

Karakterisasi Arang Tempurung Kemiri Hasil Aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 dan Kinetika Adsorpsi

Nelce Dianty Ambaa^{1)*}, Meytij Jeane Rampe²⁾, Sonny Lumingkewas³⁾

^{1,2,3} Program Studi Kimia, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: nelceamba@gmail.com

Diterima 21 April 2025; Disetujui 29 April 2025

ABSTRAK

Tempurung kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.) merupakan limbah dari pengolahan biji kemiri yang berpotensi digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan arang maupun karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji komposisi unsur dan kinetika adsorpsi dari arang tempurung kemiri. Rangkaian penelitian mencakup proses pirolisis, aktivasi serta analisis komposisi unsur menggunakan EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) dan penentuan kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri. Hasil pengujian EDS, komposisi unsur karbon (C) tertinggi adalah arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 sebesar 86,7%. Kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 terhadap CH_3COOH 1 N pada penelitian ini mengikuti orde reaksi tiga sebesar $R^2 = 0,8284$ karena nilai R^2 dari grafik orde tiga paling mendekati 1.

Kata kunci : Arang tempurung kemiri, aktivasi, kinetika adsorpsi, *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*

ABSTRACT

The candlenut shell (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.) is a byproduct of candlenut seed processing that has potential as a raw material for charcoal and activated carbon production. This study aims to examine the elemental composition and adsorption kinetics of candlenut shell charcoal. The research series includes pyrolysis, activation processes, elemental composition analysis using EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*), and determination of the adsorption kinetics of candlenut shell charcoal. Based on EDS analysis, the highest carbon (C) content was found in candlenut shell charcoal activated with H_3PO_4 - HNO_3 , amounting to 86.7%. The adsorption kinetics of candlenut shell charcoal activated with H_3PO_4 - HNO_3 toward 1 N CH_3COOH in this study followed a third-order reaction model, with $R^2 = 0.8284$, as the R^2 value for the third-order graph was the closest to 1.

Keywords : Candlenut shell charcoal, activation, adsorption kinetics, *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, tempurung kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.) merupakan limbah dari pengolahan biji kemiri yang pemanfaatannya oleh masyarakat masih tergolong minim. Di Sulawesi Utara khususnya di Tondano yang merupakan ibukota kabupaten Minahasa, pemanfaatan tempurung kemiri masih belum maksimal dimanfaatkan masyarakat. Menurut data Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Utara, produksi kemiri pada tahun 2015 sebesar 425,27 ton kemudian meningkat pada tahun 2020 sebesar 560,59 ton dan terus meningkat hingga tahun 2023 menjadi 582,4 ton sehingga tempurung kemiri menjadi penyumbang limbah pertanian dengan volume yang banyak di Sulawesi Utara.

Tempurung kemiri memiliki kandungan holoselulosa yang terdiri dari hemiselulosa dan

selulosa sebesar 49,22%, serta lignin sebesar 54,46%. Tingginya kandungan lignoselulosa tersebut menjadikan tempurung kemiri sebagai bahan yang berpotensi untuk dimanfaatkan dalam produksi arang atau karbon aktif (Mudaim & Hidayat, 2021). Arang yang dihasilkan dari tempurung kemiri bahkan memiliki kadar karbon total yang lebih tinggi dibandingkan arang tempurung kelapa, yaitu berkisar antara 85% hingga 95% (Immaduddin et al., 2021). Arang merupakan produk utama dari hasil pirolisis dengan hasil samping berupa asap cair dan tar (Rampe & Tiwow, 2018). Arang atau karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan penyerap zat pengotor dan bahan dasar obat sakit perut (norit) dalam industri farmasi (Tiwow et al., 2021).

Pembuatan arang aktif melibatkan dua tahapan utama, yaitu proses karbonisasi yang

dilakukan melalui pirolisis, dan tahap selanjutnya berupa aktivasi (Rampe & Tiwow, 2018). Pada penelitian ini dilakukan proses aktivasi menggunakan H_3PO_4 dan kombinasi $H_3PO_4-HNO_3$. Aktivasi dengan menggunakan H_3PO_4 bertujuan untuk memperbesar dan memperbaiki struktur pori-pori pada arang, sehingga menghasilkan peningkatan luas permukaan (Sholikhah et al., 2021). H_3PO_4 memiliki sifat reaktif dengan air yang dapat menguraikan senyawa hidrokarbon dalam arang sehingga pori yang terbentuk akan lebih terbuka (Masthura & Putra, 2018).

Penggunaan HNO_3 untuk aktivasi arang bertujuan memaksimalkan fungsi arang aktif pada permukaannya sehingga memiliki luas permukaan yang tinggi. Pemakaian kombinasi $H_3PO_4-HNO_3$ telah digunakan oleh Muliani et al., (2022) untuk membuat karbon aktif dari kulit kemiri (Muliani, 2022). Hasilnya menunjukkan bahwa pori-pori karbon aktif dari kulit kemiri yang diaktivasi dengan $H_3PO_4-HNO_3$ bertambah besar, lebih banyak, lebih terlihat dan ukuran pori-porinya seragam dibandingkan karbon aktif yang hanya diaktivasi dengan H_3PO_4 . Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya menganalisis morfologi permukaan dan gugus fungsi pada karbon, penelitian ini menganalisis komposisi unsur arang dan mempelajari kinetika adsorpsinya.

Kinetika adsorpsi merupakan faktor penting dalam menentukan seberapa efektif suatu arang atau karbon aktif menyerap zat tertentu. Secara umum, kinetika ini menggambarkan kecepatan proses penyerapan serta lamanya adsorbat berada pada permukaan antara fase padat dan cair. Untuk menentukan kinetika adsorpsi arang atau karbon aktif terhadap CH_3COOH , dapat dilakukan dengan mengukur perubahan konsentrasi CH_3COOH sebagai fungsi waktu (Setyorini et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi unsur karbon dan kinetika adsorpsi dari arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan $H_3PO_4-HNO_3$. Semakin tinggi kadar karbon, maka kemampuan adsorpsi arang aktif tersebut semakin tinggi. Untuk mengetahui komposisi unsur dari arang tempurung kemiri dapat dianalisis menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS). Kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kemampuan arang tempurung kemiri hasil

aktivasi dengan $H_3PO_4-HNO_3$ mengadsorpsi adsorbat.

2. KAJIAN LITERATUR

Tempurung Kemiri

Tempurung kemiri merupakan hasil samping dari pengolahan biji kemiri yang mempunyai kadar hemiselulosa dan kadar lignin yang tinggi sehingga dikategorikan sebagai kayu keras dan dapat dijadikan sebagai arang aktif untuk adsorben. Komposisi kimia tempurung kemiri mencakup hemiselulosa sebesar 49,22%, selulosa 27,14%, lignin 54,46%, serat kasar 41,07%, dan abu 5,34%. Sementara itu, kondensat asap cair dari tempurung kemiri mengandung senyawa fenol sebesar 1,89%, karbonil 3,52%, dan total asam 3,65% (Ummah, 2019).

Aktivasi

Aktivasi merupakan tahap pengolahan arang yang telah melalui proses karbonisasi, dengan tujuan menghilangkan sisa-sisa hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain yang masih menempel. Langkah ini bertujuan untuk membuka pori-pori yang tertutup serta meningkatkan jumlah dan ukuran pori-pori mikro yang telah ada (Rampe & Tiwow, 2018). Aktivasi dapat dilakukan melalui metode fisika maupun kimia. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan pemanasan menggunakan uap air atau gas karbon dioksida, sementara aktivasi secara kimia melibatkan penambahan larutan kimia atau zat pengaktif tertentu (Hasanah et al., 2022).

Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi mempelajari tentang seberapa cepat dan seberapa banyak molekul adsorbat menempel pada permukaan adsorben dalam selang waktu tertentu. Kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui penyerapan CH_3COOH oleh adsorben. Mekanisme penyerapannya dapat dilihat dari laju adsorpsi melalui orde reaksi. Orde reaksi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi orde satu, orde dua, dan orde tiga (Wijaya et al., 2023). Pada reaksi orde dua, laju reaksi (atau laju adsorpsi) sebanding dengan kuadrat konsentrasi satu jenis senyawa (adsorbat), atau dapat pula sebanding dengan hasil kali konsentrasi dua zat yang terlibat dalam reaksi, seperti adsorbat dan adsorben. Reaksi orde tiga adalah laju reaksi (laju adsorpsi) berbanding lurus dengan pangkat tiga konsentrasi satu

senyawa (adsorbat). Orde reaksi satu menyatakan hubungan grafik antara $\ln C$ dengan waktu, orde reaksi dua menyatakan hubungan grafik antara $1/C$ dengan waktu dan orde reaksi tiga menyatakan hubungan grafik antara $1/C^2$ dengan waktu (Widodo & Maesaroh, 2016).

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS)

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) adalah teknik analisis material yang biasa digunakan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisis unsur merupakan salah satu aplikasi utama EDS dalam hubungannya dengan SEM. Peneliti dapat memanfaatkan EDS dengan cepat untuk mengidentifikasi dan mengukur unsur-unsur dalam sampel sehingga memberikan informasi penting tentang komposisinya (Wijayanto & Bayuseno, 2014)

3. METODE PENELITIAN

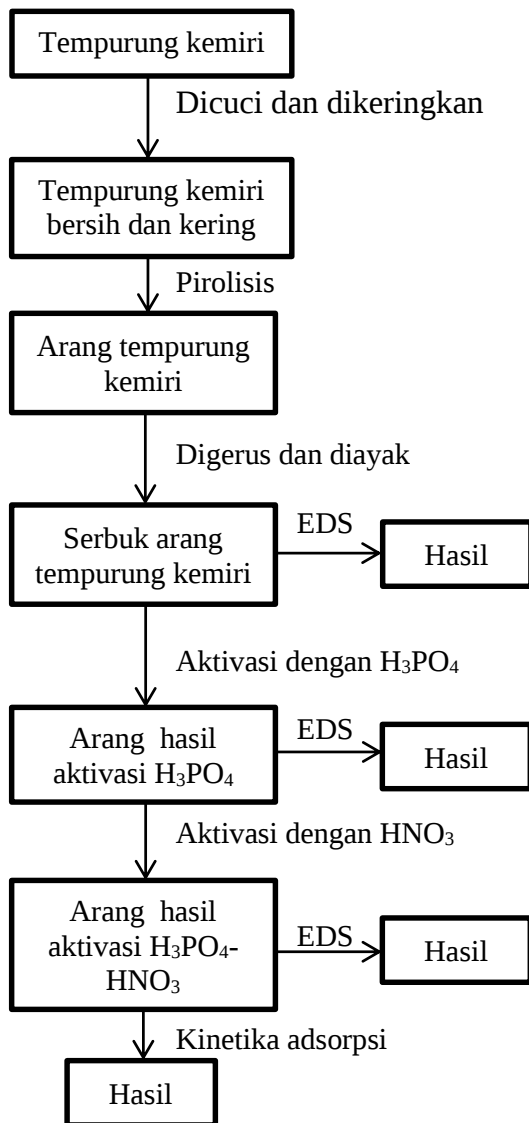
Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado dan analisis EDS dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar. Adapun bahan yang digunakan meliputi tempurung kemiri yang diambil dari Kelurahan Koya, Kecamatan Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, akuades, H_3PO_4 , HNO_3 , CH_3COOH , $NaOH$, kertas pH universal, aluminium foil kertas saring dan indikator fenoltalein. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set alat pirolisis, lumpang dan alu, ayakan ukuran 100 mesh, timbangan analitik, botol semprot, batang pengaduk, spatula, cawan petri, cawan porselen, tanur, oven, corong, pipet tetes, Erlenmeyer 250 mL, gelas ukur 100 mL, gelas beaker 100 mL, pipet gondok 75 mL, labu ukur 100 mL dan 250 mL, buret 50 mL, statif dan klem, desikator, *hot plate*. Adapun alat yang digunakan untuk uji karakterisasi adalah *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS).

Pembuatan arang tempurung kemiri dilakukan dengan mencuci tempurung kemiri dengan air mengalir untuk membersihkan kotoran yang menempel di permukaannya, seperti sisa daging buah, kerikil, dan tanah, lalu dijemur di bawah sinar matahari selama 48 jam. Sebanyak 50 kg tempurung kemiri kering dimasukkan ke dalam tungku pirolisis, kemudian dipanaskan pada suhu $300^\circ C$ selama

5 jam dan didinginkan selama 2 jam. Setelah itu, arang yang dihasilkan digerus hingga menjadi serbuk, lalu diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh.

Proses aktivasi dilakukan dengan merendam 50 gram serbuk arang tempurung kemiri hasil pirolisis ke dalam larutan H_3PO_4 10% dengan perbandingan volume larutan terhadap massa arang sebesar 5:1. Campuran tersebut diaduk, lalu didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Setelah itu, campuran disaring menggunakan corong yang dilengkapi kertas saring, kemudian dicuci berulang kali dengan akuades hingga mencapai pH netral (± 7). Selanjutnya, arang dikeringkan dalam oven pada suhu $110^\circ C$ selama 2 jam dan didinginkan dalam desikator. Sebanyak 15 gram arang tempurung kemiri yang telah diaktivasi dengan H_3PO_4 direndam dalam larutan HNO_3 4 N dengan perbandingan volume larutan terhadap massa arang aktif sebesar 5:1. Campuran tersebut diaduk dan dipanaskan hingga mendidih selama 3,5 jam. Selanjutnya, campuran disaring menggunakan corong berisi kertas saring, lalu dicuci berulang kali dengan akuades hingga mencapai pH netral (± 7). Setelah itu, arang dikeringkan dalam oven pada suhu $110^\circ C$ selama 2 jam dan kemudian didinginkan dalam desikator (Muliani et al., 2023).

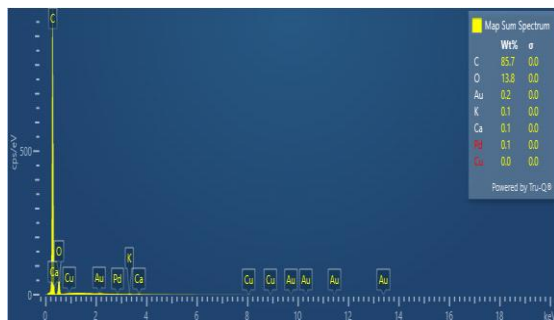
Setelah proses aktivasi, arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 diuji karakterisasi dengan alat EDS dan kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi arang dari tempurung kemiri yang telah diaktivasi menggunakan H_3PO_4 dan HNO_3 dilakukan dengan menyiapkan tiga Erlenmeyer 250 mL, masing-masing diisi dengan 25 mL larutan CH_3COOH 1 N. Sebanyak 2 gram arang hasil aktivasi ditimbang sebanyak tiga kali, kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer yang berisi larutan CH_3COOH . Campuran dikocok selama 1 menit, kemudian didiamkan selama waktu kontak yang berbeda, yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Setelah itu, campuran disaring, dan sebanyak 10 mL filtrat dari masing-masing sampel diambil untuk dititrasi menggunakan larutan $NaOH$ 0,5 N standar dengan indikator fenoltalein. Proses titrasi dihentikan saat indikator menunjukkan perubahan warna menjadi merah muda yang stabil dan tidak berubah (Setyorini et al., 2023). Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



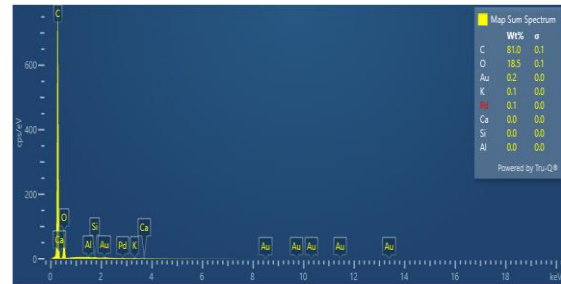
Gambar 1. Tahapan Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kemiri

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

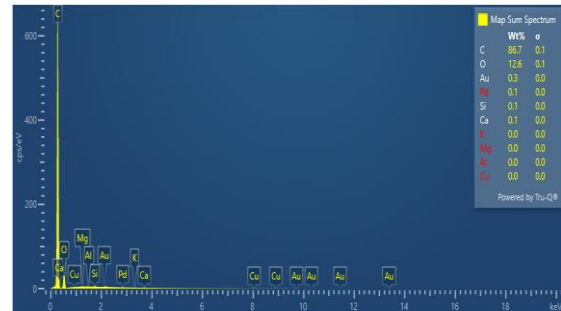
Data hasil analisis EDS arang tempurung kemiri hasil pirolisis, hasil aktivasi dengan H_3PO_4 dan hasil aktivasi dengan $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$ dapat dilihat dalam Gambar 2, 3 dan 4.



Gambar 2. Komposisi Unsur Arang Tempurung Kemiri Hasil Pirolisis



Gambar 3. Komposisi Unsur Arang Tempurung Kemiri Hasil Aktivasi dengan H_3PO_4



Gambar 4. Komposisi Unsur Arang Tempurung Kemiri Hasil Aktivasi dengan $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$

Data analisis komposisi unsur arang tempurung kemiri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Unsur Arang Tempurung Kemiri Hasil Pirolisis, Hasil Aktivasi dengan H_3PO_4 dan Hasil Aktivasi dengan $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$

Unsur	Hasil Pirolisis (%)	Hasil Aktivasi H_3PO_4 (%)	Hasil Aktivasi $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$ (%)
Karbon	85,7	81,0	86,7
Oksigen	13,8	18,5	12,6
Emas	0,2	0,2	0,3
Kalium	0,1	0,1	0,1
Kalsium	0,1	-	-
Paladium	0,1	0,1	0,1
Silika	-	-	0,1

Berdasarkan hasil pengujian EDS, komposisi unsur oksigen pada arang hasil aktivasi dengan H_3PO_4 mengalami kenaikan dari 13,8% menjadi 18,5% karena selama proses aktivasi terjadi peningkatan atau pembentukan gugus fungsi oksigen seperti C=O , C-O dan O-H pada permukaan arang aktif. Karbon bereaksi dengan H_3PO_4 membentuk senyawa fosfat dan gugus oksigen

yang melekat pada struktur karbon sehingga kadar oksigen dalam arang aktif meningkat. Arang hasil aktivasi dengan H_3PO_4 memiliki komposisi unsur karbon lebih rendah dibandingkan arang hasil pirolisis atau menurun dari 85,7% menjadi 81,0% karena aktivasi dengan H_3PO_4 dapat membuka pori dan meningkatkan luas permukaan untuk adsorpsi, tetapi dapat meningkatkan kadar abu dan air yang menurunkan kadar karbon relatif. Sedangkan, proses pirolisis secara termal dapat menghilangkan zat volatil dan senyawa non-karbon secara efektif, meninggalkan karbon tetap yang lebih murni.

Setelah diaktivasi dengan HNO_3 , komposisi unsur karbon meningkat dari 81,0% menjadi 86,7% karena aktivasi dengan HNO_3 merupakan proses oksidasi yang kuat sehingga mampu menghilangkan kotoran, senyawa volatil, dan zat pengotor dari permukaan arang secara efektif, sehingga karbon yang tersisa lebih murni dan kadar karbon totalnya meningkat. Sedangkan aktivasi dengan H_3PO_4 lebih fokus pada pembentukan pori dan peningkatan luas permukaan dengan membuka struktur karbon melalui reaksi kimia yang juga meninggalkan residu fosfat, sehingga kadar karbon relatif bisa lebih rendah.

Adanya unsur palladium dan emas dari hasil pengujian EDS disebabkan alat tersebut sebelumnya digunakan untuk coating dengan palladium-emas (Pd-Au) sehingga hasil pengujian EDS pada sampel bisa mengandung sinyal dari lapisan coating tersebut, bukan dari komposisi asli sampel. Coating Pd-Au dilakukan pada analisis EDS untuk meningkatkan permukaan sampel non-konduktif sehingga mengurangi efek charging saat pengamatan dengan SEM, yang dapat mengganggu kualitas gambar dan akurasi analisis EDS. Namun, penambahan waktu coating yang berlebihan dapat menurunkan persentase unsur asli sampel dalam analisis EDS karena unsur dari lapisan pelapis Pd-Au dapat mendominasi (Setyaningsih et al., 2017). Komposisi unsur karbon (C) tertinggi adalah arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$ sebesar 86,7%. Kandungan unsur karbon tersebut memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995, dimana karbon aktif disyaratkan memiliki kandungan karbon minimal 65% (BSN, 1995). Kandungan karbon yang meningkat dalam arang dapat berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi karbon aktif; semakin tinggi kadar karbon, maka

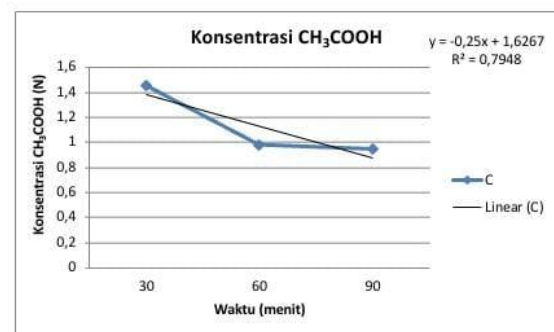
kemampuan adsorpsinya pun akan semakin besar (Rampe & Tiwow, 2018).

Pada penentuan kinetika adsorpsi ini, digunakan CH_3COOH 1 N sebagai adsorbat dan arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-HNO}_3$ sebagai adsorben. Orde reaksi ditentukan berdasarkan variasi waktu reaksi, yaitu pada interval 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil analisis orde reaksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Orde Reaksi

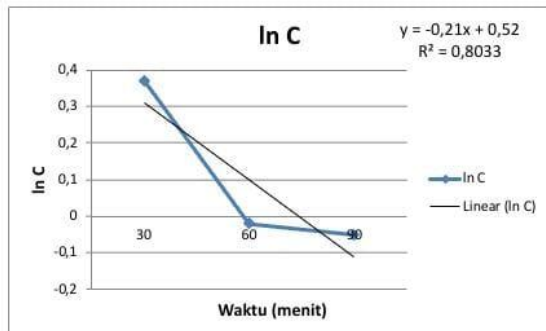
Waktu (menit)	Konsentrasi			
	CH_3COOH (C)	$\ln C$	$1/C$	$1/C^2$
30	1,45 N	0,37	0,69	1,041
60	0,98 N	-0,02	1,02	1,108
90	0,95 N	-0,05	1,05	0,475

Tabel 2 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu kontak, konsentrasi CH_3COOH cenderung menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin lama waktu kontak, semakin banyak CH_3COOH yang teradsorpsi oleh karbon aktif hingga mencapai kondisi jenuh (Aulia et al., 2021). Pengaruh waktu kontak terhadap penurunan konsentrasi CH_3COOH dapat dilihat pada Gambar 5.

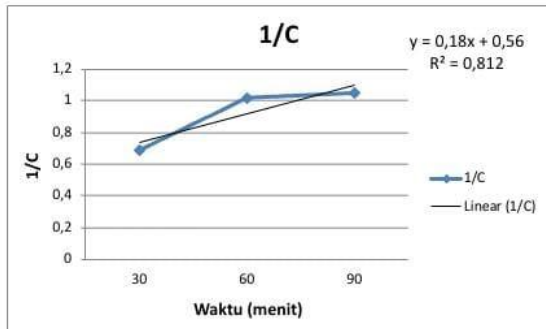


Gambar 5. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan Konsentrasi CH_3COOH

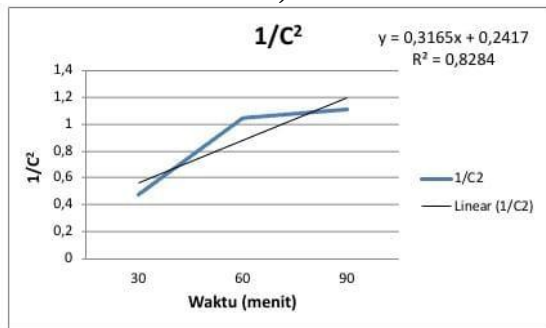
Pada Gambar 5 terlihat bahwa peningkatan waktu kontak menyebabkan penurunan konsentrasi CH_3COOH . Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya interaksi antar partikel seiring waktu, yang mengakibatkan adsorbat untuk menempel pada permukaan adsorben (Setyorini et al., 2023). Model kinetika adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 6.



a)



b)



c)

Gambar 6. Kinetika Adsorpsi: a) Orde Reaksi Satu b) Orde Reaksi Dua c) Orde Reaksi Tiga

Gambar 6 memberikan hasil yang didapat pada penentuan kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 terhadap CH_3COOH 1N adalah regresi pada orde reaksi satu adalah $R^2 = 0,8033$, pada orde reaksi dua adalah $R^2 = 0,812$ dan pada orde tiga adalah $R^2 = 0,8284$ yang dapat digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 terhadap CH_3COOH . Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model kinetika yang diuji sangat sesuai dengan data eksperimen adsorpsi, artinya model tersebut dapat menjelaskan hubungan antara konsentrasi adsorbat dan waktu adsorpsi dengan sangat baik dan linier. Berdasarkan nilai R^2 tersebut, maka orde reaksi kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 -

HNO_3 terhadap CH_3COOH 1 N pada penelitian ini mengikuti orde reaksi tiga sebesar $R^2 = 0,8284$, karena nilai R^2 dari grafik orde 3 paling mendekati 1. Ini mengindikasikan bahwa laju adsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi adsorbat yang dipangkatkan tiga. Artinya semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka laju adsorpsi akan lebih meningkat dengan cara yang jauh lebih cepat.

5. KESIMPULAN

Hasil pengujian EDS, komposisi unsur karbon (C) tertinggi adalah arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 sebesar 86,7%. Kinetika adsorpsi arang tempurung kemiri hasil aktivasi dengan H_3PO_4 - HNO_3 terhadap CH_3COOH 1 N pada penelitian ini mengikuti orde reaksi tiga sebesar $R^2 = 0,8284$ karena nilai regresi dari grafik orde tiga paling mendekati 1.

6. REFERENSI

- Aulia, M. A., Mahmud, M., & Mu'min, B. (2021). Studi Isoterm Dan Kinetika Adsorpsi Cod (Chemical Oxygen Demand) Pada Air Sungai Terhadap Karbon Aktif Kayu Ulin. *Jernih: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 4(2), 23–36. <https://doi.org/10.20527/jernih.v4i2.959>
- BSN. (1995). Arang Aktif Teknis. *Sni 06-3730-95*, 33–36.
- Hasanah, H., Sirait, R., & Yusuf Lubis, R. (2022). Pengaruh Konsentrasi Aktivator H_3PO_4 Terhadap Karbon Aktif Ampas Tebu. *Journal Online of Physics*, 8(1), 11–15. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i1.20265>
- Immaduddin, H. F., Amrullah, S., Nurkholis, & Rahayu, T. E. P. S. (2021). Pengolahan Limbah Tempurung Kemiri Sebagai Adsorben Senyawa Etilen Dengan Penambahan Kalium Permanganat ($KMnO_4$). *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 3(1), 13–19.
- Masthura, M., & Putra, Z. (2018). Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau. *Elkawanie*, 4(1), 45–54. <https://doi.org/10.22373/ekw.v4i1.3076>
- Mudaaim, S., & Hidayat, S. (2021). Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (Aleurites Moluccana) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 05(02), 157–163.
- Muliani, S. (2022). *Modifikasi Permukaan*

- Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri (Aleurites moluccana) dengan HNO₃ dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna Metil Jingga* [Universitas Hasanuddin]. <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/19775/>
- Muliani, S., Zakir, M., & Fauziah, S. (2023). Surface Modification of Activated Carbon Derived from Candlenut Shell (*Aleurites moluccana*) by HNO₃ and its Application as an Adsorbent of Methyl Orange Dyes. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(9), 27–36. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.149651.6476>
- Rampe, M. J., & Tiwow, V. A. (2018). Fabrication and Characterization of Activated Carbon from Charcoal Coconut Shell Minahasa, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012033>
- Setyaningsih, N. E., Muttaqin, R., & Mar'ah, I. (2017). Physics Communication Optimalisasi Waktu Pelapisan Emas-Palladium pada Bahan Komposit Alam untuk Karakterisasi Morfologi dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX). *Phys. Comm*, 1(2), 36–40.
- Setyorini, D., Arninda, A., Syafaatullah, A. Q., & Panjaitan, R. (2023). Penentuan Konstanta Isoterm Freundlich dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Asam Asetat. *Eksergi*, 20(3), 149. <https://doi.org/10.31315/e.v20i3.10835>
- Sholikhah, H. I., Putri, H. R., & Inayati, I. (2021). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) pada Pembuatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa terhadap Adsorpsi Logam Kromium. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 5(1), 45. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v5i1.53572>
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Apita, A. (2021). Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam. *Chemistry Progress*, 14(2), 116. <https://doi.org/10.35799/cp.14.2.2021.37191>
- Ummah, M. S. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Widodo, H., & Maesaroh, E. (2016). Studi Kinetika Reaksi Metilasetat Dari Asam Asetat Dan Methanol Dengan Variabel Waktu, Konsentrasi Katalis Dan Perbandingan Reaktan. *Jurnal Ilmiah WIDYA*, 3(4), 28–34.
- Wijaya, D. A., Mayangsari, N. E., & Nindyapuspa, A. (2023). *Studi Isoterm dan Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cu Menggunakan Komposit Kitosan Kulit Udang-Karbon Aktif Ampas Kopi*. 6(2623), 187–191.
- Wijayanto, S. O., & Bayuseno, A. . (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian : Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(1), 33–39.