

Pemanfaatan Ampas Tebu sebagai Adsorben untuk Penyisihan COD pada Limbah Cair Laboratorium

Tika Kumala Sari¹, Noven Pramitasari², Yeny Dhokhikah³, Farid Nauval Nugraha⁴, Nanda Diva Adea Fara⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Indonesia

Email: ^{1*}tikakumalasari@unej.ac.id

Abstract

Laboratory wastewater at the Environmental Engineering Study Program of Jember University (UNEJ) is wastewater generated from various practical activities and research involving the use of inorganic and organic chemicals. UNEJ Environmental Engineering laboratory wastewater is used as a means of supporting lectures and research for students and lecturers. The UNEJ Environmental Engineering Laboratory has never conducted tests on the characteristics of the wastewater produced. This study aims to examine the effectiveness of sugarcane bagasse in adsorbing COD levels in laboratory wastewater at various adsorbent heights and activator variations. The initial COD content of the laboratory wastewater was 665 mg/L. The variations in adsorbent height in the adsorption column reactor were 2 cm, 3 cm, 4 cm, and 5 cm, while the variations in sugarcane bagasse adsorbent activators were HCl, H₃PO₄, KOH, and Na₂CO₃. Based on the results of the study, the best COD removal efficiency was achieved with a column height variation of 5 cm and a KOH activator variation of 92.05%. The COD content in the initial laboratory wastewater of 665 mg/L after undergoing the adsorption process using bagasse waste adsorbent became 52.9 mg/L.

Keywords: Adsorption, Sugarcane Bagasse, COD, Fixed Bed Column Reactor, Laboratory Wastewater.

Abstrak

Limbah cair laboratorium di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Jember (UNEJ) adalah limbah cair yang dihasilkan dari berbagai kegiatan praktikum dan penelitian yang melibatkan penggunaan bahan kimia anorganik maupun organik. Limbah cair laboratorium Teknik Lingkungan UNEJ digunakan sebagai sarana penunjang perkuliahan dan penelitian untuk mahasiswa dan dosen. Laboratorium Teknik Lingkungan UNEJ belum pernah melakukan uji karakteristik limbah cair yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas ampas tebu dalam mengadsorpsi kadar COD pada limbah cair laboratorium pada berbagai variasi ketinggian adsorben dan variasi aktivator. Kandungan awal COD limbah cair laboratorium sebesar 665 mg/L. Variasi ketinggian adsorben pada reaktor kolom adsorpsi yaitu 2 cm ; 3 cm ; 4 cm ; 5 cm, sedangkan variasi aktivator adsorben ampas tebu yaitu HCl, H₃PO₄, KOH, dan Na₂CO₃. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan COD terbaik pada variasi ketinggian kolom adsorben 5 cm dan variasi aktivator KOH variasi yaitu sebesar 92,05%. Kandungan COD pada limbah cair laboratorium awal 665 mg/L setelah melewati proses adsorpsi menggunakan adsorben limbah ampas tebu menjadi 52,9 mg/L.

Kata Kunci: Adsorpsi, Ampas Tebu, COD, Reaktor Kolom Fixed Bed, Limbah Cair Laboratorium.

1. PENDAHULUAN

Limbah cair laboratorium di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Jember (UNEJ) merupakan hasil sampingan dari berbagai kegiatan praktikum dan penelitian yang melibatkan penggunaan bahan kimia anorganik maupun organik. Laboratorium Teknik Lingkungan UNEJ digunakan sebagai sarana penunjang perkuliahan dan

penelitian untuk mahasiswa dan dosen. Hingga saat ini, Laboratorium Teknik Lingkungan UNEJ belum pernah melakukan uji karakteristik limbah cair yang dihasilkan secara menyeluruh. Limbah cair laboratorium mempunyai sifat yang kompleks, mengandung senyawa organik dan anorganik, bersifat asam atau basa, reaktif, iritatif, serta berpotensi mengandung logam berat yang bersifat toksik. Kompleksitas kandungan limbah cair laboratorium tersebut berpotensi meningkatkan nilai parameter pencemar, salah satunya *Chemical Oxygen Demand* (COD), yang menjadi indikator penting dalam menilai tingkat pencemaran air. Konsentrasi senyawa pencemar yang tinggi, termasuk logam berat dan bahan organik, dapat bersifat toksik atau karsinogenik bagi manusia serta ekosistem perairan apabila limbah dibuang tanpa pengolahan yang memadai (Lemessa et al., 2023).

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan ukuran banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan secara kimiawi senyawa organik yang terdapat dalam air, baik yang mudah terurai secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sulit terurai (*non-biodegradable*), hingga berubah menjadi CO₂ dan H₂O pada setiap satu liter sampel air (Fadzry et al., 2021). Kadar COD yang tinggi pada pembuangan efluen industri maupun domestik dapat menyebabkan penurunan kualitas air penerima, mengancam kesehatan ekosistem perairan, dan menimbulkan bau busuk (Setiyanto et al., 2016). Hasil pengujian awal pada limbah cair laboratorium Teknik Lingkungan UNEJ menunjukkan nilai COD sebesar 665 mg/L, yang melebihi ambang batas baku mutu air limbah sebesar 300 mg/L sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Kondisi ini menunjukkan bahwa limbah cair laboratorium berpotensi menimbulkan pencemaran serius apabila dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu, sehingga diperlukan teknologi pengolahan yang efektif dan berkelanjutan.

Salah satu metode yang banyak diterapkan untuk menurunkan kadar COD dalam limbah cair adalah metode adsorpsi. Adsorpsi dinilai efektif karena prosesnya relatif sederhana, tidak menghasilkan produk samping berbahaya, serta mampu menurunkan konsentrasi senyawa organik secara signifikan. Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang umum digunakan dalam proses pengolahan air karena memiliki luas permukaan dan porositas yang tinggi, sehingga mampu memberikan daya adsorpsi yang besar. Berbagai penelitian sebelumnya telah melaporkan penggunaan karbon aktif dari beragam bahan, seperti tempurung kelapa (Fitrianingsih et al., 2025), *fly ash* (Faisal et al., 2023), dan ampas kopi (Nuraisyah et al., 2025), yang mampu menurunkan kadar COD hingga lebih dari 80% tergantung kondisi operasi. Secara internasional, karbon aktif berbahan dasar *agro-biomass* juga dilaporkan efektif dalam menurunkan COD limbah industri, termasuk karbon aktif dari *sugarcane bagasse* yang menunjukkan kinerja adsorpsi yang baik terhadap limbah cair berkadar organik tinggi (Khum et al., 2025; Mustefa et al., 2021).

Bahan dasar pembuatan karbon aktif umumnya berasal dari sumber alami yang mengandung lignoselulosa. Ampas tebu merupakan salah satu biomassa potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif karena kandungan karbonnya yang tinggi serta ketersediaannya yang melimpah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa material berbasis lignoselulosa mampu menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik luas permukaan dan struktur pori yang mendukung proses adsorpsi senyawa organik (Lubis et al., 2020; Nurhaliq et al., 2022; Pratama et al., 2018). Meskipun demikian, dibandingkan biomassa lain seperti tempurung kelapa dan ampas kopi yang telah banyak diteliti, pemanfaatan karbon aktif berbahan dasar ampas tebu untuk pengolahan limbah cair laboratorium masih relatif terbatas, sehingga membuka peluang pengembangan penelitian lebih lanjut.

Tanaman tebu dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum* termasuk dalam famili *Gramineae* yang merupakan kelompok tanaman rumput-rumputan. Tanaman tebu menghasilkan limbah berupa ampas tebu sebagai hasil samping proses ekstraksi cairan tebu. Ampas tebu merupakan salah satu limbah pertanian yang memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan kembali menjadi produk bernilai ekonomi karena keberadaannya yang melimpah di Indonesia. Setiap batang tebu yang diproses menghasilkan sekitar 90% ampas tebu, dimana sekitar 55% di antaranya masih sering terbuang sebagai limbah. Limbah tebu mengandung selulosa sebesar 36–46%, hemiselulosa 15,91–28,7% dan lignin 9,8–26,2% (Yadav et al., 2024). Kandungan selulosa dan lignin tersebut menjadikan ampas tebu berpotensi menjadi sumber karbon untuk proses adsorpsi. Secara global, produksi ampas tebu diperkirakan mencapai lebih dari 700 ton per tahun, seiring dengan meningkatnya produksi gula dan bioetanol dunia. Ampas tebu memiliki karakteristik berupa bahan berserat dengan permukaan kasar dan kadar air berkisar 45–70%, tergantung pada metode pengeringan dan kondisi penyimpanan (Iwuozor et al., 2023).

Berdasarkan data BPS (2023), produksi tebu di Kabupaten Jember pada tahun 2021 dan 2022 mencapai 32.820 ton/tahun dan 36.068 ton/tahun. Dalam proses produksi tebu, sekitar 90% hasil pengolahan berupa ampas tebu, sedangkan hanya sekitar 5% yang dapat diolah menjadi gula, dengan sisa hasil produksi berupa tetes tebu air. Pemanfaatan limbah ampas tebu di Kabupaten Jember hingga saat ini masih terbatas pada penggunaan konvensional seperti pakan hewan ternak, bahan pembuatan pupuk, dan pengolahan pulp, sehingga bahan adsorben ramah lingkungan belum dimaksimalkan (Pradana et al., 2024; Suryaningrum & Samsudin, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas karbon aktif ampas tebu dalam mengadsorpsi kadar COD pada limbah cair laboratorium. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh variasi aktivator dan ketinggian kolom adsorpsi terhadap efisiensi penurunan COD. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif dan aplikatif dalam pengelolaan limbah cair laboratorium, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah agroindustri lokal sebagai adsorben alami yang berkelanjutan dan bernilai tambah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini merupakan percobaan eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Remediasi dan Monitoring Kualitas Air dan Laboratorium Pengolahan Limbah Padat dan B3 Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan September hingga November 2025.

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi ampas tebu sebagai bahan baku adsorben, larutan aktivator kimia berupa HCl 0,3 M, H₃PO₄ 4%, KOH 1 M, dan Na₂CO₃ 5%, reagen COD, akuades, aluminium foil, *glass wool*, kertas saring, sertaslimabh cair laboratorium. Sedangkan alat penelitian yang digunakan, yaitu erlenmeyer, *beaker glass*, gelas ukur, pipet volume, pipet mikrometer, corong, cawan petri, ayakan 100 mesh, neraca analitik, oven, *furnace*, *vacuum pump*, *peristaltic pump*, pH meter, desikator, *fixed bed column reactor*, COD reactor, COD analyzer, serta SEM-EDX.

2.3 Preparasi Adsorben

Limbah ampas tebu yang didapat dari penjual es tebu dipotong-potong dengan ukuran yang seragam dan dicuci dengan akuades untuk menghilangkan pengotornya. Ampas tebu yang sudah bersih dikeringkan dengan sinar matahari selama 3 hari hingga kadar airnya menurun secara signifikan. Ampas tebu kering selanjutnya dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 500 °C selama 1 jam. Hasil karbonisasi kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam (Hasanah et al., 2022).

2.4 Aktivasi Adsorben

Proses aktivasi kimia dilakukan dengan cara merendam arang ampas tebu ke dalam larutan aktivator dengan perbandingan massa arang terhadap volume larutan sebesar 1:5 (m/v). Aktivator yang digunakan meliputi HCl 0,3 M, H₃PO₄ 4%, KOH 1 M, dan Na₂CO₃ 5%. Proses perendaman dilakukan selama 24 jam pada suhu ruang untuk membuka pori dan meningkatkan luas permukaan karbon aktif. Setelah proses aktivasi, karbon aktif dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam hingga berat konstan. Karbon aktif hasil aktivasi selanjutnya digunakan pada proses adsorpsi (Hasanah et al., 2022).

2.5 Karakterisasi Adsorben

Karbon aktif ampas tebu yang telah diaktivasi kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui kualitas adsorben yang dihasilkan. Parameter karakterisasi meliputi kadar air, kadar abu, serta analisis morfologi dan komposisi unsur penyusun menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX).

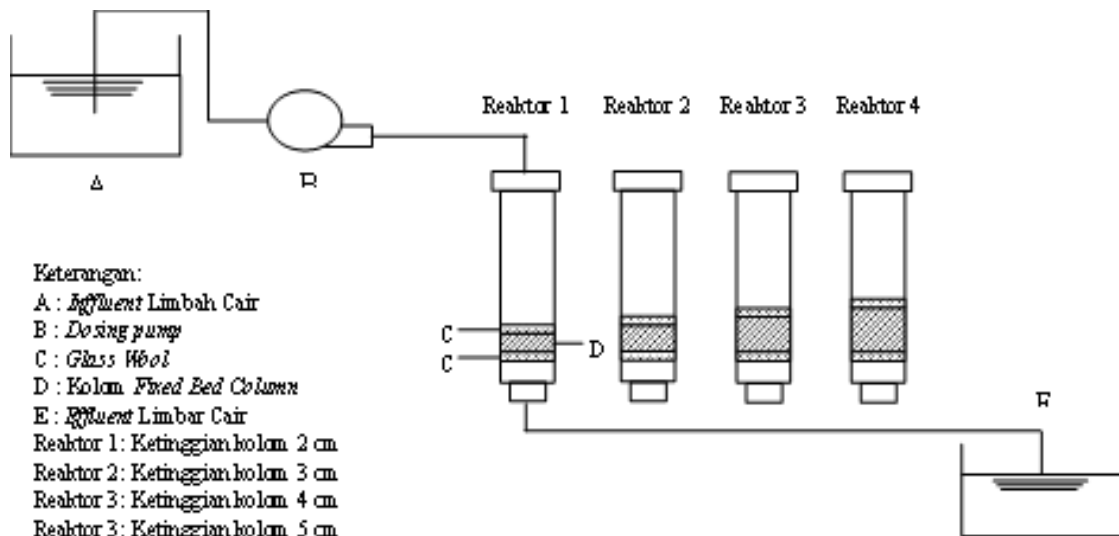
Pengujian kadar air dan kadar abu dilakukan mengacu pada SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Hasil pengujian kadar air dan kadar abu dinyatakan dalam bentuk persentase (%) ditampilkan pada Tabel 1, sedangkan analisis SEM digunakan untuk mengamati morfologi dan struktur pori permukaan karbon aktif, serta EDX digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur penyusun karbon aktif ampas tebu (Hasanah et al., 2022).

Tabel 1. Hasil Uji Kadar Air dan Kadar Abu

Jenis Aktivator	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)
HCl 0,3 M	4,46	11,35
H ₃ PO ₄ 4%	3,61	34,94
KOH 1 M	4,57	9,22
Na ₂ CO ₃ 5%	2,91	22,06
SNI 06-3730-1995	≤ 15	≤ 10

2.6 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem kolom adsorpsi (*fixed bed column reactor*) dengan variasi ketinggian kolom dan jenis aktivator karbon aktif. Limbah cair laboratorium dimasukkan ke dalam kolom yang telah diisi karbon aktif ampas tebu, kemudian dialirkan secara kontinu menggunakan *peristaltic pump* dengan debit 25 mL/menit. Parameter yang dianalisis adalah nilai COD sebelum dan sesudah proses adsorpsi untuk mengetahui efektivitas penurunan COD. Reaktor fixed column ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Reaktor Fix Bed Column

2.7 Analisis Kadar COD

Air limbah yang diperoleh dari proses adsorpsi dipipet sebanyak 0,2 ml ke dalam tabung reagen COD pada masing-masing sampel. Tabung ini kemudian dipanaskan pada COD *reactor* selama 2 jam pada suhu 150°C. Sampel pada tabung didiamkan selama 20 menit hingga suhu ruang. Selanjutnya, sampel diuji dengan COD *analyzer* untuk mengetahui kadar COD pada sampel setelah melalui proses adsorpsi.

2.8 Analisis Efisiensi Penyisihan COD

Analisis efisiensi penyisihan dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorben ampas tebu untuk menurunkan konsentrasi COD dalam limbah cair ampas tebu. Efisiensi penyisihan dihitung dengan membandingkan konsentrasi parameter sebelum dan sesudah proses adsorpsi limbah cair laboratorium. Berikut rumus umumnya:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

- C_{in} = konsentrasi awal COD limbah cair laboratorium (mg/L)
- C_{out} = konsentrasi akhir COD limbah cair laboratorium (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Aktivator Adsorben untuk Efektivitas Penyisihan COD

Aktivasi kimia merupakan tahap krusial dalam meningkatkan kinerja adsorben berbasis biomassa lignoselulosa seperti ampas tebu. Proses aktivasi tidak hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaan spesifik, volume pori, tetapi juga memodifikasi sifat kimia permukaan adsorben melalui pembentukan gugus fungsi aktif yang berperan dalam mekanisme adsorpsi senyawa organik COD. Pada penelitian ini digunakan empat jenis aktivator kimia, yaitu HCl, H_3PO_4 , KOH, dan Na_2CO_3 , untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap efektivitas penyisihan COD limbah cair laboratorium.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis aktivator sangat memengaruhi efisiensi adsorpsi COD, dengan adsorben yang diaktivasi menggunakan KOH menunjukkan efektivitas penyisihan tertinggi dibandingkan aktivator lainnya. Secara kimiawi, aktivasi menggunakan KOH diketahui mampu menghasilkan struktur karbon dengan dominasi mikropori dan mesopori melalui reaksi interkalasi kalium pada matriks karbon selama

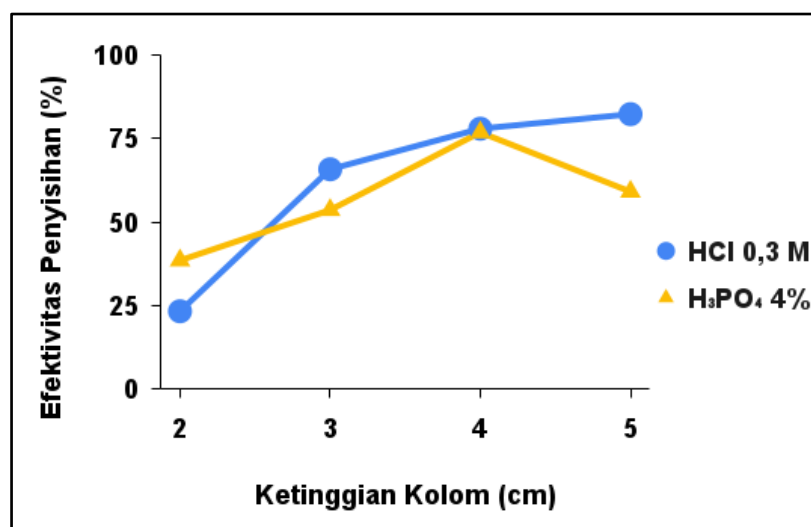
proses karbonisasi dan aktivasi. Kalium berperan memperlebar celah antar lapisan karbon dan mendorong pembentukan pori baru, sehingga meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi adsorben. Selain peningkatan porositas, aktivasi KOH juga berkontribusi terhadap pembentukan gugus fungsional permukaan seperti $-OH$ dan $-COOH$ yang meningkatkan afinitas adsorben terhadap molekul organik polar penyusun COD. Interaksi adsorpsi pada penelitian ini diduga berlangsung melalui kombinasi adsorpsi fisik (gaya Van der Waals dan difusi ke dalam pori) serta interaksi elektrostatis lemah antara permukaan karbon aktif dan senyawa organik terlarut. Mekanisme serupa juga dilaporkan oleh Dwiyanti et al. (2020), menyatakan bahwa karbon aktif hasil aktivasi KOH memiliki kapasitas adsorpsi tinggi terhadap polutan organik kompleks.

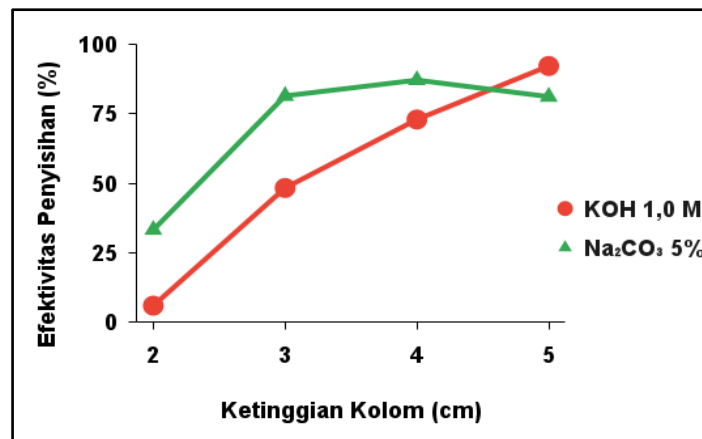
Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Zhou et al. (2023) yang melaporkan bahwa biochar berbahan dasar ampas tebu yang diaktivasi menggunakan KOH mampu mencapai efisiensi adsorpsi polutan organik hingga 97,5%. Meskipun efisiensi yang diperoleh pada penelitian ini sedikit lebih rendah, perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh variasi kondisi operasional, seperti sistem adsorpsi kolom, konsentrasi awal COD, serta karakteristik limbah cair laboratorium yang lebih kompleks dibandingkan limbah sintetis atau limbah industri tunggal.

Aktivator H_3PO_4 juga diketahui mampu meningkatkan karakteristik pori karbon aktif melalui proses dehidrasi dan penghilangan pengotor yang menyumbat pori. Utomo et al. (2023) menyebutkan bahwa H_3PO_4 dapat meningkatkan volume pori dan kestabilan struktur karbon. Namun, pada penelitian ini efektivitas adsorben teraktivasi H_3PO_4 efektif dalam pembentukan pori, luas permukaan, dan jumlah situs aktif yang dihasilkan relatif lebih rendah dibandingkan aktivasi KOH. Berdasarkan hasil tersebut, aktivator KOH dinyatakan sebagai aktivator paling efektif dalam meningkatkan kinerja adsorben ampas tebu untuk penyisihan COD limbah cair laboratorium.

3.2 Pengaruh Ketinggian Kolom Adsorpsi untuk Efektivitas Penyisihan COD

Variasi ketinggian kolom adsorpsi pada sistem *fixed bed column reactor* yang digunakan pada penelitian ini meliputi 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian kolom adsorben berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penyisihan COD, dengan efisiensi tertinggi sebesar 92,05% pada ketinggian kolom 5 cm menggunakan adsorben teraktivasi KOH. Efisiensi penyisihan COD berdasarkan variasi ketinggian kolom adsorpsi ditunjukkan pada **Gambar 2** dan Tabel 1 berikut.





Gambar 2. Grafik Penyisihan COD

Tabel 2. Efisiensi Penyisihan COD

Aktivator	Ketinggian Kolom (cm)	Kadar COD Awal (mg/L)	Kadar COD Akhir (mg/L)	Efektivitas (%)
HCl 0,3 M	2	665,0	510,0	23,31
	3		228,0	65,71
	4		147,4	77,83
	5		118,5	82,18
H ₃ PO ₄ 4%	2	665,0	409,0	38,50
	3		308,9	53,55
	4		154,7	76,74
	5		272,5	59,02
KOH 1 M	2	665,0	625,0	6,02
	3		344,0	48,27
	4		180,6	72,84
	5		52,9	92,05
Na ₂ CO ₃ 5%	2	665,0	444,0	33,23
	3		124,2	81,32
	4		86,5	86,99
	5		126,1	81,04

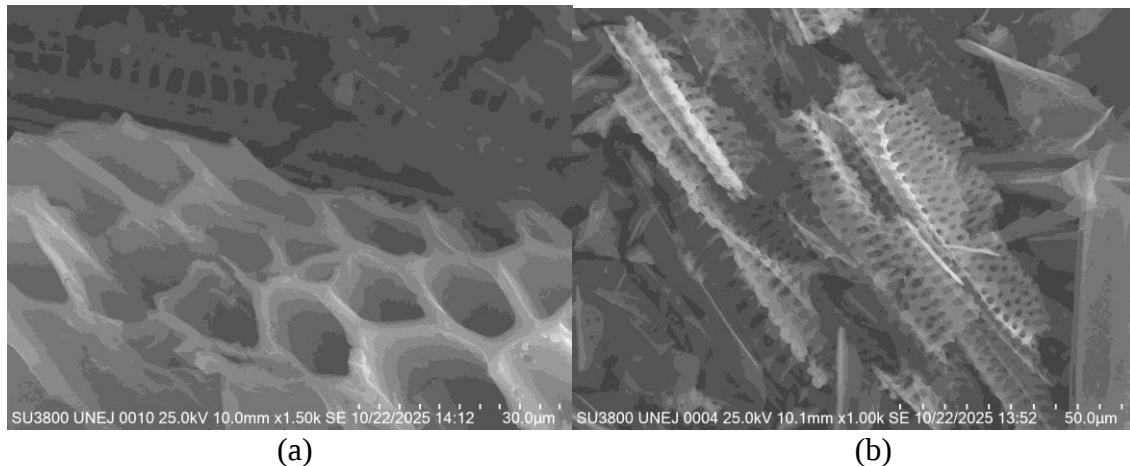
Secara fisik, peningkatan ketinggian kolom adsorben menyebabkan bertambahnya jumlah massa adsorben dan luas permukaan kontak antara adsorben dan limbah cair. Kondisi ini memperpanjang waktu tinggal (*contact time*) serta memperbesar peluang molekul organik berdifusi ke dalam pori-pori adsorben sebelum mencapai kondisi kejenuhan. Pada ketinggian kolom yang lebih rendah, adsorben lebih cepat mengalami *breakthrough*, sehingga kapasitas adsorpsi total menjadi terbatas.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Patel (2019) yang menyatakan bahwa peningkatan ketinggian kolom adsorpsi pada adsorben berbasis ampas tebu dapat memperlambat waktu tembus dan meningkatkan kapasitas penyerapan total. Selain itu, Sylvia et al. (2017) juga melaporkan bahwa peningkatan luas permukaan kontak adsorben secara signifikan meningkatkan efisiensi penurunan COD pada sistem kolom.

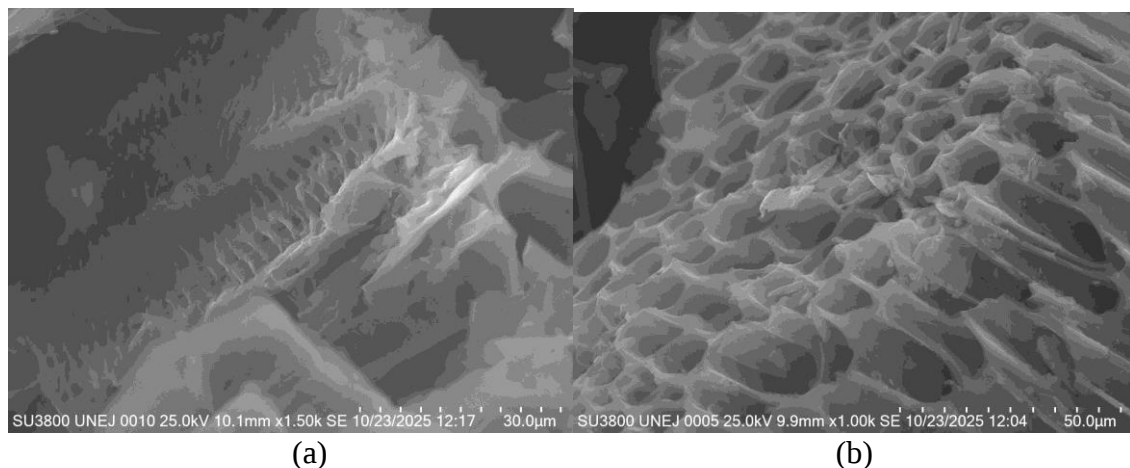
Efisiensi penyisihan COD sebesar 92,05% yang diperoleh pada penelitian ini tergolong tinggi jika dibandingkan dengan penelitian serupa. Sebagai perbandingan, penelitian Sylvia et al. (2017) melaporkan efisiensi penyisihan COD menggunakan adsorben biomassa sebesar 80–88%, sementara penelitian Patel (2019) melaporkan efisiensi maksimum sekitar 85%. Nilai efisiensi yang lebih tinggi pada penelitian ini diduga dipengaruhi oleh kombinasi aktivasi KOH yang optimal, ukuran partikel adsorben yang seragam, serta konfigurasi kolom adsorpsi yang meningkatkan efektivitas difusi dan penyerapan.

3.3 Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) Adsorben Limbah Ampas Tebu

Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adsorben limbah ampas tebu dilakukan sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan adsorben dengan beberapa perbesaran. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Pengujian Material di Program Studi Teknik Mesin Universitas Jember. Alat SEM yang digunakan adalah Merk HITACHI Tipe SU 3800.



Gambar 3. SEM Adsorben Limbah Ampas Tebu Sebelum Proses Adsorpsi (a) Perbesaran 1500 kali (b) Perbesaran 1000 kali



Gambar 4. SEM Adsorben Limbah Ampas Tebu Setelah Proses Adsorpsi (a) Perbesaran 1500 kali (b) Perbesaran 1000 kali

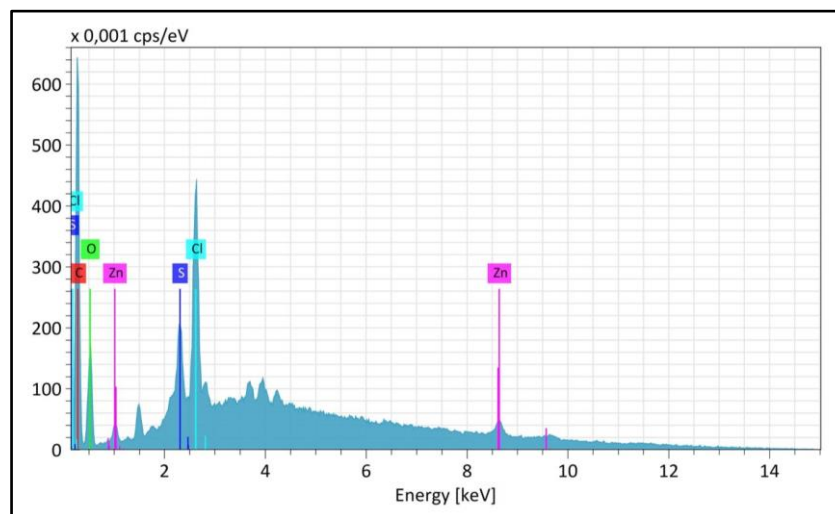
Berdasarkan hasil pengamatan SEM pada Gambar 3, adsorben ampas tebu sebelum digunakan untuk proses adsorpsi menunjukkan morfologi permukaan yang relatif kasar dan berpori, dengan distribusi pori yang cukup merata. Keberadaan pori-pori tersebut mengindikasikan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi telah berhasil membentuk struktur adsorben yang mendukung terjadinya proses adsorpsi. Kondisi permukaan yang masih terbuka dan tidak mengalami kerusakan struktural menunjukkan bahwa ampas tebu memiliki potensi yang baik sebagai bahan dasar adsorben.

Sebaliknya, hasil pengamatan SEM pada Gambar 4 menunjukkan perubahan morfologi permukaan adsorben setelah proses adsorpsi. Struktur pori yang sebelumnya terbuka tampak sebagian besar tertutupi oleh partikel-partikel pengotor yang berasal dari limbah cair laboratorium. Permukaan adsorben terlihat lebih padat dan tidak beraturan yang mengindikasikan terjadinya fenomena penutupan pori (*pore blocking*). Fenomena

ini terjadi akibat interaksi antara gugus aktif pada permukaan adsorben dengan molekul-molekul polutan organik penyusun COD, sehingga pori-pori terisi dan kapasitas adsorpsi mendekati kondisi kejenuhan. Perubahan morfologi ini menjadi bukti visual bahwa proses adsorpsi senyawa organik telah berlangsung secara efektif.

Analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur penyusun permukaan adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi COD limbah cair laboratorium. EDX berfungsi mengidentifikasi unsur-unsur penyusun permukaan adsorben melalui pancaran sinar-X khas dari setiap unsur ketika sampel ditembak dengan berkas elektron. Hasil karakterisasi EDX pada adsorben sebelum proses adsorpsi menunjukkan dominasi unsur karbon (C) dan oksigen (O) yang mencerminkan struktur lignoselulosa utama penyusun ampas tebu, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, terdeteksi pula unsur mineral alami seperti silikon (Si), kalsium (Ca), atau kalium (K), serta unsur sisa aktivator seperti klorin (Cl), fosfor (P), atau natrium (Na). Keberadaan unsur-unsur tersebut mengindikasikan bahwa proses aktivasi kimia menggunakan HCl, H₃PO₄, KOH, dan Na₂CO₃ telah berhasil memodifikasi permukaan adsorben.

Setelah proses adsorpsi, spektrum EDX pada Gambar 5 menunjukkan perubahan komposisi unsur permukaan adsorben. Peningkatan intensitas unsur karbon (C) dan oksigen (O) mengindikasikan menempelnya senyawa organik penyusun COD pada permukaan adsorben. Selain itu, munculnya unsur tambahan seperti nitrogen (N), sulfur (S), dan seng (Zn) diduga berasal dari kontaminan organik dan anorganik limbah laboratorium. Penurunan intensitas beberapa unsur mineral menunjukkan bahwa permukaan adsorben telah tertutupi oleh lapisan hasil adsorpsi.



Gambar 5. Pengujian EDX Adsorben Ampas Tebu untuk Adsorpsi COD

Distribusi unsur yang teridentifikasi melalui EDX menunjukkan bahwa permukaan adsorben memiliki keragaman situs aktif yang memungkinkan terjadinya interaksi fisik dan kimia dengan molekul polutan. Secara keseluruhan, hasil analisis SEM dan EDX mengonfirmasi bahwa adsorben ampas tebu memiliki struktur berpori dan komposisi unsur yang mendukung mekanisme adsorpsi senyawa organik penyebab COD. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mahawong et al. (2025) yang menyatakan bahwa analisis SEM mampu menunjukkan keberhasilan proses karbonisasi dan aktivasi dalam membentuk struktur karbon berpori, sementara EDX efektif digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur penyusun serta perubahan komposisi permukaan adsorben akibat proses adsorpsi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa adsorben yang memiliki efektifitas penyisihan terbaik adalah adsorben dengan aktivator KOH dan ketinggian kolom adsorpsi 5 cm. Penyisihan COD paling optimum pada variasi adsorben tersebut menunjukkan adsorben limbah ampas tebu mampu menyisihkan kandungan COD pada limbah cair laboratorium sebesar 92,05%. Berdasarkan hasil analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) terhadap adsorben berbasis ampas tebu yang sudah digunakan untuk proses adsorpsi menunjukkan adanya pengotor yang berasal dari limbah cair laboratorium sedangkan berdasarkan pengujian EDX menunjukkan kandungan organik yang terkandung pada limbah cair laboratorium mampu material didominasi oleh unsur karbon (C), yang merupakan komponen utama struktur karbon aktif. Keberadaan karbon yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan adsorben memiliki potensi besar untuk melakukan adsorpsi senyawa organik penyumbang COD melalui interaksi fisik maupun kimia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas atas dana yang diberikan melalui skema penelitian Hibah Dosen Pemula dari Dana DIPA PNPM 2025 berdasarkan Surat Perjanjian Penugasan Nomor : 2793/UN25.3.1/LT/2025 Tanggal 18 Maret 2025.

REFERENCES

- Dwiyanti, M., G. E. B. A., R. M. N., Subiyanto, I., Setiabudy, R., & Hudaya, C. (2020). Extremely High Surface Area of Activated Carbon Originated from Sugarcane Bagasse. *International Conference on Advanced Mechanical and Industrial Engineering*, 1–8. <https://doi.org/doi.org/10.1088/1757-899X/909/1/012018>
- Fadzry, N., Habibi, H., & Endah, E. (2021). Analysis of COD, BOD and DO Levels in Wastewater Treatment Instalation (IPAL) at PIALAM Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta. *IJCER (International Journal of Chemistry Education Research)*, 5(2), 78–83.
- Faisal, Hafizulah, M., & Fibarzi, W. U. (2023). Penyerapan COD dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Fly Ash dari PLTU Suak Puntong-Nagan Raya. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(2), 305–318.
- Fitrianingsih, G., Adzillah, W. N., & Ratnawati, K. (2025). Evaluasi Efisiensi Adsorpsi Chemical Oxygen Demand dan Fosfat Pada Limbah Laundry Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 16(2), 16–22. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2>
- Hasanah, H., Sirait, R., & Yusuf Lubis, R. (2022). Pengaruh Konsentrasi Aktivator H3Po4 Terhadap Karbon Aktif Ampas Tebu. *Journal Online of Physics*, 8(1), 11–15. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i1.20265>
- Iwuozor, K. O., George, A., Chizitere, E., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A. U., Okorie, C. J., & Dunoi, B. (2023). Prospects and challenges of utilizing sugarcane bagasse as a bio-coagulant precursor for water treatment. *Biotechnology Reports*, 39(June), e00805. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e00805>
- Khum, V., Werasak, T., & Kullaya, R. (2025). Sustainable conversion of cassava bioethanol residues into activated carbon for COD and color removal from industrial wastewater and energy recovery. *Applied Water Science*, 15(286), 1–14. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s13201-025-02590-3>
- Lemessa, F., Simane, B., Seyoum, A., & Gebresenbet, G. (2023). Assessment of the Impact of Industrial Wastewater on the Water Quality of Rivers around the Bole Lemi Industrial Park (BLIP), Ethiopia. *Sustainability*, 15(4290), 1–18. <https://doi.org/doi.org/10.3390/su15054290>

- Lubis, A. R. F., Nasution, H. I., & Zubir, M. (2020). Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 3(2), 67–73.
- Mahawong, S., Thaveemas, P., Onsri, P., Kaowphong, S., Watcharin, W., Techasakul, S., Dechtrirat, D., & Chuenchom, L. (2025). Single - Step Upcycling of Sugarcane Bagasse and Iron Scrap into Magnetic Carbon for High - Performance Adsorbents. *Molecules*, 30(2040), 1–19. <https://doi.org/doi.org/10.3390/molecules30092040>
- Mustefa, S., Prabhu, S. V., Sissay, T. T., & Getahun, A. A. (2021). Bioresource Technology Reports Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents : RSM based modeling , optimization and kinetic aspects. *Bioresource Technology Reports*, 14(November 2020), 100664. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100664>
- Nuraisyah, S., Dauly, A. H., & Ong, R. (2025). Efektivitas Adsorben Berbasis Alginat dan Karbon Aktif Ampas Kopi Dalam Menurunkan Kadar COD Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 8(2), 306–311. <https://doi.org/doi.org/10.30596/rmme.v8i2.23222>
- Nurhaliq, D. F., Rahman, & Hidayat. (2022). Efektivitas Karbon Aktif Dalam Menurunkan Konsentrasi COD Pada Limbah Cair RSUD Massenrempulu Kabupaten Enrekang. *Window of Public Health Journal*, 3(2), 332–338. <https://doi.org/10.33096/woph.v3i2.386>
- Patel, H. (2019). Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review. *Applied Water Science*, 9(3), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0927-7>
- Pradana, A. S., Bahri, S., Muarif, A., Sylvia, N., Sulhatun, S., & Maulinda, L. (2024). Pemanfaatan Ampas Tebu Untuk Pembuatan Pulp. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, 00002, 1–7. <https://doi.org/10.29103/sntk.v4.2024>
- Pratama, B. S., Aldriana, P., Ismuyanto, B., & Hidayati, A. S. D. S. N. (2018). Konversi Ampas Tebu Menjadi Biochar dan Karbon Aktif untuk Penyisihan Cr(VI). *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 2(1), 7–12.
- Setiyanto, R. A., Darundiati, Y. H., & Joko, T. (2016). Efektivitas Sistem Constructed Wetlands Kombinasi Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) dan Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Rumah Sakit Banyumanik Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(1), 436–445. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>
- Suryaningrum, L. H., & Samsudin, R. (2018). Potensi Pemanfaatan Ampas Tebu sebagai Bahan Baku Pakan Ikan. *Seminar Nasional Ikan Ke-10*, 2, 659–668. <https://doi.org/10.31227/osf.io/7h4c8>
- Sylvia, N., Meriatna, Hakim, L., Fitriani, & Fahmi, A. (2017). Kinerja Kolom Adsorpsi pada Penjerapan Timbal (Pb²⁺) dalam Limbah Artifisial Menggunakan Cangkang Kernel Sawit. *Jurnal Integrasi Proses*, 6(4), 185–190.
- Utomo, W. P., Jovita, S., Maghfur, B., Ratri, A., Afifah, P. A. I., & Yuhaneka, G. (2023). Studi Adsorpsi Zat Warna Indigosol yellow dengan Karbon Teraktivasi Asam Fosfat dari Pirolisis Ampas Tebu. *Akta Kimia Indonesia*, 8(2), 138. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v8i2.19477>
- Yadav, A., Rani, P., Yadav, D. K., Bhardwaj, N., Gupta, A., & Bishnoi, N. R. (2024). Enhancing Enzymatic Hydrolysis and Delignification of Sugarcane Bagasse Using Different Concentrations of Sodium Alkaline Pretreatment. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23(1), 427–434. <https://doi.org/doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i01.037>
- Zhou, Y., Lan, Y., Short, M. D., Shi, J., Zhang, Q., Xu, J., & Qian, G. (2023). Effective Use of Sugarcane-Bagasse-Derived KOH-Activated Biochar for Remediating Norfloxacin-Contaminated Water. *Toxics*, 11(908), 1–15. <https://doi.org/doi.org/10.3390/toxics11110908>