961/alchemy.18.2.53647.130-139

Received 23 July 2021, Accepted 26 June 2022, Published 30 September 2022

Kata kunci:

adsorpsi;
anilin;
isoterm;
karbon aktif
magnetik;
kinetika.

ABSTRAK. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang dapat dikompositkan dengan besi oksida menjadi karbon aktif magnetik (KAM) sehingga mempermudah proses pemisahannya dari dalam larutan. Penelitian ini menjelaskan kinerja KAM dalam mengadsorpsi anilin dengan menentukan isoterm dan kinetika adsorpsinya serta efektifitas sifat magnet dalam pemisahan KAM. Karbon aktif magnetik dibuat dari cangkang kelapa sawit dikarbonisasi (300 °C, 2 jam), diaktivasi fisika (600 °C, 30 menit), dan dilanjutkan aktivasi kimia (ZnCl₂ 0,05 M). Karbon aktif magnetik dibuat dengan mencampurkan karbon aktif dan larutan Fe(III)/Fe(II) (rasio mol 2:1). Pengukuran daya serap adsorpsi menggunakan variasi konsentrasi anilin (25, 50, 75, 100, dan 125 ppm) dan waktu kontak (60, 120, 180, 240, dan 300 menit). Adsorben KAM dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer infra merah (FTIR), difraktometer sinar-X (XRD), fluoresensi sinar-X (XRF), *Surface Area Analysis* (SAA) dan konsentrasi anilin diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Hasil analisis FTIR menunjukkan munculnya serapan Fe–O pada bilangan gelombang 580,32 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya besi oksida pada KAM. Difraktogram XRD menunjukkan puncak pada 2θ 18,39°; 34,09°; 34,82°; 35,03°; dan 35,87° dari magnetit Fe₃O₄, puncak 2θ 32,83°; 35,77°; dan 38,18° dari hematit. Hasil SAA menunjukkan luas permukaan KAM 179,40 m²/g, diameter rata-rata pori 24,95 Å dan XRF menunjukkan adanya kandungan Fe₂O₃ pada KAM sebesar 76,316%. Kapasitas adsorpsi optimum diperoleh pada konsentrasi anilin 100 ppm dengan waktu kontak selama 240 menit sebesar 86,254 mg/g. Kinetika adsorpsi sesuai dengan model *pseudo*-orde dua (R² sebesar 0,9934) dengan konstanta kinetika 0,0073 g/(mg.menit).

Keywords:

adsorption;
aniline;
isotherm;
magnetic activated
carbon;
kinetics.

ABSTRACT. *Aniline Adsorption by Oil Palm Shell Magnetic Activated Carbon.* Activated carbon is one of the adsorbents that can be composted with iron oxide into magnetic activated carbon (KAM), making it easier to separate from the waste solution. This research investigated the KAM's performance in absorbing aniline by determining its adsorption isotherms and kinetics as well as the effectiveness of magnetic properties in KAM separation. Magnetic activated carbon was produced by oil palm shells carbonization at (300 °C, 2 hours), followed by physical activation (600 °C, 30 minutes), and continued by chemical activation (ZnCl₂ 0.05 M). Magnetic activated carbon was made by mixing activated carbon and Fe(III)/Fe(II) solution (mole ratio 2:1). Adsorption measurements use variations in aniline concentrations (25, 50, 75, 100, and 125 ppm) and contact times (60, 120, 180, 240, and 300 minutes). KAM adsorbents were characterized using infrared spectrophotometers (FTIR), X-ray diffractometers (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and surface area analysis (SAA). Meanwhile, the adsorbed aniline concentrations were measured by UV-Vis spectrophotometers. The results of the FTIR analysis showed the appearance of Fe–O absorption in wavenumbers 580.32 cm⁻¹ indicating the presence of iron oxide in KAM. XRD diffractogram shows peaks at 2θ 18.39°; 34.09°; 34.82°; 35.03°; and 35.87° of Fe₃O₄ magnetite, and peaks 2θ 32.83°; 35.77°; and 38.18° from hematite. SAA results showed a surface area of KAM of 179.40 m²/g and an average pore diameter of 24.95 Å. XRF showed the presence of Fe₂O₃ content in KAM of 76.316%. An optimum adsorption capacity of 86.254 mg/g was obtained at an aniline concentration of 100 ppm with a contact time of 240 minutes. Adsorption kinetics correspond to the second-order pseudo-model (R² of 0.9934) with a kinetic constant of 0.0073 g/(mg.min).

PENDAHULUAN

Anilin (C₆H₇N) merupakan senyawa golongan amina aromatik yang tidak mudah larut dalam air sehingga mudah terakumulasi dan banyak ditemukan di limbah industri pestisida, karet, obat-obatan, dan zat warna (Jianguo *et al.*, 2005). Anilin dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air, kematian pada hewan dan tumbuhan air, bahkan menyebabkan mutasi gen pada manusia (Zhu *et al.*, 2012). Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menjelaskan bahwa anilin merupakan bahan pencemar dalam kategori bahaya tingkat I, yaitu jenis bahan pencemar yang mudah meledak, mudah menyala, reaktif, korosif, dan beracun. Beberapa kasus pencemaran anilin pernah

terjadi akibat dari pembuangan limbah industri. Hal ini dibuktikan dengan penelitian [Suhendra *et al.* \(2013\)](#), mengenai keberadaan anilin di Sungai Citarum Hulu yang berasal dari pembuangan air limbah 54 industri tekstil di Kecamatan Majalaya. Hasil penelitian menyimpulkan kandungan anilin di 32 sampel yang diambil rata-rata sebesar 15 ppm yang artinya telah melewati batas ambang batas yaitu 2 ppm ([Rafinel *et al.*, 2018](#)).

Berbagai metode telah banyak diteliti dan digunakan untuk mengurangi kandungan anilin di dalam air limbah seperti biodegradasi ([Suhendra *et al.*, 2013](#)), oksidasi, pemisahan membran, ozonasi ([Jing *et al.*, 2015](#)), dan adsorpsi ([Deng *et al.*, 2018](#)). Adsorpsi merupakan metode yang relatif murah dan mudah diaplikasikan sehingga banyak digunakan. Adsorpsi terjadi akibat adanya kontak antara adsorben dan adsorbat pada masing-masing permukaan ([Maihendra *et al.*, 2016](#)).

Karbon merupakan adsorben yang telah dikenal kemampuan adsorpsinya melalui pori dalam berbagai proses adsorpsi limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) seperti limbah industri pestisida, karet, obat-obatan, pernis, dan zat warna ([Jianguo *et al.*, 2005](#)). Karbon dapat dibuat dari biomassa yang banyak mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Pada penelitian ini digunakan cangkang kelapa sawit yang mengandung selulosa sebesar 27,7%, hemiselulosa sebesar 21,6%, dan lignin sebesar 44% ([Rugayah *et al.*, 2014](#)) sebagai bahan baku dalam pembuatan karbon.

Berbagai modifikasi karbon baik secara fisika maupun kimia telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efektifitas adsorpsi. Karbon aktif magnetik merupakan bentuk komposit karbon dan partikel magnetik. Komposit ini dapat dibuat dengan metode kopresipitasi *in situ*, yaitu mencampurkan karbon aktif dengan larutan garam Fe(III)/Fe(II) (rasio molar 2:1) ([Fisli *et al.*, 2012](#)). Partikel karbon yang terkomposit pada magnet diharapkan dapat memudahkan proses pemisahan adsorben dari larutan ([Sivashankar *et al.*, 2014](#)). Adsorben yang telah dipisahkan memungkinkan untuk dapat digunakan kembali setelah dilakukan *treatment* terlebih dahulu. Keuntungan utama dari penggunaan karbon yang terkomposit magnet pada limbah ialah limbah yang telah dilakukan adsorpsi dapat dibuang dalam waktu yang sangat singkat dan tidak menghasilkan kontaminan. Proses pembuatan karbon yang terkomposit magnet relatif murah jika dibandingkan dengan partikel magnet komersial sehingga cocok untuk diaplikasikan pada lingkungan ([Safarik *et al.*, 2012](#)).

Pada penelitian ini, karbon dibuat dari cangkang kelapa sawit. Pemilihan bahan baku dalam pembuatan KAM juga dapat mempengaruhi hasil adsorpsi. Penelitian ini juga difokuskan pada isoterm dan kinetika adsorpsi anilin oleh karbon aktif magnetik cangkang kelapa sawit serta efektifitas sifat magnet dalam pemisahan KAM.

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 325 dan 400 mesh ABM Test Sieve Analys, blender National, desikator Normax, *disk mill* Model FFC 23, krus porselin, oven Memmert, multiparameter Hanna Instrumen HI98194, neraca analitik Scilogex MS7-H550-Pro, pemanas elektrik Thermo Scientific, pengaduk magnetik, peralatan gelas iwaki, *centrifuge*, *shaker* IKA-WERKE KS 501 digital, dan tanur NUVE MF 306.

Instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Nicolet Avatar 360 IR, UV-Vis *Spectroscopy* Genesys 10s U-Vis, *Surface Area Analysis* (SAA) *NOVAtouch Series*, *X-Ray Diffraction* (XRD) Shimadzu Lab X XRD 6000 dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) PAN Alytical Epsilon 3.

Cangkang kelapa sawit yang digunakan berasal dari limbah pabrik perkebunan sawit PT. Pundi Lahan Khatulistiwa, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah akua demineralisasi, amilum, anilin (C₆H₇N), besi (III) klorida (FeCl₃·6H₂O), besi sulfat (FeSO₄·7H₂O), natrium hidroksida (NaOH), pH Universal MQuant dan zink klorida (ZnCl₂).

Pembuatan Karbon

Pembuatan karbon dari cangkang kelapa sawit dilakukan dengan merujuk prosedur [Meisrilestari *et al.* \(2013\)](#). Sampel kelapa sawit yang berasal dari PT. Pundi Khatulistiwa diambil ± 3 kg, dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 1,5 jam. Cangkang kelapa sawit yang telah bersih dihaluskan dengan cara digiling menggunakan *disk mill*. Hasil penggilingan cangkang dikarbonisasi menggunakan tanur pada suhu 300 °C selama 2 jam. Karbon cangkang kelapa sawit dihaluskan dan diayak. Karbon yang digunakan untuk tahap berikutnya adalah karbon yang lolos ayakan 325 mesh dan tertahan diayakan ukuran 400 mesh. Penentuan uji kadar air dan kadar abu pada karbon dilakukan dengan merujuk Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-1682-1996.

Pembuatan Karbon Aktif Magnetik

Karbon cangkang kelapa sawit diaktivasi secara fisika dengan cara dikarbonisasi menggunakan tanur pada suhu 600 °C selama 30 menit (Viena *et al.*, 2020). Karbon diaktivasi kembali secara kimia dengan cara mencampurkan karbon dengan larutan ZnCl₂ 0,05 M, diaduk, dan ditutup selama 24 jam. Campuran disaring dan karbon yang diperoleh dicuci dengan akuades, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam.

Karbon aktif magnetik dibuat dengan cara memasukkan karbon aktif cangkang kelapa sawit sebanyak 40 g ke dalam 200 mL akuades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 70 °C. Campuran besi (III) dan besi (II) dibuat sebanyak 200 mL dengan mencampurkan FeCl₃·6H₂O dan FeSO₄·7H₂O dengan perbandingan 2:1. Campuran yang telah dibuat, dimasukkan ke dalam karbon aktif yang sedang diaduk dan dipanaskan dengan perbandingan berat massa karbon aktif dan besi oksida 2:1. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan 100 mL NaOH 5M tetes demi tetes hingga terbentuk endapan (Fisli *et al.*, 2012).

Partikel komposit yang diperoleh, kemudian dicuci beberapa kali dengan akuades sampai konduktivitas air tapisan <100µS/m² dan pH 7, serta dikeringkan selama 4 jam pada suhu 100 °C. Partikel komposit yang telah kering dipisahkan dengan menggunakan batangan magnet. Partikel yang tertarik oleh batangan tersebut dipisahkan kemudian digerus untuk mendapatkan bentuk serbuk yang halus. Partikel ini yang kemudian disebut dengan KAM (Fisli *et al.*, 2012; Fisli *et al.*, 2018).

Analisis dan Karakterisasi Karbon dan Karbon Aktif Manetik

Kadar air dan kadar abu dari karbon serta KAM dianalisis dengan merujuk pada SNI 01-1682-1996 (Badan Standarisasi Nasional, 1996). Karbon dan KAM juga dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung di dalam sampel, *Surface Area Analysis* (SAA) digunakan untuk mengetahui luas permukaan, diameter, dan volume rata-rata pori sampel, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi jenis mineral yang terkandung pada sampel dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi senyawa besi oksida di dalam sampel.

Tabel 1. Persamaan isoterm dan kinetika adsorpsi.

Typ Model Isoterm	Persamaan yang Digunakan	Referensi
Langmuir	$C_e/Q_e = (1/kQ_0) + (C_e/Q_0)$	Foo and Hammed, 2010
	$Q_e = Q_0 - (Q_e/kC_e)$	
	$Q_e/C_e = kQ_0 - kQ_e$	
Freundlich	$1/Q_e = (1/Q_0 k C_e) + (1/Q_0)$	Silva <i>et al.</i> , 2013
	$\text{Log } Q_e = \text{log } k + (1/n) \text{log } C_e$	
Tempkin	$Q_e = B \ln(A_r) + B (C_e)$	Olalekan <i>et al.</i> , 2012
Redlich-Peterson	$Q_e = (kQ_e/1) + bC_e$	Wang and Guo, 2020
Dubinin-Radushkevich	$\text{Ln } Q_e = -k \varepsilon^2 + \text{Ln } Q_0$	Yenti <i>et al.</i> , 2019
Typ Model Kinetika	Persamaan yang Digunakan	Referensi
Orde satu	$\text{Ln } C_e = -kt + \text{Ln } C_0$	Ho and Mckay, 1999
Orde dua	$1/C_e = kt + (1/C_0)$	
<i>Pseudo</i> -orde satu	$\text{Log } (Q_e - Q_i) = \text{log } Q_e - (k/2,303)t$	
<i>Pseudo</i> -orde dua	$t/Q_t = (t/Q_e) + (1/kQ_e^2)$	

Penentuan Konsentrasi Optimum Adsorpsi dan Model Isoterm Adsorpsi Anilin

Sebanyak 0,1 g adsorben karbon dan KAM dalam masing-masing wadah ditambahkan ke 10 mL larutan yang mengandung anilin. Adsorpsi dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan sampel 25, 50, 75, 100, dan 125 ppm. Keduanya dikontakkan menggunakan *shaker* dengan kecepatan rotasi 250 rpm selama 2 jam. Larutan didiamkan selama 10 menit, kemudian disaring dan dipisahkan menggunakan *centrifuge* selama 10 menit. Filtrat diambil, kemudian diencerkan 10 kali dan dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan λ_{maks} 200 nm. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan perlakuan dan seluruh tahapan dilakukan pada ruang dengan suhu kontrol 24,5 °C. Kapasitas adsorpsi dapat dihitung menggunakan [Persamaan 1](#). Penentuan model isoterm adsorpsi dipelajari dengan menggunakan lima model yaitu Langmuir, Freundlich, Tempkin, Redlich-Peterson, dan Dubinin-Radushkevich yang ditampilkan pada [Tabel 1](#).

$$Q = ((C_0 - C_e) \times V) / W \quad (1)$$

dimana, Q (mg/g) merupakan daya serap adsorpsi, C_0 (mg/L) konsentrasi awal, C_e (mg/L) konsentrasi akhir, V (L) merupakan volume larutan sampel dan w (g) massa dari adsorben.

Penentuan Waktu Kontak Optimum dan Kinetika Adsorpsi Anilin

Sebanyak 0,1 g KAM ditambahkan ke dalam 10 mL larutan yang mengandung anilin dengan konsentrasi 100 ppm. Keduanya dikontakkan dengan variasi waktu pengadukan yaitu 60, 120, 180, 240, dan 300 menit serta dikocok dengan *shaker* pada kecepatan rotasi 250 rpm. Setelah itu larutan dibiarkan selama 10 menit, kemudian disaring dan filtrat dipisahkan lagi menggunakan *centrifuge* selama 10 menit. Filtrat diambil, kemudian diencerkan 10 kali dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} 200 nm. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan perlakuan dan seluruh tahapan dilakukan pada ruang dengan suhu kontrol 24,5 °C. Penentuan kinetika reaksi adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan orde satu, orde dua, *pseudo*-orde satu, dan *pseudo*-orde dua. Persamaan model kinetika adsorpsi dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

HASIL DAN PEMBAHASAN

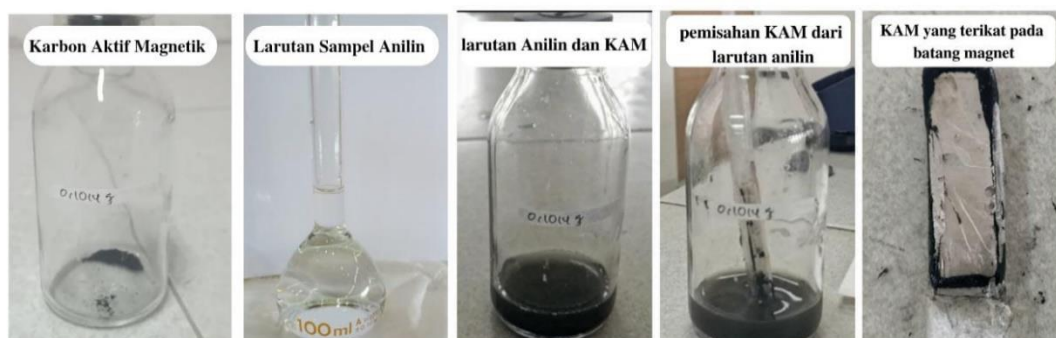
Karakterisasi Karbon dan Karbon Aktif Magnetik

Karbon cangkang kelapa sawit dibuat dengan cara dikarbonisasi menggunakan tanur yang bertujuan untuk mendegradasi selulosa, lignin dan zat-zat volatil seperti CH_4 , CO , CO_2 , dan H_2 sehingga pori-pori permukaan karbon terbuka ([Maryono *et al.*, 2013](#)). Hasil rendemen karbon cangkang kelapa sawit yang diperoleh sebesar 47,74%.

Serbuk karbon cangkang kelapa sawit yang lolos 325 mesh namun tertahan pada ayakan 400 mesh diaktivasi secara fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan pada suhu 600 °C selama 30 menit. Berdasarkan proses ini diperoleh rendemen sebesar 65,74%, artinya sekitar 34,26% kandungan senyawa yang hilang dan diasumsikan senyawa tersebut adalah lignin dan senyawa-senyawa lainnya. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan $ZnCl_2$ 0,05 M. Berdasarkan proses tersebut diperoleh rendemen sebesar 97,16%, artinya hanya ada 2,84% kandungan senyawa yang hilang dari proses aktivasi kimia.

Karbon aktif cangkang kelapa sawit yang telah jadi, selanjutnya dikomposit menjadi karbon aktif magnetik. Karbon aktif magnetik dikomposit dengan cara mencampurkan karbon aktif dan larutan garam Fe(III)/Fe(II) (rasio mol 2:1). Berdasarkan proses pembuatan KAM dari karbon aktif diperoleh rendemen sebesar 124,81%, peningkatan jumlah rendemen ini terjadi karena adanya besi oksida yang masuk menempati pori dari karbon aktif. Namun, jika rendemen dihitung mulai dari cangkang kelapa sawit sampai terbentuk KAM maka diperoleh rendemen akhir sebesar 38,05%. Karbon aktif magnetik memiliki keunggulan yang mudah dan cepat pada proses pemisahan adsorben di dalam larutan. Hal tersebut sesuai dalam penelitian [Fisli *et al.* \(2014\)](#) dalam mengadsorpsi metilen biru dari sampel air lingkungan menggunakan silika magnetit (Fe_3O_4/SiO_2) menjadi lebih mudah dan cepat dalam memisahkan adsorben di dalam larutan. Partikel karbon aktif magnetik juga memiliki keunggulan pada limbah yang telah diadsorpsi dalam dibuang dalam waktu singkat dan tidak menghasilkan kontaminan lainnya ([Safarik *et al.*, 2012](#)).

Pemisahan KAM dari dalam larutan anilin menggunakan batang magnet dapat dilihat pada [Gambar 1](#). Berdasarkan penelitian ini, KAM yang dapat terambil dari larutan sebanyak 87%. Jika pemisahan KAM dilakukan lebih dari satu kali, maka diprediksi akan lebih banyak jumlah KAM yang dapat diperoleh. Jumlah KAM yang dapat dipisahkan dari larutan menggunakan magnet dapat mengatasi kelemahan adsorpsi menggunakan adsorben berukuran kecil (\pm 325 mesh) dimana adsorben sulit dipisahkan dari larutannya.



Gambar 1. Pemisahan KAM menggunakan batang magnet.

Karakterisasi fisika-kimia karbon dan KAM ditampilkan pada [Tabel 2](#). Kadar air pada adsorben KAM mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini terjadi akibat terlepasnya zat-zat volatil, dan pengotor pada saat proses aktivasi fisika dan kimia, sehingga dapat mempengaruhi kadar air, serta meningkatkan jumlah pori pada karbon aktif. Menurut SNI 01-1682-1996 adsorben dalam bentuk serbuk diperoleh kadar air maksimal sebesar 6%. Berdasarkan karbon dan KAM dari cangkang kelapa sawit yang dibuat, dapat memenuhi syarat standar kualitas dan layak digunakan sebagai adsorben. Hal ini juga sesuai dengan penelitian [Yulianti *et al.* \(2010\)](#) mengenai hasil pengujian kadar air karbon cangkang kelapa sawit yaitu sebesar 4,3137%, dimana angka tersebut masih memenuhi syarat standar SNI dan layak digunakan sebagai adsorben.

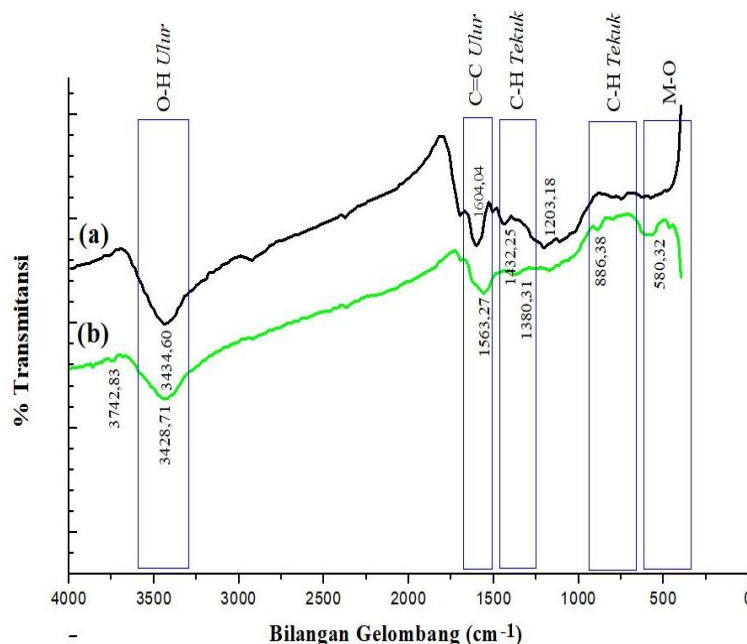
Tabel 2. Hasil pengujian pada karbon dan karbon aktif magnetik berdasarkan SNI 01-1682-1996.

Parameter Pengukuran (Satuan)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
Standar Karbon (SNI 01-1682-1996)	Maksimal 6%	Maksimal 3%
Karbon	5,3431%	0,8936%
Karbon Aktif Magnetik	0,9584%	-

Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui sisa-sisa mineral, logam-logam oksida, dan bahan yang tidak terbakar pada saat proses karbonisasi dan aktivasi fisika atau yang tidak larut pada proses aktivasi kimia. Kadar abu yang besar dapat mengakibatkan berkurangnya daya serap karbon terhadap larutan maupun gas. Hal ini disebabkan oleh mineral, logam oksida yang menyebar menempati pori-pori karbon. Berdasarkan [Tabel 2](#) dapat dilihat bahwa kadar abu pada karbon memenuhi syarat SNI 01-1682-1996 sehingga layak digunakan sebagai adsorben.

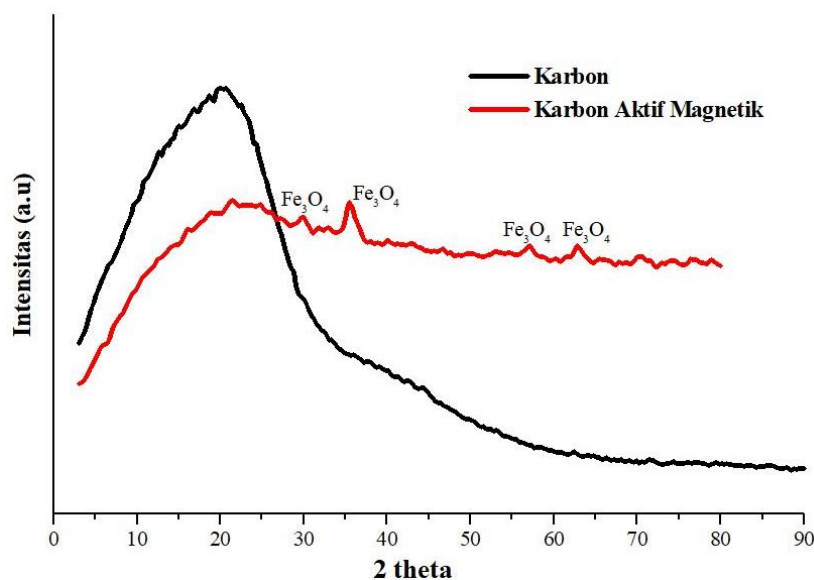
Penentuan *Surface Area Analysis* (SAA) dilakukan untuk mengetahui ukuran luas permukaan, diameter, dan volume rata-rata jari-jari pori dari karbon dan KAM yang ditunjukkan berturut-turut dalam ([Supplementary Information \(SI\), Tabel S1 dan S2](#)). Luas permukaan karbon sebesar 17,98 m²/g dan untuk KAM sebesar 179,40 m²/g. Diameter rata-rata pori karbon sebesar 44,56 Å dan untuk KAM sebesar 24,95 Å.

Penurunan diameter rata-rata pori pada karbon ke KAM terjadi karena adanya penambahan besi oksida pada proses pembuatan KAM, sehingga besi oksida masuk menempati pori pada KAM. Adapun volume rata-rata jari-jari pori dari karbon dan KAM berdasarkan SAA bernilai <20 Å atau 2 nm. Berdasarkan *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), ukuran pori dibagi menjadi 3 yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2 – 50 nm) dan makropori (>50 nm) ([Thommes *et al.*, 2015](#)). Anilin memiliki ukuran molekul minimum sebesar 0,67 nm. Berdasarkan hasil pengukuran SAA maka dapat disimpulkan bahwa molekul anilin dapat menempati pori dari karbon ataupun KAM yang berukuran mikropori.



Gambar 2. Spektrum FTIR karbon (a) dan karbon aktif magnetik (b).

Spektra FTIR karbon dan KAM dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Pada kurva (b) muncul puncak serapan berupa ikatan besi dan oksida pada bilangan gelombang $580,32\text{ cm}^{-1}$ menyatakan bahwa karbon aktif magnetik yang dibuat dari cangkang kelapa sawit mengandung besi oksida. Hal ini juga dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh [Anyika *et al.* \(2017\)](#), terdapat puncak serapan ikatan besi dan oksida pada bilangan gelombang 579 cm^{-1} dan memiliki beberapa pita serapan khas pada bilangan gelombang lainnya yang tidak jauh berbeda dari penelitian yang dilakukan. [Anyika *et al.* \(2017\)](#) juga melakukan analisis FTIR pada karbon aktif magnetik komersial yang menunjukkan munculnya beberapa puncak pada O–H ulur ($3428,80\text{ cm}^{-1}$), O–H tekuk ($1631,78\text{ cm}^{-1}$), C–O ulur ($891,27\text{ cm}^{-1}$), dan M–O ($616,89\text{ cm}^{-1}$).



Gambar 3. Difraktogram XRD karbon (a), dan karbon aktif magnetik cangkang kelapa sawit (b).

Puncak difratogram KAM terlihat lebih lebar dibandingkan karbon ([Gambar 3](#)). Hal ini diasumsikan terjadi akibat dari proses aktivasi dan penambahan senyawa besi oksida. Selanjutnya dilakukan analisa dengan membandingkan dengan data model *American Mineralogist Crystal Structure Database (AMCSD) code 0002404* dan pada penelitian sebelumnya [Anyika *et al.* \(2017\)](#) dan [Cazetta *et al.* \(2016\)](#) yang dapat dilihat pada [Tabel 3](#). Berdasarkan [Tabel 3](#), dapat dilihat puncak 2θ yang dihasilkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dari data model AMCSD dan penelitian sebelumnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil mensintesis karbon aktif magnetik dari cangkang kelapa sawit.

Tabel 3. Data perbandingan difratogram Fe_3O_4 pada penelitian yang dilakukan dan sebelumnya.

KAM Cangkang Kelapa Sawit (Penelitian)	AMCSD 0002404 (Haavik <i>et al.</i>, 2000)	KAM Cangkang Kelapa Sawit (Anyika <i>et al.</i>, 2017)	KAM Tempurung Kelapa (Cazetta <i>et al.</i>, 2016)
$30,07^\circ$	$30,27^\circ$	$30,75^\circ$	$30,4^\circ$
$35,58^\circ$	$35,83^\circ$	$35,95^\circ$	$35,8^\circ$
$57,21^\circ$	$57,62^\circ$	$57,35^\circ$	$57,6^\circ$
$62,91^\circ$	$63,29^\circ$	$63,20^\circ$	$63,1^\circ$

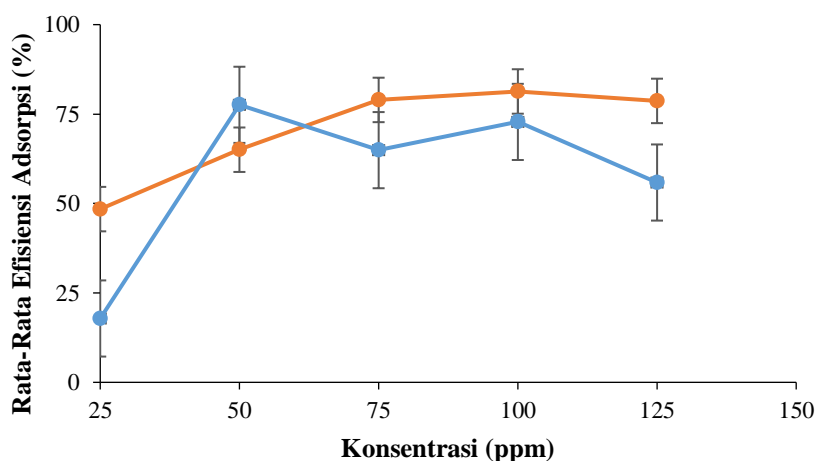
Berdasarkan hasil pengujian XRF ([SI, Tabel S3 dan Gambar S2](#)) diperoleh hasil perntase besi oksida pada KAM sebesar 76,316%. Hal ini terjadi karena pada proses pembuatan karbon aktif magnetik dilakukan penambahan besi oksida dalam bentuk Fe_3O_4 .

Adsorpsi Anilin oleh Karbon Aktif Magnetik

Penentuan kondisi optimum dilakukan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi dari KAM cangkang kelapa sawit dengan menggunakan instrumentasi spektrofotometer UV-Vis. Konsentrasi anilin yang diserap oleh adsorben karbon dan KAM cangkang kelapa sawit dihitung menggunakan kurva standar dengan persamaan garis $y = 0,3121x + 0,03$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9919.

Penentuan Konsentrasi Optimum dari Isoterm Adsorpsi Anilin

Konsentrasi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Penentuan konsentrasi optimum bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi adsorpsi dari adsorben dalam menyerap larutan anilin. Nilai efisiensi adsorpsi diperoleh dari seberapa besar konsentrasi anilin yang diserap oleh masing-masing adsorben ditampilkan pada Gambar 4. Efisiensi adsorpsi tertinggi karbon sebesar 77,68% terjadi pada konsentrasi 50 ppm, sedangkan pada KAM sebesar 81,31% pada konsentrasi 100 ppm. Perbedaan efisiensi adsorpsi dari masing-masing sampel dipengaruhi oleh luas permukaan sampel. Semakin besar luas permukaan sampel maka efisiensi adsorpsi yang diperoleh semakin tinggi. Efisiensi adsorpsi juga dapat dipengaruhi oleh kapasitas adsorpsi dari sampel. Kapasitas adsorpsi merupakan kemampuan adsorben menyerap adsorbat (Saputri, 2020). Berdasarkan uji statistik ANOVA menggunakan uji homogenitas Duncan yang menunjukkan bahwa konsentrasi 100 ppm berbeda nyata dengan konsentrasi 75 dan 125 ppm, sehingga disimpulkan bahwa konsentrasi 100 ppm merupakan konsentrasi optimum yang dapat diserap oleh KAM.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi adsorpsi anilin pada karbon dan KAM.

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kemampuan KAM cangkang kelapa sawit yang digunakan untuk menyerap senyawa anilin secara optimum. Isoterm adsorpsi pada larutan anilin pada KAM cangkang kelapa sawit dipelajari dengan menggunakan lima model isoterm adsorpsi yaitu Langmuir, Freundlich, Tempkin, Redlich-Peterson, dan Dubinin-Radushkevich yang dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, maka dapat disimpulkan bahwa adsorpsi anilin dengan KAM pada penelitian ini tidak mengikuti salah satu dari 5 model isoterm yang digunakan karena memberikan nilai $R^2 \ll 0,99$.

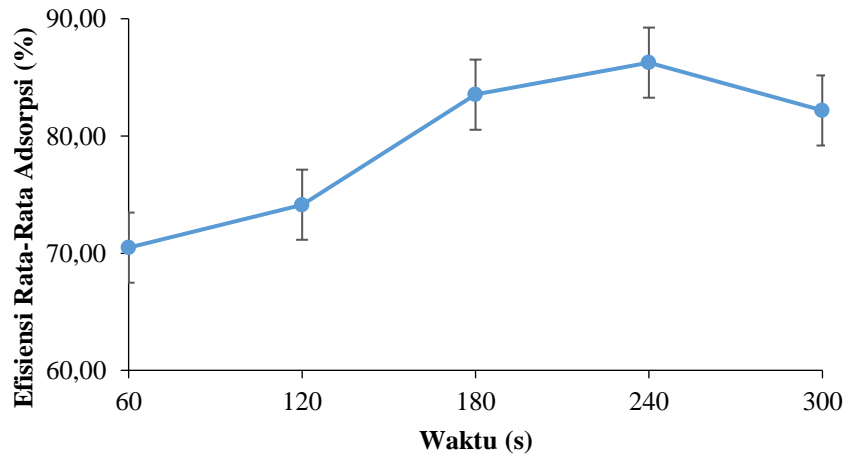
Tabel 4. Parameter isoterm adsorpsi anilin dari karbon aktif magnetik cangkang kelapa sawit.

Model Isoterm	Persamaan Garis	R^2	K
Langmuir	$y = -0,4366x + 12,823$	0,3860	-0,03405
	$y = 21,867x - 0,6982$	0,8144	-0,04573
	$y = 0,0372x + 0,0793$	0,8144	-0,03720
Freundlich	$y = 17,406x - 0,6948$	0,6120	-0,082
	$y = 2,6151x - 2,6214$	0,6736	0,0024
Tempkin	$y = 11,277x - 26,868$	0,7586	0,09230
Redlich-Peterson	$y = -1,615x + 6,036$	0,4405	6,036
Dubinin-Radushkevich	$y = -0,00008x + 3,1029$	0,7918	8×10^{-5}

Waktu Kontak Optimum dan Kinetika Adsorpsi Anilin

Waktu kontak merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi. Hal ini terjadi karena pada saat proses adsorpsi, adsorben membutuhkan waktu untuk dapat berinteraksi dengan adsorbat. Pada variasi waktu kontak 60 – 240 menit, efisiensi adsorpsi anilin dari KAM cangkang kelapa sawit semakin meningkat (Gambar 5). Hal ini terjadi karena larutan anilin masih terus berinteraksi dengan KAM. Namun pada waktu kontak 240 – 300 menit menunjukkan penurunan garis pada grafik yang berarti menunjukkan terjadinya penurunan efisiensi adsorpsi. Hal ini dapat terjadi karena sisi aktif dari adsorben sudah mengalami interaksi maksimal. Berdasarkan uji statistik ANOVA menggunakan uji homogenitas Duncan yang bertujuan untuk memperlihatkan waktu

optimum KAM dalam menyerap larutan anilin. Uji homogenitas Duncan menunjukkan bahwa 240 menit merupakan waktu kontak yang optimum untuk menyerap larutan anilin. Penelitian lain juga menjelaskan bahwa anilin dapat mengalami adsorpsi secara optimum pada waktu kontak 120 menit. Waktu optimum tersebut diperoleh dari larutan anilin 500 ppm yang dikontakkan dengan 0,25 g grafir oksida termodifikasi *attapulгите* dan diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 55,5 mg/g (Deng *et al.*, 2018).



Gambar 5. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi anilin pada KAM.

Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan untuk menentukan laju adsorpsi dari KAM cangkang kelapa sawit dalam menyerap senyawa anilin. Kinetika adsorpsi pada larutan anilin pada KAM cangkang kelapa sawit dipelajari dengan menggunakan empat model yaitu orde satu, orde dua, *pseudo*-orde satu, dan *pseudo*-orde dua. Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Parameter kinetika adsorpsi anilin dari karbon aktif magnetik cangkang kelapa sawit.

Model Kinetika	Persamaan Garis	R ²	K
Orde satu	$y = -0,0027x + 3,481$	0,6589	-0,0027
Orde dua	$y = 0,0001x + 0,0288$	0,6	0,0001
<i>Pseudo</i> -orde satu	$y = -0,0031x - 0,4825$	0,5505	-0,0031
<i>Pseudo</i> -orde dua	$y = 0,1146x + 1,803$	0,9934	42,25

Kinetika adsorpsi senyawa anilin oleh karbon aktif magnetik cangkang kelapa sawit mengikuti model *pseudo*-orde dua yang dibuktikan dengan nilai R² sebesar 0,9934. Model kinetika *pseudo*-orde dua memberikan nilai konstanta sebesar 42,25 g/mg/menit. Penelitian Do *et al.* (2011), mengenai kinetika adsorpsi karbon aktif magnetik tempurung kelapa juga menghasilkan kinetika adsorpsi yang mengikuti model *pseudo*-orde dua dengan nilai R² sebesar 0,9987 pada variasi massa Fe₃O₄ sebesar 25%. Model *pseudo*-orde dua menjelaskan tentang kemampuan adsorpsi terjadi pada masing-masing fasa padat, dimana kapasitas diasumsikan menyerap jumlah situs aktif (*active site*) pada adsorben secara proporsional (Ho and Mckay, 1999). Berdasarkan teori kinetika adsorpsi, disebut semu atau *pseudo* karena persamaan didasarkan pada jumlah adsorbat yang teradsorpsi bukan pada konsentrasi reaktan dalam cairan.

KESIMPULAN

Berdasarkan karakterisasi fisika kimia, FTIR, SAA, XRD, XRF dapat disimpulkan bahwa KAM berhasil disintesis dari cangkang kelapa sawit dengan luas permukaan 179,40 m²/g. Konsentrasi dan waktu kontak optimum adsorpsi anilin oleh KAM terjadi pada konsentrasi 100 ppm dan waktu kontak selama 240 menit dengan kapasitas adsorpsi sebesar 86,254 mg/g. Adsorpsi anilin oleh KAM tidak mengikuti model isoterm adsorpsi yang diujikan. Kinetika adsorpsi terjadi pada model *pseudo*-orde dua dengan nilai R² sebesar 0,9934 dengan konstanta 42,25 g/mg/menit. Efektifitas KAM dapat dilihat dari 87% KAM dapat dipisahkan dari larutan menggunakan batang magnet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Pemerintah Prov. Kalimantan Barat yang telah memberikan kerja sama yang baik dalam menyediakan fasilitas guna menyelesaikan penelitian ini.

INFORMASI PENDUKUNG

Informasi pendukung (*Supplementary Information*, SI) artikel ini dapat dilihat pada tautan <https://jurnal.uns.ac.id/alchemy/rt/suppFiles/50170/0>.

DAFTAR PUSTAKA

- Anyika, C., Asri, N. A. M., Majid, Z. A., Yahya, A., and Jaafar, J., 2017. Synthesis and Characterization of Magnetic Activated Carbon Developed from Palm Kernel Shells. *Nanotechnology for Environmental Engineering* 2(16), 1–25. doi: 10.1007/s41204-017-0027-6.
- Badan Standarisasi Nasional, 1996. Standar Nasional Indonesia 01-1682-1996 tentang Arang Tempurung Kelapa, Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Cazetta, A. L., Pezoti, O., Bedin, K. C., Silva, T. L., Junior, A. P., Asefa, T., and Almeida, V. C., 2016, Magnetic Activated Carbon Derived from Biomass Waste by Concurrent Synthesis: Efficient Adsorbent for Toxic Dyes Magnetic Activated Carbon Derived from Biomass Waste by Concurrent Synthesis: Efficient Adsorbent for Toxic Dyes. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 4(3), 1058–1068. doi: 10.1021/acssuschemeng.5b01141.
- Deng, Q., Chen, C., Lei, Q., Liang, J., Zhang, T., and Jiang, J., 2018. Adsorption of Aniline from Aqueous Solution Using Graphene Oxide-Modified Attapulgite Composites. *RSC Advances* 8(41), 23382–23389. doi: 10.1039/c8ra04143a.
- Do, M. H., Phan, N. H., Nguyen, T. D., Pham, T. T. S., Nguyen, V. K., Vu, T. T. T., and Nguyen, T. K. P., 2011. Activated Carbon/Fe₃O₄ Nanoparticle Composite: Fabrication, Methyl Orange Removal and Regeneration by Hydrogen Peroxide. *Chemosphere* 85(8), 1269–1276. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.07.023.
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., and Yusuf, S., 2012. Adsorben Magnetik Nanokoposit Fe₃O₄ Karbon Aktif untuk Menyerap Thorium. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 13(3), 192–197. doi: 10.17146/jsmi.2012.13.3.4671.
- Fisli, A., Yusuf, S., Krisnandi, Y. K., and Gunlazuardi, J., 2014. Preparation and Characterization of Magnetite-Silica Nano-composite as Adsorbents for Removal of Methylene Blue Dyes from Environmental Water Samples. *Trans Tech Publications* 896, 525–531. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.896.525.
- Fisli, A., Safitri, R. D., Nurbasni, and Deswita., 2018. Analisis Struktur dan Porositas Komposit Fe₃O₄ Karbon Aktif dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 19(4), 179–187.
- Foo, K. Y., and Hameed, B. H., 2010. Insights Into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chemical Engineering Journal* 156, 2–10. doi: 10.1016/j.cej.2009.09.013.
- Haavik, C., Stølen, S., Fjellvåg, H., Hanfland, M., and Häusermann, D., 2000. Equation of State of Magnetite and its High-Pressure Modification: Thermodynamics of the Fe-O System at High Pressure. *American Mineralogist*, 85(3–4), 514–523. doi: 10.2138/am-2000-0413.
- Ho, Y. S., and McKay, G., 1999. Pseudo-Second Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry* 34, 451–465. doi: 10.1016/S0032-9592(98)00112-5.
- Jianguo, C., Aimin, L., Hongyan, S., Zhenghao, F., Chao, L., and Quanxing, Z., 2005. Adsorption Characteristics of Aniline and 4-Methylaniline onto Bifunctional Polymeric Adsorbent Modified by Sulfonic Groups. *Journal of Hazardous Materials* 124, 173–180. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.05.001.
- Jing, Z., Cao, S., Yu, T., and Hu, J., 2015. Degradation Characteristics of Aniline with Ozonation and Subsequent Treatment Analysis. *Journal of Chemistry*. doi: 10.1155/2015/905921.
- Maihendra, Ahmad, F., and Zultinir., 2016. Kinetika Adsorpsi pada Penjerapan Ion Timbal Pb²⁺ Terlarut dalam Air Menggunakan Partikel Tricalcium Phosphate. *Jom FTeknik* 3(2), 1–5.
- Meisrilestari, Y., Khomaini, R., and Wijayanti, H., 2013. Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivasi Secara Fisika. *Kimia dan Fisika-Kimia, Konversi* 2(1), 46–51.
- Maryono, Sudding, and Rahmawati, 2013. Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji, *Journal Chemica* 14(1), 74–83.
- Olalekan, A. P., Dada, A. O., and Olatunya, A., 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. *IOSR Journal of Applied Chemistry* 3(1), 38–45. doi: 10.9790/5736-0313845.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Rafinel, Apriani, P., and Salim, S. E., 2018. Transfor Anilin dalam Teknik Membran Cair Fasa Ruah dengan Ion Logam Transisi sebagai Fasa Penerima. *Jurnal Kimia Unand* 7(1), 11–18.

- Rugayah, A., Astimar, A., and Norzita, N., 2014. Preparation and Characterisation of Activated Carbon from Palm Kernel Shell by Physical Activation with Steam. *Journal of Oil Palm Research* 26(3), 251–264.
- Safarik, I., Horska, K., Svobodova, B., and Safarikova, M., 2012. Magnetically Modified Spent Coffee Grounds for Dyes Removal, *European Food Research and Technology*, 234(2), 345–350. doi: 10.1007/s00217-011-1641-3.
- Saputri, C. A., 2020. Kapasitas Adsorpsi Serbuk Nata De Coco (*Bacterial cellulose*) Terhadap Ion Pb^{2+} Menggunakan Metode Batch. *Jurnal Kimia* 14(1), 71–76.
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., Greyt, W. De., and Meirelles, A. J. A. 2013. Adsorption of Carotenes and Phosphorus from Palm Oil Onto Acid Activated Bleaching Earth : Equilibrium. Kinetics and Thermodynamics, *Journal of Food Engineering* 118(4), 341–349. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.04.026.
- Sivashankar, R., Sathya, A. B., Vasantharaj, K., and Sivasubramanian, V., 2014. Magnetic Composite an Enviromental Super Adsorbent for Dye Sequestration - A Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 1–35. doi: 10.1016/j.enmm.2014.06.001.
- Suhendra, E., Purwanto and Kardena, E., 2013. Keberadaan Anilin di Sungai Citarum Hulu Akibat Penggunaan Azo Dyes pada Industri Tekstil. *METANA* 9(2), 27–40. doi: 10.14710/metana.v9i02.7614.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., and Sing, K. S. W., 2015. Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* 87(9–10), 1051–1069. doi: 10.1515/pac-2014-1117.
- Viena, V., Bahagia, and Afrizal, Z., 2020. Produksi Karbon Aktif dari Cangkang Sawit dan Aplikasinya pada Penyerapan Zat Besi, Mangan dan pH Air Sumur. *Serambi Engineering* 5(1), 875–882. doi: 10.32672/jse.v5i1.1660.
- Wang, J., and Guo, X., 2020. Adsorption Isotherm Model: Classification Physical Meaning, Application and Solving Method. *Chemosphere*, 258, 12727. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127279
- Yenti, S. R., Fadli, A., Wisrayetti, and Hamdani, M., 2019. Model Kesetimbangan Dubinin-Radushkevich pada Adsorpsi Doxorubicin Menggunakan Partikel Hidroksiapatit. *Prosiding SBFUR-4, September*, 978–979.
- Yulianti, A., Taslimah and Sriatum, 2010. Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit untuk Pemucatan Minyak Goreng Sisa Pakai. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasinya* 13(2), 36–40.
- Zhu, L., Lv, M., Dai, X., Xu, X., Qi, H., and Yu, Y., 2012. Reaction Kinetics of the Degradation of Chloroanilines and Aniline by Aerobic Granule. *Biochemical Engineering Journal* 68, 215–220. doi: 10.1016/j.bej.2012.07.015.