



Kinetics Investigation of Methylene Blue Adsorption on Activated Carbon Derived from Coffee Husk Waste

Investigasi Kinetika Adsorpsi Metilen Biru pada Karbon Aktif yang Berasal dari Limbah Kulit Kopi

Paesal Bakri, Multazam Multazam*, dan Sulistiyana Sulistiyana

Department of Tadris Kimia, Universitas Islam Negeri Mataram
Kampus II Universitas Islam Negeri Mataram, Mataram, NTB, 83125

* Corresponding author: chemung@uinmataram.ac.id

Received: April 29, 2026, Accepted: July 21, 2026, Published: July 25, 2026

ABSTRACT

Methylene Blue (MB) is a colored substance that pollutes the environment and can cause poisoning if inhaled. Adsorption using activated carbon offers a promising solution to this pollution. This study aims to determine the optimum contact time and adsorbent mass for methylene blue adsorption using coffee husk activated carbon. It also analyzes the adsorption kinetics, including reaction order and reaction rate constant. This study employed an experimental research design with a quantitative approach. The methodology involved manufacturing activated carbon from coffee husk waste through carbonization and acetic acid activation, followed by tests for water and ash content. Subsequent stages focused on determining the optimum adsorbent mass (0.03g; 0.05g, 0.10g, and 0.15g) and optimum contact time (30, 60, 90, 120, and 150 minutes). Results indicated an activated carbon water content of 8.6% and an ash content achieving 4.6%. the optimum adsorbent mass was 0.1g, achieving 84.80% adsorption efficiency, while the optimum contact time was 90 minutes, with an efficiency of 84.45%. adsorption kinetics analysis revealed that the process followed a second-order kinetic model, caharacterized by an R^2 value of 1 and a rate constant of $0.00167 \text{ M}^{-1} \cdot \text{minutes}^{-1}$.

Keywords: Activated carbon, coffee husk, methylene blue, second-order kinetic

PENDAHULUAN

Metilen Biru (MB) merupakan salah satu jenis pewarna yang tergolong ekonomis dan paling umum digunakan dalam industri pewarnaan kapas dan kayu. Metilen Biru (MB) berwarna hijau tua yang dapat menyebabkan sianosis dan perubahan warna kulit menjadi kebiruan. Selain itu, MB juga dapat menyebabkan iritasi pada pernafasan, kulit, dan mata. Namun, pada kenyataannya air limbah yang mengandung MB banyak dibuang ke lingkungan dengan jumlah berton-ton setiap

tahun. Limbah ini berasal dari berbagai sumber industri seperti percetakan, plastik, kosmetik, tekstil, pewarna, dan industri kulit (El Jery et al., 2024). Industri perlu mengendalikan limbah-limbah tersebut sebagai langkah penting dalam mengurangi polusi lingkungan.

Beberapa metode pengendalian dalam mengolah MB dalam air limbah antara lain adsorpsi (Dimbo et al., 2024), ekstraksi cair-cair (Hammad et al., 2022), oksidasi kimia (Zhao and Kok Foong, 2022), dekomposisi enzimatik atau mikrobiologis (Patel and Patel, 2023), dan filtrasi

membran (Benosmane et al., 2022). Proses adsorpsi dianggap sebagai salah satu metode alternatif yang efisien dalam menanggulangi pengolahan air limbah. Dalam proses adsorpsi, media yang digunakan disebut adsorben. Adsorben berfungsi menyerap senyawa pewarna dari air limbah industri. Salah satu adsorben yang sering digunakan adalah karbon aktif (Rohaizad et al., 2023).

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang mengacu pada bahan-bahan yang mengandung karbon yang sangat besar, yaitu 85 – 95%. Karbon aktif memiliki kemampuan porositas dan adsorpsi yang sangat tinggi yang dapat dihasilkan dari kayu, tempurung kelapa, batu bara dan lainnya. Oleh karena itu, karbon aktif sering digunakan sebagai adsorben dalam menghilangkan berbagai polutan dalam air maupun udara. Sumber karbon aktif yang berasal dari produk pertanian dan limbahnya menjadi alternatif yang baik dibandingkan dengan sumber-sumber yang tidak terbarukan dan mahal (Sharma et al., 2022). Salah satu limbah hasil produk pertanian yang berpotensi sebagai karbon aktif adalah kulit kopi.

Peminat kopi dalam 15 tahun terakhir semakin meningkat. Kopi menjadi salah satu minuman yang paling banyak dikonsumsi di dunia yaitu sebanyak 500 miliar cangkir dikonsumsi setiap tahunnya. Industri pengolahan kopi dapat menghasilkan produk sampingan karena 30 – 50% dari berat buah kopi dianggap sebagai limbah (Ali and Bhowmik, 2025). Salah satu limbah yang dihasilkan adalah kulit kopi itu sendiri.

Kulit kopi merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan biji kopi kering. Kulit kopi menyumbang 40 – 45% dari hasil panen yang dilakukan sebagai limbah pertanian. Secara kimia, kulit kopi mengandung 27,78% selulosa, 3,98% Hemiselulosa, 9,17% lignin, pektin dan kafein (Ali and Bhowmik, 2025). Oleh karena itu, kulit kopi berpotensi dapat dijadikan karbon aktif karena mengandung lignoselulosa yang tinggi seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Proses adsorpsi oleh karbon aktif dapat berjalan dengan baik jika menggunakan data kinetika. Data kinetika merupakan kunci untuk mengubah proses adsorpsi dari sekedar “penyerapan” menjadi proses teknik yang terukur, efisien, dan konsisten.

Kinetika kimia adalah cabang ilmu yang mempelajari kecepatan suatu reaksi dan mekanismenya. Paramter kinetika kimia meliputi orde reaksi dan konstanta laju reaksi yang dapat diukur secara eksperimental. Orde reaksi mencerminkan kontribusi masing-masing pereaksi terhadap laju reaksi, sedangkan konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh jenis pereaksi, suhu, dan

katalis yang memiliki nilai tetap dan merupakan perbandingan laju reaksi dan konsentrasi pereaksi (Pasaribu, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi kinetika kimia (orde reaksi dan tetapan laju reaksi) adsorpsi metilen biru menggunakan limbah kulit kopi sebagai karbon aktif.

METODOLOGI

Bahan

Metilen Biru, akuades, etanol (teknis), asam asetat (Pro Analisis), dan NaOH (teknis), dan kulit kopi Robusta (*Coffea canephora*) berasal dari Desa Tepal Sumbawa NTB.

Alat

Peralatan gelas, Oven (Mettler Experts), Furnace (Carbolite Gero/ type CWF/05), Spektrofotometer Uv-Vis (Shimadzu/ type UV 1900), timbangan analitik (KERN_{ABJ-NM/ABSN}), Hotplate stirer (Thermo Scientific),

Prosedur

Pembuatan Arang Aktif

Prosedur pembuatan arang aktif dari kulit kopi diawali dengan pembersihan kulit kopi dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 4 jam. Karbonisasi dilakukan pada suhu 450°C selama 30 menit dan didinginkan dalam desikator selama 24 jam. Hasil karbonisasi diaktifkan menggunakan larutan asam asetat 8,75 M selama 48 jam. pH dinetralkan dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 1 jam.

Uji Kimia Karbon Aktif

Uji Kadar Air

1 gram karbon aktif kulit kopi dipanaskan dalam oven dengan suhu 105°C selama 2 jam. Karbon aktif kulit kopi didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Diulangi hingga berat konstan.

Uji Kadar Abu

1 gram karbon aktif kulit kopi dipanaskan dalam furnace dengan suhu 500°C selama 4 jam. Didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Ditimbang abu yang dihasilkan.

Uji Adsorpsi Metilen Biru

Penentuan Massa Karbon Aktif Kulit Kopi Optimum

0,03 gram karbon aktif kulit kopi dimasukkan ke dalam 20 mL larutan MB 20 ppm. Diaduk selama 90 menit dan disaring. Diukur absorbansi filtrat dengan panjang gelombang

665 nm menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Dilakukan langkah yang sama untuk berat karbon aktif 0,05 g; 0,1 g; dan 0,15 g.

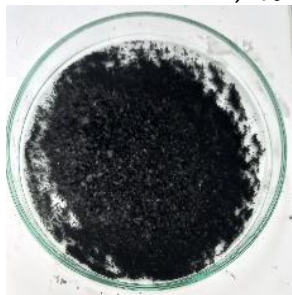
Penentuan Waktu Kontak Optimum

20 mL larutan MB 20 ppm ditambahkan dengan karbon aktif kulit kopi sebanyak massa optimum yang diperoleh. Diaduk selama 30 menit dengan kecepatan 200 rpm dan disaring. Diukur nilai absorbansi filtrat dengan panjang gelombang 665 nm menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Dilakukan langkah yang sama untuk waktu 60, 90, 120, dan 150 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Karbon Aktif Kulit Kopi

Karakterisasi karbon aktif kulit kopi memiliki tujuan untuk mengetahui standar mutu karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 yang ditunjukkan pada Tabel 1. Standar mutu yang dianalisis pada penelitian ini antara lain rendemen, kadar air, dan kadar abu. Berdasarkan Tabel 1, rendemen karbon aktif kulit kopi sebesar 18%; kadar air sebesar 8,6%; dan kadar abu sebesar 4,6%.



Gambar 1. Serbuk karbon aktif kulit kopi.

Hasil rendemen yang diperoleh masih termasuk ke dalam kategori rendah. Rendemen karbon aktif dari limbah pertanian pada umumnya berada pada kisaran 20% – 40% dengan perolehan rendemen maksimum $\pm 50\%$ (Destanti et al., 2025). Rendahnya rendemen yang diperoleh bisa disebabkan dalam penggunaan aktivator. Penggunaan aktivator H_3PO_4 dan KOH dapat memberikan hasil rendemen yang lebih baik dan kualitas pori yang terbaik (Listyorini et al., 2023). Rendemen karbon aktif menggunakan aktivator H_3PO_4 10% sebesar 89,63% (Permatasari et al., 2014) dan aktivator KOH 5% sebesar 55,40% (Erawati and Afifah, 2018). Pada penelitian ini, diperoleh rendemen karbon aktif sebesar 18% menggunakan aktivator asam asetat 8,75 M. Aktivasi

menggunakan asam asetat pekat dapat mengakibatkan massa padatan berkurang. Hal ini dikarenakan asam asetat dapat melarutkan sebagian mineral dan karbon amorf pada permukaan karbon aktif (Neme et al., 2022). Serbuk karbon aktif dari limbah kulit kopi yang dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Standar Mutu Karbon Aktif

Parameter	SNI 06-3730-1995	Hasil Penelitian
Rendemen	-	18%
Kadar Air	Maks. 15%	8,6%
Kadar Abu	Maks. 10%	4,6%

Kadar air yang diperoleh dalam penelitian sebesar 8,6%. Nilai ini menunjukkan masih ada molekul air yang terikat pada permukaan maupun di dalam pori karbon aktif. Hal ini bisa disebabkan oleh sifat higroskopis karbon aktif dimana karbon aktif mudah menyerap kembali molekul air. Namun, persentase kadar air yang terkandung dalam karbon aktif kulit kopi telah memenuhi standar SNI 06-3730-2015, yaitu maksimal kadar air dalam karbon aktif sebesar 15% sehingga layak untuk digunakan sebagai adsorben. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Febrianti et al., (2023) bahwa kadar air karbon aktif ampas kopi yang diperoleh sebesar 8,71% dengan menggunakan aktivator $ZnCl_2$.

Kadar abu karbon aktif kulit kopi yang diperoleh sebesar 4,6%. Nilai ini mengindikasikan bahwa terdapat komponen anorganik dalam jumlah yang sangat kecil, seperti silika, kalsium, kalium, dan mineral lainnya. Namun, persentase kadar abu yang diperoleh telah memenuhi SNI 06-3730-205 dimana kadar abu maksimal untuk karbon aktif sebesar 10% sehingga karbon aktif yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian yang baik. Karbon aktif kulit kopi juga berpotensi sebagai adsorben yang baik. Kadar abu di bawah 10% dapat berimplikasi pada kualitas karbon aktif yang memiliki residu anorganik. Residu tersebut dapat menyumbat pori, menurunkan luas permukaan, dan mengurangi efektivitas adsorpsi. Semakin rendah kadar abu maka semakin tinggi kualitas karbon aktif sebagai adsorben (Patel et al., 2023). Selain jumlah komponen anorganik yang sangat kecil, rendahnya kadar abu pada penelitian ini rendah diduga dikarenakan konsentrasi dari aktivator asam asetat yang tinggi. Hal ini mengakibatkan terjadinya pelarutan mineral

penyusun abu sehingga kadar abu menurun (Sharma et al., 2022).

Secara aplikatif, kadar abu dan kadar air yang rendah memiliki keuntungan sendiri dalam proses adsorpsi. Kadar abu dapat meminimalkan hambatan difusi dan kadar air dapat mengurangi kompetisi antara molekul air dan adsorbat. Oleh karena itu, karbon aktif kulit kopi berpotensi sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair dan pemurnian air.

Massa Optimum Karbon Aktif Kulit Kopi

Salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi yaitu massa adsorben. Selain aktivator, massa adsorben juga dapat mempengaruhi jumlah situs aktif pada karbon aktif. Proses aktivasi pasca karbonisasi menghilangkan karbon amorf yang menutupi pori sehingga lebih banyak situs aktif terbentuk pada permukaan karbon aktif (Sabzehmeidani et al., 2021). Pada penelitian ini menggunakan variasi massa adsorben 0,03g; 0,05g; 0,10g; dan 0,15g. Hasil efisiensi adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Kopi

No	Massa (g)	Efisiensi Adsorpsi (%)
1	0,03	80,09
2	0,05	83,05
3	0,10	84,80
4	0,15	73,30

Berdasarkan Tabel 2, hasil yang diperoleh bahwa terjadi peningkatan efisiensi adsorpsi MB seiring dengan bertambahnya massa adsorben (0,03g – 0,10g). Namun pada massa 0,15g mengalami penurunan efisiensi adsorpsi. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, fenomena ini sudah umum terjadi pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif.

Peningkatan efisiensi adsorpsi pada massa 0,03g sampai 0,10g mengindikasikan bahwa pada karbon aktif kulit kopi memiliki luas permukaan dan jumlah situs aktif yang efektif dalam berinteraksi dengan molekul MB, yang bertambah seiring dengan bertambahnya massa adsorben. Selain itu, massa adsorben yang semakin besar akan memberikan jumlah pori dan gugus fungsi yang semakin banyak. Pori dan gugus fungsi ini berperan dalam proses adsorpsi sehingga dapat menyebabkan interaksi antara adsorben dan adsorbat semakin meningkat probabilitasnya. Penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa

bertambahnya massa adsorben menyebabkan meningkatnya efisiensi penyerapan yang disebabkan oleh semakin besarnya rasio adsorben terhadap konsentrasi zat warna (Dawmanee et al., 2024).

Aka tetapi, pada massa 0,15g mengalami penurunan efisiensi adsorpsi sebesar 73,30%. Penurunan ini bisa disebabkan oleh dua hal, yaitu massa adsorben yang sangat besar dan terjadinya *overlapping* situs aktif adsorben. Massa adsorben yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya penumpukan partikel adsorben (agregasi). Penumpukan ini menyebabkan pori-pori dari karbon aktif kulit kopi sulit berinteraksi dengan molekul MB. Selain itu, dengan adanya *overlapping* situs aktif mengakibatkan berkurangnya luas permukaan efektif dari adsorben. Penelitian sebelumnya juga melaporkan hal yang sama, yaitu penambahan massa adsorben tidak selalu linier yang diakibatkan oleh keterbatasan proses difusi dan distribusi adsorbat dalam sistem (Hou et al., 2020).

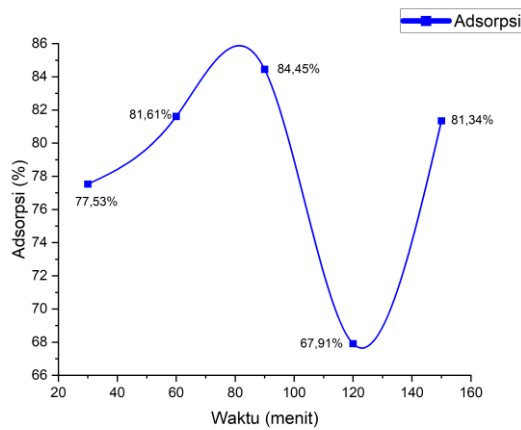
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa optimum adsorben pada massa 0,10g yaitu 84,80%. Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa karbon aktif berbasis biomassa memiliki massa optimum dimana terjadi peningkatan massa dan pada titik tertentu mengalami penurunan efisiensi adsorpsi. Oleh karena itu, penentuan massa optimum adsorben sangat penting dalam proses adsorpsi. Selain sebagai penentu jumlah situs aktif, penentuan massa optimum adsorben juga memberikan pengaruh distribusi partikel, difusi adsorbat, dan aksesibilitas pori.

Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak merupakan parameter yang sangat penting dalam proses adsorpsi. Penentuan waktu kontak ini bertujuan untuk menentukan tercapainya keseimbangan antara adsorbat dan situs aktif pada permukaan adsorben. Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu kontak, yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit dengan hasil efisiensi dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan persentase efisiensi adsorpsi pada waktu 30 – 90 menit dengan nilai maksimum yaitu 84,45%, sedangkan pada waktu 120 menit mengalami penurunan dan pada waktu 150 menit kembali mengalami peningkatan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses adsorpsi karbon aktif kulit kopi tidak

berlangsung secara linier, yang dapat disebabkan oleh beberapa tahapan kinetika kompleks.



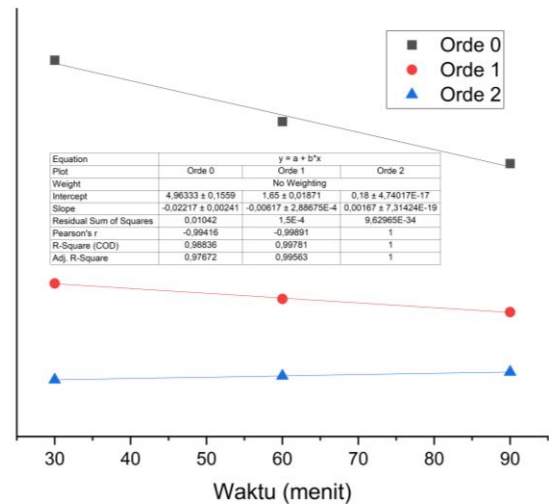
Gambar 2. Efisiensi Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Kopi Dengan Variasi Waktu Kontak

Pada menit 30 – 90, terjadi peningkatan efisiensi adsorpsi yang dikarenakan pada adsorben masih terdapat banyaknya situs aktif di permukaannya. Oleh karena itu, pada proses adsorpsi di tahapan ini masih didominasi oleh adsorpsi permukaan yang berlangsung cepat. Penelitian sebelumnya juga melaporkan bahwa proses adsorpsi berlangsung cepat pada fase awal karena masih banyaknya situs aktif di permukaan adsorben sehingga proses difusi menjadi tidak terhambat (Gendy et al., 2021). Pada menit ke-90, proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan dimana sebagian besar situs aktif telah terisi oleh molekul MB.

Penurunan efisiensi adsorpsi terjadi pada menit ke-120 (67,91%). Hal ini disebabkan oleh terjadinya desorpsi molekul adsorbat yang diperjelas oleh beberapa faktor, antara lain: interaksi antara MB dengan karbon aktif masih relatif lemah, kembalinya adsorbat ke dalam larutan, dan tercapainya titik jenuh sistem sehingga terjadi ketidakseimbangan sistem (Wolski et al., 2023). Pada menit ke-150 terjadi peningkatan kembali efisiensi adsorpsi yaitu 81,34%. Hal ini dapat disebabkan oleh molekul MB yang berdifusi lebih dalam ke dalam pori-pori atau yang disebut dengan difusi intrapartikel. Difusi intrapartikel dapat menyebabkan redistribusi adsorbat sehingga dapat meningkatkan jumlah molekul MB yang terikat pada adsorben (Leyva-Ramos et al., 2021).

Studi Kinetika Kimia

Studi kinetika adsorpsi bertujuan untuk menentukan laju adsorpsi pada adsorben terhadap adsorbat yang dipengaruhi oleh waktu. Waktu yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan laju adsorpsi adalah waktu kontak dalam mencapai kesetimbangan. Pada penelitian ini menggunakan waktu kontak 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Adapun model kinetika laju adsorpsi karbon aktif kulit kopi dapat dilihat pada Gambar 3.



Berdasarkan Gambar 3, model orde nol didapatkan persamaan linier $y = -0,002217x + 4,96$ dengan korelasi (R^2) yaitu 0,98836. Persamaan linier model orde satu, $y = -0,00617x + 1,65$ dengan korelasi (R^2) yaitu 0,99781. Persamaan linier model orde dua, $y = 0,00167x + 0,18$ dengan korelasi (R^2) yaitu 1.

Dalam menentukan orde reaksi, penelitian ini menggunakan analisis linieritas hubungan antara waktu kontak dengan parameter kinetika masing-masing model. Parameter model orde nol menggunakan konsentrasi akhir (C_i), model orde satu menggunakan $\ln C_i$, dan model orde dua menggunakan $1/C_i$. Berdasarkan Gambar 3, diperoleh hasil koefisien korelasi (R^2) untuk orde nol sebesar 0,99836, orde satu sebesar 0,99781, dan orde 2 sebesar 1.

Berdasarkan data eksperimen, model orde dua lebih sesuai dibandingkan dengan 2 model lainnya karena memiliki nilai R^2 sebesar 1. Nilai R^2 yang semakin mendekati 1 menandakan bahwa model kinetika tersebut semakin representatif dalam menjelaskan mekanisme adsorpsi. Selain itu, model orde dua menunjukkan representasi data yang sangat baik yang ditunjukkan oleh nilai *residual sum of squares* yang sangat kecil ($9,63 \times 10^{-34}$).

Model kinetika orde dua, laju adsorpsi tidak hanya bergantung pada konsentrasi adsorbat,

akan tetapi ketersediaan situs aktif pada permukaan adsorben juga menjadi berpengaruh. Pada umumnya model kinetika orde dua dikaitkan dengan interaksi yang kuat antara adsorbat dan adsorben, yaitu meliputi interaksi π - π , gaya elektrostatik, serta keterlibatan ikatan kimia yang lemah (Agboola and Benson, 2021). Interaksi yang kuat antara adsorbat dan adsorben bisa disebabkan oleh karakteristik dari permukaan karbon aktif. Pada permukaan karbon aktif dengan kadar abu 4,6%, sebagian besar residu dihilangkan selama proses aktivasi sehingga molekul metilen biru lebih mudah mengakses situs aktif karbon aktif (Mustapa, 2024). Selain itu, dengan kadar air 8,6% mengindikasikan bahwa air pada permukaan karbon aktif sebagian besar telah hilang selama proses aktivasi. Kandungan air yang rendah dapat mengurangi kompetisi antara air dan metilen biru dalam mengakses situs aktif (Syafila et al., 2022).

Hal ini mengindikasikan bahwa proses adsorpsi MB oleh karbon aktif kulit kopi lebih cenderung mengikuti model orde dua. Apabila dibandingkan dengan orde satu yang memiliki nilai R^2 sebesar 0,99781, model orde dua lebih cocok dikarenakan proses adsorpsi yang terjadi tidak hanya dipengaruhi oleh satu mekanisme tunggal. Sepertinya yang dijelaskan sebelumnya, bahwa proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh tahapan difusi film, difusi intrapartikel, dan difusi permukaan.

Parameter penting yang lain adalah konstanta laju (k). Nilai konstanta laju (k) pada masing-masing model kinetika merupakan kecepatan suatu proses adsorpsi menuju kesetimbangan. Semakin besar konstanta laju (k), maka semakin cepat proses adsorpsi berlangsung menuju keseimbangan. Nilai konstanta laju (k) diperoleh dari nilai slope pada masing-masing model kinetika. Berdasarkan Gambar 3, nilai slope model orde nol, model orde satu, dan model orde dua berturut-turut -0,02217/menit, -0,00617/menit, dan 0,00167/M.menit.

Berdasarkan konstanta laju yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa model orde dua memberikan representasi paling akurat terhadap kinetika adsorpsi. Namun, secara umum masing-masing model memiliki definisi matematis dan dasar asumsi yang berbeda. Pada model orde dua, tidak hanya merefrentasikan kecepatan adsorpsi, tapi juga juga berkaitan dengan kapasitas adsorpsi kesetimbangan sehingga model orde dua

memberikan kesesuaian yang lebih baik dari model lainnya.

KESIMPULAN

Standar mutu karbon aktif kulit kopi telah memenuhi SNI 06-3730-1995, yaitu kadar air 8,6% dan kadar abu 4,6% dengan rendemn sebesar 18%. Ini membuktikan bahwa karbon aktif kulit kopi bisa berpotensi besar sebagai adsorben dalam penyerapan Metilen Biru. Didapatkan massa optimum sebesar 1 gram dan waktu kontak yang diperoleh 90 menit yang menandakan bahwa adanya keseimbangan situs aktif dengan efisiensi massa karbon aktif. Studi kinetika adsorpsi Metilen Biru dengan menggunakan karbon aktif kulit kopi memiliki kesesuaian model kinetika yaitu model orde dua dengan $R^2 = 1$ dan konstanta laju $0,00167 \text{ M}^{-1}.\text{menit}^{-1}$. Model orde dua mengindikasikan keterlibatan adanya adsorbat dengan permukaan adsorben. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan analisis kinetika lebih lanjut dan karakterisasi adsorben yang lebih komprehensif.

REFERENSI

- Agboola, O.D., Benson, N.U., 2021. Physisorption and Chemisorption Mechanisms Influencing Micro (Nano) Plastics-Organic Chemical Contaminants Interactions: A Review. *Front. Environ. Sci.* 9, 678574. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.678574>
- Ali, M.A., Bhowmik, S., 2025. Bioactive compounds in coffee husk: extraction, functional properties, applications, and sustainable approach in circular economy. *RSC Sustainability* 3, 4410–4425. <https://doi.org/10.1039/D5SU00531K>
- Benosmane, N., Boutemur, B., Hamdi, S.M., Hamdi, M., 2022. Removal of methylene blue dye from aqueous solutions using polymer inclusion membrane technology. *Appl Water Sci* 12, 104. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01627-1>
- Dawmanee, W., Ruang-On, S., Nuengmatcha, P., 2024. Preparation and Characterization of Activated Carbon from *Lepironia articulata* (Retz.) Domin Waste as an Adsorbent for Methylene Blue Dye Removal from Wastewater. *ajc* 36, 294–300.

- <https://doi.org/10.14233/ajchem.2024.28325>
- Destanti, M., Rahmawati, R., Sari, N., Annisa, F., Fadlly, T.A., 2025. Adsorpsi Zat Organik Limbah Laundry Menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz). *JIPFRI* 9, 136–145. <https://doi.org/10.30599/jipfri.v9i2.4823>
- Dimbo, D., Abewaa, M., Adino, E., Mengistu, A., Takele, T., Oro, A., Rangaraju, M., 2024. Methylene blue adsorption from aqueous solution using activated carbon of *spathodea campanulata*. *Results in Engineering* 21, 101910. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101910>
- El Jery, A., Alawamleh, H.S.K., Sami, M.H., Abbas, H.A., Sammen, S.Sh., Ahsan, A., Imteaz, M.A., Shanableh, A., Shafiquzzaman, Md., Osman, H., Al-Ansari, N., 2024. Isotherms, kinetics and thermodynamic mechanism of methylene blue dye adsorption on synthesized activated carbon. *Sci Rep* 14, 970. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50937-0>
- Erawati, E., Afifah, E.F.N., 2018. Pembuatan Karbon Aktif Dari Gergaji Kayu Jati (*Tectona Grandis* L,F) (Ukuran Partikel Dan Jenis Aktivator). *The 8th University Research Colloquium* 2018.
- Febrianti, C., Ulfah, M., Kusumastuti, K., 2023. Pemanfaatan Ampas Kopi sebagai Bahan Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Limbah Industri Batik. *agriTECH* 43, 1. <https://doi.org/10.22146/agritech.68014>
- Gendy, E.A., Ifthikar, J., Ali, J., Oyekunle, D.T., Elkhelifia, Z., Shahib, I.I., Khodair, A.I., Chen, Z., 2021. Removal of heavy metals by covalent organic frameworks (COFs): A review on its mechanism and adsorption properties. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9, 105687. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105687>
- Hammad, S.F., Abdallah, I.A., Bedair, A., Mansour, F.R., 2022. Homogeneous liquid-liquid extraction as an alternative sample preparation technique for biomedical analysis. *J of Separation Science* 45, 185–209. <https://doi.org/10.1002/jssc.202100452>
- Hou, J., Liu, Y., Wen, S., Li, W., Liao, R., Wang, L., 2020. Sorghum-Waste-Derived High-Surface Area KOH-Activated Porous Carbon for Highly Efficient Methylene Blue and Pb(II) Removal. *ACS Omega* 5, 13548–13556. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b04452>
- Leyva-Ramos, R., Salazar-Rábago, J.J., Ocampo-Pérez, R., 2021. A novel intraparticle mass transfer model for the biosorption rate of methylene blue on white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. *Diffusion-permeation. Chemical Engineering Research and Design* 172, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.05.029>
- Listyorini, H., Lestari, D.I., Zamrudly, W., 2023. Studi Literatur Pengaruh Aktivasi Fisika Dan Kimia Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Limbah Pertanian Dan Perkebunan. *Distilat: J. Tekn. Sep* 8, 432–443. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.398>
- Mustapa, M., 2024. Methylene blue adsorption using activated carbon of various raw materials: A Review. *Jurnal Teknik Kimia* 30, 151–165.
- Neme, I., Gonfa, G., Masi, C., 2022. Activated carbon from biomass precursors using phosphoric acid: A review. *Heliyon* 8, e11940. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11940>
- Pasaribu, M.H., 2022. Studi Kinetika Kimia Pada Reaksi Saponifikasi Etil Asetat Dengan Metode Titrasi dan Konduktometri. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains* 4, 58–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.36873/jjms.2022.v4.i2.710>
- Patel, B.Y., Patel, H.K., 2023. Current approaches toward the removal of methylene blue dye from synthetic textile effluent using bacterial treated agricultural waste absorbent through statistical design. *Heliyon* 9, e19857. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19857>
- Patel, H., Weldekidan, H., Mohanty, A., Misra, M., 2023. Effect of physicochemical activation on CO₂ adsorption of activated porous carbon derived from pine sawdust. *Carbon Capture Science & Technology* 8, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2023.100128>
- Permatasari, A.R., Khasanah, L.U., Widowati, E., 2014. KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT SINGKONG (*Manihot utilisima*) DENGAN VARIASI JENIS AKTIVATOR. *J.*

- Teknol. Hasil. Pertanian 7.
<https://doi.org/10.20961/jthp.v0i0.13004>
- Rohaizad, A., Mohd Hir, Z.A., Kamal, U.A.A.M., Aspanut, Z., Pam, A.A., 2023. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Allium sativum* extract assisted by solar irradiation in a composite with graphene oxide as potent adsorbents. *Results in Chemistry* 5, 100731.
<https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100731>
- Sabzehmeidani, M.M., Mahnaee, S., Ghaedi, M., Heidari, H., Roy, V.A.L., 2021. Carbon based materials: a review of adsorbents for inorganic and organic compounds. *Mater. Adv.* 2, 598–627.
<https://doi.org/10.1039/D0MA00087F>
- Sharma, G., Sharma, S., Kumar, A., Lai, C.W., Naushad, Mu., Shehnaz, Iqbal, J., Stadler, F.J., 2022. Activated Carbon as Superadsorbent and Sustainable Material for Diverse Applications. *Adsorption Science & Technology* 2022, 4184809.
<https://doi.org/10.1155/2022/4184809>
- Syafila, M., Helmy, Q., Musthofa, A.M.H., 2022. Methylene Blue Adsorption by Activated Carbon and Nano- Activated Carbon from Biomass Waste: A Review. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan* 19.
- Wolski, R., Bazan-Wozniak, A., Pietrzak, R., 2023. Adsorption of Methyl Red and Methylene Blue on Carbon Bioadsorbents Obtained from Biogas Plant Waste Materials. *Molecules* 28, 6712.
<https://doi.org/10.3390/molecules28186712>
- Zhao, Y., Kok Foong, L., 2022. Predicting electrical power output of combined cycle power plants using a novel artificial neural network optimized by electrostatic discharge algorithm. *Measurement* 198, 111405.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111405>