

## Uji Efektivitas Adsorben Dari Kulit Durian Terhadap Kadar COD Dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu

**Alfira Putri Damayanti<sup>1)</sup>, Dennis Farina Nury<sup>1,2\*)</sup>, Rifqi Sufra<sup>1)</sup>, Deviany<sup>1)</sup>, Feerzet Achmad<sup>1)</sup>, Muhammad Zulfikar Luthfi<sup>2)</sup>, Enny Nurmalasari<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera

<sup>2)</sup>Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten

<sup>3)</sup>Program Studi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang

\*Corresponding author: dennis.farina@poltek-petrokimia.ac.id

### Abstrak

Limbah cair industri tahu mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi, sehingga berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas karbon aktif dari kulit durian sebagai adsorben dalam menurunkan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Total Suspended Solid (TSS) pada limbah cair industri tahu. Adsorben disiapkan melalui proses karbonisasi pada temperatur 300°C selama 1 jam dan diaktivasi menggunakan larutan KOH 30%. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi massa adsorben (0,15–1,00 g) dan waktu kontak (12–60 menit). Analisis TSS dilakukan secara gravimetri, sedangkan COD diuji dengan metode titrasi menggunakan  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,05 N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar COD dan TSS. Massa optimum diperoleh pada 0,6 g dengan waktu kontak 24 menit untuk COD dan 36 menit untuk TSS, dengan efisiensi penurunan masing-masing sebesar 93,06% dan 98,69%. Analisis isotermal menunjukkan bahwa proses adsorpsi mengikuti model Langmuir dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1 untuk TSS dan 0,993 untuk COD, menandakan bahwa proses penyerapan berlangsung secara monolayer pada permukaan homogen. Hasil ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit durian efektif dan potensial sebagai adsorben ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair tahu.

### Kata Kunci:

Adsorpsi, Arang aktif, Kulit durian, BOD, COD, Isoterm Langmuir

### PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu industri pangan berbahan dasar kedelai yang banyak dijalankan dalam skala rumah tangga di Indonesia. Proses produksi tahu menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi. Jika limbah tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan, dapat menyebabkan pencemaran perairan, menimbulkan bau tidak sedap, menurunkan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), serta mengganggu kehidupan biota air. Kandungan parameter pencemar seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi menunjukkan beban pencemar organik yang perlu diturunkan sebelum limbah dibuang ke perairan umum. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya tindakan berupa pengolahan dan pengujian guna mengeksplorasi kualitas limbah cair tahu agar dapat dibuang ke perairan (Viky & Nurudin, 2024). Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, industri pengolahan tahu memerlukan analisis terhadap

berbagai parameter untuk menguji kualitas limbahnya, termasuk COD dan TSS. Penentuan nilai parameter sangat penting untuk menentukan apakah limbah cair tahu tersebut masih memenuhi standar keselamatan untuk dibuang ke perairan, dengan batas maksimum COD sebanyak 300mg/L dan TSS 200 mg/L (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014, 2014). Untuk menurunkan kadar pencemar tersebut, berbagai metode pengolahan telah diterapkan, antara lain metode fisika, kimia, dan biologi. Salah satu metode yang banyak digunakan karena sederhana, ekonomis, dan efisien adalah proses adsorpsi menggunakan karbon aktif sebagai adsorben (Das & Goud, 2022; Ilmanafia & Sudarminto, 2023). Proses ini memanfaatkan interaksi antara molekul zat pencemar (adsorbat) dengan permukaan bahan penyerap (adsorben), sehingga zat pencemar dapat terperangkap pada permukaan karbon aktif (Lestari & Nasra, 2022; Ukanwa et al., 2019). Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan bahan biomassa sebagai sumber karbon aktif telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi adsorpsi yang ramah lingkungan (Jawad et al., 2022). Beberapa penelitian mengkaji pemanfaatan berbagai biomassa sebagai bahan baku karbon aktif untuk pengolahan limbah cair. Ilmanafia dan Sudarminto (2023) melaporkan bahwa karbon aktif dari bonggol jagung mampu menurunkan BOD dan COD secara signifikan pada limbah cair industri pengolahan rumput laut, dengan kondisi optimum pada massa adsorben 100 gram dan waktu kontak 2 jam (Ilmanafia & Sudarminto, 2023). Penelitian Gultom et al. (2021) menggunakan kulit jengkol sebagai bahan karbon aktif yang efektif dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair tahu, dengan karakteristik adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir yang menunjukkan proses monolayer pada permukaan homogen (Gultom et al., 2022). Sementara itu, Hatina dan Winoto (2020) memanfaatkan serbuk kayu merbau dan tongkol jagung sebagai bahan karbon aktif untuk menurunkan kadar COD dan BOD limbah cair, dengan hasil yang baik meskipun efisiensinya menurun setelah waktu kontak yang lama akibat kejenuhan pori (Hatina & Winoto, 2020).

Di antara bahan-bahan tersebut, kulit durian merupakan limbah pertanian dengan ketersediaan melimpah dan belum dimanfaatkan dengan baik, selain itu memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, terdiri dari selulosa (50–60%), hemiselulosa (20–30%), dan lignin (10–20%) (Farina Nury et al., 2023). Kandungan tersebut dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan besar dan daya serap yang tinggi, sehingga kulit durian berpotensi besar sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair tahu (Legiso et al., 2020; Sari et al., 2021). Karbon aktif dari kulit durian menunjukkan performa yang lebih efisien, dengan kapasitas adsorpsi tinggi, waktu kontak relatif singkat, serta efisiensi penyerapan mencapai lebih dari 90% (Nury et al., 2024). Karakteristik adsorpsi karbon aktif kulit durian mengikuti model isoterm Langmuir, yang mengindikasikan terjadinya adsorpsi monolayer secara fisik pada permukaan homogen (Hayu et al., 2021).

Efektivitas adsorpsi sangat dipengaruhi oleh massa adsorben dan waktu kontak, yang menentukan sejauh mana interaksi antara adsorben dan adsorbat berlangsung (S. A. Putri et al., 2024). Penelitian Maylani dan Ismiyati (2023) melaporkan bahwa peningkatan massa adsorben dan waktu kontak hingga kondisi optimum dapat meningkatkan penurunan kadar COD dan TSS lebih dari 90%. Namun, efisiensi proses menurun apabila adsorben mencapai titik jenuh, yang dapat disebabkan oleh fouling atau terjadinya desorpsi pada permukaan karbon aktif (Maylani, W., Ismiyati., 2023). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas karbon aktif dari kulit durian sebagai adsorben dalam menurunkan kadar COD dan TSS pada limbah cair industri tahu. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan massa adsorben dan waktu kontak optimum serta meninjau kesesuaian proses adsorpsi terhadap model isoterm Langmuir dan Freundlich guna memahami mekanisme penyerapan yang terjadi.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah cair dari industri tahu yang diambil dari Sentra Industri Tahu di Pringsewu, Lampung. Kulit durian segar yang tidak membusuk diperoleh dari pedagang buah di Pringsewu, Lampung dan digunakan sebagai bahan baku adsorben. Selain itu, bahan kimia lain yang digunakan meliputi larutan KOH 30% (v/v) sebagai aktivator untuk proses aktivasi karbon, aquades sebagai pelarut, serta larutan KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, larutan KI, indikator kanji, dan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,05 N untuk keperluan analisis COD.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain furnace untuk proses karbonisasi, oven untuk pengeringan, mortar dan ayakan 30 mesh untuk proses penghalusan dan pengayakan arang kulit durian, serta shaker orbital tipe SK-0180-Pro untuk proses adsorpsi, neraca analitik, alat filtrasi dengan pompa vakum, serta desikator.

### Tahapan adsorpsi:

#### Persiapan Adsorben Kulit Durian

Kulit durian dibersihkan dari kotoran yang menempel melalui pencucian berulang, kemudian dipotong kecil-kecil dengan ukuran sekitar 3 cm dan dijemur hingga kering. Proses karbonisasi dilakukan dengan memanaskan kulit durian dalam furnace pada temperatur 300°C selama 1 jam. Hasil karbonisasi kemudian didiamkan dalam desikator selama 15 menit untuk menghilangkan kelembaban, dihaluskan menggunakan mortar, dan diayak menggunakan saringan 30 mesh untuk memperoleh ukuran partikel seragam.

#### Proses Aktivasi

Serbuk karbon hasil karbonisasi selanjutnya diaktivasi dengan cara direndam dalam larutan KOH 30% (v/v) selama 18 jam dengan perbandingan massa karbon dan volume larutan KOH sebesar 1:3 (m/v). Setelah proses aktivasi selesai, karbon disaring, dicuci dengan aquades hingga mencapai pH 7 (netral), dan kemudian dikeringkan kembali dalam oven pada temperatur 110°C hingga massa konstan.

#### Proses Adsorpsi

Sampel limbah cair tahu sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan karbon aktif kulit durian dengan variasi massa sebesar 0,15; 0,30; 0,45; 0,60; 0,75; dan 1,00 gram. Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan orbital shaker pada kecepatan 120 rpm dan variasi waktu kontak selama 12, 24, 36, 48, dan 60 menit. Setelah proses adsorpsi selesai, sampel didiamkan pada temperatur kamar selama 1 jam sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

#### Analisis TSS secara Gravimetri pada Limbah Cair Tahu

Pengujian analisis TSS mengacu pada (SNI 06-6989.3- 2004) yang dilakukan dengan meletakkan kertas saring pada alat filtrasi yang telah terpasang pompa vakum. Kemudian, saring 20 ml aquades menggunakan kertas saring. Kertas saring tersebut di oven selama 1 jam pada temperatur 105°C selama 1 jam. Setelah itu timbang kertas saring dan didapatkan hasil berat kertas saring. Setelah itu, pipet sampel yang telah melalui proses adsorpsi sebanyak 10 ml. Kemudian, saring menggunakan kertas saring yang telah disiapkan dan dioven kembali selama 1 jam dengan temperatur 105°C. Timbang kertas saring tersebut dan didapatkan berat kertas saring dan residu.

$$TSS = \frac{(a-b) \times 1000}{c} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

a = Berat kertas saring + residu kering (mg)

- b = Berat kertas saring (mg)
- c = Volume sampel (mL)
- TSS = Total padatan tersuspensi (mg/L)

**Analisis COD secara Titrasi pada limbah Cair Tahu**

Pengujian analisis COD dilakukan dengan memasukkan sampel sebanyak 15 ml ke dalam 5 erlenmeyer yaitu sampel 1, 2, 3, 4, dan 5. Kemudian, tambahkan larutan KMNO<sub>4</sub> sebanyak 5 ml. Sampel ditambahkan larutan KI 10% sebanyak 5 tetes dan 10 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6 M untuk memberikan suasana asam. Selanjutnya, menyiapkan larutan untuk titrasi yaitu dengan menuangkan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,05 N ke dalam buret. Titrasi dengan larutan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sampai warnanya menjadi kuning cerah. Tambahkan indikator kanji sebanyak 3-5 tetes, dan akan muncul warna biru pada larutan yang menandakan bahwa terdapat sisa-sisa I<sub>2</sub> didalam sampel. Titrasi kembali dilanjutkan sampai warna sampel kembali seperti warna semula (SNI 6989.15:2019) (Simaremare et al., 2022).

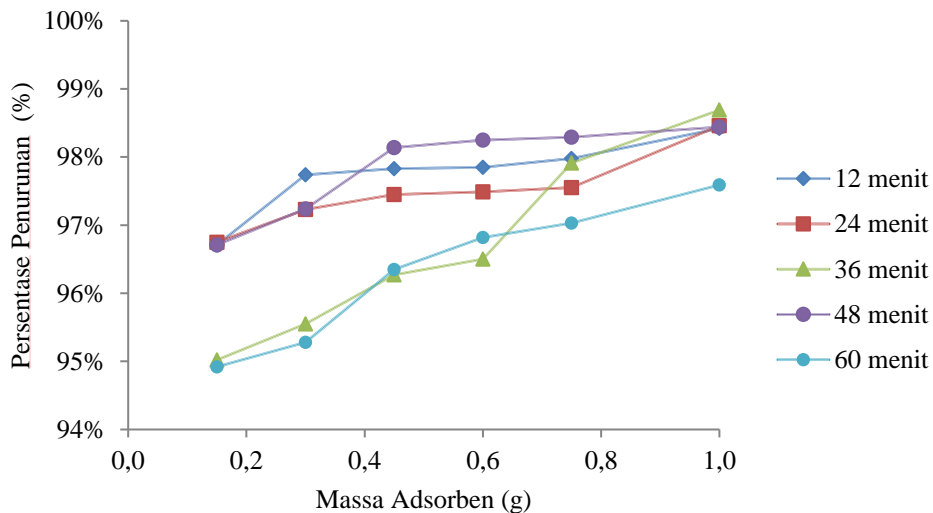
$$COD = \frac{(V_b - V_s) \times N_{thiosulfate} \times Mr_{O_2} \times 1000}{V_{so}} \dots\dots\dots(2)$$

- V<sub>b</sub> = volume natrium tiosulfat pada titrasi blanko (ml)
- V<sub>s</sub> = volume natrium tiosulfat pada titrasi sampel (ml)
- V<sub>so</sub> = volume sampel
- N<sub>thiosulfate</sub> = normalitas natrium tiosulfat (0,05 N)
- Mr O<sub>2</sub> = massa relatif O<sub>2</sub> (32 gr/mol)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Penurunan Kadar TSS**

Kadar TSS awal limbah tahu sebelum proses adsorpsi didapat sebesar 474,4 mg/L. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar TSS limbah industri tahu melebihi batas kadar maksimum yang ditentukan. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, kadar maksimum yang diperbolehkan untuk TSS dari limbah industri tahu sebanyak 200 mg/L. Oleh sebab itu, untuk menurunkan kadar TSS dilakukan proses adsorpsi dengan memanfaatkan karbon aktif kulit durian sebagai adsorben. Setelah itu, dilanjutkan dengan menentukan nilai penurunan kadar TSS dengan metode gravimetri. Hasil dari penurunan kadar TSS setelah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Kadar TSS

Pada Gambar 1 menunjukkan pengaruh adsorben terhadap penurunan kadar TSS berdasarkan variasi waktu kontak dan variasi massa adsorbennya. Tercapainya penurunan kadar TSS pada filtrat dari hasil adsorpsi karena kemampuan dari zat adsorben dalam menyerap zat tersuspensi (Maulana & Marsono, 2021). Berdasarkan data yang didapat pada Gambar 1, hasil menunjukkan bahwa semakin banyak massa adsorben yang digunakan, maka akan semakin baik adsorben tersebut dalam menurunkan kadar TSS. Persentase penurunan merupakan selisih dari kadar awal TSS sebelum proses adsorpsi 30 dengan kadar akhir TSS setelah proses adsorpsi yang dinyatakan dalam persen (Rahman et al., 2021). Adanya peningkatan persentase TSS tersebut disebabkan karena semakin banyak adsorben yang digunakan maka akan semakin besar kapasitas serapnya. Penurunan kadar TSS optimum dari adsorben kulit durian yaitu pada massa adsorben 1 gram dan waktu kontak 36 menit dengan persentase penurunan sebesar 98,69%. Sedangkan untuk persentase penurunan kadar TSS terendah terdapat pada massa adsorben 0,15gram pada waktu kontak 60 menit dengan persentase penurunan sebesar 94,92%. Dari hasil yang didapat secara keseluruhan, pada semua variasi massa adsorben dari kulit durian dan waktu kontak mampu menurunkan kadar TSS yang cukup besar mencapai >94%. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Rahman bahwa pada uji TSS mampu menurunkan kadar TSS sebanyak 94,84%; 95,05%; dan 96,60% pada massa adsorben 0,5, 1, dan 1,5 gram (Rahman et al., 2021). Dari hasil penelitian tersebut, dapat diartikan bahwa penurunan TSS ini lebih efektif dengan massa adsorben yang lebih banyak. Hal tersebut terjadi karena dengan semakin banyak massa adsorben, luas permukaan total yang tersedia untuk kontak antara adsorben dan adsorbat meningkat. Hal ini memungkinkan lebih banyak molekul TSS menempel pada permukaan adsorben, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan.

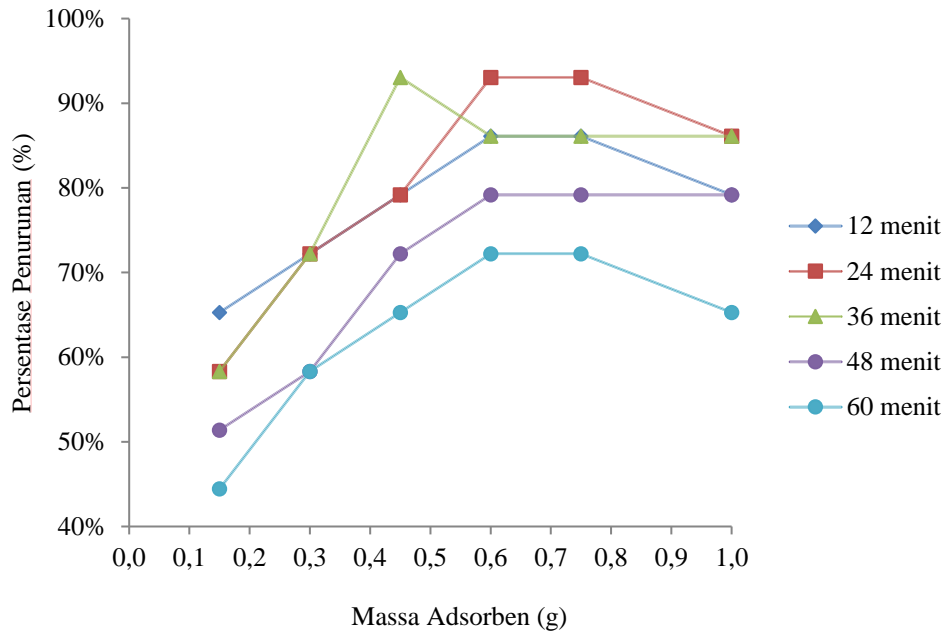
Selain itu, dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada massa yang sama dengan waktu kontak yang berbeda terdapat hasil yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak, maka persentase penurunan TSS menurun. Hal tersebut dapat disebabkan karena beberapa faktor, pertama, kapasitas adsorpsi yang kurang maksimal menjadi salah satu penyebab utama. Adsorben yang telah mencapai titik jenuh tidak lagi mampu menyerap partikel-partikel organik dari limbah (Afifah et al., 2024). Kedua, kemungkinan terjadinya fouling atau penyumbatan pada permukaan adsorben (Rahma & Mahmud, 2020). Ketiga, terdapat dinamika keseimbangan antara proses adsorpsi dan desorpsi. Pada waktu kontak yang lebih lama, bisa terjadi pelepasan kembali (desorpsi) partikel yang sebelumnya telah terikat pada permukaan adsorben. Jika laju desorpsi lebih tinggi dibandingkan laju adsorpsi, maka konsentrasi zat pencemar seperti TSS dapat menjadi stabil, atau bahkan meningkat (Y. Putri & Hasna Oktaviana, 2024). Dengan mempertimbangkan ketiga faktor tersebut, penting untuk mengoptimalkan massa adsorben dan waktu kontak guna mencapai efisiensi maksimal dalam proses adsorpsi, tanpa melewati ambang batas kemampuan adsorben dalam menyerap polutan.

Jika desorpsi lebih dominan daripada adsorpsi pada waktu kontak yang lebih lama, TSS dapat tetap stabil atau bahkan meningkat (Nurafriyanti et al., 2017). Pada waktu kontak 36 menit, terdapat kenaikan persentase penurunan TSS yang cukup signifikan yaitu pada massa 0,6 sampai 1 gram. Kenaikan persentase penurunan secara signifikan tersebut disebabkan karena peningkatan situs aktif adsorben. Semakin banyak massa adsorben yang digunakan, semakin banyak situs aktif yang tersedia untuk menyerap partikel tersuspensi. Dengan lebih banyak situs aktif, jumlah partikel yang bisa diadsorpsi juga meningkat, sehingga terjadi penurunan TSS yang signifikan (persentase penurunan meningkat).

### **Penurunan Kadar COD**

Kadar COD awal sebelum melalui tahap adsorpsi didapat sebanyak 1440 mg/L, berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, kadar maksimum COD dari limbah industri tahu sebanyak 300 mg/L. Oleh sebab itu, dilakukan

penurunan kadar COD dengan memanfaatkan adsorben dari kulit durian. Hasil dari penurunan kadar COD pada limbah industri tahu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Massa Adsorben dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Kadar COD

Gambar 2 menunjukkan pengaruh massa karbon aktif dan waktu kontak terhadap penurunan COD pada limbah cair industri tahu. Tujuan adanya variasi massa adsorben dan waktu kontak adalah guna menentukan berat adsorben dan waktu yang dibutuhkan untuk dapat menyerap adsorbat secara maksimal hingga adsorben mengalami titik jenuh. Semakin banyak adsorben yang dikontakkan pada adsorbat, maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi, sehingga kuantitas adsorpsi semakin besar (Legiso et al., 2020). Dari data yang didapat, terjadi penurunan kadar COD setelah proses adsorpsi. Semakin besar massa adsorben yang digunakan maka persentase penurunan COD juga semakin meningkat. Pada rentang massa adsorben 0,15 sampai 0,45 gram mengalami kenaikan pada penurunan kadar COD untuk setiap variasi waktu kontak. Hal tersebut juga didukung oleh studi yang dilakukan oleh Ilmanafia & Sudarminto, (2023) penggunaan adsorben arang aktif dari bonggol jagung terbukti mampu menurunkan kadar BOD dan COD dalam limbah cair industri pengolahan rumput laut. Hasil terbaik diperoleh pada kondisi massa adsorben 100 gram dan waktu kontak 2 jam, dengan penurunan BOD sebesar 6,06% dan COD sebesar 21,64%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben dan waktu kontak berpengaruh positif terhadap efektivitas penyerapan bahan organik oleh arang aktif bonggol jagung (Ilmanafia & Sudarminto, 2023). Kenaikan persentase penurunan COD tersebut disebabkan karena semakin banyak massa adsorben, maka akan semakin banyak karbon aktif yang dapat berkontak dengan zat organik terdapat dalam limbah cair industri tahu. Selain itu, penambahan massa karbon aktif juga dapat menambah luas permukaan karbon aktif, sehingga semakin banyak zat organik yang dapat diserap (Farina Nury et al., 2023; Komala et al., 2021).

Massa optimum karbon aktif yang didapat pada studi ini yaitu sebesar 0,6 gram dan proses adsorpsi dinyatakan berhenti karena persentase penurunan COD sudah tidak mengalami kenaikan, dikarenakan molekul zat organik dalam limbah industri tahu yang berikatan dengan karbon aktif semakin sedikit. Pada penambahan massa karbon aktif 0,6 gram, persentase penurunan kadar COD tertinggi terdapat pada waktu kontak 24 menit yaitu sebanyak 93,06%, sedangkan persentase penurunan kadar COD terendah terdapat pada waktu kontak 60 menit yaitu sebanyak 72,22%.

Pada penambahan massa karbon aktif 0,75 gram, persentase penurunan kadar COD cenderung stabil. Hal ini disebabkan karena banyaknya massa karbon aktif yang digunakan dapat menyebabkan adsorben mencapai titik jenuh apabila permukaan karbon aktif telah terisi oleh adsorbat. Selain itu, banyaknya massa karbon aktif yang ditambahkan ke dalam sampel menyebabkan karbon aktif tidak dapat cukup ruang untuk berinteraksi dengan zat organik yang terkandung di dalam limbah tahu. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Hatina et al., (2020) bahwa dengan bertambahnya massa adsorben menyebabkan interaksi menjadi tidak sempurna sebab banyak pori karbon aktif yang tidak dapat digunakan untuk menyerap zat organik, karena tertutup oleh karbon aktif lain (Hatina & Winoto, 2020). Namun, pada penambahan massa adsorben 1 gram terdapat beberapa variasi yang mengalami penurunan kadar COD. Hal tersebut disebabkan karena pada saat proses adsorpsi terdapat karbon aktif yang menempel pada bagian erlenmeyer karena proses pengadukan menggunakan *orbital shaker*, sehingga tidak dapat berkontak kembali dengan sampel. Karbon aktif dari kulit durian dengan massa optimum yaitu 0,6 gram mampu menurunkan kadar COD pada tiap penggunaan variasi waktu kontak. Berdasarkan grafik di atas, pada massa adsorben 0,6 gram dapat meningkat hingga pada waktu kontak 24 menit dan selanjutnya mengalami kemampuan adsorpsi. Pada penggunaan waktu kontak yang semakin lama, karbon aktif tidak mampu lagi menyerap adsorbat karena pori-pori karbon aktif telah terisi penuh oleh adsorbat dan selanjutnya terjadi desorpsi atau pelepasan kembali adsorbat. Laju adsorpsi zat organik pada waktu kontak 12 menit hingga 24 menit lebih tinggi daripada desorpsi, sedangkan pada waktu kontak 36 menit hingga 60 menit laju desorpsi telah melebihi laju adsorpsi sehingga adsorbat terlepas kembali yang menyebabkan terjadinya penurunan persentase kadar COD. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Rizky & Silalahi (2022) dimana hasil terbaik diperoleh pada massa adsorben 100 gram dan waktu kontak 2 jam, dengan penurunan BOD sebesar 74,4 mg/L (6,06%) dan COD sebesar 224,1 mg/L (21,64%). Efektivitas adsorpsi meningkat seiring bertambahnya massa adsorben dan waktu kontak, namun menurun setelah melewati titik jenuh akibat fouling dan desorpsi (Rizky & Silalahi, 2022). Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa waktu kontak optimumnya berada pada waktu 90 menit. Namun, setelah melewati waktu optimumnya, efisiensi penyerapannya mengalami penurunan. Adsorpsi zat organik dalam limbah cair tahu menggunakan karbon aktif kulit durian terjadi sebab adanya gaya *Van der Waals*. Gaya tarik menarik terjadi antara adsorben karbon aktif dengan adsorbat zat organik, sehingga permukaan karbon aktif tertutupi oleh adsorbat. Gaya tersebut bersifat lemah sehingga dapat terlepas kembali (Wulandari et al., 2023).

### Isotermal Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi merupakan banyaknya molekul adsorbat yang dapat terikat pada permukaan adsorben, menggunakan pendekatan model isoterm adsorpsi (Wulandari et al., 2023). Isoterm adsorpsi menjelaskan hubungan antara konsentrasi adsorbat dan adsorben pada suatu larutan sehingga dapat diketahui tingkat penyerapan adsorben.

Pada penelitian ini menggunakan 2 model isoterm adsorpsi yaitu Langmuir dan Freundlich. Model isoterm Langmuir terjadi pada permukaan adsorben yang homogen dan membentuk satu lapisan tunggal (monolayer). Persamaan Langmuir dinyatakan sebagai:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_m \cdot K_L} + \frac{C_e}{Q_m} \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- $C_e$  = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)
- $q_e$  = jumlah adsorbat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben (mg/g)
- $Q_m$  = kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g)
- $K_L$  = konstanta Langmuir (L/mg)

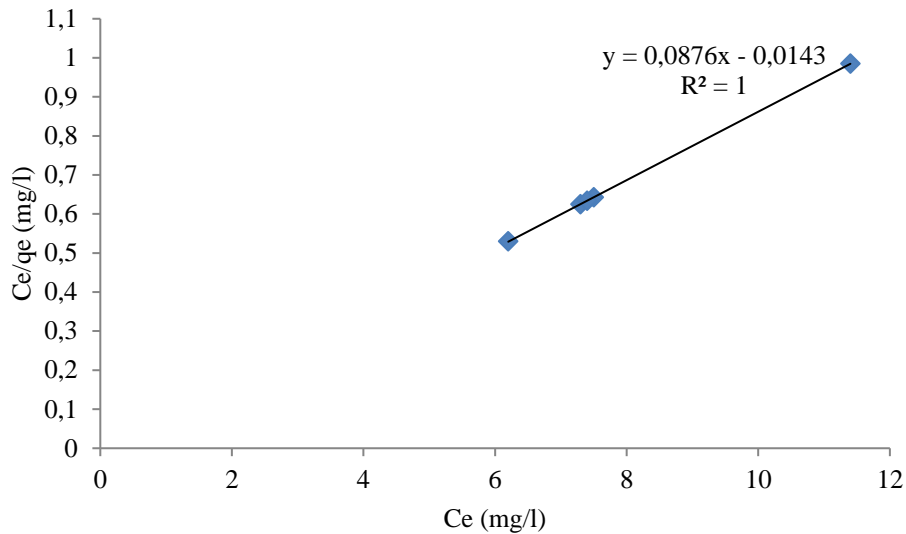
Model isoterm Freundlich terjadi pada permukaan yang heterogen dengan energi adsorpsi yang bervariasi. Persamaan Freundlich dinyatakan sebagai:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \dots \dots \dots (4)$$

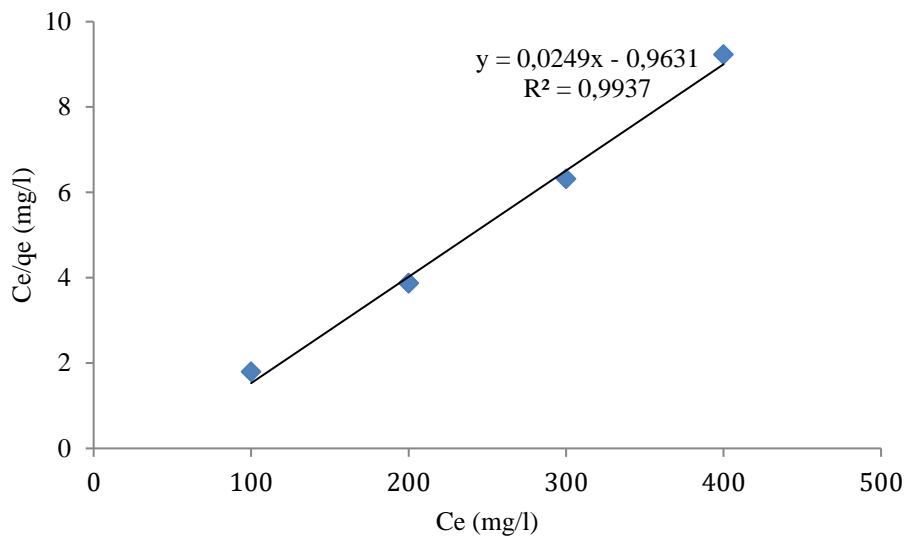
dimana:

- $K_f$  = konstanta kapasitas adsorpsi Freundlich
- $1/n$  = intensitas adsorpsi (Simaremare et al., 2022).

Hasil dari penurunan kadar TSS dan COD menggunakan karbon aktif kulit durian dengan variasi massa dan waktu kontak untuk persamaan Isotermal Langmuir dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Isotermal Langmuir pada Penurunan Kadar TSS

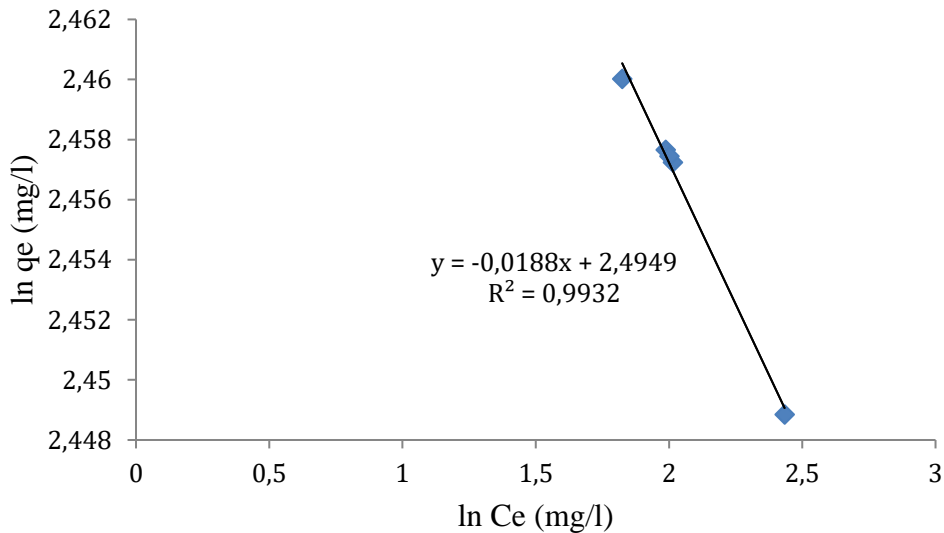


Gambar 4. Grafik Isotermal Langmuir pada Penurunan Kadar COD

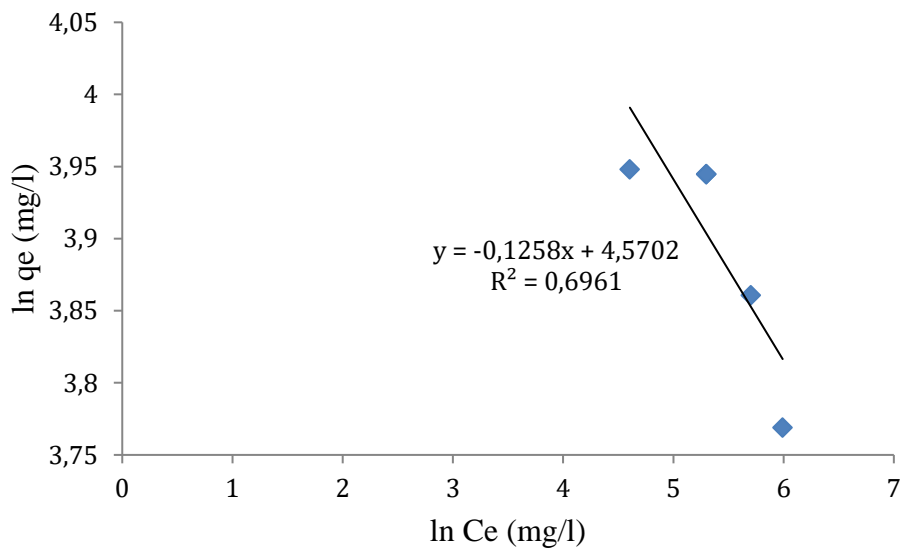
Isotermal Langmuir digunakan untuk mengasumsikan bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan tunggal, di mana ikatan antara adsorben dan adsorbat cukup kuat karena terbentuk ikatan kimia. Dari

Gambar 3 di atas, diperoleh nilai  $y = 0,087x - 0,014$  sehingga didapatkan nilai konstanta Langmuir sebesar - 6,2166 dan nilai  $q_m$  sebesar 11,49 mg/g, sedangkan pada Gambar 4 diperoleh nilai  $y = 0,024x - 0,963$  sehingga didapatkan nilai konstanta Langmuir sebesar -0,0249 dan nilai  $q_m$  sebanyak 41,67 mg/g. Nilai  $q_m$  menunjukkan kapasitas maksimum limbah tahu yang dapat terserap dalam satu gram karbon aktif dari kulit durian.

Grafik persamaan isotermal *Freundlich* untuk penurunan kadar TSS dan COD dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik Isotermal Freundlich pada Penurunan Kadar TSS



Gambar 6. Grafik Isotermal Freundlich pada Penurunan Kadar COD

Isotermal *Freundlich* digunakan untuk mengasumsikan bahwa ikatan berlapis antara adsorben dan adsorbat disebabkan oleh gaya *van der Waals* sehingga ikatan yang terbentuk tidak akan terlalu kuat. Dari Gambar 5 diperoleh nilai  $y = -0,018x + 2,494$ , sedangkan pada Gambar 6 diperoleh nilai  $y = -0,125x + 4,570$ . Dari kedua persamaan linear isotermal Freundlich yang didapatkan pada penurunan

kadar TSS dan COD, dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta Freundlich yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 . Penurunan Kadar TSS dan COD

1/n	n	Ln Kf	Kf
-0,018 (TSS)	-55,55	2,494	12,10962
-0,125 (COD)	-8	4,570	96,54411

Adsorpsi kulit durian terhadap limbah tahu lebih mengikuti model persamaan isotermal Langmuir dibandingkan dengan model persamaan isotermal *Freundlich*. Hal ini dapat dilihat pada grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga koefisien determinasi R<sup>2</sup> sebanyak 1 untuk TSS dan 0,993 (mendekati 1) untuk COD. Sedangkan pada persamaan isotermal adsorpsi *Freundlich* nilai R<sup>2</sup> sebanyak 0,993 untuk TSS dan 0,696 untuk COD. Dari model persamaan isotermal yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada penurunan kadar TSS dan COD limbah industri tahu dengan menggunakan karbon aktif dari kulit durian adalah adsorpsi fisik secara monolayer (Simaremare et al., 2022). Selain dari nilai determinasi R<sup>2</sup>, terdapat kriteria lain sebagai pendukung dalam menentukan isotermal adsorpsi yaitu dengan metode evaluasi fungsi eror berupa rata-rata kesalahan relatif (Afandya & Fikrah Dian Indrawati Sawalia, 2025; Febri Juita Anggraini et al., 2023). Dengan menggunakan persamaan tersebut, didapatkan nilai kesalahan relatif pada isotermal Langmuir dan *Freundlich* sebagai berikut :

Tabel 2 Nilai Kesalahan Relatif pada Penurunan Kadar TSS

Ce	Nilai R Langmuir	Nilai R Freundlich
7,5	0,005	0,005
7,3	0,006	0,008
6,2	0,007	0,021
7,4	0,006	0,005
11,4	0,0068	0,023
<b>Rata-rata</b>	0,00616	0,0124

Tabel 3 Nilai Kesalahan Relatif pada Penurunan Kadar COD

Ce	Nilai R Langmuir	Nilai R Freundlich
7,5	0,009	0,036
7,3	0,024	0,0028
6,2	0,009	0,036
7,4	0,013	0,0037
11,4	0,069	0,054
<b>Rata-rata</b>	0,00616	0,0124

Dari Tabel 2 dan Tabel 3 diatas merupakan data yang menunjukkan kesalahan relatif pada isotermal Langmuir dan *Freundlich* yang dapat menjadi kriteria tambahan dalam menentukan model isotermal adsorpsi yang sesuai. Dalam menentukan model isotermal yang akan digunakan tidak hanya dilihat dari nilai regresi (R<sup>2</sup>) yang mendekati angka 1, tetapi juga dapat dilihat dari nilai kesalahan relatif yang paling kecil. Dari kedua tabel diatas didapatkan nilai rata-rata kesalahan relatif paling kecil terdapat pada model isotermal Langmuir, yaitu 0,00616 untuk TSS dan 0,0248 untuk COD, sehingga dapat disimpulkan proses adsorpsi karbon aktif terhadap penurunan kadar COD dan TSS dalam limbah cair industri tahu mengikuti model isotermal Langmuir yang didukung dengan nilai kesalahan relatif yang paling kecil. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Rara Arsapita (2022) yang menyatakan bahwa pada penelitian yang dilakukan menghasilkan nilai regresi (R<sup>2</sup>) terbesar yaitu pada isotermal Langmuir sebesar 0,9247 dengan kesalahan relatif yang kecil yaitu sebesar 1,4704

## KESIMPULAN

Penggunaan arang aktif dari kulit durian efektif dalam menurunkan kadar BOD dan COD pada limbah cair industri pengolahan rumput laut. Hasil terbaik diperoleh pada kondisi massa adsorben 100 gram dengan waktu kontak 2 jam, yang menghasilkan penurunan BOD sebesar 74,4 mg/L (6,06%) dan COD sebesar 224,1 mg/L (21,64%). Efektivitas proses adsorpsi ini dipengaruhi oleh peningkatan massa adsorben dan waktu kontak. Namun, setelah titik jenuh tercapai, efektivitas dapat menurun akibat fouling dan proses desorpsi. Karakteristik adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir, yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara monolayer pada permukaan homogen. Oleh karena itu, pengendalian massa adsorben dan waktu kontak menjadi faktor penting dalam mengoptimalkan proses adsorpsi menggunakan arang aktif kulit durian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandya, M. A., & Fikrah Dian Indrawati Sawalia. (2025). *Uji Performa Kombinasi Zeolit Teraktivasi Dan Arang Aktif Pada Proses Adsorpsi Metilen Biru* : 4, 52–62.
- Afifah, Qomariyah, A., & Wulandari, E. Y. (2024). Pengaruh Limbah Sabut Kelapa Terhadap Kadar Klorida Air Sumur Sekitar Pabrik Udang di Kelurahan Klatak Banyuwangi dengan Metode Titrasi Argentometri. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9(2), 15–39. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol9.iss2.art2>
- Das, S., & Goud, V. V. (2022). Optimal production of bio-char with maximum carbon content under both inert (N<sub>2</sub>) and reactive (CO<sub>2</sub>) environment employing RSM. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 41(6). <https://doi.org/10.1002/ep.13924>
- Farina Nury, D., Luthfi, M. Z., Deviany, D., Achmad, F., Ronggur, J., & Panjaitan, H. (2023). *Pengaruh Massa Karbon Aktif dan Konsentrasi Adsorbat dalam Penyerapan Zat Warna Metilen Blue*. 04(02), 2745–7206. <http://iontech.ista.ac.id/index.php/iontech>
- Febri Juita Anggraini, Arsapita, R., & Yasdi, Y. (2023). Efektivitas Karbon Aktif Dari Batu Bara Muda dalam Menurunkan COD pada Air Limbah Industri Tahu. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(2), 327–339. <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i2.1822>
- Gultom, E., Sijabat, S., & Aritonang, B. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Kulit Jengkol Sebagai Adsorben Terhadap Kadar Bod , Cod , Tss Pada Limbah Cair Industri Tahu Synthesis and Characterization of Activated Charcoal From Jengkol Peel As an Adsorbant on the Levels of Bod , Cod , Ts. *Journal of Chemistry, Education, and Science*, 122–133.
- Hatina, S., & Winoto, E. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Serbuk Kayu Merbau Dan Tongkol

- Jagung Sebagai Adsorben Untuk Pengolahan Limbah Cair Aas. *Jurnal Redoks*, 5(1), 32. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4027>
- Hayu, L. D. R., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2021). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus Murr.*). *Periodic*, 10(2), 8–13. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Ilmanafia, A., & Sudarminto, H. P. (2023). Pemanfaatan Adsorben Arang Aktif Bonggol Jagung Untuk Penurunan Bod Dan Cod Pada Limbah Cair Pengolahan Rumput Laut. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4), 909–913. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i4.450>
- Jawad, A. H., Malek, N. N. A., Khadiran, T., ALOthman, Z. A., & Yaseen, Z. M. (2022). Mesoporous high-surface-area activated carbon from biomass waste via microwave-assisted-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation for methylene blue dye adsorption: An optimized process. *Diamond and Related Materials*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.109288>
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. <https://jdih.maritim.go.id/>, 1–83. <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-5-tahun-2014>
- Komala, R., Dewi, D. S., & Pandiyah, N. (2021). Proses Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Kacang Tanah Terhadap Penurunan Kadar Cod Dan Bod Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Redoks*, 6(2), 139–148.
- Legiso, Susanto, T., Ramadhan, M. B., Roni, K. A., Lestari, D. W., & Farida. (2020). Aktivasi Karbon Aktif Dari Kulit Durian Sebagai Adsorben Limbah Dari Kegiatan Laundry. *Kementerian Perindustrian Republik Indonesia*, 16(2), 58–63.
- Lestari, D., & Nasra, E. (2022). Preparasi Karbon Aktif Kulit Durian dengan Aktivator NaOH serta Penyerapannya terhadap Logam Berat Pb(II). *Chemistry Journal*, 11(2), 50–55. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia>
- Maulana, M. R., & Marsono, B. D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten Sumedang). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.63453>
- Maylani, W., Ismiyati., dan Y. (2023). Efektivitas Adsorben Arang Aktif Kulit Durian (*Durio zibethinus*) dan Waktu Kontak terhadap Penurunan Konsentrasi Pewarna Naphtol Limbah Cair Batik. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 248–256.
- Nurafriyanti, N., Prihatini, N. S., & Syauqiah, I. (2017). Pengaruh Variasi Ph Dan Berat Adsorben Dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total Pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), 56–65. <https://doi.org/10.20527/jukung.v3i1.3200>
- Nury, D. F., Wahyuning, I., Sugiarto, M., & Zulfikar, M. (2024). Optimasi Parameter Pembuatan Karbon Aktif Berbasis Kulit Durian Menggunakan Metode Response Surface Methodology ( RSM ) Optimization Parameters of Durian Peel-Based Activated Carbon Using Response Surface Methodology ( RSM ). *Journal of Chemical Process Engineering*, 9(2).
- Putri, S. A., Hanavia, M. S., Chrisnandari, R. D., Ningsih, W., & Azkiya, N. I. (2024). Efektifitas Karbon Aktif Limbah Kulit Kacang Termodifikasi Dengan Metode Kopresipitasi Sebagai Adsorben Tembaga Dan Besi Pada Limbah Cair Elektroplating Artificial. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), 798–811. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i4.6402>
- Putri, Y., & Hasna Oktaviana, A. (2024). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah

- Industri Batik Menggunakan Adsorben dari Mahkota Buah Nanas Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye on Batik Industry Waste Using Pineapple Crown Adsorbent. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 21(1), 2460–8203.
- Rahma, A., & Mahmud, M. (2020). PENGARUH PRA-PERLAKUAN ADSORPSI KARBON AKTIF TERHADAP FOULING MEMBRAN ULTRAFILTRASI POLISULFON (UF-PSf) PADA PENYISIHAN BAHAN ORGANIK ALAMI (BOA) AIR GAMBUT. *Jernih: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 1(2), 1–16. <https://doi.org/10.20527/jernih.v1i2.574>
- Rahman, A., Febria Putri, W., & Darnas, Y. (2021). PEMANFAATAN ARANG AKTIF KULIT JENGKOL (*Pithecellobium lobatum*) SEBAGAI ADSORBEN DALAM MENYISIHKAN KADAR COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR TAHU. *Lingkar : Journal of Environmental Engineering*, 2(1), 29–47. <https://doi.org/10.22373/ljee.v2i1.1871>
- Rizky, S., & Silalahi, R. (2022). Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Pada Karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 3(3), 1–4.
- Sari, A. M., Pandit, A. W., & Abdullah, S. (2021). Pengaruh variasi massa karbon aktif dari limbah kulit durian (*Durio Zibethinus*) sebagai adsorben dalam menurunkan bilangan peroksida dan bilangan asam pada minyak goreng bekas. *Jurnal Konversi*, 10(1), 1–7. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konversi/article/view/10238>
- Simaremare, T. B., Halim, A., Nury, D. F., & Supriyadi, D. (2022). Penurunan Konsentrasi Cod Limbah Industri Tahu Menggunakan Adsorben Kulit Durian. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono*.
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., & Mandavgane, S. (2019). A review of chemicals to produce activated carbon from agricultural waste biomass. *Sustainability (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/su11226204>
- Viky, & Nurudin, A. (2024). Pengendalian Pencemaran Air Akibat Kegiatan Industri Tahu. *Notarius*, 17(2), 656–670.
- Wulandari, R., Riyanto, C. A., & Martono, Y. (2023). Kinerja Karbon Aktif Daun Eceng Gondok pada Penurunan Kadar Fosfat Artifisial dan Surfaktan dalam Limbah Detergen. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), 149. <https://doi.org/10.20961/alchemy.19.2.65626.149-161>