



e-ISSN : 2621-4660, p-ISSN : 1979-004X

**Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada**  
Jurnal Ilmu-ilmu Keperawatan, Analis Kesehatan dan Farmasi

Home page : [https://ejournal.universitas-bth.ac.id/index.php/P3M\\_JKBTH/index](https://ejournal.universitas-bth.ac.id/index.php/P3M_JKBTH/index)



## **REVIEW ARTIKEL: ANALISIS EFEKTIVITAS ARANG AKTIF BERBASIS TUMBUHAN SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH FARMASI**

*ARTICLE REVIEW: EFFECTIVENESS ANALYSIS OF PLANT-BASED ACTIVATED CHARCOAL AS ADSORBENT FOR PHARMACEUTICAL WASTE TREATMENT*

**Taufik Hidayat, Gatut Ari Wardani, Salsabila Putri Awalia Rahmat\*, Dandi Ardiansyah, Widya Puspitasari, Fauzan Khoeruman Nur, Vinka Fitria Rohganala**

Prodi Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Bakti Tunas Husada

Jl. Letjen Mashudi No.20, Setiaratu, Kec. Cibeureum, Kab. Tasikmalaya, Jawa Barat 46196

\*e-mail korespondensi: [salsabilapar28@gmail.com](mailto:salsabilapar28@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Peningkatan konsumsi obat-obatan dan aktivitas industri farmasi telah menyebabkan akumulasi limbah farmasi yang signifikan, yang berpotensi mencemari lingkungan perairan. Adsorpsi menggunakan arang aktif berbasis tumbuhan merupakan salah satu metode yang efektif dan ramah lingkungan dalam mengatasi permasalahan ini. Studi ini merupakan narrative review yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas arang aktif dari berbagai biomassa tumbuhan sebagai adsorben limbah farmasi. Data diperoleh melalui pencarian literatur di basis data Google Scholar dan ScienceDirect, dengan kata kunci yang relevan. Sebanyak 20 artikel terpilih dianalisis berdasarkan bahan baku, metode sintesis, karakteristik arang aktif, serta efisiensi penghilangan berbagai senyawa farmasi. Hasil menunjukkan bahwa arang aktif dari bahan seperti biji labu, kulit kacang tanah, kulit pisang, dan daun teh memiliki luas permukaan yang tinggi serta kapasitas adsorpsi maksimum yang bervariasi, dengan efisiensi penghilangan mencapai lebih dari 90% pada kondisi optimal. Teknik aktivasi kimia menggunakan KOH atau  $H_3PO_4$ , serta modifikasi enzimatik seperti imobilisasi laccase, terbukti mampu meningkatkan kinerja adsorpsi. Dengan karakteristik yang ekonomis, berkelanjutan, dan efisien, arang aktif berbasis tumbuhan memiliki potensi besar sebagai teknologi pengolahan limbah farmasi di masa depan.

**Kata Kunci : Arang Aktif, Adsorben, Limbah Farmasi**

### **ABSTRACT**

*Increased drug consumption and pharmaceutical industry activities have led to significant accumulation of pharmaceutical waste, which has the potential to pollute the aquatic environment. Adsorption using plant-based activated charcoal is one of the effective and environmentally friendly methods in overcoming this problem. This study is a narrative review that aims to evaluate the effectiveness of activated charcoal from various plant biomasses as pharmaceutical waste adsorbents. Data were obtained through literature searches in Google Scholar and ScienceDirect databases, with relevant keywords. A total of 20 selected articles were analyzed based on raw materials, synthesis methods, activated charcoal characteristics, and removal efficiency of various pharmaceutical compounds. Results showed that activated charcoal from materials such as pumpkin seeds, peanut shells, banana peels, and tea leaves had a high surface area and varied maximum adsorption capacity, with removal efficiency reaching more than 90% under optimal conditions. Chemical activation techniques using KOH or  $H_3PO_4$ , as well as enzymatic modifications such as laccase immobilization,*

*are proven to improve adsorption performance. With economical, sustainable, and efficient characteristics, plant-based activated charcoal has great potential as a future pharmaceutical waste treatment technology.*

**Keywords:** *Activated Charcoal, Adsorbent, Pharmaceutical Waste*

*Diterima: 08 Mei 2025*

*Direview: 23 Juni 2025*

*Diterbitkan: 06 Agustus 2025*

## PENDAHULUAN

Sampah obat, yang sering kali dihubungkan dengan limbah farmasi dan obat-obatan yang tidak terpakai atau telah kadaluarsa, mencakup berbagai barang yang dirancang untuk mencegah, mendiagnosis, dan mengobati penyakit pada manusia maupun hewan. Dalam beberapa dekade terakhir, jenis limbah ini telah menjadi objek penelitian yang mendalam. Selain itu, konsumsi obat di seluruh dunia setiap tahunnya telah melebihi 1.000.000 ton dan terus mengalami peningkatan. Pasar negara berkembang, seperti Tiongkok, India, Brasil, dan Indonesia, memainkan peran besar dalam masalah ini akibat peningkatan penggunaan. (Bungau et al., 2018). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Amalia Asyayidah dan Agustina pada tahun 2024 menunjukkan jumlah limbah B3 yang dihasilkan oleh industri farmasi di Indonesia. Pada tahun 2020, total limbah B3 mencapai 11.612,15 ton, dan pada tahun 2021, jumlahnya melonjak menjadi 43.087 ton. Selain itu, limbah non-B3 pada tahun 2020 tercatat sebesar 179.672,32 ton, sementara pada tahun 2021 jumlahnya berkurang menjadi 114.967,67 ton. Kenaikan signifikan pada limbah B3 dari tahun 2020 ke tahun 2021 perlu diwaspadai, karena jika tidak ditangani dengan baik, hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. (Amalia Asyayidah & Agustina, 2024)

Limbah farmasi adalah limbah medis yang tidak menular. Ini termasuk obat-obatan atau barang-barang yang mungkin terkontaminasi oleh obat-obatan seperti kemasan terkait peralatan medis, atau dalam beberapa kasus, alat pelindung diri (APD) yang terkontaminasi oleh obat-obatan, tetapi bukan agen infeksius. Limbah farmasi dihasilkan dari berbagai sumber termasuk rumah sakit, klinik swasta, apotek komunitas, industri farmasi, laboratorium dan pusat penelitian, dan rumah tangga perorangan. (Hanning et al., 2022). Dengan melakukan reduksi dan pemisahan limbah, rumah sakit dapat mendaur ulang sebagian besar limbah yang dihasilkan. Langkah ini tidak hanya berpotensi mengurangi biaya pembuangan, tetapi juga menurunkan emisi gas rumah kaca. Di samping itu, penggunaan farmasi secara global juga terus menunjukkan tren peningkatan. (Overgaard et al., 2024).

Limbah farmasi menjadi salah satu sumber pencemar lingkungan yang cukup signifikan di Indonesia. Dengan meningkatnya kebutuhan obat akibat pertumbuhan populasi dan berkembangnya industri farmasi, akumulasi limbah farmasi pun semakin meningkat dan memerlukan penanganan yang khusus. Industri farmasi menghasilkan limbah cair yang memiliki karakteristik berbahaya dan beracun. Di antara berbagai kontaminan yang ada, obat-obatan seperti antibiotik, analgesik, dan antiinflamasi merupakan yang paling berbahaya. (Rimantho & Athiyah, 2018). Obat antiinflamasi (NSAID), seperti ibuprofen, naproxen, dan diklofenak, banyak digunakan dan sering terdeteksi dalam limbah, air permukaan, serta dapat ditemukan dalam sistem air tanah. Obat antiinflamasi non-steroid, termasuk ibuprofen, naproxen, dan aspirin, adalah jenis obat yang umum digunakan dan biasanya terakumulasi dalam jumlah yang signifikan dalam limbah kota. (Patneedi & Durga Prasadu, 2015).

Pengelolaan limbah farmasi yang tidak tepat dapat menyebabkan pencemaran air, tanah, dan berdampak buruk pada kesehatan manusia serta ekosistem, maka diperlukan metode pengelolaan limbah yang efektif. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengatasi limbah farmasi adalah adsorpsi menggunakan arang aktif.

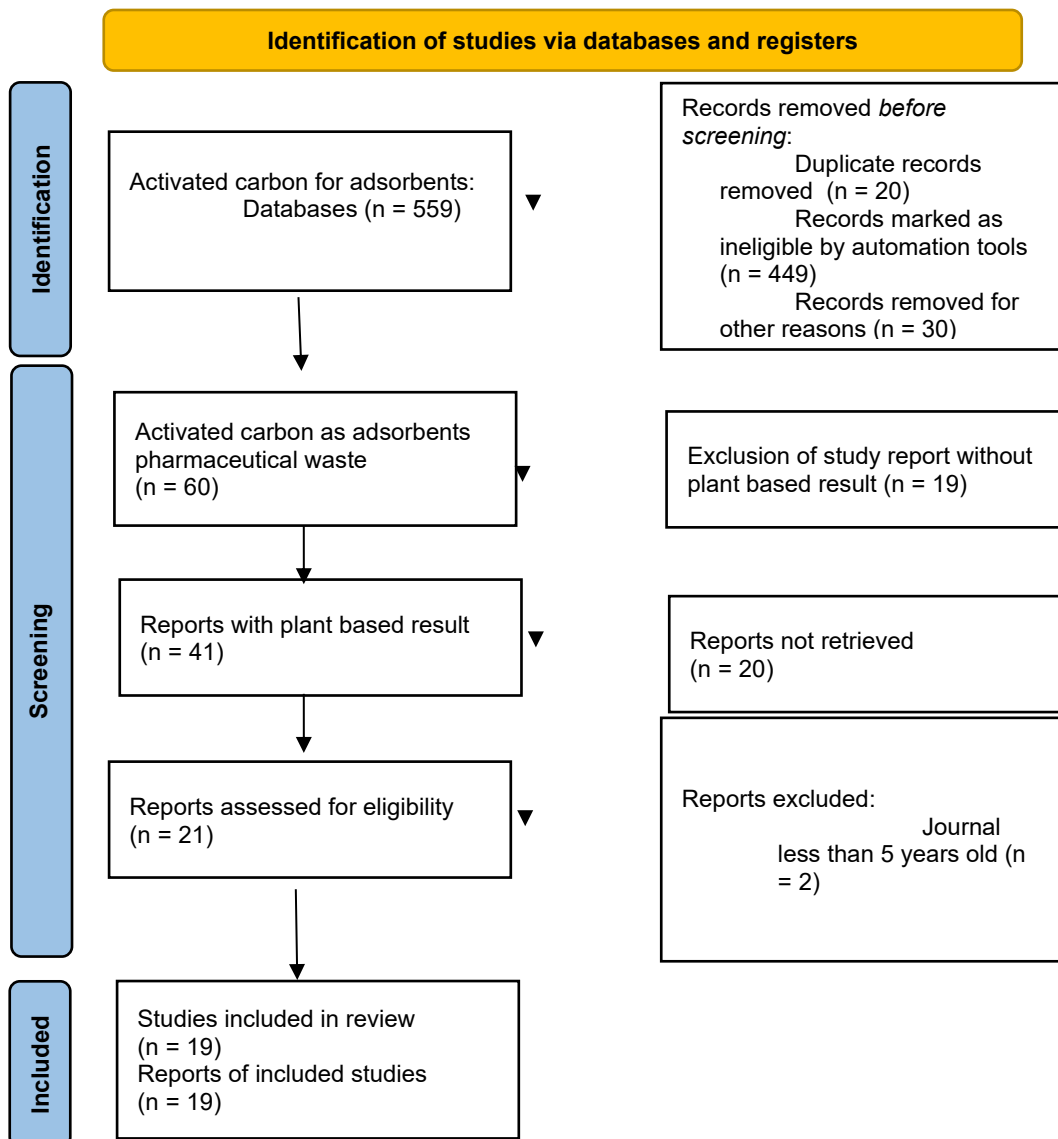
Arang aktif dapat dibuat dari salah satu jenis bahan yang mengandung karbon. Bubur kayu dengan kadar abu rendah, batubara, lignit, dan pati gandum hitam adalah beberapa contohnya. Setelah arang (karbon yang hampir murni) diperoleh melalui proses kimiawi, arang dipecah menjadi bentuk butiran halus. (Derlet & Albertson, 1986). Karbon aktif adalah struktur yang homogen secara struktural dengan luas permukaan tinggi, memiliki struktur mikro dan menunjukkan stabilitas radiasi. Oleh karena itu banyak digunakan dalam berbagai proses industri sebagai adsorben, katalis atau pendukung katalis. Sifat adsorpsi karbon aktif tergantung terutama pada ukuran partikel, porositas,

kandungan abu, tingkat karbonisasi dan metode aktivasi. (Iqbal & Ashiq, 2007) Karbon aktif mengandung karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen dan sulfur. (Lladó et al., 2016)

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah sebuah studi deskriptif yang dilaksanakan dengan pendekatan Narrative Review. Pencarian artikel dilakukan melalui metode pencarian manual atau hand searching *online* pada dua basis data, yaitu Google Scholar dan Science direct, dengan menggunakan kata kunci “Effectiveness of Plant Activated Charcoal as Pharmaceutical Waste Adsorbent”. Hasil dari proses pencarian dan seleksi artikel menunjukkan bahwa sebanyak 559, tetapi artikel yang telah teridentifikasi untuk dilakukan tinjauan kelayakan secara penuh sebanyak 20. Artikel yang dipilih berdasarkan kriteria inklusi, seperti publikasi dalam rentang 10 tahun terakhir, penggunaan arang aktif berbahan dasar alami, serta adanya data kuantitatif terkait kemampuan adsorpsi terhadap limbah farmasi. Artikel yang tidak memenuhi kriteria tersebut dikeluarkan selama proses seleksi.

**Tabel 1. Prisma flow**



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai jenis tanaman telah diteliti dan dimanfaatkan sebagai bahan yang dijadikan arang aktif sebagai adsorben limbah farmasi. **Tabel 2.** Menyajikan hasil review artikel mengenai karakteristik arang aktif dari beberapa tanaman yang ditemukan di Indonesia. Karakteristik yang didapatkan meliputi luas permukaan, kapasitas adsorpsi, dan efisiensi adsorpsi.

**Tabel 2. Hasil Review**

No.	Arang Aktif Tanaman	Limbah Farmasi	Luas Permukaan Arang Aktif	Kapasitas Adsorpsi Maksimum	Efisiensi Adsorpsi	Referensi
1.	Biji labu ( <i>Cucurbita pepo</i> )	Antibiotik Ciprofloxacin	2730 m <sup>2</sup> /g.	884,9 mg/g.	99% pada kondisi normal.	(Alacabey, 2022)
2.	Akar beringin ( <i>Ficus benjaminae</i> L.)	Fenol	988 m <sup>2</sup> /g dan pori rata-rata 24 nm	26,95 mg/g	89,2% suhu 30°C	(Nirmala et al., 2021)
3.	Kulit buah delima ( <i>Pericarpium Punicae granati</i> )	Diklofenak, amoksisilin, karbamazepin, siprofloksasin	PPs: 47,6 m <sup>2</sup> /g MPPs: 1249,1 m <sup>2</sup> /g. LMPPs: 232,7 m <sup>2</sup> /g	Amoxicillin: 704.22 mg/g Ciprofloxacin: 598.80 mg/g Carbamazepin e: 606.06 mg/g Diclofenac: 704.21 mg/g	68% dengan Laccase	(Al et al., 2023)
4.	Kayu tamarind ( <i>Tamarindus indica</i> L.)	Methylen orange	ACTW-3:1: 1063.07 m <sup>2</sup> /g ACTW-2:1: 547.36 m <sup>2</sup> /g ACTW-1:1: 357.09 m <sup>2</sup> /g CTW (Charcoal Tamarind Wood): 99.77 m <sup>2</sup> /g	39.35 mg/g	99% pada pH 6	(Phothitonti mongkol & Prasertboon yai, 2024)
5.	Cangkang buah argan ( <i>Argania spinosa</i> L.)	Diklofenak dan kafein	1007,76 m <sup>2</sup> /g	126 mg/g untuk diclofenac dan 210 mg/g untuk kafein	Diclofenac 82% dan kafein 92%.	(Bouhcain et al., 2022)
6.	Daun geranium mawar ( <i>Pelargonium graveolens</i> L.)	Ibuprofen	17.69 m <sup>2</sup> /g	113.76 mg/g	74.12% pada kondisi optimal.	(Thabede et al., 2023)
7.	Minyak kernel argan ( <i>Argania spinosa</i> (L.) Skeels)	Amoksisilin	1618 m <sup>2</sup> /g	303.03 mg/g	77.2% dalam kondisi optimal.	(Belhamdi et al., 2023)

- |     |   |   |   |  |  |                                 |
|-----|---|---|---|--|--|---------------------------------|
| 8.  | Cangkang Buah<br>Cassia<br>Bakeriana<br>( <i>Cassiae<br/>bacteriana<br/>craib</i> )       | Pewarna toksik<br>dan ciprofloxacin                       | 283.4 m <sup>2</sup> /g   | 970 mg/g<br>untuk congo<br>red dan 600<br>mg/g untuk<br>ciprofloxacin.                             | congo red<br>mencapai 99%<br>dan<br>ciprofloxacin<br>mencapai 90%.                   | (Theamwo<br>ng et al.,<br>2021) |
| 9.  | Kulit Kacang<br>Tanah<br>( <i>Arachidis<br/>hypogaeae</i> )                               | Tetrasiklin dan<br>Amoksisilin                            | Biochar Kulit<br>Kacang Tanah:<br>84,4 m <sup>2</sup> /g<br>Dimodifikasi<br>CTAB: 83,6<br>m <sup>2</sup> /g | Tetrasiklin<br>mencapai 272<br>mg/g,<br>sedangkan<br>untuk<br>Amoksisilin<br>mencapai 305<br>mg/g. | TET<br>dihilangkan<br>hingga 99%<br>dan AMX<br>hingga 98%<br>pada kondisi<br>optimal | (Egbedina<br>et al., 2023)      |
| 10. | Kulit kelapa<br>( <i>Mesocarpium<br/>cocos nuciferae</i> )                                | Diklofenak dan<br>amoksisilin                             | 437 m <sup>2</sup> /g   | 930.28 mg/g  | DCF dan AMX<br>mencapai lebih<br>dari 98%  | (Daouda et<br>al., 2021)        |
| 11. | Kulit kacang<br>hijau ( <i>Vigna<br/>radiata</i> L.)                                      | Ranitidine<br>hydrochloride                               | 405 m <sup>2</sup> /g   | -  | 99,16%   | (Mondal et<br>al., 2016)        |
| 12. | Limbah kayu<br>anggur ( <i>Vitis<br/>vinifera</i> L.)                                     | Methylen blue   | 119.084 m <sup>2</sup> /g   | 5.88 mg/g  | 98%  | (Mousavi et<br>al., 2022)       |
| 13. | Daun<br>Eucalyptus<br>camaldulensis<br>( <i>Eucalyptus<br/>camaldulensis<br/>Folium</i> ) | Residu farmasi  | K-Eucal-20:<br>92.00 m <sup>2</sup> /g<br>K-Eucal-40:<br>200.00 m <sup>2</sup> /g                           | 190.80 mg/g<br>untuk K-<br>Eucal-20 dan<br>305.78 mg/g<br>untuk K-<br>Eucal-40                     | 98%  | (Gouaich et<br>al., 2023)       |
| 14. | Kulit pisang<br>( <i>Epicarpium<br/>Musa<br/>paradisiacae</i> )                           | Amoksilin dan<br>karbamazepin                             | 911.59 m <sup>2</sup> /g  | Amoksisilin<br>393,70 mg/g,<br>sedangkan<br>untuk<br>karbamazepin<br>338,98 mg/g.                  | Amoksisilin<br>sebesar<br>91,63% dan<br>karbamazepin<br>sebesar<br>90,29%            | (Al-sareji et<br>al., 2024)     |
| 15. | Serat Palm Date<br>( <i>Phoenix<br/>dactylifera</i> L.)                                   | Tylosin, sebuah<br>antibiotik, dari<br>larutan            | 1726.11 m <sup>2</sup> /g   | 147 mg/g   | 99%  | (Melliti et<br>al., 2021)       |
| 16. | Kulit pinus<br>( <i>Pinus pinea</i> L.)   | Karbamazepin,<br>diklofenak dan<br>sulfamethoxazole       | 1463 m <sup>2</sup> /g  | karbamazepin<br>adalah 150<br>mg/g,<br>sedangkan<br>untuk<br>diclofenac<br>adalah 120<br>mg/g.     | karbamazepin<br>dan diclofenac<br>sebesar 80% .                                      | (Mestre et<br>al., 2022)        |
| 17. | Kulit kentang<br>( <i>Pericarpium<br/>Solani tuberosi</i> )                               | Limbah cair<br>farmasi<br>dorzolamide dan<br>pramipexole. | 405 m <sup>2</sup> /g   | Dorzolamide<br>66 mg/g,<br>sedangkan<br>untuk<br>pramipexole<br>adalah 56<br>mg/g.                 | Dorzolamide<br>95% dan<br>pramipexole<br>92%.  | (Kyzas &<br>Deliyanni,<br>2015) |

18.	Daun teh ( <i>Camellia sinensis</i> ) dan daun pohon plane ( <i>Platanus acerifolia</i> )	Pramipexole dihydrochloride (PRM)	1151 m <sup>2</sup> /g	112 mg/g	49%	(Liakos et al., 2021)
19.	Kulit jeruk ( <i>Citrus sinensis</i> )	Carbamazepine dan diklofenak	OPs: 22.8 m <sup>2</sup> /g MOPs: 367.5 m <sup>2</sup> /g LMOPs: 93.4 m <sup>2</sup> /g	MOPs: Carbamazepine: 80 mg/g Diclofenac: 90 mg/g	MOPs carbamazepine 81,98% dan diclofenac 90,53%. LMOPs 81,98% dan 90,53% untuk karbamazepin dan diklofenak	(Al-sareji et al., 2023)
20.	Tongkol Jagung	Tetrasiklin Hidroklorida	Penambahan kitosan juga dapat mengurangi luas permukaan, pori distribusi, dan volume pori, tetapi memiliki berpotensi untuk meningkatkan ukuran pori	Metode batch kapasitas adsorpsi sebesar 2,092 mg.g-1. metode sonikasi kapasitas adsorpsi sebesar 5,330 mg.g-1	Penambahan metode sonikasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi sebesar 323,80%	(Wardani et al., 2022)

## PEMBAHASAN

Struktur pori internal arang aktif bertanggung jawab atas kualitas penyerapnya, dan luas permukaannya berkisar antara 300 hingga 3500 m<sup>2</sup>/g. Kemampuan penyerapan arang aktif bubuk meningkat seiring dengan luas permukaan pori penyerap. Semakin tinggi luas permukaan, semakin baik juga dalam penyerapan limbah farmasi (Dewi et al., 2021).

### Biji Labu (*Cucurbita pepo*)

Mengingat banyaknya limbah pertanian, cangkang biji labu sebagai bahan baku arang aktif adalah keputusan yang berkelanjutan dan ekonomis. Permukaan karbon aktif mencapai 2730 m<sup>2</sup>/g, menunjukkan potensi adsorpsi yang tinggi. Kapasitas penyerapan maksimum ciprofloxacin adalah 884,9 mg/g, yang menghilangkan efisiensi jarak 99% atau lebih dalam kondisi optimal. Proses aktivasi menggunakan KOH meningkatkan jenis adsorpsi karbon aktif dan membuatnya efektif dalam menghilangkan kotoran dalam obat-obatan seperti ciprofloxacin dari air. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Demiral, 2019) bahwa kulit biji labu dapat memperbaiki perairan yang terkontaminasi zat lain dengan persentase penghilangan 35% berhasil dihilangkan setelah 24 jam.

### Akar Beringin (*Ficus benjaminae* L.)

Karbon aktif yang dihasilkan dari akar beringin menunjukkan kinerja superior dibandingkan karbon aktif yang ada di pasaran dalam hal penyerapan fenol, menjadikannya pilihan yang hemat biaya dan lebih ramah lingkungan. Data yang diperoleh menunjukkan luas permukaan spesifik 988 m<sup>2</sup>/g dan rata-rata ukuran pori 24 nm, yang mengindikasikan adanya struktur berpori yang sangat baik. Kapasitas adsorpsi maksimum menunjukkan hasil 26,95 mg/g. Skor efisiensi penyerapan fenol maksimum mencapai 89,2% pada kondisi terbaik (dosis 2,5 g, pH 7, durasi kontak 60 menit, dan suhu 30°C). Aktivasi menggunakan KOH memperbesar jumlah tempat aktif dan meningkatkan porositas, yang

berkontribusi pada peningkatan efisiensi penyerapan. Dengan fitur fisik dan kimia yang memadai, karbon aktif dari akar beringin dapat dimanfaatkan untuk menghapus berbagai jenis polutan organik, termasuk senyawa obat, dari limbah air. Metode produksi karbon aktif akar beringin yang sederhana dan terjangkau menjadikannya opsi menarik untuk digunakan dalam sektor industri dalam pengelolaan limbah farmasi.

#### **Kulit Buah Delima (*Pericarpium Punicae granati*)**

Kulit buah delima adalah limbah dari sektor pertanian yang sangat melimpah dan dapat diubah menjadi arang aktif yang efisien. Metode produksinya yang ramah lingkungan dan hemat biaya membuatnya menjadi alternatif yang menarik untuk pemulihan limbah. Arang aktif yang dihasilkan dari kulit buah delima memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, Pomegranate Peels mencapai 47,6 m<sup>2</sup>/g, Modified Pomegranate Peels (MPPs) 1249,1 m<sup>2</sup>/g, dan Laccase-modified pomegranate peel (LMPP) 232,7 m<sup>2</sup>/g, serta mengandung berbagai kelompok fungsi yang meningkatkan kemampuannya dalam menyerap zat. Laccase-modified pomegranate peel (LMPP) menunjukkan kemampuan penyerap yang sangat tinggi, mampu menghilangkan kontaminan farmasi seperti amoksisilin, karbamazepin, siprofloksasin, dan diklofenak hingga 98% dalam kurun waktu 2 jam. Proses adsorpsi berlangsung melalui interaksi fisik dan kimia antara kontaminan dan kelompok fungsi di permukaan arang aktif. Dengan mengimobilisasi laccase, kemampuan dalam mendekontaminasi polutan meningkat, sehingga menjadi lebih efisien untuk pengolahan air limbah. Penelitian lain mengungkapkan bahwa kulit buah delima dapat mengolah atau menghilangkan zat limbah farmasi seperti parasetamol dengan hasil kapasitas penghilangan parasetamol sebesar 214 mg/g tercapai (Solmaz et al., 2023).

#### **Kayu Tamarind (*Tamarindus indica* L.)**

Karbon aktif yang berasal dari kayu tamarind memiliki area permukaan yang luas dan tingkat porositas yang optimal, sehingga efektif dalam menyerap senyawa organik seperti mikroorganisme. Karbon aktif dari kayu tamarind menunjukkan kemampuan tinggi dalam penghilangan mikroorganisme dengan tingkat efisiensi mencapai 99% pada pH 6, serta kapasitas adsorpsi maksimum sekitar 39.35 mg/g. Proses pengikatan terjadi dengan sangat cepat, mencapai keadaan seimbang dalam waktu 20 menit. Perbandingan antara jumlah phosphoric acid (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) yang digunakan dan jumlah charcoal tamarind wood (CTW) yang diolah untuk membuat arang aktif (ACTW). ACTW-3:1: 1063.07 m<sup>2</sup>/g, ACTW-2:1: 547.36 m<sup>2</sup>/g, ACTW-1:1: 357.09 m<sup>2</sup>/g, dan CTW (Charcoal Tamarind Wood): 99.77 m<sup>2</sup>/g. Luas permukaan arang aktif meningkat seiring dengan peningkatan rasio impregnasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap CTW. Metode produksi yang memanfaatkan limbah kayu tamarind menjadikannya solusi yang berkelanjutan dan hemat biaya untuk pengolahan limbah obat. Dengan daya serap yang tinggi terhadap senyawa anionik seperti mikroorganisme, karbon aktif dari kayu tamarind dapat dimanfaatkan untuk menghapus berbagai kontaminan farmasi dari limbah cair. Ketahanan dan biaya rendah dalam pembuatan karbon aktif kayu tamarind menjadikannya pilihan menarik untuk kegunaan industri dalam pengelolaan limbah.

#### **Cangkang Buah Argan (*Argania spinosa* (L.)**

Karbon aktif yang berasal dari cangkang buah argan memiliki efisiensi tinggi dalam mengikat senyawa obat, sehingga menjadi pilihan yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengelolaan limbah. Karbon aktif yang diambil dari cangkang buah argan memiliki luas permukaan spesifik sekitar 1007,76 m<sup>2</sup>/g dan batas adsorpsi maksimum 126 mg/g untuk diclofenac serta 210 mg/g untuk kafein. Durasi keseimbangan untuk diclofenac dan kafein masing-masing adalah 60 menit dan 90 menit. Metode produksi yang memanfaatkan limbah cangkang buah argan menjadikan ini pilihan yang berkelanjutan dan ekonomis. Dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi, karbon aktif dari cangkang buah argan berpotensi digunakan untuk mengurangi berbagai polutan farmasi dalam air limbah, memberikan solusi terhadap isu pencemaran lingkungan. Karbonisasi dan Karakterisasi dilakukan menggunakan analisis termogravimetri (TGA), spektroskopi inframerah (FT-IR), dan metode BET untuk menentukan luas permukaan dan volume pori.

#### **Daun Geranium Mawar (*Pelargonium graveolens* L.)**

Karbon aktif yang berasal dari daun geranium mawar memiliki luas permukaan yang besar dan tingkat porositas yang baik, yang membuatnya mampu menyerap senyawa obat seperti ibuprofen secara efektif.

Karbon aktif dari daun geranium mawar menunjukkan kemampuan maksimum dalam menyerap ibuprofen sebesar 113,76 mg/g. Proses penyerapan mengikuti model isoterm Freundlich, yang menunjukkan bahwa penyerapan terjadi di permukaan yang bervariasi. Dengan kemampuan penyerapan yang tinggi dan efisiensi yang baik yaitu 74,12%, karbon aktif dari daun geranium mawar dapat dimanfaatkan untuk menghapus polutan obat dari air limbah, menyediakan solusi untuk isu pencemaran lingkungan. Karbonisasi pada suhu 600 °C dengan aliran nitrogen, diikuti dengan aktivasi kimia menggunakan asam ortofosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Karakterisasi dengan teknik seperti TGA, SEM, dan FT-IR.

#### **Minyak Kernel Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels)**

Karbon aktif yang diperoleh dari limbah pengolahan minyak kernel argan menunjukkan potensi besar sebagai adsorben dalam penghapusan limbah farmasi, dengan tingkat penghilangan amoksisilin mencapai 77,2% dalam kondisi terbaik. Karbon aktif yang dihasilkan memiliki luas permukaan spesifik sebesar 1618  $\text{m}^2/\text{g}$  serta kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 303,03 mg/g untuk amoksisilin. Karbonisasi pada suhu 400 °C, diikuti dengan aktivasi kimia menggunakan KOH pada suhu 800 °C. Karakterisasi dilakukan dengan analisis BET untuk menentukan luas permukaan, volume pori, dan analisis FT-IR.

#### **Cangkang Buah Cassia Bakeriana (*Cassia bakeriana* Craib)**

Karbon aktif yang diperoleh dari cangkang buah Cassia bakeriana memiliki area permukaan yang sedang (283.4  $\text{m}^2/\text{g}$ ) namun menunjukkan kemampuan adsorpsi yang luar biasa, yang diakibatkan oleh interaksi elektrostatis serta interaksi  $\pi$ - $\pi$  antara permukaan karbon dan molekul senyawa. Kemampuan adsorpsi yang luar biasa ini adalah 970 mg/g untuk Congo red dan 600 mg/g untuk ciprofloxacin. Tingkat keberhasilan penghilangan Congo red mencapai 99% dan ciprofloxacin mencapai 90%. Karbonisasi pada suhu 700 °C dalam atmosfer nitrogen, diikuti dengan aktivasi kimia menggunakan kalium hidroksida (KOH) dengan rasio 1:1. Karakterisasi dengan BET dan FT-IR.

#### **Kulit Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*)**

Dengan menggunakan sintesis arang aktif dari kulit kacang tanah yang melibatkan proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), arang aktif yang telah dimodifikasi dengan CTAB menunjukkan peningkatan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi maksimum terhadap tetrasiklin yang mencapai 272 mg/g, di mana efisiensi pengurangan tetrasiklin mencapai 99%. Sedangkan untuk amoksisilin, kapasitas adsorpsinya adalah 305 mg/g dengan efisiensi penghapusan yang mencapai 98%. Proses modifikasi menggunakan CTAB meningkatkan interaksi elektrostatis serta sifat hidrofobik. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Setyawan et al., 2018) bahwa arang kulit kacang tanah teraktivasi memiliki daya serap terhadap ion logam Cu(II) yang optimal pada pH 3, dengan kemampuan daya serap mencapai 45,6553 mg/g. Selain itu, pada konsentrasi optimum 90 ppm, arang tersebut mampu menyerap ion logam Cu(II) hingga 17,6857 mg/g. Pemanfaatan arang aktif yang berasal dari kulit kacang tanah bukan hanya membantu mengurangi limbah pertanian tetapi juga menawarkan solusi untuk masalah pencemaran air akibat antibiotik. Sintesis arang aktif dengan karbonisasi kulit kacang tanah pada suhu 600 °C dalam lingkungan terbatas oksigen. Arang aktif dimodifikasi menggunakan cetyltrimethylammonium bromide (CTAB). Karakterisasi arang aktif menggunakan teknik seperti FTIR, SEM, dan XRD.

#### **Kulit Kelapa (*Mesocarpium Cocos nucifera*)**

Kulit kelapa adalah produk sampingan pertanian yang melimpah di Benin, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan dasar untuk menghasilkan arang aktif tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga menawarkan solusi untuk pengelolaan limbah di sektor farmasi. Proses penyerapan mengikuti pola isoterm Langmuir, yang menunjukkan bahwa penyerapan berlangsung di permukaan yang seragam dan adsorbat tersebar dalam satu lapisan. Arang aktif yang diproduksi memiliki luas permukaan spesifik sebesar 437  $\text{m}^2/\text{g}$  serta nilai iodine tertinggi mencapai 930,28 mg/g. Arang aktif yang diperoleh dari kulit kelapa menunjukkan potensi luar biasa sebagai adsorben untuk limbah farmasi, dengan efisiensi penghilangan yang sangat tinggi.

#### **Kulit Kacang Hijau (*Vigna radiata* L)**



Kulit kacang hijau sebagai sumber untuk arang aktif menawarkan kelebihan karena merupakan produk sampingan dari pertanian yang banyak dan terjangkau. Melalui tahap karbonisasi dan aktivasi, karakteristik adsorpsi arang aktif meningkat, sehingga menjadi efektif dalam mengeliminasi senyawa obat dari air. Tingkat efisiensi yang tinggi dalam penghilangan RH menandakan bahwa arang aktif yang berasal dari kulit kacang hijau bisa menjadi solusi yang ramah lingkungan dan hemat biaya untuk menangani masalah pencemaran limbah farmasi. Dengan efisiensi penghilangan RH mencapai 99,16% di kondisi terbaik yaitu pada pH 2 dan dosis adsorben sebesar 0,75 g/L, menunjukkan adanya area permukaan spesifik yang tinggi, yang berkontribusi pada kemampuan adsorpsinya yang efektif.

#### **Limbah Kayu Anggur (*Vitis vinifera* L.)**

Arang aktif yang terbentuk dengan metode karbonisasi dari limbah kayu anggur memiliki tingkat pengurangan methylene blue mencapai 98% dalam kondisi terbaik, yaitu pada pH 11, konsentrasi awal Methylene blue 100 mg/L, serta dosis adsorben 12,25 g/L. Luas permukaan yang dihasilkan adalah 119.084 m<sup>2</sup>/g dan kapasitas adsorpsi maksimum mencapai 5,88 mg/g. Tingginya tingkat pengurangan menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari limbah kayu anggur dapat menjadi alternatif yang efektif dan berkelanjutan untuk menangani pencemaran limbah farmasi, terutama dalam penghilangan zat berbahaya seperti methylene blue dari air.

#### **Daun Eucalyptus Camaldulensis (*Eucalyptus Camaldulensis Folium*)**

Hasil dari penelitian mengungkapkan bahwa arang aktif yang dihasilkan menunjukkan kapasitas dalam menghilangkan ascorbic acid sebesar 190.80 mg/g pada K-Eucal-20 dan 305.78 mg/g pada K-Eucal-40, dengan luas permukaan K-Eucal-20: 92.00 m<sup>2</sup>/g dan K-Eucal-40: 200.00 m<sup>2</sup>/g. Tingkat efisiensi adsorpsi yang diperoleh mencapai 98% dalam kondisi yang paling optimal, menandakan bahwa arang aktif yang berasal dari daun Eucalyptus camaldulensis sangat ampuh dalam menyerap senyawa farmasi dari air. Eucalyptus camaldulensis memiliki potensi sebagai solusi yang efektif dan ramah lingkungan untuk menangani pencemaran limbah farmasi, khususnya dalam penghilangan ascorbic acid dari sumber air.

#### **Kulit Pisang (*Epicarpium Musa paradisiacae*)**

Kulit pisang sebagai sumber bahan untuk arang aktif menunjukkan potensi yang signifikan karena merupakan produk sampingan pertanian yang berlimpah dan terjangkau. Prosedur aktivasi menggunakan asam fosfat memperbesar area permukaan dan meningkatkan struktur pori arang aktif, yang berperan penting dalam meningkatkan kapabilitas adsorpsi. Dengan aktivasi kimia menggunakan asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dan kemudian dikarbonisasi pada suhu 450 °C menghasilkan luas permukaan 911,59 m<sup>2</sup>/g dan tingkat efisiensi penghapusan mencapai 91,63% untuk amoksisilin dan 90,29% untuk karbamazepin. Kapasitas adsorpsi puncak untuk amoksisilin berada di angka 393,70 mg/g, sementara untuk karbamazepin tercatat 338,98 mg/g. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Nadir et al., 2022) kulit pisang kepok yang diekstraksi pektinnya mampu mengadsorpsi logam Mn dengan kapasitas maksimum sebesar 0,182 mg/g pada waktu adsorpsi optimum selama 150 menit. Persentase efisiensi adsorpsi yang dicapai adalah 36,403%, yang menunjukkan bahwa kulit pisang kepok tidak hanya berfungsi sebagai bahan limbah. Hal ini menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari kulit pisang dapat menjadi metode yang efektif dan ramah lingkungan dalam menangani pencemaran limbah farmasi.

#### **Serat Pohon Kurma (*Phoenix dactylifera* L.)**

Proses aktivasi menggunakan ZnCl<sub>2</sub> meningkatkan luas permukaan yaitu 1726.11 m<sup>2</sup>/g, serta struktur pori dari arang aktif serat palm fiber, yang berperan dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan. Maksimum kapasitas adsorpsi yang diperoleh adalah 147 mg/g, dan model adsorpsi paling tepat menggunakan isotherm Langmuir serta model kinetik pseudo-order kedua. Tingkat efisiensi penghapusan yang mencapai 99% menunjukkan bahwa arang aktif yang dihasilkan dari serat palm date dapat menjadi solusi yang efisien dan ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran dari limbah farmasi, terutama dalam menghilangkan Tylosin dari sumber air. Serat diimpregnasi dengan ZnCl<sub>2</sub> sebagai agen aktivasi dan kemudian dikarbonisasi pada suhu 432 °C selama 10 menit. Karakterisasi arang aktif dilakukan menggunakan analisis CHNS-O, BET, FTIR, SEM, dan XRD.

#### **Kulit Pinus (*Pinus pinea* L.)**

Proses karbonisasi dan aktivasi menggunakan uap memperluas area permukaan serta mengubah struktur pori dari arang aktif, yang berpengaruh pada kemampuan adsorpsi yang tinggi. Luas permukaan arang aktif kulit pinus adalah 1463 m<sup>2</sup>/g. Kapasitas adsorpsi tertinggi untuk karbamazepin mencapai 150 mg/g, sementara untuk diclofenac adalah 120 mg/g. Tingkat pengurangan yang mencapai 80% untuk karbamazepin dan 75% untuk diclofenac menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari kulit pinus dapat menjadi solusi yang efisien dan berkelanjutan dalam menangani pencemaran limbah dari industri farmasi. Karbonisasi pada suhu 400 °C selama 1 jam dan aktivasi dengan uap pada suhu 800 °C. Karakterisasi dengan analisis BET untuk menentukan luas permukaan, serta FTIR dan SEM.

#### **Kulit Kentang (*Pericarpium Solani tuberosi*)**

Kulit kentang sebagai sumber bahan untuk arang aktif memiliki kemampuan besar karena merupakan limbah pertanian yang banyak ditemukan dan ekonomis. Proses aktivasi menggunakan KOH memperluas area permukaan dan memperbaiki struktur pori arang aktif, yang meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Luas permukaan arang aktif yang dihasilkan adalah 405 m<sup>2</sup>/g. Tingkat keefektifan penghapusan mencapai 95% untuk dorzolamide dan 92% untuk pramipexole. Kapasitas maksimum adsorpsi untuk dorzolamide tercatat sebesar 66 mg/g, sedangkan untuk pramipexole mencapai 56 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari kulit kentang dapat berfungsi sebagai solusi yang ampuh dalam mengatasi masalah pencemaran limbah farmasi.

#### **Daun Teh Pohon Plane (*Camellia sinensis* L. and *Platanus acerifolia*)**

Karbon aktif dari daun teh yang disintesis dengan metode dua langkah menunjukkan kinerja terbaik dalam mengadsorpsi pramipexole dengan kapasitas maksimum 112 mg/g pada PH 3. Luas permukaannya yaitu 1151 m<sup>2</sup>/g. Adsorpsi mengikuti model langmuir dan kinetika orde satu semu, dan melibatkan gugus fungsi C=O, C-H, dan O-H. Hasil ini menunjukkan bahwa arang aktif yang berasal dari daun teh efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah yang terkontaminasi senyawa farmasi dengan efisiensi penghilangan yaitu sekitar 49%.

#### **Kulit Jeruk (*Citrus sinensis* L.)**

Adsorben yang dihasilkan dari kulit jeruk ini memiliki puncak difraksi yang signifikan terlihat pada 2θ = 16,3° serta 22,3°, yang merupakan karakteristik selulosa. ini menunjukkan bahwa selulosa yang ada dalam adsorben OPs adalah jenis amorf. Kandungan karbon aktif kulit jeruk mengandung (78,45%), oxygen (4,68%), hydrogen (1,76%), nitrogen (2,38%), and sulfur (0,95%). Luas permukaan untuk OPs 22,8 m<sup>2</sup>/g, MOPs sebesar 367,5 m<sup>2</sup>/g dan untuk LMOPs 93,4 m<sup>2</sup>/g. MOPs memiliki efisiensi penghilangan untuk carbamazepine mencapai 81,98% dan untuk diclofenac mencapai 90,53% setelah beberapa siklus penggunaan. LMOPs memiliki persentase penyisihan 81,98% dan 90,53% untuk karbamazepin dan diklofenak, setelah siklus ke-3, sedangkan persentase penyisihan sebesar 43,30% dan 56,40% untuk karbamazepin dan diklofenak. Hasil tersebut menunjukan bahwa karbon aktif dari kulit jeruk memiliki efektivitas sebagai adsorben limbah farmasi.

#### **Tongkol Jagung (*Zea mays*)**

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Wardani et al., 2022) Penelitian ini menggunakan metode batch dikombinasikan dengan metode sonikasi. Berdasarkan penelitian ini, diketahui bahwa gelombang ultrasonik (sonikasi) mampu meningkatkan efek adsorpsi terhadap tetrasiklin hidroklorida. Waktu adsorpsi menjadi lebih cepat dengan hasil yang lebih maksimal. Arang aktif yang diperoleh dari proses aktivasi arang tongkol jagung. Aktivasi dilakukan dengan perendaman dalam asam klorida selama 24 jam, yang dapat meningkatkan sifat arang sebagai adsorben, seperti membersihkan pori-pori, menambah luas permukaan, dan menambah kelompok aktif yang lebih baik. Lapisan kitosan yang ditambahkan pada bahan arang yang diaktifkan mempengaruhi permukaan arang aktif, juga dapat mengurangi luas permukaan, pori distribusi, dan volume pori, tetapi masih mempunyai potensi untuk meningkatkan ukuran pori. Proses adsorpsi dengan menggunakan metode sonikasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari 2,092 mg.g<sup>-1</sup> menjadi 5,330 mg.g<sup>-1</sup>.

#### **KESIMPULAN**

Berbagai sumber limbah pertanian, seperti biji labu, akar beringin, kulit buah delima, kayu tamarind, dan lainnya, memiliki potensi yang signifikan untuk dijadikan arang aktif yang efektif dalam

mengadsorpsi senyawa farmasi dari air limbah. Karbon aktif yang dihasilkan dari bahan-bahan ini menunjukkan luas permukaan yang tinggi dan kapasitas adsorpsi yang baik, memungkinkan penghilangan kontaminan farmasi dengan efisiensi yang sangat tinggi. Metode produksi yang ramah lingkungan dan ekonomis menjadikan arang aktif dari limbah pertanian sebagai solusi berkelanjutan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan akibat limbah farmasi. Dengan karakteristik fisik dan kimia yang memadai, arang aktif ini dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan limbah, memberikan alternatif yang menarik untuk industri dalam upaya menjaga kualitas lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al, O. J., Meiczinger, M., Juboori, R. A. Al, Grmasha, R. A., Andredaki, M., Somogyi, V., Idowu, I. A., Kovács, C. S., Jakab, M., Lengyel, E., & Hashim, K. S. (2023). Efficient removal of pharmaceutical contaminants from water and wastewater using immobilized laccase on activated carbon derived from pomegranate peels. *Scientific Reports*, 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38821-3>
- Alacabey, İ. (2022). Antibiotic Removal from the Aquatic Environment with Activated Carbon Produced from Pumpkin Seeds. *Molecules*, 27(4). <https://doi.org/10.3390/molecules27041380>
- Al-sareji, O. J., Abdulzahra, M. A., Hussein, T. S., Shlakaa, A. S., Karhib, M. M., Meiczinger, M., Grmasha, R. A., Al-Juboori, R. A., Somogyi, V., Domokos, E., Idowu, I., Andredaki, M., & Hashim, K. S. (2023). Removal of Pharmaceuticals from Water Using Laccase Immobilized on Orange Peels Waste-Derived Activated Carbon. *Water (Switzerland)*, 15(19), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w15193437>
- Al-sareji, O. J., Grmasha, R. A., Meiczinger, M., Al-Juboori, R. A., Somogyi, V., & Hashim, K. S. (2024). A Sustainable Banana Peel Activated Carbon for Removing Pharmaceutical Pollutants from Different Waters: Production, Characterization, and Application †. *Materials*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ma17051032>
- Amalia Asyayidah, K., & Agustina, R. (2024). Analisis CSR Perusahaan Farmasi Tahun 2020 dan 2021. *JFAS: Journal of Finance and Accounting Studies*, 6, 63–69. <https://doi.org/10.33752/jfas.v6i2.7485>
- Belhamdi, B., Laksaci, H., Belabed, C., Merzougui, Z., Boudiaf, S., Tir, R., & Trari, M. (2023). Synthesis of highly porous activated carbon derived from kernel oil treatment by-products of *Argania Spinosa* as a recyclable adsorbent for amoxicillin removal from real wastewater. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(3), 2135–2149. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01380-6>
- Bouhcain, B., Carrillo-Peña, D., El Mansouri, F., Ez Zoubi, Y., Mateos, R., Morán, A., Quiroga, J. M., & Zerrouk, M. H. (2022). Removal of Emerging Contaminants as Diclofenac and Caffeine Using Activated Carbon Obtained from Argan Fruit Shells. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/app12062922>
- Bungau, S., Tit, D. M., Fodor, K., Cioca, G., Agop, M., Iovan, C., Cseppento, D. C. N., Bumbu, A., & Bustea, C. (2018). Aspects regarding the pharmaceutical waste management in Romania. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su10082788>
- Daouda, M. M. A., Akowanou, A. V. O., Mahunon, S. E. R., Adjinda, C. K., Aina, M. P., & Drogui, P. (2021). Optimal removal of diclofenac and amoxicillin by activated carbon prepared from coconut shell through response surface methodology. *South African Journal of Chemical Engineering*, 38(August), 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.08.004>
- Demiral, I. (2019). Utilization of Activated Carbon Prepared from Pumpkin Seed Shell for the Removal of Dyestuff from Aqueous Solutions and Wastewater by Microwave Radiation. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(2), 68–77. <https://doi.org/10.7176/jstr/5-2-08>
- Derlet, R. W., & Albertson, T. E. (1986). Activated charcoal - Past, present and future. *Western Journal of Medicine*, 145(4), 493–496.
- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>
- Egbedina, A. O., Ugwuja, C. G., Dare, P. A., Sulaiman, H. D., Olu-Owolabi, B. I., & Adebawale, K. O. (2023). CTAB-activated Carbon from Peanut Husks for the Removal of Antibiotics and

- Antibiotic-resistant Bacteria from Water. *Environmental Processes*, 10(2). <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00636-9>
- Gouaich, I., Bestani, B., Bouberka, Z., Sreńscek-Nazza, J., Michalkiewicz, B., Benzekri-Benallou, M., Boucherdoud, A., & Benderdouche, N. (2023). Characterization of a low-cost Eucalyptus camaldulensis leaves based activated carbon for pharmaceutical residues removal from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*, 296, 19–31. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29602>
- Hanning, S. M., Hua, C., Baroutian, S., Burrell, R., Taylor, M., Wright, L. J., & Svirskis, D. (2022). Quantification and composition of pharmaceutical waste in New Zealand. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(4), 1603–1611. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01410-z>
- Iqbal, M. J., & Ashiq, M. N. (2007). Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 139(1), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.007>
- Kyzas, G. Z., & Deliyanni, E. A. (2015). Modified activated carbons from potato peels as green environmental-friendly adsorbents for the treatment of pharmaceutical effluents. *Chemical Engineering Research and Design*, 97, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.08.020>
- Liakos, E. V., Rekos, K., Giannakoudakis, D. A., Mitropoulos, A. C., Fu, J., & Kyzas, G. Z. (2021). Activated porous carbon derived from tea and plane tree leaves biomass for the removal of pharmaceutical compounds from wastewaters. *Antibiotics*, 10(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10010065>
- Lladó, J., Solé-Sardans, M., Lao-Luque, C., Fuente, E., & Ruiz, B. (2016). Removal of pharmaceutical industry pollutants by coal-based activated carbons. *Process Safety and Environmental Protection*, 104, 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.09.009>
- Melliti, A., Srivastava, V., Kheriji, J., Sillanpää, M., & Hamrouni, B. (2021). Date Palm Fiber as a novel precursor for porous activated carbon: Optimization, characterization and its application as Tylosin antibiotic scavenger from aqueous solution. *Surfaces and Interfaces*, 24(February). <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101047>
- Mestre, A. S., Viegas, R. M. C., Mesquita, E., Rosa, M. J., & Carvalho, A. P. (2022). Engineered pine nut shell derived activated carbons for improved removal of recalcitrant pharmaceuticals in urban wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 437(February). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129319>
- Mondal, S., Aikat, K., & Halder, G. (2016). Optimization of ranitidine hydrochloride removal from simulated pharmaceutical waste by activated charcoal from mung bean husk using response surface methodology and artificial neural network. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18366–18378. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1088899>
- Mousavi, S. A., Shahbazi, D., Mahmoudi, A., & Darvishi, P. (2022). Methylene blue removal using prepared activated carbon from grape wood wastes: adsorption process analysis and modeling. *Water Quality Research Journal*, 57(1), 1–19. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2021.015>
- Nadir, M., Sahraeni, S., Mawardi, R. A., Marlinda, D., Program, ), Teknologi, S., Industri, K., Kimia, J. T., Samarinda, N., Petro, S., & Kimia, O. (2022). Kapasitas Adsorpsi Logam Mangan (Mn) Menggunakan Biosorben Pektin Dari Kulit Pisang Kepok. *Kapasitas Adsorpsi Logam) Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 2(2), 66–72. <https://doi.org/10.46964/jimsi.v2i2.1693>
- Nirmala, G., Murugesan, T., Rambabu, K., Sathiyarayanan, K., & Show, P. L. (2021). Adsorptive removal of phenol using banyan root activated carbon. *Chemical Engineering Communications*, 208(6), 831–842. <https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1674839>
- Overgaard, L. K., Johansen, K. B., Krumborg, J. R., Nielsen, M. L., Christensen, M. M. H., & Pedersen, S. A. (2024). Pharmaceutical waste from a Danish hospital. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, May, 499–511. <https://doi.org/10.1111/bcpt.14072>
- Patneedi, C. B., & Durga Prasadu, K. (2015). Impact of pharmaceutical wastes on human life and environment. *Rasayan Journal of Chemistry*, 8(1), 67–70.
- Phothitontimongkol, T., & Prasertboonyai, K. (2024). A fast removal of methyl orange from an aquatic system utilizing activated carbon from waste tamarind wood. *Desalination and Water Treatment*, 317(February 2023), 100267. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100267>
- Rimantho, D., & Athiyah. (2018). Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah Di Industri Farmasi. *Jurnal Teknologi*, 11(1), 1–8.

- Setyawan, M. N., Wardani, S., & Kusumastuti, E. (2018). Arang kulit kacang tanah teraktivasi  $H_3PO_4$  sebagai adsorben ion logam Cu(II) dan diimobilisasi dalam bata beton. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 262–269.
- Solmaz, A., Sari, Z. A., Karta, M., Turna, T., Yücel, A., & Depci, T. (2023). Production and Characterization of Activated Carbon from Pomegranate Peel for Pharmaceutical Waste (Paracetamol) Removal: Response Surface Methodology Application. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(10), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06641-w>
- Thabede, P. M., Mtunzi, F., & Nyamukamba, P. (2023). Sorption Behaviour of Ibuprofen Using Activated Carbon Derived from Rose Geranium (*Pelargonium graveolens* L.) Leaves. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/app13085133>
- Theamwong, N., Intarabumrung, W., Sangon, S., Aintharabunya, S., Ngernyen, Y., Hunt, A. J., & Supanchaiyamat, N. (2021). Activated carbons from waste *Cassia bakeriana* seed pods as high-performance adsorbents for toxic anionic dye and ciprofloxacin antibiotic remediation. *Bioresource Technology*, 341(August), 125832. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125832>
- Wardani, G. A., Putri, C. K., Gustaman, F., Hidayat, T., & Nofiyanti, E. (2022). Chitosan-Activated Charcoal of Modified Corn Cobs as an Antibiotics Adsorbent. *Walisongo Journal of Chemistry*, 5(2), 167–176. <https://doi.org/10.21580/wjc.v5i2.13164>