



Preparation of Activated Carbon from Turi Wood as Rhodamine B Adsorbent

Nelly Rahmawati¹ ✉, Triastuti Sulistyaningsih², dan Rika Wulandari³

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²Program Studi Magister Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

³Pusat Riset Bahan Baku Obat dan Obat Tradisional, Organisasi Riset Kesehatan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), KST Soekarno, Jl. Raya Jakarta-Bogor No. 32 Cibinong, Bogor 16915, Jawa Barat, Indonesia ²

Info Artikel

Diterima: 16-07-2025

Disetujui: 03-09-2025

Dipublikasikan: 30-05-2026

Keywords:

karbon aktif

kayu turi

adsorpsi

rhodamin b

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan adsorpsi karbon aktif berbasis kayu turi (*Sesbania grandiflora*) terhadap rhodamin B. Proses pembuatan karbon aktif meliputi karbonisasi pada suhu 300, 400, dan 500°C, dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan H₂SO₄ 0,1 M. Karakterisasi dilakukan melalui analisis FTIR, BET, kadar air, dan kadar abu. Adsorpsi rhodamin B diuji pada berbagai pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 9 untuk menentukan kondisi optimal. Hasil menunjukkan bahwa karbon aktif pada suhu 500°C memiliki luas permukaan tertinggi (295,451 m²/g) dan kapasitas adsorpsi maksimal sebesar 18,594 mg/g dan efisiensi adsorpsi mencapai 99,212% pada pH 7. Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kayu turi berpotensi sebagai adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan limbah tekstil.

Abstract

This research developed the activated carbon based on turi wood to adsorb rhodamine B. The process of making activated carbon includes carbonization at 300, 400, and 500°C, followed by chemical activation using 0,1 M H₂SO₄. Characterization was conducted through FTIR, BET, moisture content, and ash content analysis. Adsorption of rhodamine B was tested at various pH 3, 4, 5, 6, 7, and 9 to determine the optimal conditions. The results showed that activated carbon at 500°C had the highest surface area (295.451 m²/g) and maximum adsorption capacity of 18,594 mg/g and adsorption efficiency reached 99.212% at pH 7. This study shows that activated carbon from turi wood has the potential as an environmentally friendly adsorbent in textile waste treatment.

Pendahuluan

Perkembangan pesat industri tekstil menyebabkan berbagai kerusakan lingkungan, salah satunya pencemaran air. Penggunaan air dalam jumlah yang banyak selama proses produksi tekstil, seperti pencelupan, pemutihan, dan pencucian menghasilkan limbah cair yang berbahaya, terutama pewarna tekstil. Pewarna yang dipakai dalam industri ini berkontribusi dalam menurunkan kualitas air karena sifatnya yang sulit terurai (Hossain dkk., 2018). Selain itu, sekitar 80% limbah tekstil dibuang tanpa pengolahan, yang semakin memperburuk pencemaran air (Wang & Wang, 2016).

Rhodamin B adalah pewarna yang banyak digunakan dalam industri tekstil, namun memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pewarna ini memiliki stabilitas kimia yang baik, mudah larut dalam air, dan sulit terurai, yang menyebabkan pencemaran air dan gangguan pada ekosistem akuatik. Menurut laporan ARC (*Industry Research Council*), produksi pewarna rhodamin diperkirakan mencapai \$232,5 juta pada tahun 2027, dengan konsentrasi rhodamin dalam limbah industri berkisar antara 1 hingga 100 mg/L (ppm) (Mohod dkk., 2023). Paparan Rhodamin B dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti iritasi kulit, alergi, hingga kanker. Selain itu, akumulasi Rhodamin B dapat menghalangi cahaya matahari, mengurangi kemampuan fotosintesis tanaman air, dan menurunkan kadar oksigen di perairan, yang dapat merusak ekosistem akuatik. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi pencemaran akibat rhodamin B adalah adsorpsi, dengan menggunakan berbagai bahan adsorben (Imam & Babamale, 2020).

Teknik adsorpsi merupakan metode yang efektif dan banyak digunakan untuk menghilangkan Rhodamin B dari lingkungan karena efisiensinya yang tinggi dan biaya yang relatif rendah. Proses ini dinilai lebih aman dan ramah lingkungan dibandingkan metode fisik maupun kimia lainnya (Bello dkk., 2019). Karbon aktif menjadi adsorben utama karena memiliki luas permukaan dan porositas tinggi yang mendukung kinerjanya dalam menyerap zat pewarna. Berbagai bahan organik telah digunakan sebagai sumber karbon aktif, seperti cangkang almond (Abdolrahimi & Tadjarodi, 2019) dan okra (Üner dkk., 2017). Meski demikian, karbon aktif komersial sering kali mahal atau kurang efektif, sehingga penelitian terus dikembangkan untuk mencari alternatif dari bahan seperti batu bara, tempurung kelapa, dan gambut. Adsorpsi tetap menjadi pilihan unggul karena desainnya yang sederhana dan kecepatan proses yang tinggi.

Laporan 10 tahun terakhir menunjukkan bahwa *Moringa oleifera* (kayu turi) memiliki produktivitas biomassa tinggi, yaitu sekitar 100 ton/ha/tahun untuk biomassa segar atau 25 ton/ha/tahun untuk biomassa kering, yang dapat meningkat hingga 27 ton/ha/tahun dengan teknik budidaya tertentu, serta mudah diperbanyak melalui biji maupun stek (Amananti dkk., 2017). Di masyarakat, bagian bunga dan daun turi lebih banyak dimanfaatkan, masing-masing sebagai bahan makanan dan pakan ternak, sementara kayunya umumnya hanya digunakan sebagai kayu bakar. Padahal, kayu turi memiliki kadar karbon yang cukup tinggi, yaitu sekitar 43,61–46,60%, serta kandungan unsur lain seperti hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen yang mendukung potensinya sebagai bahan baku karbon aktif. Pemanfaatan kayu turi untuk karbon aktif tidak hanya mendukung pengelolaan limbah pewarna seperti rhodamin B, tetapi juga dapat meningkatkan nilai guna dari bagian tanaman yang sebelumnya kurang dimanfaatkan (Koeslulata dkk., 2016).

Beberapa studi menunjukkan bahwa *Sesbania grandiflora* (turi) berpotensi sebagai bioadsorben untuk pengolahan air tercemar. Babu dkk., (2021) juga mencatat efektivitas bioadsorben turi dalam menghilangkan nitrit dengan kapasitas adsorpsi 65,5 mg/g. Selain itu, Al-Howri dkk., (2023) menemukan bahwa karbon aktif turi yang diaktivasi secara kimia dapat menghilangkan parasetamol hingga 89,3%. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 terbukti meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian Abdolrahimi & Tadjarodi, (2019) dan Masriatini & Fatimura, (2019). Setelah memperhatikan penjelasan diatas maka dilakukan penelitian penelitian tentang karbon aktif dari kayu sebagai adsorben rhodamin b.

Metode

Alat dan bahan

Berbagai bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain kayu turi, H_2SO_4 98% (merck), akuades, Rhodamin B, NaOH (merck), dan HCl 37% (merck). Sedangkan peralatan yang dibutuhkan yaitu pH meter, orbital shaker, kertas saring whatman nomor 42, oven, neraca analitik furnace, ayakan 100 mesh. Berbagia instrumen yang digunakan antara lain FTIR (PerkinElmer Frontier Spotlight 200 FT-IR Microscope System), Spektrofotometer *UV-Vis* (FLUOstar Omega).

Prosedur Penelitian

Karbonisasi dan Aktivasi

Sebanyak 100 gram kayu turi (*Sesbania grandiflora*) dipotong kecil-kecil dan dicuci bersih menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Selanjutnya, sampel dikarbonisasi pada suhu 300, 400, dan 500°C selama satu jam. Setelah proses karbonisasi, sampel dihaluskan dan disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Aktivasi dilakukan dengan merendam sampel dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) 0,1 M selama 24 jam, menggunakan perbandingan 1:1 (berat kering kayu turi : volume

larutan asam sulfat) sesuai dengan metode Ghosh dkk., (2019). Setelah aktivasi, sampel dibilas berulang kali dengan akuades hingga mencapai pH netral (pH 7). Proses terakhir yaitu pengeringan yang dilakukan pada suhu 110°C selama 3 jam, sebagaimana dijelaskan oleh Abdolrahimi & Tadjarodi, (2019).

Karakterisasi Karbon Aktif Kayu Turi

Karakterisasi yang dilakukan pada karbon aktif kayu turi yaitu FTIR, BET, uji kadar air, dan uji kadar abu. FTIR dilakukan untuk mengetahui berbagai jenis gugus fungsi pada karbon aktif yang telah dibuat. Metode BET digunakan untuk mengetahui luas permukaan dan pori-pori karbon aktif dengan instrumen *surface area analyzer* (SAA). Uji kadar air dan uji kadar abu dilakukan untuk mengetahui arang aktif yang diproduksi sesuai dengan SNI 06-3730-1995

Adsorpsi Rhodamin B dengan Variasi pH

Larutan Rhodamin B 20 mg/L disesuaikan pH-nya pada 3, 4, 5, 6, 7, dan 9 dengan menambahkan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Sebanyak 25 mL larutan dicampurkan dengan 0,2 gram karbon aktif, lalu diaduk pada 150 rpm selama 30 menit. Filtrat diambil dan diukur menggunakan spektrometer *UV-Vis* pada panjang gelombang 554 nm untuk menentukan pH optimum (Fauzi dkk., 2021).

Hasil dan Pembahasan

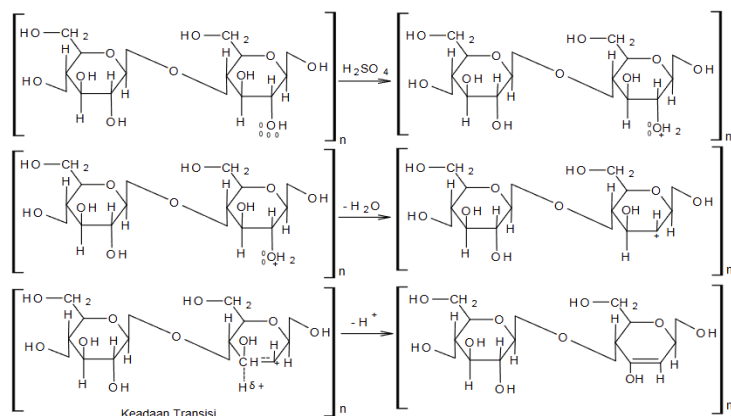
Karbonisasi dan Aktivasi

Karbonisasi bertujuan menghilangkan zat volatil agar menghasilkan arang dengan struktur berpori yang optimal. Proses ini dilakukan dengan memanaskan kayu turi yang telah dikeringkan dalam oven menggunakan furnace pada suhu 300, 400, dan 500°C selama satu jam. Tahapan penguraian senyawa terjadi secara bertahap: air menguap pada suhu 100–120 °C, hemiselulosa terurai pada 150–350°C, selulosa pada 275–350°C, dan lignin antara 250–500°C (Wortmann dkk., 2022). Akibat penguraian senyawa tersebut, terjadi penurunan massa kayu turi dari 30 gram menjadi 15,7947 gram pada suhu 300°C, 11,9185 gram pada suhu 400°C, dan 6,93 gram pada suhu 500°C. Warna kayu yang berubah dari cokelat muda menjadi hitam menunjukkan bahwa senyawa volatil telah hilang dan hanya karbon yang tersisa seperti Gambar 1. Menurut Burra dkk., (2021), proses karbonisasi melibatkan reaksi penguraian air, selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang masing-masing menghasilkan karbon, gas-gas volatil, serta senyawa organik lainnya.

Proses aktivasi bertujuan untuk membuka dan memperluas pori-pori pada struktur karbon yang terbentuk, sehingga meningkatkan luas permukaan serta kemampuan adsorpsinya. Aktivasi ini umumnya dibedakan menjadi dua jenis, yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Anggraeni & Yuliana, 2015; Ni mah dkk., 2024). Aktivasi kimia dilakukan dengan memutus rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bahan-bahan kimia tertentu. Metode ini umumnya menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivasi fisika. Aktivasi kimia sering diterapkan pada bahan-bahan organik berselulosa seperti tempurung kelapa, ampas tebu, sekam padi, bambu, dan serbuk gergaji (Rojas dkk., 2021).

Dalam penelitian ini, asam sulfat (H_2SO_4) digunakan sebagai aktivator untuk proses pembuatan karbon aktif. Tujuan dari penambahan asam sulfat adalah untuk mengoksidasi karbon, sehingga menghasilkan gas CO_2 dan SO_2 . Asam sulfat dipilih karena proses aktivasinya yang lebih cepat dan sederhana dibandingkan dengan aktivator lain seperti KOH dan H_3PO_4 , berkat sifatnya yang sangat korosif (Amirudin, 2020). Selain itu, penggunaan asam sulfat juga menghasilkan abu dalam jumlah yang lebih sedikit, menjadikannya lebih efisien dalam proses ini. Hasil dari aktivasi karbon diberi nama Karbon aktif tanpa aktivasi suhu 300°C (KTA 300°C), karbon aktif aktivasi suhu 300°C (KA 300°C), karbon aktif tanpa aktivasi suhu 400 °C (KTA 400°C), karbon aktif aktivasi suhu 400°C (KA 400°C), karbon aktif aktivasi suhu 500°C (KTA 500°C), dan karbon aktif aktivasi suhu 500°C (KA 500°C).

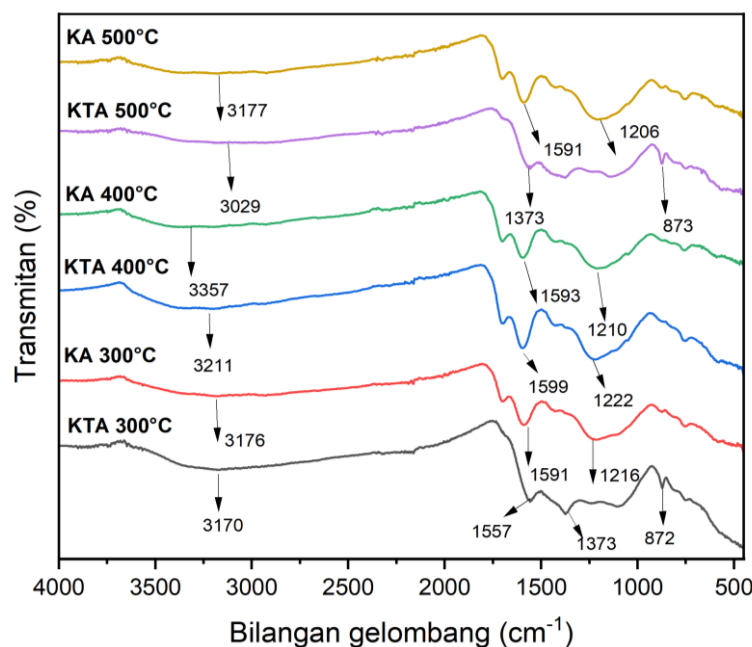
Seperti terlihat pada Gambar 1 mengenai reaksi gugus hidroksil pada selulosa. Selulosa sebagai bahan dasar karbon aktif mengandung berbagai jenis alkohol, termasuk alkohol tersier. Gugus hidroksil pada alkohol ini bersifat sebagai gugus pergi yang buruk dan mudah terhidrasi, yang dapat menurunkan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Kehadiran asam sulfat membantu mengurangi situs aktif yang terganggu dengan cara mendorong dehidrasi alkohol tersier. Proses dehidrasi ini dimulai dengan protonasi gugus hidroksil, diikuti pelepasan molekul air dan pembentukan karbokation. Selanjutnya, eliminasi gugus hidroksil yang telah berprotonasi menghasilkan senyawa alkena, yang berkontribusi pada peningkatan struktur pori karbon aktif (Higai dkk., 2021).



Gambar 1. Reaksi Dehidrasi Gugus Hidroksil pada Selulosa

Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Berdasarkan Gambar 2, spektra FTIR menunjukkan bahwa variasi suhu 300, 400, dan 500°C memengaruhi gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif. Pada karbon aktif hasil karbonisasi pada suhu 300°C, terdeteksi empat puncak serapan, sedangkan pada suhu 400 dan 500°C hanya terdapat tiga puncak serapan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, semakin banyak gugus fungsi yang terdegradasi. Selain itu, proses aktivasi juga turut memengaruhi keberadaan gugus fungsi. Hal ini terlihat dari perubahan jumlah puncak serapan pada karbon aktif suhu 300°C sebelum dan sesudah aktivasi, dari empat menjadi tiga puncak.



Gambar 2. Spektra IR KTA 300 °C, KA 300 °C KA 400 °C, KTA 400 °C, KTA 500 °C, dan KA 500 °C

Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–450 cm^{-1} . Hasil spektra menunjukkan adanya gugus O-H pada bilangan gelombang 3170, 3176, 3211, 3357, 3029, dan 3177 cm^{-1} untuk sampel KTA 300°C, KA 300°C, KA 400°C, KTA 400°C, KTA 500°C, dan KA 500°C secara berurutan. Puncak serapan ini mengindikasikan adanya ikatan O-H yang dapat berasal dari air maupun senyawa metabolit sekunder (Lettow dkk., 2020). Gugus O-H juga dapat terbentuk dari transformasi gugus sulfonat yang terjadi akibat reaksi pertukaran ion selama proses penetralan dengan aquadest (Efiyanti dkk., 2020).

Gugus karboksilat (C=O) terdeteksi pada bilangan gelombang 1733, 1716, 1722, 1710, dan 1706 cm^{-1} untuk beberapa variasi sampel, yang mengindikasikan sifat polar dari karbon aktif. Keberadaan gugus CO

dan OH ini memperkuat karakter polar karbon aktif, yang bermanfaat untuk peningkatan kemampuan adsorpsi terhadap senyawa polar, misalnya dalam aplikasi penjernihan air (Mentari & Maulina, 2018).

Selain itu, gugus C=C yang menandakan keberadaan struktur aromatik muncul pada bilangan gelombang 1557, 1591, 1599, 1593, 1373, dan 1591 cm^{-1} . Gugus ini berasal dari penguraian ikatan C–H dan C=O yang terkonjugasi dengan cincin aromatik serta menunjukkan kemurnian karbon yang lebih tinggi (Insyirah & Khair, 2021). Gugus C=C juga dapat bereaksi dengan H_2SO_4 melalui mekanisme adisi membentuk senyawa alkil hidrogen sulfat, yang kemudian terhidrolisis menjadi alkohol (Hidayati dkk., 2016).

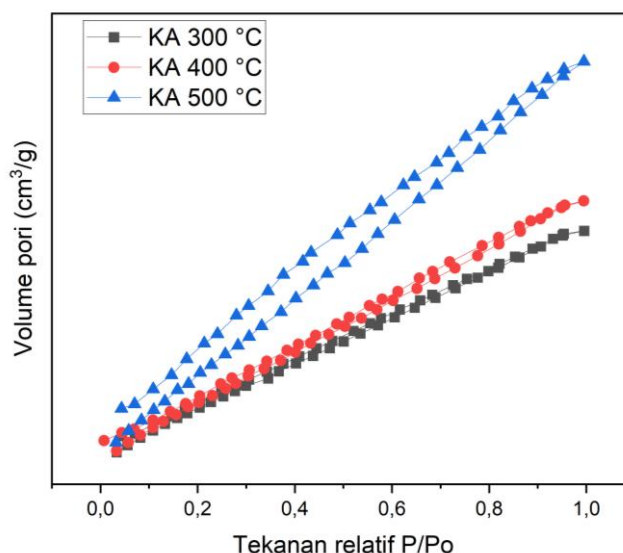
Puncak serapan pada bilangan gelombang 872 dan 873 cm^{-1} yang muncul pada sampel KTA 300°C dan KTA 500°C mengindikasikan keberadaan gugus C–H aromatik yang merupakan sisa gugus organik pada karbon aktif kayu turi. Perubahan bentuk spektrum, pergeseran bilangan gelombang, pengurangan jumlah dan intensitas puncak, kemungkinan disebabkan oleh proses dehidrasi serta penguraian struktur kompleks lignoselulosa menjadi bentuk yang lebih sederhana selama proses karbonisasi dan aktivasi (Khan dkk., 2018).

Karakterisasi SAA dengan metode BET

Metode *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) menjelaskan mekanisme adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padat, dan menjadi dasar penting dalam analisis luas permukaan suatu material. Melalui karakterisasi menggunakan metode BET atau *Surface Area Analyzer* (SAA), dapat diperoleh informasi mengenai luas permukaan spesifik, ukuran pori, serta diameter pori dari karbon aktif (Hassan dkk., 2021). Pada penelitian ini, hasil pengukuran BET terhadap karbon aktif yang berasal dari kayu turi dan telah diaktivasi menggunakan asam sulfat pada suhu 300, 400, dan 500°C disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran BET

Sampel	Luas permukaan (m^2/g)	Volume pori (cm^3/g)	Diameter pori (nm)
KA 300 °C	172,122	0,256	2,592
KA 400 °C	193,519	0,290	2,640
KA 500 °C	295,451	0,452	2,667



Gambar 3. Pembentukan Kurva Isoterm BET

Karbon aktif dari kayu turi menunjukkan peningkatan luas permukaan spesifik seiring kenaikan suhu karbonisasi. Luas permukaan tertinggi tercatat pada suhu 500°C sebesar 295,451 m^2/g , sedangkan terendah pada 300°C yaitu 172,122 m^2/g . Peningkatan suhu mempercepat dekomposisi senyawa volatil, sehingga pori-pori terbentuk lebih banyak dan besar. Hal ini mendukung temuan Maulina dkk., (2023) bahwa suhu karbonisasi memengaruhi pengembangan struktur pori karbon aktif.

Volume dan diameter pori juga meningkat pada suhu lebih tinggi. Volume pori maksimum sebesar 0,452 cm^3/g diperoleh pada suhu 500°C, sedangkan diameter pori bertambah dari 2,592 nm (300°C) menjadi 2,667 nm (500°C). Peningkatan ini dipicu oleh efisiensi pelepasan gas dan reaksi kimia kompleks

selama karbonisasi, yang memperluas struktur pori. Volume dan diameter pori yang lebih besar mendukung kapasitas adsorpsi terhadap rhodamin B (Naushad dkk., 2015).

Kurva isoterm pada Gambar 4.5 menunjukkan proses adsorpsi nitrogen terjadi pada tekanan relatif rendah ($<0,05$) dan tinggi ($>0,9$), yang mengindikasikan keberadaan mikropori, mesopori, dan makropori dalam struktur karbon aktif (Ismadji dkk., 2021). Analisis BET menunjukkan diameter pori berkisar 2–3 nm, tergolong mesopori menurut klasifikasi IUPAC (2–50 nm). Rhodamin B memiliki ukuran molekul 1–2 nm sehingga dapat berdifusi ke dalam pori dan berinteraksi dengan situs aktif adsorben, memungkinkan adsorpsi berlangsung secara efektif (Li dkk., 2018).

Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen pada Gambar 3 memperlihatkan loop histeresis terbuka, yang merupakan karakteristik struktur mesopori akibat fenomena kondensasi kapiler. Pada kondisi ini, nitrogen teradsorpsi mengalami pengembunan dalam pori, namun tidak langsung terdesorpsi karena bentuk pori yang kompleks, seperti tipe leher botol. Perbedaan jalur adsorpsi dan desorpsi ini mengonfirmasi keberadaan mesopori yang menunjang kapasitas adsorpsi gas. Selain itu, peningkatan suhu aktivasi turut memperbesar volume dan kompleksitas struktur pori, sehingga meningkatkan performa adsorpsi karbon aktif (Goel dkk., 2016).

Uji Kadar Air

Kadar air mempengaruhi kualitas karbon aktif yang dihasilkan, sehingga penting untuk menganalisis kadar air yang terkandung dalam karbon aktif. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan kadar air adalah dengan metode pengeringan/thermogravimetri (Daud dkk., 2015; Hartini dkk., 2015). Metode ini mengacu pada standar SNI 06-3730-1995. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air pada karbon aktif yang dihasilkan memenuhi standar, yakni kurang dari 15%. Tabel 42 menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif semakin berkurang dengan meningkatnya suhu karbonisasi, di mana suhu rendah menghasilkan kadar air yang lebih tinggi dan suhu tinggi menghasilkan pori yang lebih besar, sehingga meningkatkan kualitas karbon aktif (Sirajuddin dkk., 2020).

Tabel 2. Tabel Uji Kadar Air

Sampel	Kadar air (%)
KTA 300 °C	8,1492
KA 300 °C	7,7262
KTA 400 °C	7,7190
KA 400 °C	7,0634
KTA 500 °C	6,8037
KA 300 °C	6,5060

Tabel 2 menunjukkan pada karbon aktif yang telah diaktivasi, kadar airnya mengalami perubahan. Aktivasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dapat menurunkan kadar air karena sifat asam sulfat yang higroskopis, yang menyerap air dari karbon aktif. Hasil analisis menunjukkan bahwa karbon aktif yang disintesis pada suhu 500 °C dengan aktivasi memiliki kadar air terendah, yaitu 6,5060%, sementara karbon aktif yang dibuat pada suhu 300 °C tanpa aktivasi memiliki kadar air tertinggi, yaitu 8,1492%.

Perbedaan kadar air ini mengindikasikan pengaruh suhu karbonisasi dan proses aktivasi terhadap kualitas karbon aktif. Semakin tinggi suhu karbonisasi, semakin rendah kadar air yang dihasilkan, karena proses karbonisasi yang lebih efisien dalam menghilangkan komponen volatil. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 juga mempercepat penurunan kadar air, sehingga karbon aktif yang dihasilkan lebih efisien dalam menyerap zat lain. Dengan demikian, suhu tinggi dan proses aktivasi berperan penting dalam menghasilkan karbon aktif dengan kadar air rendah dan kualitas yang lebih baik.

Kadar Abu

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa kadar abu meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintesis. Namun, proses aktivasi tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap kadar abu yang dihasilkan. Karbon aktif yang disintesis pada suhu 300°C memiliki kadar abu terendah, yakni 8,4447%, sementara kadar abu tertinggi ditemukan pada sampel yang disintesis pada suhu 500°C tanpa aktivasi. Secara umum, seluruh sampel yang diproduksi memenuhi standar kadar abu yang tercantum dalam SNI 06-3703-1995, yaitu di bawah 10%.

Tabel 3. Data Uji Kadar Abu

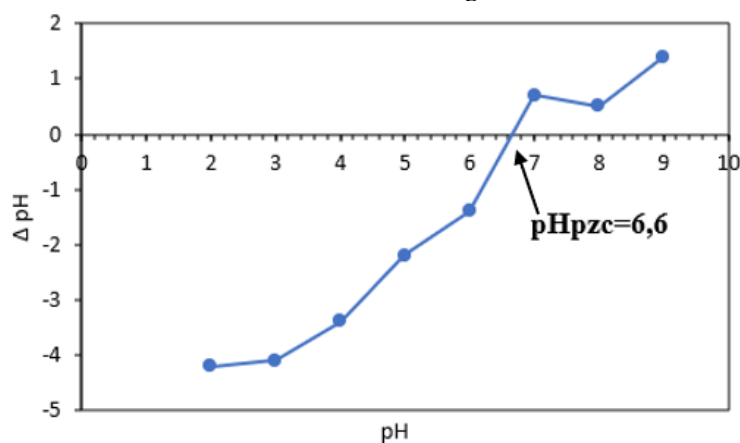
Sampel	Kadar abu (%)
KTA 300 °C	8,4447
KA 300 °C	8,6380
KTA 400 °C	8,9008
KA 400 °C	8,9537
KTA 500 °C	9,3487
KA 500 °C	8,9175

Peningkatan kadar abu yang terjadi dengan bertambahnya suhu sintesis disebabkan oleh lebih banyaknya air yang teruap selama proses pembuatan karbon aktif. Faktor-faktor yang memengaruhi kadar abu termasuk jenis bahan, metode pengabuan, waktu, dan suhu yang digunakan. Proses pengeringan atau pembakaran yang lebih lama atau pada suhu lebih tinggi cenderung menghasilkan kadar abu yang lebih tinggi, karena lebih banyak air yang teruap selama proses tersebut (Jamilatun dkk., 2021).

Adsorpsi Rhodamin b

Penentuan pH_{pzc}

Berdasarkan Gambar 4, nilai pH awal dan pH akhir berada dalam rentang 6-9. Grafik tersebut menunjukkan nilai pH titik isoelektrik (pH_{pzc}) yang diperoleh sebesar 6,6, yang merupakan pH_{pzc} untuk rhodamin B dengan adsorben karbon aktif dari kayu turi. Ketika pH berada di bawah nilai pH_{pzc}, permukaan karbon aktif akan bermuatan positif, sehingga dapat menarik anion. Sebaliknya, jika pH lebih tinggi dari pH_{pzc}, permukaan karbon aktif akan bermuatan negatif dan menarik kation (Hartini dkk., 2015).

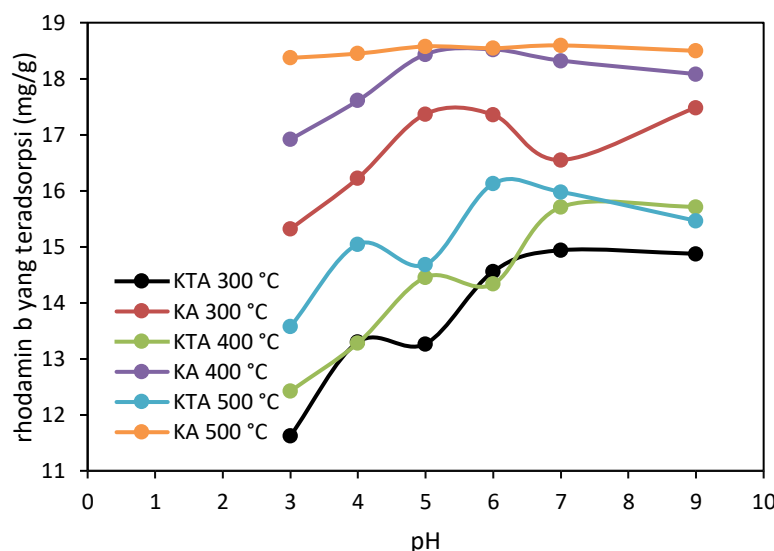
**Gambar 4.** Grafik pH_{pzc}

Pada pH 2-6 (asam), terdapat peningkatan karena terjadinya interaksi elektrostatis antara rhodamin B yang bersifat kationik (positif) dengan permukaan karbon aktif. Seiring peningkatan pH larutan, permukaan karbon aktif akan semakin bermuatan negatif. Fenomena ini juga berlaku pada pH 8-9 (basa), di mana rhodamin B mengalami penurunan adsorpsi antara pH 7 hingga 8, yang kemungkinan disebabkan oleh ion OH⁻ yang bersaing dengan ion kationik rhodamin. Ion OH⁻ ini dapat mengisi situs aktif yang seharusnya digunakan oleh pewarna, sehingga mengurangi tingkat adsorpsi (Azam dkk., 2022).

Pengaruh pH dalam Adsorpsi Zat Warna Rhodamin b

Uji adsorpsi Rhodamin B dengan variasi pH bertujuan menentukan pH optimum dan efektivitas karbon aktif kayu turi sebagai adsorben. Variasi pH yang digunakan adalah 3, 4, 5, 6, 7, dan 9, dengan konsentrasi larutan Rhodamin B sebesar 20 mg/L dan massa adsorben 0,1 g. Campuran larutan dan karbon

aktif diinkubasi untuk memungkinkan interaksi adsorpsi, kemudian disaring. Konsentrasi akhir zat warna dianalisis menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* berdasarkan nilai absorbansi.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara pH dan rhodamin B yang Teradsorpsi

Rhodamin B bersifat monomer kationik pada $\text{pH} < 3,5$ dengan muatan positif pada atom nitrogen cincin xantena, sehingga ion H^+ bersaing dengan kation pewarna dalam proses adsorpsi. Hal ini menyebabkan efisiensi adsorpsi terendah terjadi pada pH 3 (Gambar 5) (Bazan-Wozniak dkk., 2024). Nilai pH titik muatan nol (pHpzc) karbon aktif kayu turi sebesar 6,6 menunjukkan bahwa muatan permukaan adsorben berubah sesuai pH larutan: bermuatan positif saat $\text{pH} < 6,6$ dan negatif saat $\text{pH} > 6,6$ yang memengaruhi interaksi elektrostatis dengan Rhodamin b (Mentari & Maulina, 2018).

Efisiensi adsorpsi meningkat pada pH 4–7 akibat interaksi elektrostatis antara permukaan karbon bermuatan negatif dan kation Rhodamin B. Namun, pada pH 9, efisiensi menurun akibat terbentuknya dimer H dan J yang berukuran lebih besar dan sulit masuk ke pori karbon aktif. Selain itu, ion OH^- bersaing dengan Rhodamin B dalam mengisi situs aktif adsorben (Mentari & Maulina, 2018). Berdasarkan Tabel 4 efisiensi maksimum dicapai pada pH 7 oleh karbon aktif 500°C, yaitu sebesar 99,212%.

Tabel 4. Efisiensi adsorpsi karbon aktif kayu turi dengan rhodamin b

pH	Efisiensi Adsorpsi (%)					
	KTA 300°C	KA 300°C	KTA 400°C	KA 400°C	KTA 500°C	KA 500°C
3	63,734	85,967	71,355	93,168	73,668	96,847
4	70,882	91,591	79,239	94,219	80,080	98,213
5	71,986	92,852	78,241	96,426	79,712	98,897
6	79,029	91,801	84,442	99,107	86,282	99,212
7	80,711	90,434	84,075	99,002	87,176	98,949
9	81,131	68,096	71,355	98,634	82,708	98,476

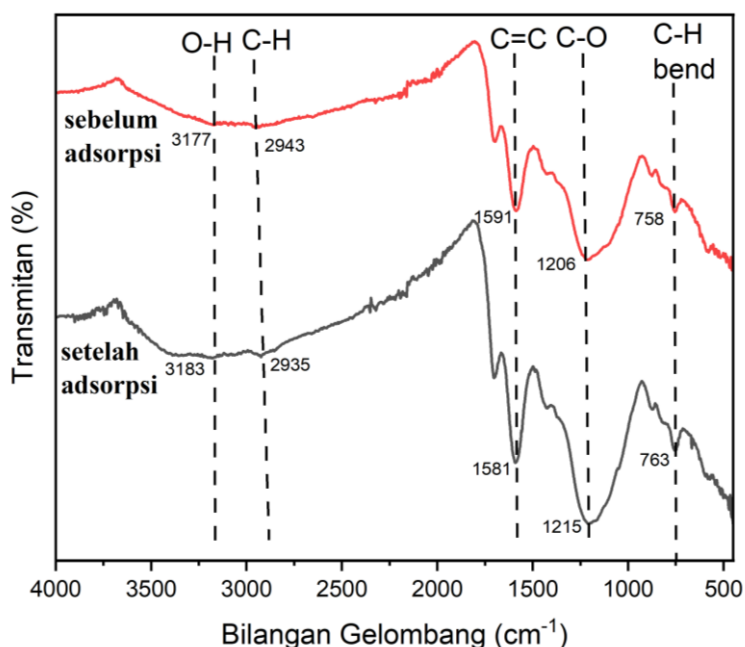
Adsorpsi melibatkan interaksi $\pi - \pi$ antara aromatik karbon aktif dan cincin benzena Rhodamin B, ikatan hidrogen, serta interaksi elektrostatis berdasarkan muatan permukaan dan ion Rhodamin B (Zghal dkk., 2023). Kapasitas adsorpsi maksimum tercapai pada pH 7 sebesar 18,594 mg/g. Temuan ini penting untuk optimalisasi proses adsorpsi.

Dengan demikian, pH memiliki pengaruh signifikan terhadap adsorpsi rhodamin B oleh karbon aktif kayu turi. Peningkatan efisiensi adsorpsi pada pH 4 hingga 7 mengindikasikan bahwa pada rentang pH tersebut, interaksi antara karbon aktif dan rhodamin B lebih optimal. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada pH yang lebih tinggi atau lebih rendah dari pH tersebut, proses adsorpsi menjadi kurang efektif, baik karena persaingan ion ataupun pembentukan agregat yang menghambat penyerapan pewarna dalam pori-pori karbon aktif.

Analisis FTIR pada Karbon Aktif setelah Adsorpsi

Analisis FTIR pada karbon aktif kayu turi (KA 500°C) pada Gambar 6 menunjukkan tidak ada perubahan jenis gugus fungsi sebelum dan sesudah adsorpsi, namun terjadi pergeseran bilangan gelombang dan perubahan intensitas serapan. Pelebaran puncak di sekitar 3000 cm^{-1} (Gambar 6) mengindikasikan interaksi gugus amina Rhodamin B dengan gugus hidroksil karbon aktif melalui protonasi atau adsorpsi fisik.

Pergeseran gugus C=C dari 1591 ke 1581 cm^{-1} menandakan interaksi gugus -OH dan C=O dengan permukaan karbon aktif. Pergeseran puncak C-H alifatik dari 2943 ke 2935 cm^{-1} serta perubahan pada gugus C-O (1206 ke 1215 cm^{-1}) dan C-H bending (758 ke 763 cm^{-1}) memperkuat adanya interaksi antara karbon aktif dan Rhodamin B selama adsorpsi (Huang dkk., 2016).



Gambar 6. Data FTIR Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Simpulan

Karbon aktif dari kayu turi yang dikarbonisasi pada suhu 500°C dan diaktivasi dengan H_2SO_4 0,1 M menunjukkan luas permukaan tertinggi berdasarkan uji BET (295,451 m^2/g) dan kapasitas adsorpsi Rhodamin B tertinggi (18,594 mg/g) dengan efisiensi 99,212% pada pH 7. Analisis FTIR mengonfirmasi adanya gugus fungsi O-H, C=O, dan C=C yang mendukung interaksi adsorpsi. Hasil ini menunjukkan bahwa kayu turi berpotensi sebagai adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan limbah pewarna tekstil.

Daftar Referensi

- Abdolrahimi, N., & Tadjarodi, A. (2019). Adsorption of Rhodamine-B from Aqueous Solution by Activated Carbon from Almond Shell. *The 23rd International Electronic Conference on Synthetic Organic Chemistry*, 51. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-23-06619>
- Al-Howri, B. M., Alrebaki, M. A., Alsobaai, A. M., Hamid, N. A., & Ismail, S. (2023, Maret 4). *The impact of Activation processes on Paracetamol Removal by Sesbania Activation Carbon*. <http://as-proceeding.com/>
- Amananti, W., Tivani, I., & Riyanta, A. B. (2017). Uji Kandungan Saponin Pada Daun, Tangkai Daun DanBiji Tanaman Turi (Sesbania Grandiflora). *2 nd Seminar Nasional IPTEK Terapan (SENIT)*, 209–213. <http://conference.poltektegal.ac.id/index.php/senit2017>
- Amirudin, M. (2020). *Variasi Konsentrasi Asam Sulfat sebagai Aktivator Arang Aktif Berbahan Batang Tembakau (Nicotiana tabacum)*. Universitas jember.

- Anggraeni, I. S., & Yuliana, L. E. (2015). *Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Siwalan (Borassus Flabellifer L.) dengan Menggunakan Aktivator Seng Klorida (ZnCl₂) Dan Natrium Karbonat (Na₂CO₃)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Azam, K., Shezad, N., Shafiq, I., Akhter, P., Akhtar, F., Jamil, F., Shafique, S., Park, Y.-K., & Hussain, M. (2022). A review on Activated Carbon Modifications for the Treatment of Wastewater Containing Anionic Dyes. *Chemosphere*, 306, 135566. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135566>
- Babu, D. K., Ravindhranath, K., & Mekala, S. (2021). Simple Effective New Bio-Adsorbents For The Removal Of Highly Toxic Nitrite Ions from Wastewater. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01677-6>
- Bazan-Wozniak, A., Jędrzejczak, A., Wolski, R., Kaczmarek, S., Nosal-Wiercińska, A., Cielecka-Piontek, J., Yagmur-Kabas, S., & Pietrzak, R. (2024). A Study on the Adsorption of Rhodamine B onto Adsorbents Prepared from Low-Carbon Fossils: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Analyses. *Molecules*, 29(6). <https://doi.org/10.3390/molecules29061412>
- Bello, O. S., Adegoke, K. A., Sarumi, O. O., & Lameed, O. S. (2019). Functionalized Locust Bean Pod (Parkia Biglobosa) Activated Carbon faor Rhodamine B Dye Removal. *Heliyon*, 5(8), e02323. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02323>
- Burra, K. G., Daristotle, N., & Gupta, A. K. (2021). Carbonization of Cellulose in Supercritical CO₂ for Value-Added Carbon. *Journal of Energy Resources Technology*, 143(7). <https://doi.org/10.1115/1.4050634>
- Daud, A., Suriati, & Nuzulyanti. (2015). Kajian Penerapan Faktor yang Mempengaruhi Akurasi Penentuan Kadar Air Metode Thermogravimetri. *LUTJANUS*, 11–16. https://ppnp.e-journal.id/lutjanus_PPNP
- Efiyanti, L., Indrawan, D. A., Arif, Z., Hutapea, D., & Septina, A. D. (2020). Synthesis and Application of a Sulfonated Carbon Catalyst for a Hydrolysis Reaction. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 5(3), 410–420. <https://doi.org/10.17509/ijost.v5i3.25275>
- Fauzi, M. D. N., Nasra, E., Amran, ali, & Khair, M. (2021). Pengaruh pH dan Konsentrasi Terhadap Penyerapan Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok (Musa balbisiana Colla). *Chemistry Journal*, 10(2), 51–55. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Ghosh, A., Chakravorty, D., Rahaman, M., & Bose, S. (2019). Efficiency of Mango Peel Derived Activated Carbon Prepared via Different Routes as Adsorbent for Rhodamine B. Dalam *Waste Water Recycling and Management* (hlm. 111–122). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2619-6_10
- Goel, C., Kaur, H., Bhunia, H., & Bajpai, P. K. (2016). Carbon dioxide adsorption on nitrogen enriched carbon adsorbents: Experimental, kinetics, isothermal and thermodynamic studies. *Journal of CO₂ Utilization*, 16, 50–63. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2016.06.002>
- Hartini, Hidayat, Y., & Mudjijono. (2015). Study Karakter Pori Terhadap Komposit γ -Alumina - Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong (Manihot Esculenta Cranz). *ALCHEMY jurnal penelitian kimia*, 11(1), 47–57.
- Hassan, U. F., Sallau, A. A., Ekanem, O. E., Jauro, A., & Kolo, A. M. (2021). Effect of Carbonization Temperature on Properties of Char from Coconut Shell. *International Journal of Advanced Chemistry*, 9(1), 34–39. <https://doi.org/10.14419/ijac.v9i1.31433>
- Hidayati, A. S. D. S. N., Kurniawan, S., Restu, N. W., & Ismuyanto, B. (2016). Potensi Ampas Tebu Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif. *NATURAL B*, 3(4), 311–317.
- Higai, D., Lee, C., Lang, J., & Qian, E. W. (2021). Saccharification of Cellulose using Biomass-Derived Activated Carbon-Based Solid Acid Catalyst. *Fuel Processing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106738>
- Hossain, M. B., Ahmed, A. S. S., & Sarker, Md. S. I. (2018). Human Health Risks of Hg, As, Mn, And Cr Through Consumption of Fish, Ticto Barb (Puntius Ticto) from A Tropical River, Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(31), 31727–31736. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3158-9>
- Huang, Y., Zheng, X., Feng, S., Guo, Z., & Liang, S. (2016). Enhancement of rhodamine B removal by modifying activated carbon developed from Lythrum salicaria L. with pyruvic acid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 489, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.10.050>

- Imam, S. S., & Babamale, H. F. (2020). A Short Review on the Removal of Rhodamine B Dye Using Agricultural Waste-Based Adsorbents. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 7(1), 25–37. <https://doi.org/10.9734/ajocs/2020/v7i119013>
- Insyirah, F., & Khair, M. (2021). Pembuatan Karbon Aktif Secara Kimia Hijau dari Tandan Sawit dengan Aktivasi Ultrasonik. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 10(1), 28. <https://doi.org/10.24036/p.v10i1.110612>
- Ismadji, S., Soetardjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Irawaty, W., Hartono, S. B., & Lunardi, V. B. (2021). *Adsorpsi Pada Fase Cair: Keseimbangan, Kinetika, dan Termodinamika* (1 ed.). UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Janah, L., Alfiyani, R., & Mufandi, I. (2021). Activation of Coconut Shell Charcoal and Application for Bleaching Used Cooking Oil. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 8(1), 56. <https://doi.org/10.26555/chemica.v8i1.20085>
- Khan, E. A., Shahjahan, & Khan, T. A. (2018). Adsorption of Methyl Red on Activated Carbon Derived from Custard Apple (*Annona squamosa*) Fruit Shell: Equilibrium Isotherm and Kinetic Studies. *Journal of Molecular Liquids*, 249, 1195–1211. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.125>
- Koeslulata, E. E., Prayitno, T. A., Gentur Sutapa, J. P., & Irawati, D. (2016). Karakteristik Energi Tiga Jenis Pohon Cepat Tumbuh pada Tiga Kelas Diameter. *Jurnal Agroforestri*, 23–31.
- Kumar, K. V., & Kumaran, A. (2005). Removal of methylene blue by mango seed kernel powder. *Biochemical Engineering Journal*, 27(1), 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2005.08.004>
- Lettow, M., Grabarics, M., Greis, K., Mucha, E., Thomas, D. A., Chopra, P., Boons, G.-J., Karlsson, R., Turnbull, J. E., Meijer, G., Miller, R. L., von Helden, G., & Pagel, K. (2020). Cryogenic Infrared Spectroscopy Reveals Structural Modularity in the Vibrational Fingerprints of Heparan Sulfate Diastereomers. *Analytical Chemistry*, 92(15), 10228–10232. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c02048>
- Li, L., Sun, F., Gao, J., Wang, L., Pi, X., & Zhao, G. (2018). Broadening The Pore Size Of Coal-Based Activated Carbon: via A Washing-Free Chem-Physical Activation Method for High-Capacity Dye Adsorption. *RSC Advances*, 8(26), 14488–14499. <https://doi.org/10.1039/c8ra02127a>
- Masriatini, R., & Fatimura, M. (2019). *Penggunaan Arang Tempurung Kelapa yang Diaktifkan untuk Menyerap Zat Warna Limbah Cair Industri Kain Tradisional*. 4(2).
- Maulina, W., Priyanto, F. W., & Arkudato, A. (2023). Pengaruh Suhu Karbonisasi dari Arang Aktif Eceng Gondok terhadap Fluks dan Kemampuannya dalam Mereduksi Kadar Besi. *Jurnal ILMU DASAR*, 24(1), 75–82. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JID>
- Mentari, V. A., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃). *Talanta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 1(2), 204–208. <https://doi.org/10.32734/st.v1i2.299>
- Mohod, A. V., Momotko, M., Shah, N. S., Marchel, M., Imran, M., Kong, L., & Boczkaj, G. (2023). Degradation of Rhodamine dyes by Advanced Oxidation Processes (AOPs) – Focus on cavitation and photocatalysis - A critical review. *Water Resources and Industry*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100220>
- Naushad, Mu., Khan, M. R., AlOthman, Z. A., AlSohaimi, I., Rodriguez-Reinoso, F., Turki, T. M., & Ali, R. (2015). Removal of BrO₃ – from drinking water samples using Newly Developed Agricultural Waste-Based Activated Carbon and its Determination by Ultra-Performance Liquid chromatography-Mass Spectrometry. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 15853–15865. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4786-y>
- Ni'mah, L., Juliastuti, S. R., Mahfud, M., Isna Syauqiah, Agus Mirwan, Harivram, A. S. K., Fitriati, U., & Suryani, A. (2024). Karakteristik Karbon Aktif Teraktifasi H₃PO₄ dari Limbah Sereh (Cymbopogon S.P). *Journal of Chemical Process Engineering*, 9(1), 60–69. <https://doi.org/10.33096/jcpe.v9i1.686>
- Rojas, M. del C., Nieva Lobos, M. L., Para, M. L., González Quijón, M. E., Cámara, O., Barraco, D., Moyano, E. L., & Luque, G. L. (2021). Activated Carbon from Pyrolysis of Peanut Shells as Cathode for Lithium-Sulfur Batteries. *Biomass and Bioenergy*, 146, 105971. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105971>

- Sirajuddin, Harjanto, & Dwi Agustin, A. (2020). Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Karakteristik Arang Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium Edule). *Prosiding 4th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, 60.
- Üner, O., Geçgel, Ü., Kolancılar, H., & Bayrak, Y. (2017). Adsorptive Removal of Rhodamine B with Activated Carbon Obtained from Okra Wastes. *Chemical Engineering Communications*, 204(7), 772–783. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1319361>
- Wang, J., & Wang, S. (2016). Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products (Ppcps) from Wastewater: A Review. *Journal of Environmental Management*, 182, 620–640. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.049>
- Wortmann, M., Keil, W., Brockhagen, B., Biedinger, J., Westphal, M., Weinberger, C., Diestelhorst, E., Hachmann, W., Zhao, Y., Tiemann, M., Reiss, G., Hüsken, B., Schmidt, C., Sattler, K., & Frese, N. (2022). Pyrolysis of Sucrose-Derived Hydrochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 161, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105404>
- Zghal, S., Jedidi, I., Cretin, M., Cerneaux, S., & Abdelmouleh, M. (2023). Adsorptive Removal of Rhodamine B Dye Using Carbon Graphite/CNT Composites as Adsorbents: Kinetics, Isotherms and Thermodynamic Study. *Materials*, 16(3), 1015. <https://doi.org/10.3390/ma16031015>