

# OPTIMALISASI PEMBERDAYAAN MASYARAKAT MELALUI REKAYASA MATERIAL: FABRIKASI ADSORBEN KARBON AKTIF BERBASIS AMPAS TEBU TERMODIFIKASI AMONIUM PERSULFAT UNTUK REMEDIASI LINGKUNGAN INDUSTRI TEKSTIL

Taufik Qodar Romadiansyah<sup>1\*</sup>, Fithrotul Auwaliah<sup>1</sup>, Laila Rezty Hertiwi<sup>1</sup>, Hafidah Nazlatul Auliyah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Darul 'ulum Lamongan

Email: [taufikqodar@unisda.ac.id](mailto:taufikqodar@unisda.ac.id)<sup>1</sup>

## ABSTRAK

Pencemaran limbah cair industri tekstil, khususnya dari proses pewarnaan, menjadi permasalahan lingkungan serius yang berdampak langsung pada kualitas perairan dan kesehatan masyarakat di sekitar kawasan industri. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi biomassa pertanian melimpah seperti ampas tebu yang belum dimanfaatkan secara optimal. Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan memberdayakan komunitas melalui transfer pengetahuan dan alih teknologi tepat guna dengan memanfaatkan ampas tebu sebagai bahan baku adsorben karbon aktif termodifikasi untuk pengolahan limbah tekstil skala rumah tangga. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan Participatory Action Research (PAR), meliputi analisis situasi, pelatihan fabrikasi karbon aktif melalui aktivasi kimia NaOH dan modifikasi menggunakan amonium persulfat (APS), serta pendampingan perakitan dan pengoperasian sistem filter air gravitasi sederhana. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa adsorben SBAC-Modifikasi bersifat hidrofilik dan mampu meningkatkan kualitas air limbah secara signifikan, dengan efisiensi penghilangan warna lebih dari 96%, penurunan TDS hingga 980 mg/L, peningkatan DO dari kondisi kritis menjadi aerobik, serta penetralan pH menjadi mendekati netral. Air hasil olahan memenuhi standar baku mutu sanitasi nasional dan berpotensi dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan non-konsumsi, sekaligus mendorong konsep waste-to-wealth dan konservasi sumber daya air.

**Kata Kunci:** Limbah tekstil, Ampas tebu, Karbon aktif termodifikasi, Adsorpsi zat warna

## ABSTRACT

*Wastewater pollution from the textile industry, particularly from dyeing processes, has become a serious environmental problem that directly affects water quality and public health in communities surrounding industrial areas. On the other hand, Indonesia possesses abundant agricultural biomass resources, such as sugarcane bagasse, that remain underutilized. This community service program aims to empower local communities through knowledge transfer and the dissemination of appropriate technology by utilizing sugarcane bagasse as a raw material for modified activated carbon adsorbents in household-scale textile wastewater treatment. The program was implemented using a Participatory Action Research (PAR) approach, encompassing situational analysis, training on activated carbon fabrication through NaOH chemical activation and modification using ammonium persulfate (APS), as well as assistance in assembling and operating a simple gravity-driven water filtration system. The results demonstrate that the modified sugarcane bagasse activated carbon (SBAC-Modified) exhibits hydrophilic and significantly improves wastewater quality, achieving more than 96% color removal efficiency, reducing total dissolved solids (TDS) to 980 mg/L, increasing dissolved oxygen (DO) from critical to aerobic levels, and neutralizing pH to near-neutral conditions. The treated water meets national sanitation quality standards and has the potential for reuse for non-consumptive purposes, while simultaneously promoting the waste-to-wealth concept and water resource conservation.*

**Keywords:** Textile waste, Sugarcane bagasse, Modified activated carbon, Dye adsorption

## 1. PENDAHULUAN

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) merupakan sektor strategis yang berkontribusi besar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional dan penyerapan tenaga kerja di Indonesia, namun sekaligus menjadi salah satu sumber utama pencemaran lingkungan perairan.<sup>1</sup> Dampak ini terutama terlihat di wilayah dengan konsentrasi industri tekstil tinggi, baik industri berskala besar maupun industri rumah tangga seperti sentra batik dan pencelupan jeans. Limbah cair dari proses pewarnaan dan pencucian mengandung zat warna sintetis berkonsentrasi tinggi, nilai (*Chemical Oxygen Demand*) COD, (*Biological Oxygen Demand*) BOD, dan (*Total Dissolved Solids*) TDS yang melampaui ambang batas, serta pH yang fluktuatif (Rahman et al., 2017). Zat warna sintetis, khususnya golongan azo, antrakuinon, dan trifenilmetan, bersifat rekalsitran dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga berpotensi merusak ekosistem perairan dengan menghambat penetrasi cahaya, menurunkan oksigen terlarut, dan memicu kondisi anaerobik (Abdelghaffar et al., 2019; Periyasamy, 2024).

Pada tingkat komunitas, pencemaran limbah tekstil berdampak langsung terhadap kesehatan dan kualitas sanitasi masyarakat yang bermukim di sekitar sungai dan kawasan industri. Air tanah dangkal yang terkontaminasi akibat infiltrasi limbah cair sering digunakan untuk kebutuhan sehari-hari, sehingga meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti dermatitis, iritasi mukosa, serta potensi efek karsinogenik jangka panjang akibat paparan residu logam berat dan amina aromatik (Aragaw & Bogale, 2021; Hutapea et al., 2025). Kondisi ini menegaskan urgensi penerapan teknologi pengolahan limbah yang efektif sekaligus mudah diakses dan terjangkau, khususnya bagi masyarakat dan pelaku industri tekstil skala kecil.

Indonesia sebagai negara agraris tropis menghasilkan biomassa pertanian dalam jumlah besar, salah satunya ampas tebu yang merupakan residu fibrosa dari proses ekstraksi nira. Limbah ini sering kali belum dikelola secara optimal dan cenderung dibakar atau ditumpuk, sehingga menimbulkan pencemaran udara dan masalah lingkungan lainnya (Abdelghaffar et al., 2019). Dari sudut pandang kimia material, ampas tebu memiliki potensi besar sebagai prekursor adsorben karena kandungan lignoselulosanya yang tinggi, terdiri atas selulosa (40–50%), hemiselulosa (25–35%), dan lignin (15–20%), yang dapat dikonversi menjadi karbon aktif berporositas tinggi melalui proses termal dan kimia tertentu (Ly et al., 2018). Pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan baku karbon aktif sekaligus menawarkan solusi pengurangan limbah pertanian dan penyediaan material fungsional untuk remediasi lingkungan (Akl & Serage, 2024).

Namun, karbon aktif hasil pirolisis biomassa secara sederhana umumnya masih memiliki keterbatasan kinerja, terutama karena sifat permukaannya yang cenderung hidrofobik dan non-polar sehingga kurang efektif dalam mengadsorpsi polutan polar dan zat warna terlarut (Kopczyński et al., 2017). Selain itu, pori-pori karbon dapat tertutup oleh residu tar atau hasil dekomposisi yang tidak sempurna. Oleh karena itu, diperlukan proses aktivasi dan modifikasi permukaan sebagai upaya rekayasa material untuk meningkatkan karakteristik permukaan dan kapasitas adsorpsi karbon aktif.

Untuk mengatasi keterbatasan karbon aktif konvensional, kegiatan pengabdian ini menerapkan pendekatan hibrida melalui aktivasi kimia basa menggunakan NaOH dan modifikasi oksidatif permukaan dengan Amonium Persulfat (APS) (Romadiansyah et al., 2025). Aktivasi NaOH efektif mengembangkan struktur pori mikro dan mesopori melalui degradasi komponen lignoselulosa serta ekspansi kisi karbon, sehingga menghasilkan luas permukaan yang besar dan

lebih seragam dengan sifat permukaan basa yang menguntungkan untuk aplikasi fase cair (Irsal, 2021; Priyanto et al., 2021). Namun, sifat hidrofobik karbon aktif masih menjadi kendala dalam interaksi dengan air limbah. Oleh karena itu, dilakukan hidrofilisasi permukaan menggunakan APS yang menghasilkan radikal sulfat ( $\text{SO}_4^-$ ) untuk mengintroduksi gugus fungsi oksigenat polar seperti karboksil, hidroksil, lakton, dan kuinon pada permukaan karbon (Kopczyński et al., 2017). Modifikasi ini meningkatkan hidrofilitas dan mempercepat kinetika adsorpsi, sekaligus memungkinkan terjadinya adsorpsi kimia melalui interaksi elektrostatis dan ikatan hidrogen antara gugus bermuatan negatif pada permukaan karbon dan zat warna kationik dalam air limbah (Abdelghaffar et al., 2019; Gurzęda et al., 2024).

Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan memberdayakan komunitas secara komprehensif melalui transfer pengetahuan dan alih teknologi tepat guna untuk meningkatkan ketahanan lingkungan di tingkat lokal. Program ini difokuskan pada edukasi masyarakat mengenai bahaya limbah tekstil dan peluang ekonomi sirkular dari pemanfaatan ampas tebu, pelatihan produksi adsorben karbon aktif termodifikasi dengan bahan dan peralatan terjangkau, serta pendampingan dalam perancangan dan pengoperasian sistem filtrasi air sederhana berbasis karbon aktif untuk pengolahan limbah skala rumah tangga. Urgensi kegiatan ini ditegaskan melalui verifikasi kinerja lingkungan secara ilmiah dengan menguji parameter kualitas air seperti warna, TDS, DO, dan pH, serta membandingkannya dengan standar baku mutu nasional yang berlaku (HIDUP, 2018)

## 2. METODE

Pendekatan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah *Participatory Action Research* (PAR) yang menekankan pada partisipasi aktif mitra sasaran dalam setiap tahapan, mulai dari identifikasi masalah hingga implementasi solusi. Hal ini untuk memastikan keberlanjutan (*sustainability*) program pasca kegiatan berakhir.

### 1. Pra-Pelaksanaan: Analisis Situasi dan Sosialisasi

Tahap awal melibatkan survei lapangan di desa mitra yang berdekatan dengan industri tekstil. Pengambilan sampel air sungai dan air sumur warga dilakukan untuk mendapatkan data rona awal (*baseline data*). Selanjutnya, dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) dengan tokoh masyarakat, pelaku usaha kecil, dan karang taruna untuk mensosialisasikan rencana kegiatan dan menyepakati jadwal pelaksanaan (Hutapea et al., 2025).

### 2. Alat dan Bahan

Untuk menjamin replikabilitas teknologi oleh masyarakat, pemilihan bahan dan peralatan dalam kegiatan ini diprioritaskan pada ketersediaan lokal dan keterjangkauan biaya tanpa mengabaikan spesifikasi teknis yang diperlukan untuk menghasilkan adsorben berkualitas. Bahan baku yang digunakan meliputi ampas tebu yang diperoleh dari pedagang sari tebu lokal, natrium hidroksida (NaOH) teknis dengan kemurnian sekitar 98% yang mudah diperoleh di toko bahan bangunan atau kimia, amonium persulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) sebagai agen oksidator yang diperoleh dari pemasok bahan kimia, serta air bersih atau akuades untuk proses pelarutan dan pencucian (Kopczyński et al., 2017). Selain itu, digunakan bahan pendukung sistem filtrasi berupa pasir silika, kerikil, ijuk atau dakron, serta pipa PVC atau drum plastik. Peralatan yang digunakan mencakup

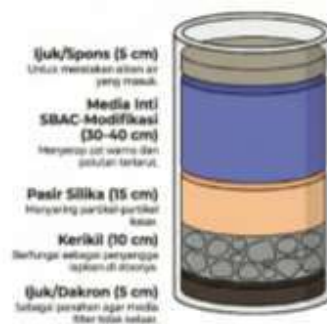
drum bekas tertutup sebagai reaktor pirolisis sederhana, tungku pembakaran (kompor atau tungku kayu), ayakan berukuran 60–80 mesh, ember plastik besar untuk perendaman, pengaduk kayu, serta alat pelindung diri seperti masker, sarung tangan karet, dan kacamata pelindung.

### 3. Fabrikasi Adsorben

Prosedur fabrikasi adsorben diajarkan melalui metode demonstrasi partisipatif yang melibatkan peserta secara aktif pada setiap tahapan, dengan prosedur yang diadaptasi dan disederhanakan dari literatur ilmiah terkini (Kopczyński et al., 2017). Proses diawali dengan preparasi dan karbonisasi ampas tebu melalui pencucian untuk menghilangkan sisa gula dan kotoran, pengeringan hingga kadar air rendah, serta pirolisis dalam drum tertutup pada suhu sekitar 400–500°C untuk menghasilkan arang, yang kemudian didinginkan, ditumbuk, dan diayak hingga ukuran 60–80 mesh guna memperoleh keseimbangan optimal antara luas permukaan dan aliran air saat filtrasi (Hazzaa & Hussein, 2015). Selanjutnya, arang diaktivasi secara kimia melalui perendaman dalam larutan NaOH 1 M dengan rasio massa 1:3 selama 24 jam untuk membuka dan memperluas struktur pori, kemudian dicuci hingga pH mendekati netral dan dikeringkan kembali (Priyanto et al., 2021). Tahap akhir berupa modifikasi oksidatif menggunakan larutan amonium persulfat (APS) 1–2 M yang diaduk selama beberapa jam pada suhu ruang atau sekitar 60°C untuk mengintroduksi gugus fungsi oksigen dan meningkatkan sifat hidrofilik permukaan, diakhiri dengan pencucian menyeluruh dan pengeringan hingga diperoleh adsorben SBAC-Modifikasi dengan berat konstan.

### 4. Desain dan Operasi Filter Air

Masyarakat dilatih untuk merakit dan mengoperasikan instalasi filter air gravitasi sederhana menggunakan pipa PVC berdiameter 4 dm setinggi sekitar 1 meter atau galon air mineral bekas yang dibalik, dengan susunan media filtrasi dari bawah ke atas berupa ijuk atau dakron setebal 5 cm sebagai penahan media, kerikil setebal 10 cm sebagai penyangga, pasir silika setebal 15 cm untuk menyaring partikel tersuspensi kasar, SBAC-Modifikasi setebal 30–40 cm sebagai media inti adsorpsi zat warna dan polutan terlarut, serta lapisan ijuk atau spons setebal 5 cm pada bagian atas untuk meratakan distribusi air masuk. Desain sistem filter air untuk penjernihan air limbah ditunjukkan pada Gambar 1. Operasional sistem dilakukan dengan mengalirkan air limbah dari bagian atas secara batch atau kontinu dengan pengaturan debit aliran berupa tetesan cepat agar diperoleh waktu kontak yang memadai antara air dan adsorben sehingga proses adsorpsi berlangsung efektif (Hutapea et al., 2025).



Gambar 1. Desain sistem filter air untuk penjernihan air limbah

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Karakterisasi Adsorben

Secara fisik, proses modifikasi menghasilkan perubahan karakteristik makroskopis yang nyata. Arang awal ampas tebu tampak kasar dan mengapung di air (hidrofobik). Setelah aktivasi NaOH dan modifikasi APS, serbuk arang menjadi jauh lebih halus, memiliki densitas ruah yang lebih rendah (indikasi porositas tinggi), dan segera terdispersi/tenggelam saat dimasukkan ke air (hidrofilik). Sifat hidrofilik ini krusial karena memastikan seluruh permukaan internal pori dapat diakses oleh molekul air limbah (Kopczyński et al., 2017).

#### 2. Analisis Efektivitas Penjernihan Air Limbah

Pengujian kinerja dilakukan menggunakan sampel air limbah pewarna tekstil (campuran pewarna sintesis yang dominan *Methylene Blue* dan zat warna *Reactive Red*). Sampel air sebelum (influen) dan sesudah perlakuan (efluen) dianalisis di laboratorium terakreditasi untuk parameter kunci: Warna, TDS, DO, dan pH. Hasil analisis dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah Industri Tekstil (Permen LHK No. 16 Tahun 2019) (HIDUP, 2018) dan Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Permenkes No. 32 Tahun 2017) (Sari & Huljana, 2019). Perbandingan kualitas air sebelum dan sesudah dilakukan adsorpsi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Kualitas Air Sebelum dan Sesudah Perlakuan Adsorpsi

Parameter Uji	Satuan	Influen (Limbah Awal)	Efluen (Setelah SBAC-Modifikasi)	Efisiensi Penurunan (%)	Baku Mutu Limbah (Permen LHK 16/2019)	Standar Sanitasi (Permenkes 32/2017)
Warna	Pt-Co (TCU)	> 2.500 (Biru-Hitam Pekat)	85 (Jernih Transparan)	96,7%	Maks. 200 Pt-Co	Maks. 50 TCU
TDS (Total Dissolved Solids)	mg/L	4.200	980	76,7%	-	Maks. 1.000 mg/L
DO (Dissolved Oxygen)	mg/L	0,5 (Kritis)	5,8	Peningkatan >1.000%	-	-
pH	-	10,8	7,1	Netral	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5

#### 2.1 Analisis Parameter Warna (*Color Removal*)

Penurunan intensitas warna dari >2.500 Pt-Co menjadi 85 Pt-Co menunjukkan efisiensi penyisihan zat warna yang luar biasa (>96%). Keberhasilan ini didukung oleh struktur mesopori yang terbentuk akibat aktivasi NaOH, yang ukurannya sesuai untuk menampung molekul zat warna makro (Tech, 2016). Lebih jauh, modifikasi APS memainkan peran vital melalui mekanisme chemisorption. Gugus fungsi karboksil (-COOH) dan hidroksil (-OH) yang terbentuk pada permukaan karbon terionisasi menjadi bermuatan negatif (-COO-, -O-) pada pH air. Hal ini menciptakan gaya tarik elektrostatis yang kuat terhadap molekul zat warna kationik (seperti *Methylene Blue*) yang

bermuatan positif (Tolkou et al., 2023). Air hasil olahan yang jernih secara visual memenuhi baku mutu pembuangan ke sungai (Permen LHK 16/2019 batas 200 Pt-Co) dan mendekati standar air bersih, menghilangkan dampak psikologis dan estetika pencemaran bagi masyarakat hilir.

## 2.2 Analisis Parameter TDS (*Total Dissolved Solids*)

TDS awal yang sangat tinggi (4.200 mg/L) merepresentasikan beban ionik dan organik terlarut dari garam-garam pendukung pencelupan (seperti NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan zat warna itu sendiri. Perlakuan menurunkan TDS menjadi 980 mg/L. Penurunan TDS sebesar ~76% mengindikasikan bahwa adsorben karbon aktif tidak hanya menyerap molekul organik besar (zat warna), tetapi juga berkontribusi pada penyisihan koloid dan sebagian ion inorganik. Sifat hidrofilik dari modifikasi APS meningkatkan aksesibilitas ion terlarut ke dalam jaringan pori mikro karbon (Kopczyński et al., 2017). Nilai akhir 980 mg/L berada tepat di bawah ambang batas maksimum 1.000 mg/L yang ditetapkan dalam Permenkes No. 32 Tahun 2017 untuk keperluan higiene sanitasi. Ini berarti air hasil olahan aman digunakan untuk mencuci atau menyiram tanaman, mendukung konsep konservasi air (Sari & Huljana, 2019).

## 2.3 Analisis Parameter DO (*Dissolved Oxygen*)

Peningkatan DO yang drastis dari kondisi anoksik (0,5 mg/L) menjadi kondisi aerobik sehat (5,8 mg/L) adalah indikator pemulihan kualitas ekologis air. Rendahnya DO pada limbah awal disebabkan oleh tingginya konsentrasi bahan organik (dinyatakan sebagai BOD/COD) yang mengonsumsi oksigen untuk proses oksidasi. Dengan terserapnya sebagian besar bahan organik (zat warna dan pelarut) oleh karbon aktif, permintaan oksigen menurun drastis, memungkinkan re-aerasi alami memulihkan kadar oksigen (Rahman et al., 2017). Proses fisik filtrasi yang melibatkan tetesan air juga berfungsi sebagai aerator mekanis sederhana yang membantu difusi oksigen dari udara ke dalam air.

## 2.4 Analisis Parameter pH

Air limbah tekstil umumnya bersifat basa (pH >10) akibat penggunaan soda abu dan kaustik soda dalam proses fiksasi warna. Filter SBAC-Modifikasi berhasil menetralkan pH menjadi 7,1 tanpa penambahan asam penetral. Permukaan karbon aktif yang dimodifikasi dengan APS kaya akan "*oxide groups*" yang bersifat asam (*acidic surface oxides*). Ketika limbah basa melewati kolom filter, terjadi reaksi netralisasi in-situ antara ion hidroksida (OH<sup>-</sup>) dari limbah dengan proton (H<sup>+</sup>) yang dilepaskan oleh gugus fungsi permukaan asam (seperti karboksilat) (Kopczyński et al., 2017). Kemampuan *self-neutralizing* ini memberikan keuntungan ekonomis yang signifikan karena menghilangkan kebutuhan bahan kimia penetral pH (seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dalam operasional pengolahan limbah warga.

## 3. Analisis Kinetika dan Isoterm

Berdasarkan tinjauan literatur yang relevan dengan metode yang digunakan (Tolkou et al., 2023), adsorpsi zat warna pada karbon aktif ampas tebu termodifikasi umumnya mengikuti model isoterm Langmuir, yang mengindikasikan terjadinya adsorpsi *monolayer* (satu lapis) pada permukaan yang homogen. Hal ini konsisten dengan pembentukan gugus fungsi spesifik oleh APS yang menyediakan situs aktif merata. Kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{maks}$ ) dapat mencapai >100 mg/g hingga 1.000 mg/g tergantung konsentrasi zat warna, jauh lebih tinggi dibandingkan karbon tanpa modifikasi. Secara kinetika, proses ini cenderung mengikuti model *Pseudo-Second-Order*,

menegaskan bahwa mekanisme *chemisorption* (pertukaran elektron/ikatan valensi antara adsorben dan adsorbat) adalah penentu laju reaksi, bukan sekadar difusi fisik (Zahakifar et al., 2024). Data ini memperkuat validitas ilmiah dari teknologi yang didesiminasikan kepada masyarakat.

#### 4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat ini berhasil menunjukkan integrasi pengelolaan limbah pertanian dan remediasi pencemaran industri melalui penerapan teknologi tepat guna. Fabrikasi adsorben karbon aktif berbasis limbah ampas tebu dengan pendekatan aktivasi ganda, yaitu pengembangan struktur pori menggunakan NaOH dan modifikasi kimia permukaan menggunakan Amonium Persulfat, terbukti menghasilkan material adsorben dengan kinerja tinggi dan aplikatif untuk pengolahan limbah cair tekstil.

Secara teknis, sistem filter air berbasis adsorben SBAC-Modifikasi mampu meningkatkan kualitas air limbah secara signifikan, ditandai dengan penghilangan zat warna lebih dari 96%, penurunan TDS hingga berada pada level aman untuk standar sanitasi (<1.000 mg/L), peningkatan kadar oksigen terlarut (DO) yang mendukung kehidupan akuatik, serta penetralan pH menjadi mendekati netral tanpa penambahan bahan kimia. Keberhasilan ini tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan pencemaran lingkungan, tetapi juga memberdayakan masyarakat melalui penguasaan keterampilan pengolahan limbah menjadi produk bernilai ekonomi (*waste-to-wealth*) dan membuka peluang pemanfaatan kembali air hasil olahan untuk kebutuhan non-konsumsi sesuai Permenkes No. 32 Tahun 2017, sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap sumber daya air tanah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdelghaffar, F., Abdelghaffar, R. A., Mahmoud, S. A., & Youssef, B. M. (2019). Modified sugarcane bagasse for the removal of anionic dyes from aqueous solution. *Pigment & Resin Technology*, 48(5), 464–471.
- Akl, M. A., & Serage, A. A. (2024). Chitosan impregnated sugarcane bagasse biochar for removal of anionic dyes from wastewater. *Scientific Reports*, 14(1), 27097.
- Aragaw, T. A., & Bogale, F. M. (2021). Biomass-based adsorbents for removal of dyes from wastewater: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 764958.
- Gurzęda, B., Boulanger, N., Enache, L.-B., Enachescu, M., & Talyzin, A. V. (2024). Microporous hydrophilic super-oxidized carbons with high surface area for removal of copper ions. *Microporous and Mesoporous Materials*, 378, 113259.
- Hazzaa, R., & Hussein, M. (2015). *Cationic dye removal by sugarcane bagasse activated carbon from aqueous solution*.
- HIDUP, P. A. P. M. L. (2018). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. *Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia*.
- Hutapea, T. P. H., Irawati, I., Awaludin, A., Lembang, M. S., Kartina, K., & Dandi, D. (2025). Pelatihan pembuatan filter air berbasis arang aktif guna mewujudkan SDGs Goal 6 di Desa Long Buang Kecamatan Peso Kabupaten Bulungan. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 8(3).
- Irsal, R. I. I. (2021). *KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI AMPAS TEBU (Saccharum officinarum L.) DENGAN AKTIVATOR NaOH SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR*. Universitas Andalas.
- Kopczyński, K., Peźniak-Kowalska, D., Lota, K., Buchwald, T., Parus, A., & Lota, G. (2017). Persulfate treatment as a method of modifying carbon electrode material for aqueous electrochemical capacitors. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21(4), 1079–1088.
- Ly, H. T. Y., Dieu, H. T. K., Sang, T. M. T., & Nha, L. N. M. (2018). Chemically modified sugarcane bagasse as a biosorbent for dye removal from aqueous solution. *VNUHCM Journal of Natural Sciences*,

2(6), 175–181.

- Periyasamy, A. P. (2024). Recent advances in the remediation of textile-dye-containing wastewater: prioritizing human health and sustainable wastewater treatment. *Sustainability*, *16*(2), 495.
- Priyanto, A., Malik, F., Muhdarina, M., & Awaluddin, A. (2021). Adsorption and characterization of activated sugarcane bagasse using sodium hydroxide. *Indonesian Journal of Chemical Research*, *8*(3), 202–209.
- Rahman, M. A., Ahmed, T., Salehin, I. N., & Hossain, M. D. (2017). Color removal from textile wastewater using date seeds activated carbon. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, *52*(1), 31–42.
- Romadiansyah, T. Q., Lakuy, F. R. A., Iqbal, R. M., Zulfiani, U., Pratama, A. W., Purnomo, A. S., Subaer, S., Gunawan, T., Rahmawati, Z., & Widiastuti, N. (2025). Functionalized graphite into hydrophilic activated carbon: Synthesis, characterization, and adsorption studies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *11*, 101035.
- Sari, M., & Huljana, M. (2019). Analisis bau, warna, TDS, pH, dan salinitas air sumur gali di tempat pembuangan akhir. *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, *3*(1), 1–5.
- Tech, J. E. T. (2016). Proximate analysis of cane bagasse and synthesizing activated carbon: emphasis on material balance. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, *4*(4), 102–110.
- Tolkou, A. K., Mitropoulos, A. C., & Kyzas, G. Z. (2023). Removal of anthraquinone dye from wastewaters by hybrid modified activated carbons. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(29), 73688–73701.
- Zahakifar, F., Dashtinejad, M., Sepehrian, H., Samadfam, M., Fasihi, J., & Yadollahi, A. (2024). Intensification of Cr (VI) adsorption using activated carbon adsorbent modified with ammonium persulfate. *Scientific Reports*, *14*(1), 16949.