

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah Cair Laboratorium

Limbah cair laboratorium merupakan sisa buangan yang dihasilkan dari berbagai kegiatan laboratorium, seperti praktikum, penelitian, dan pengujian. Limbah tersebut umumnya berasal dari sisa reaksi larutan kimia, bahan habis pakai yang rusak atau pecah, sisa sampel, sisa reagen hasil reaksi, serta air bekas pencucian peralatan laboratorium (Nurhayati & Pertiwi, 2018). Limbah cair laboratorium mengandung senyawa organik dan anorganik yang dapat menimbulkan kerusakan struktur tanah, gangguan keseimbangan ekosistem, serta risiko gangguan kesehatan manusia apabila dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai (Fajri *et al.*, 2018).

Limbah cair laboratorium umumnya memiliki kandungan berbagai kontaminan, seperti zat organik, ion-ion anorganik, logam, asam, basa, maupun senyawa kimia lainnya yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Kandungan kontaminan tersebut dapat menyebabkan perubahan sifat fisik, kimia, dan biologis badan air, menurunkan kualitas air, mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, serta menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia (Adjovu *et al.*, 2023). Oleh karena itu, limbah cair laboratorium memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan agar konsentrasi zat pencemar dapat dikurangi hingga memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Pengolahan tersebut bertujuan untuk menurunkan berbagai parameter pencemar, seperti *Total Dissolved Solids* (TDS), warna, logam berat, maupun senyawa organik lainnya, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan.

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

*Total Dissolved Solids* (TDS) merupakan salah satu parameter kualitas air yang menunjukkan jumlah seluruh zat padat terlarut di dalam air. TDS terdiri atas senyawa organik maupun anorganik yang berukuran sangat kecil sehingga dapat melewati media penyaring berukuran pori sekitar 2  $\mu\text{m}$  atau lebih kecil. Komponen penyusun TDS umumnya berupa ion-ion terlarut, seperti kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ),

magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), serta senyawa organik terlarut lainnya. Pada limbah cair laboratorium, tingginya kadar TDS umumnya berasal dari penggunaan berbagai reagen kimia, larutan standar, asam, basa, garam anorganik, dan bahan kimia lainnya selama kegiatan praktikum maupun penelitian. Sisa bahan kimia yang tidak bereaksi maupun hasil reaksi yang larut dalam air akan meningkatkan konsentrasi zat padat terlarut dalam limbah. Konsentrasi TDS yang tinggi dapat menurunkan kualitas air, memengaruhi karakteristik fisik dan kimia air, serta membatasi pemanfaatannya untuk berbagai keperluan apabila tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu (Adjovu et al., 2023). Oleh karena itu, TDS menjadi salah satu parameter penting dalam pengendalian pencemaran air limbah. Berdasarkan Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, kadar maksimum TDS yang diperbolehkan untuk air limbah adalah sebesar 2.000 mg/L. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kualitas air limbah dan efektivitas proses pengolahannya.

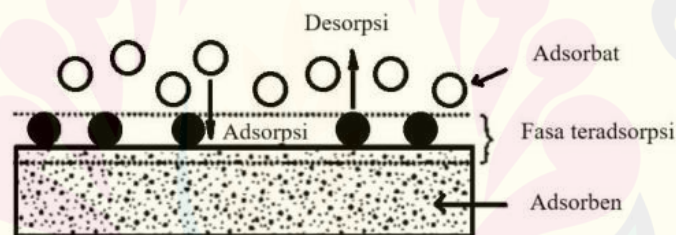
### 2.3 Warna

Warna merupakan salah satu parameter kualitas air yang menunjukkan adanya senyawa yang terlarut maupun tersuspensi di dalam air. Warna pada limbah laboratorium umumnya berasal dari sisa reagen, indikator kimia, larutan standar, maupun senyawa organik yang digunakan selama kegiatan praktikum. Beberapa indikator yang sering digunakan dalam laboratorium, seperti fenolftalein (*phenolphthalein*) dan metil jingga (*methyl orange*), memiliki kelarutan yang tinggi di dalam air sehingga dapat memberikan warna pada limbah apabila tidak diolah dengan baik (Guemache, 2026). Peningkatan konsentrasi zat warna di perairan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Warna yang tinggi dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom air sehingga menurunkan aktivitas fotosintesis organisme akuatik seperti alga dan tumbuhan air. Penurunan fotosintesis akan menyebabkan berkurangnya produksi oksigen terlarut yang pada akhirnya mengganggu kehidupan organisme perairan. Selain itu, beberapa zat warna juga memiliki sifat toksik, mutagenik, karsinogenik, serta dapat

menimbulkan iritasi pada kulit, mata, saluran pernapasan, dan gangguan kesehatan lainnya apabila terpapar dalam jangka panjang (Dutta et al., 2021).

## 2.4 Adsorpsi

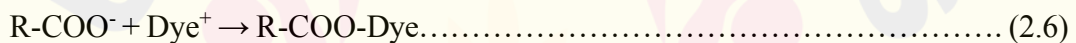
Adsorpsi merupakan suatu proses pemisahan di mana zat terlarut (adsorbat), seperti ion logam, terakumulasi pada permukaan material padat (adsorben) dan pada kondisi tertentu bersifat reversibel, sehingga adsorben memungkinkan untuk digunakan kembali melalui proses desorpsi (Raji *et al.*, 2023). Mekanisme adsorpsi dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika terjadi melalui gaya antarmolekul yang lemah, seperti gaya Van der Waals, tanpa mengubah struktur kimia adsorben dan adsorbat. Sebaliknya, adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia berupa ikatan ionik atau kovalen akibat penataan ulang kerapatan elektron, sehingga menghasilkan interaksi yang lebih kuat dan spesifik (Alaqrbeh, 2021).



Gambar 2.1. Mekanisme Adsorpsi  
Sumber: (Hendrajaya *et al.*, 2023)

Proses adsorpsi berlangsung melalui beberapa tahapan perpindahan massa hingga adsorbat menempel pada permukaan adsorben. Tahap pertama adalah transfer massa eksternal, yaitu perpindahan molekul adsorbat dari larutan menuju permukaan luar adsorben dengan melewati lapisan tipis yang mengelilingi partikel adsorben. Tahap kedua adalah transfer massa internal, di mana molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben menuju struktur pori internal adsorben. Tahap ketiga adalah difusi intrapartikel, yaitu pergerakan molekul adsorbat menyusuri bagian dalam permukaan adsorben untuk menemukan dan menempati situs aktif yang tersedia. Tahap keempat adalah adsorpsi intrapartikel, yaitu proses penempelan adsorbat pada permukaan adsorben setelah mencapai situs aktif di dalam pori-pori adsorben..

Ikatan kimia pada permukaan adsorben umumnya berasal dari gugus fungsi tertentu, seperti gugus karboksil ( $-\text{COOH}$ ) dan hidroksil ( $-\text{OH}$ ), yang mampu berinteraksi dengan berbagai jenis adsorbat baik senyawa organik maupun ion anorganik terlarut. Interaksi tersebut dapat terjadi melalui mekanisme protonasi maupun deprotonasi pada gugus fungsi adsorben sehingga memungkinkan terbentuknya kompleks antara adsorben dan adsorbat. Reaksi interaksi antara gugus fungsi adsorben dengan molekul adsorbat dapat digambarkan melalui beberapa persamaan reaksi yang dapat dilihat dari Persamaan 2.1 sampai dengan 2.9 (Prandini & Rahmayanti, 2020).



Adsorpsi ion terlarut dalam air dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, antara lain interaksi elektrostatik antara ion dalam larutan dengan permukaan adsorben, pembentukan kompleks pada permukaan adsorben, serta proses pertukaran ion. Struktur pori adsorben yang memiliki luas permukaan besar memungkinkan ion-ion terlarut berdifusi menuju situs aktif sehingga meningkatkan efisiensi penjerapan. Selain itu, kondisi pH larutan juga mempengaruhi ion dan kekuatan interaksinya dengan permukaan adsorben (Wang *et al.*, 2025).

Adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti luas permukaan dan massa adsorben, ukuran molekul serta konsentrasi adsorbat, suhu, dan waktu kontak, di mana parameter-parameter tersebut menentukan ketersediaan pori dan sisi aktif, intensitas interaksi adsorben–adsorbat, laju tumbukan dan difusi, hingga tercapainya kondisi optimum dan kesetimbangan adsorpsi sebelum terjadi kejenuhan atau desorpsi (Siswanti *et al.*, 2023). Proses adsorpsi dapat diterapkan melalui metode *batch* dan kontinu (kolom) sesuai dengan kebutuhan

operasionalnya. Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan metode batch maupun kontinu (kolom). Metode batch dilakukan dengan mencampurkan adsorben dan adsorbat hingga mencapai kesetimbangan dan umumnya digunakan pada penelitian laboratorium. Sementara itu, metode kontinu atau kolom mengalirkan larutan adsorbat melalui lapisan adsorben secara terus-menerus, sehingga lebih efektif untuk aplikasi skala besar karena mampu mengolah volume larutan yang lebih besar (Wibisono *et al.*, 2025).

## 2.5 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material berpori yang memiliki luas permukaan besar dan kapasitas adsorpsi tinggi. Material ini banyak digunakan dalam berbagai proses industri, seperti pemurnian air, pemisahan gas, katalis, penyimpanan energi, dan aplikasi biomedis. Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari bahan nabati, hewani, maupun mineral, sedangkan proses aktivasi dapat dilakukan melalui metode fisik, kimia, atau plasma. Modifikasi struktur dan kimia permukaan karbon aktif secara langsung memengaruhi efisiensi adsorpsinya karena adanya gugus fungsi seperti karboksil, karbonil, fenol, lakton, dan kuinon (Salamba *et al.*, 2025).

Karbon aktif memiliki morfologi pori yang bervariasi dan luas permukaan internal yang sangat besar, berkisar antara 300 hingga 2000 m<sup>2</sup>/gram, tergantung pada kondisi proses karbonisasi dan perlakuan lanjutan pasca-pembakaran. Peningkatan luas permukaan internal ini membuat karbon aktif memiliki kapasitas adsorpsi yang jauh lebih tinggi dibandingkan arang biasa (Neneng Purnamawati, 2023). Proses aktivasi adsorben bertujuan meningkatkan kapasitas adsorpsi dengan menghilangkan pengotor dari permukaan dan pori-pori adsorben secara fisika maupun kimia. Pemilihan aktivator disesuaikan dengan karakter bahan baku; aktivator basa efektif untuk bahan tinggi karbon, sedangkan aktivator asam cocok untuk material lignoselulosa karena kandungan oksigennya tinggi. Aktivasi dengan larutan asam mineral dapat memperluas situs aktif dan diameter pori dengan melarutkan tar serta garam, membuka lapisan struktur adsorben, dan menggantikan kation, sehingga luas permukaan dan pori-pori meningkat (Pujiastuti, 2025).



Aktivasi kimia merupakan metode pembuatan karbon aktif yang banyak digunakan karena mampu menghasilkan luas permukaan spesifik, volume pori, dan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan aktivasi fisika. Metode ini dilakukan dengan mengimpregnasi bahan baku menggunakan larutan aktivator sebelum atau sesudah karbonisasi. Aktivator kimia mempercepat proses dehidrasi, depolimerisasi, dan penghilangan senyawa volatil pada biomassa sehingga terbentuk struktur pori yang lebih berkembang. Mekanisme aktivasi bergantung pada jenis aktivator yang digunakan. Aktivator asam, seperti  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , bekerja melalui reaksi dehidrasi dan pemutusan ikatan antarpolimer, sedangkan aktivator basa, seperti  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , membentuk pori melalui reaksi oksidasi-reduksi dan gasifikasi parsial. Perbedaan mekanisme tersebut memengaruhi karakteristik pori, luas permukaan, dan kemampuan adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan (Neme et al., 2022).

Keberhasilan proses aktivasi kimia tidak hanya dipengaruhi oleh jenis aktivator, tetapi juga oleh konsentrasi larutan yang digunakan. Konsentrasi larutan menentukan jumlah zat aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan biomassa selama proses impregnasi sehingga memengaruhi efektivitas penghilangan senyawa volatil, perkembangan struktur pori, serta karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan konsentrasi aktivator merupakan salah satu parameter penting dalam proses aktivasi kimia (Neme et al., 2022).

## 2.6 Ampas Tebu sebagai Karbon Aktif

Ampas tebu (*sugarcane bagasse*) merupakan limbah berserat yang dihasilkan dari proses penggilingan tebu dengan jumlah sekitar 30% dari total berat tebu dan banyak dijumpai di wilayah beriklim tropis. Ampas tebu memiliki potensi pemanfaatan sebagai bahan baku kertas, pakan ternak, biofuel, material komposit, tekstil, serta arang dan karbon aktif. Ampas tebu mengandung selulosa sekitar 40–50%, hemiselulosa 25–35%, dan lignin yang berperan dalam memberikan kekuatan mekanik dan struktur material. Perlakuan awal secara kimia maupun termal dapat meningkatkan kandungan selulosa dan porositas material sehingga ampas tebu

berpotensi sebagai bahan terbarukan, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk berbagai aplikasi industri (Mahmud & Anannya, 2021).

Ampas tebu yang telah mengalami proses karbonisasi mengalami perubahan struktur kimia. Gugus  $-O-H$  (ikatan hidrogen) pada selulosa mengalami dehidrasi dan proses aromatisasi sehingga membentuk struktur karbon yang lebih poliaromatik dan stabil serta meningkatkan kemampuan permukaan dalam proses adsorpsi (Kakom *et al.*, 2023). Luas permukaan spesifik adsorben sangat menentukan kemampuan adsorpsi suatu material karena permukaan yang lebih besar menyediakan lebih banyak situs aktif untuk berinteraksi dengan adsorbat. Proses aktivasi secara kimia atau termal pada pembuatan karbon aktif dari ampas tebu dapat membuka dan memperluas struktur pori material sehingga meningkatkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi polutan dari larutan. Penelitian Nurhayati (2018) menunjukkan bahwa aktivasi karbon aktif ampas tebu menggunakan KOH meningkatkan luas permukaan spesifik secara signifikan sehingga material tersebut lebih efektif dalam menyerap ion logam dan kontaminan lainnya dibandingkan ampas tebu tanpa aktivasi. (Nurhayati & Pertiwi, 2018).

## 2.7 Analisis Kadar Warna

Analisis kadar warna dilakukan menggunakan metode spektrofotometri sesuai dengan SNI 6989.80:2011 untuk air minum, air alam, dan air limbah. Analisis kadar warna dilakukan pada panjang gelombang antara 450-465 nm, dengan pemilihan panjang gelombang optimum berdasarkan serapan maksimum sampel dan larutan standar. Larutan standar dibuat dari larutan induk Pt-Co dengan warna 500 unit Pt-Co, yang kemudian diencerkan untuk menghasilkan larutan kerja dengan beberapa konsentrasi berbeda. Koefisien regresi garis lurus kurva kalibrasi harus lebih dari 0,995 untuk memastikan akurasi pengukuran (Pramitasari *et al.*, 2024).

## 2.8 Analisis Kadar *Total Dissolved Solids* (TDS)

Analisis *Total Dissolved Solids* (TDS) dilakukan untuk mengetahui jumlah padatan terlarut dalam sampel air atau limbah, yang mencerminkan kandungan ion, mineral, dan senyawa organik terlarut. Uji kadar TDS dalam penelitian ini mengacu

pada SNI 6989.27:2019 tentang cara uji padatan terlarut total secara gravimetri, di mana sampel yang telah disaring diuapkan hingga mendekati kering dan dipanaskan pada suhu sekitar 180 °C sampai berat konstan. Padatan yang tersisa ditimbang untuk menghitung konsentrasi TDS dalam satuan mg/L (Khofifah & Utami, 2022). Perhitungan padatan terlarut total menggunakan Persamaan 2.9 yang terdapat dalam SNI 6989.27:2019.

$$\text{Padatan terlarut total (mg/l)} = \frac{(W_1 - W_0) \times 1000}{V} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

$W_0$  : Berat tetap cawan kosong setelah pemanasan 180°C ± 2 °C (mg)

$W_1$  : Berat tetap cawan berisi padatan terlarut total setelah pemanasan 180°C ± 2 °C (mg)

$V$  : Volume contoh uji dalam satuan ml

## 2.9 Karakterisasi Karbon Aktif

### 2.9.1 Uji Kadar Air

Uji kadar air bertujuan mengevaluasi sifat higroskopis arang aktif, yaitu kemampuan material dalam menyerap dan melepaskan molekul air dari lingkungan. Pengujian ini menentukan jumlah air yang terikat pada permukaan dan di dalam pori arang aktif. Air yang terikat dapat menutupi pori-pori dan menghambat akses adsorbat menuju situs aktif. Proses pemanasan pada pengujian kadar air menguapkan air yang terikat sehingga pori-pori arang aktif menjadi lebih terbuka. Pori yang terbuka meningkatkan luas permukaan efektif arang aktif. Kadar air menjadi parameter penting dalam menentukan kualitas dan kinerja arang aktif sebagai adsorben karena berkaitan dengan struktur pori dan kapasitas adsorpsi (Shellyanti & Komari, 2023)

### 2.9.2 Uji Kadar Abu

Pengujian kadar abu bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan mineral dalam karbon aktif sebagai salah satu parameter mutu. Kandungan abu yang tinggi menurunkan kualitas adsorben karena partikel mineral menutupi atau menyumbat pori-pori sehingga luas permukaan efektif dan daya serap karbon aktif



berkurang. Kadar abu yang rendah mendukung proses adsorpsi yang optimal dan menjaga kapasitas penjerapan karbon aktif tetap maksimal. (Meilianti, 2017).

### 2.9.3 Uji SEM-EDX

Pengujian *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM–EDX) dilakukan untuk menganalisis morfologi permukaan serta komposisi unsur penyusun adsorben. SEM memanfaatkan interaksi berkas elektron berenergi tinggi dengan permukaan sampel untuk menghasilkan citra beresolusi tinggi, sehingga dapat mengamati bentuk, ukuran, distribusi pori, dan karakteristik permukaan adsorben secara lebih rinci dibandingkan mikroskop optik. Analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) dilakukan secara bersamaan dengan SEM untuk mengidentifikasi jenis unsur serta menentukan persentase komposisi unsur yang terdapat pada permukaan adsorben berdasarkan spektrum sinar-X yang dihasilkan akibat interaksi elektron dengan sampel. Kombinasi analisis SEM–EDX memberikan informasi mengenai hubungan antara morfologi permukaan dan komposisi unsur penyusun adsorben yang berperan dalam proses adsorpsi. (Sahdiah & Kurniawan, 2023).

### 2.10 Uji Statistika

Metode *Two-Way* ANOVA digunakan dalam penelitian adsorpsi untuk menganalisis pengaruh parameter operasional, seperti ketebalan adsorben dan variasi aktivator, terhadap efisiensi penurunan konsentrasi polutan. Analisis ini dilakukan apabila data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas varians. Nilai  $p\text{-value} < 0,05$  menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan, sedangkan  $p\text{-value} > 0,05$  menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan. Jika terdapat perbedaan signifikan, analisis dapat dilanjutkan dengan uji lanjut (*post hoc*) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan (Nisak *et al.*, 2022).

### 2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dimanfaatkan sebagai sumber rujukan sekaligus bahan pembandingan terhadap hasil penelitian yang diperoleh. Studi-studi yang dipilih memiliki keterkaitan dengan judul serta variabel penelitian yang akan dilakukan. Daftar penelitian terdahulu yang dijadikan acuan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian terdahulu

| No. | Penulis                            | Tujuan                                                                                                                                           | Metode Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | (Nurhayati, 2018)                  | Mengetahui efektivitas biosorben ampas tebu teraktivasi KOH dan HCl dalam menurunkan warna limbah batik                                          | Ampas tebu diaktivasi menggunakan larutan HCl 1 M dan KOH dengan perbandingan 5 gram ampas tebu banding 100 ml selama 90 menit dengan pengadukan 300 rpm, kemudian dikeringkan pada 90°C selama 4 jam. Proses adsorpsi dilakukan secara batch dengan variasi massa biosorbent dan waktu kontak.                                          | Hasil menunjukkan biosorben teraktivasi KOH menunjukkan efisiensi penurunan warna tertinggi 69,46%, sedangkan HCl 60,98% pada massa 0,4 gram dan waktu 30 menit.                                                                                  |
| 2   | (Nurmalasari <i>et al.</i> , 2018) | Menganalisis kemampuan tempurung kelapa teraktivasi Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> sebagai adsorben untuk menurunkan TDS dan COD pada air keruh | Tempurung kelapa dikarbonisasi selama 8 jam, dicuci, dikeringkan, dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Karbon aktif 15 gram direndam dalam Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2,5-12,5% selama 17 jam, dicuci hingga netral, dikeringkan pada suhu 100°C selama 1 jam.                                                                        | Karbon aktif yang diaktivasi dengan 5% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> paling efektif menurunkan COD dengan efisiensi 46%, sedangkan penurunan TDS paling tinggi terjadi pada aktivator 12,5% dengan efisiensi 17%.                               |
| 3   | (Iyabu <i>et al.</i> , 2021)       | Menilai kemampuan karbon aktif ampas tebu teraktivasi kimia dalam mengadsorpsi <i>methylene blue</i>                                             | Karbon aktif dibuat dari ampas tebu melalui karbonisasi, kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , FeCl <sub>3</sub> , dan KMnO <sub>4</sub> . Proses adsorpsi dilakukan secara <i>batch</i> pada larutan <i>methylene blue</i> dengan variasi konsentrasi awal (1,5 dan 2,5 mg/L) dan waktu kontak. | Aktivasi menggunakan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 10% menghasilkan efisiensi adsorpsi tertinggi dengan penyisihan <i>methylene blue</i> mencapai 99,24%, menunjukkan bahwa aktivasi kimia meningkatkan luas permukaan dan situs aktif adsorben. |
| 4   | (Sutama <i>et al.</i> , 2025)      | Menilai kemampuan <i>rice husk activated carbon</i> dalam menurunkan TDS pada limbah industri makanan                                            | Karbon aktif dibuat dari <i>rice husk</i> diaktivasi menggunakan KOH; <i>batch adsorption</i> untuk limbah tahu dengan variasi waktu kontak.                                                                                                                                                                                             | <i>Activated carbon dari rice husk</i> mampu menurunkan TDS hingga 86 % pada rasio adsorben-adsorbat optimum 1:110 dalam 120 menit.                                                                                                               |
| 5   | (Tadess <i>et al.</i> , 2025)      | Menilai adsorpsi TDS dan ion klorida dari limbah tannery menggunakan aktivasi kimia                                                              | Karbon aktif dari <i>coffee husk</i> diaktivasi dengan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; uji adsorpsi TDS secara <i>batch</i> pada variasi waktu kontak 1–3 jam, pH 5–9, dan dosis adsorben 1–3 g/L.                                                                                                                                      | Efisiensi penghilangan TDS 72,73% dan ion klorida sebesar 77,88% pada kondisi optimum (2,38 jam kontak, pH 7,19, adsorben 2,54 g/L).                                                                                                              |