



Efektivitas Bioadsorben dalam Pengolahan Limbah Warna *Methyl Orange* dengan Menggunakan Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L*)

Bioadsorbent Effectivity in Methyl Orange Waste Treatment using Cacao Pod Husk (Theobroma cacao L)

Jono Suhartono^{1*}, Fitri Nur Fadillah¹, Vibianti Dwi Pratiwi¹, Choerudin¹, Ronny Kurniawan¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PKH. Hasan Mustofa No. 23, Bandung, 40124

*Corresponding Author: jono_suhartono@itenas.ac.id

Received: 7th December 2025; Revised: 5th January 2026; Accepted: 7th January 2026

ABSTRAK

Kakao (*Theobroma cacao L*) merupakan tanaman yang menghasilkan 75% limbah berupa kulit buah. Kulit buah kakao mengandung serat kasar, selulosa, hemiselulosa, dan lignin sehingga berpotensi untuk dijadikan adsorben. Limbah cair tekstil umumnya mengandung zat warna yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan, salah satunya adalah methyl orange (MO) yang bersifat toksik dan mutagenik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas kulit buah kakao sebagai bioadsorben dalam penyisihan MO dari limbah cair. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan kolom packed bed dengan berat unggun kakao sebanyak 100g. Konsentrasi awal umpan limbah MO yang digunakan adalah 5 ppm dengan temperatur operasi pada kondisi ruang antara 25-27°C. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh laju alir dan pH. Hasil terbaik dibandingkan dengan bioadsorben kakao yang diaktivasi menggunakan metode basa. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum yang dicapai pada laju alir 25 ml/menit dan pH 7 dengan kapasitas adsorpsi diperoleh sebesar $19,81 \times 10^{-5}$ mg/g. Bioadsorben kakao dengan aktivasi basa mampu meningkatkan luas permukaan dan volume pori adsorben, sehingga kapasitas adsorpsi bertambah meskipun residu aktivasi berpengaruh pada nilai chemical oxygen demand (COD) dan total suspended solid (TSS).

Kata kunci: Adsorpsi, Bioadsorben, Kakao, Kolom Packed Bed, Methyl orange.

ABSTRACT

Cacao (*Theobroma cacao L*) is a plant that produces 75% of waste in the form of fruit peels. Cacao pod husk contains coarse fiber, cellulose, hemicellulose, and lignin so it has the potential to be used as an adsorbent. Textile liquid waste generally contains dyes that are difficult to decompose and have the potential to pollute the environment, one of which is methyl orange (MO) which is toxic and mutagenic. This study aims to evaluate the effectiveness of cacao peel as a bioadsorbent in the elimination of MO from liquid waste. The adsorption process is carried out using a packed column with a cacao bed weight of 100g. The initial concentration of the MO waste feed used is 5 ppm with an operating temperature at room conditions between 25 - 27°C. In this study, the influence of flow rate and pH was studied. The best results were compared to cacao bioadsorbents activated using the alkaline method. The results showed that the optimal conditions were achieved at a flow rate of 25 ml/min and pH 7 with an adsorption capacity of 19.81×10^{-5} mg/g. Cacao bioadsorbent with alkaline activation is able to increase the surface area and pore volume of the adsorbent, so that the adsorption capacity increases even though the activation residue has an effect on the chemical oxygen demand (COD) and total suspended solid (TSS) values.

Keywords: Adsorption, Bioadsorbent, Cacao, Methyl orange, Packed Bed Column

Copyright © 2026 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Suhartono, J., Fadillah, F. N., Pratiwi, V. D., Choerudin, & Kurniawan, R. Efektivitas Bioadsorben Dalam Pengolahan Limbah Warna Methyl Orange Dengan Menggunakan Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L*). Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 10(1), 80–90.

Permalink/DOI: 10.32493/jitik.v10i1.53944



PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu sektor penyumbang devisa sekaligus pencemar lingkungan terbesar, terutama di Jawa Barat yang menjadi sentra produksi tekstil nasional. Jumlah industri tekstil di Jawa Barat meningkat dari 839 menjadi 1.062 pabrik dengan laju pertumbuhan 8,21% per tahun (BPS, 2017). Peningkatan jumlah industri ini memiliki konsekuensi terhadap peningkatan limbah cair berwarna yang dihasilkan oleh industri tekstil tersebut.

Salah satu pewarna sintesis yang banyak digunakan pada industri tekstil adalah *methyl orange* yaitu pewarna azo yang bersifat toksik, mutagenik, stabil dalam air, dan sulit terdegradasi secara alami (Nurlaili et al., 2017; Widjajanti, 2011). Pembuangan *methyl orange* tanpa pengolahan dapat mengganggu fotosintesis perairan, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta menimbulkan risiko kesehatan serius bagi manusia, termasuk kanker (Chen et al., 2024). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair tekstil menjadi kebutuhan mendesak agar sesuai dengan baku mutu lingkungan.

Berbagai metode pengolahan limbah telah dikembangkan, seperti koagulasi, filtrasi membran, degradasi kimia, dan biodegradasi. Namun, sebagian besar menghadapi kendala berupa biaya tinggi, kompleksitas operasional, serta produksi lumpur yang membutuhkan penanganan lanjutan (El Malti et al., 2024). Adsorpsi menjadi alternatif unggul karena efisiensi tinggi, biaya relatif rendah, kemudahan operasi, dan kemampuan mengolah berbagai jenis zat warna (Lawal & Abdulsalam, 2024). Karbon aktif sering digunakan, tetapi keterbatasan biaya dan keberlanjutan bahan baku mendorong pencarian sumber alternatif dari biomassa.

Kulit buah kakao merupakan limbah perkebunan yang melimpah di Indonesia, mencapai 75% dari bobot buah dan seringkali hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau dibiarkan membusuk (Azah et al., 2020). Namun demikian, kandungan lignoselulosa yang tinggi pada kulit kakao berpotensi untuk dijadikan bioadsorben (Pandia et al., 2017)

(Sihombing, 2019). Selain itu, fraksi serat/lignin dan senyawa fenolik/karboksilat pada kulit buah kakao menyediakan gugus fungsional beroksigen yang berpotensi memperkuat interaksi adsorptif terhadap molekul zat warna (Mashuni et al., 2020) (Soares & Oliveira, 2022).

Penelitian penjerapan zat warna rhodamin B menggunakan kulit buah kakao mampu menghasilkan daya jerap sebesar 94,06% (Purnamawati & Utami, 2014). Penelitian lainnya terkait penjerapan zat warna methylene blue dengan memvariasikan konsentrasi awal zat warna mampu memberikan kapasitas adsorpsi hingga 263,9 mg/g (Pua et al., 2013). Kemampuan penjerapan oleh kulit buah kakao untuk menjerap zat warna congo red pada berbagai variasi konsentrasi awal juga telah diteliti dan mampu menghasilkan 43.67 mg/g (Olanunle, 2018). Selain itu, kulit buah kakao juga terbukti mampu menurunkan kandungan COD (Setiati Pandia et al., 2017). Meskipun telah banyak penelitian yang menggunakan kulit buah kakao sebagai adsorben, akan tetapi banyak penelitian lebih difokuskan pada proses batch seperti yang dilakukan oleh Sihombing, 2019 dimana kulit buah kakao dengan ukuran mesh 70 secara langsung digunakan sebagai penyerap zat warna MO.

Pada penelitian ini dipelajari pemanfaatan kulit buah kakao sebagai bioadsorben untuk penyisihan zat warna *methyl orange* dari limbah cair tekstil yang dilakukan secara kontinyu dalam kolom *packed bed*. Penelitian ini mengobservasi terkait pengaruh laju alir umpan dari 25 – 70 ml/min dan pengaruh pH dari 3 – 11 pada penyerapan zat warna MO menggunakan kulit buah kakao. Hasil terbaik akan dibandingkan dengan bioadsorben kakao yang diaktivasi menggunakan metode basa, sekaligus mengevaluasi kualitas efluen terhadap parameter COD dan TSS sesuai baku mutu limbah cair industri tekstil.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan yaitu kulit buah kakao yang didapatkan dari perkebunan di daerah Sumedang (Kelompok Tani Dangi



Sukatani, Lokasi GPS 6°44'31.0"S 107°53'06.5"E), Jawa Barat. Zat warna *methyl orange* diperoleh dari salah satu perusahaan di Jawa Barat. Sodium hidroksida dan bahan kimia pendukung lainnya dibeli dari salah satu perusahaan kimia di Bandung, Indonesia yaitu PT. Brataco Chemica.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu rangkaian adsorpsi menggunakan kolom *packed bed* yang terbuat dari polimetil(metakrilat) dengan diameter 0,1 m dan ketinggian 1 m. kolom tersebut dilengkapi dengan support untuk adsorbent dibagian bawah dan distributor liquid di bagian atas. Kolom dibuat secara custom di salah satu bengkel yang dimiliki oleh universitas. Rangkaian alat adsorpsi dilengkapi dengan sebuah pompa peristaltik dengan pengatur laju alir (Tacmina PZ-30 VTCF, Jepang) dan tangki penampung umpan dengan volume 2 L.

Alat uji gravimetri dibantu dengan menggunakan sebuah oven (Heratherm OGS60, USA) dan spektrofotometri UV-Vis (Genesys 180, USA). Adapun tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian dibagi menjadi tujuh tahap yaitu:

1. Tahap Persiapan Adsorben

Kulit buah kakao dicuci terlebih dahulu dengan air bersih mengalir, dipotong kecil-kecil, kemudian dicuci kembali hingga bersih. Selanjutnya kulit buah kakao dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C dan ditimbang hingga beratnya konstan. Kulit buah kakao kering kemudian ditumbuk dengan lumpang alu batu dan diayak dengan ayakan mesh 8/12 (lolos pada mesh 8 dan tertahan pada mesh 12).

2. Tahap Aktivasi Adsorben

Aktivasi adsorben dilakukan dengan menyiapkan larutan NaOH 0,5 M, kemudian merendam kulit buah kakao kering dengan ukuran mesh 8/12 pada proses sebelumnya ke dalam larutan NaOH tersebut selama 24 jam. Setelah perendaman, sampel dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 105 °C dan ditimbang hingga diperoleh massa yang konstan.

3. Tahap Pencucian

Kulit buah kakao yang sudah diayak dengan ukuran mesh 8/12 dan sudah melalui proses aktivasi dilakukan pencucian kembali menggunakan air deionisasi yang mengalir untuk menghilangkan abu halus, pengotor, atau sisa larutan NaOH yang masih menempel pada permukaan adsorben. Pencucian dilakukan dengan cara perendaman kulit buah kakao yang sudah di preparasi dalam tangki berpengaduk menggunakan air yang mengalir dan pengadukan. Proses ini dilakukan hingga air cucian memiliki absorbansi yang sama dengan umpan air yang dimasukan. Setelah pencucian selesai, kulit buah kakao disaring menggunakan saringan stainless steel berukuran mesh 12 dan dikeringkan kembali dalam sebuah oven pengering pada suhu 105 °C hingga beratnya konstan.

4. Persiapan Larutan Induk *Methyl Orange*

Larutan induk *methyl orange* 1000 ppm dibuat dengan menimbang 1 g serbuk MO, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml dan ditambahkan aquadest hingga tanda batas. Campuran tersebut kemudian diaduk hingga semua MO larut sempurna untuk mendapatkan larutan induk dengan konsentrasi 1000 mg/L.

Selanjutnya, larutan standar disiapkan dengan cara membuat satu seri larutan standar dengan konsentrasi dari 0 – 5 ppm. Pembuatan larutan standar dilakukan melalui pengenceran larutan induk dengan penambahan sejumlah tertentu air deionisasi melalui perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$M_1V_1 = M_2V_2 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana M_1 merupakan konsentrasi larutan induk, mg/L; M_2 merupakan target konsentrasi larutan standar, mg/L; V_1 merupakan volume larutan induk, L; V_2 merupakan volume akhir larutan standar yang ditargetkan, L.

5. Pembuatan Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan terlebih dahulu dengan menentukan panjang gelombang maksimum MO. Selanjutnya, larutan standar yang telah



disiapkan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan untuk membuat kurva hubungan antara konsentrasi dan absorbansi, sehingga diperoleh persamaan linier $y = mx$, di mana y merupakan nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi larutan.

6. Metode Adsorpsi dengan Kolom *packed bed*

Proses adsorpsi dilakukan dengan sistem kontinu dalam kolom *packed bed*. Sebanyak 100g adsorben kulit kakao yang telah dikeringkan dan diaktivasi dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi yang telah dirangkai.

Sebanyak 2 liter Larutan umpan zat warna *methyl orange* dimasukkan ke dalam tangki umpan dengan konsentrasi 5 ppm dan pH yang telah ditetapkan sesuai variasi yaitu pH 3 – 11. Pada penelitian ini 0,1 M *hydrochloric acid* dan 0,5 M *sodium hydroxide* digunakan sebagai pengatur pH. Selanjutnya, larutan MO tersebut dipompakan menggunakan pompa peristaltik (Tacmina PZ-30 VTCF, Jepang) dengan variasi laju alir yaitu antara 25 – 70 ml/menit. Sampel produk hasil proses adsorpsi diambil setiap 25 ml hingga larutan umpan habis.

7. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan menyiapkan larutan limbah warna *methyl orange* 5 ppm sebanyak 2 L sebagai konsentrasi awal (C_0). Larutan tersebut dialirkan melalui kolom adsorpsi, kemudian sampel efluen diambil setiap 25 ml untuk diukur nilai absorbansinya menggunakan UV-Vis Spectrophotometer (Thermo Scientific, USA). Selain uji warna, akan dilakukan juga uji COD dan TSS sebagai perbandingan dengan baku mutu limbah. Uji COD dilakukan menggunakan metode standar refluks tertutup secara titrimetri

mengikuti SNI 6989.73:2019 dan uji TSS dilakukan menggunakan metode standar secara gravimetri mengikuti SNI 6989.3:2019.

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh konsentrasi efluen untuk setiap sampel. Data yang diperoleh digunakan untuk membuat kurva *breakthrough* dan menghitung kapasitas serap adsorben. Percobaan dilakukan dengan variasi kondisi sesuai rancangan penelitian. Selanjutnya, dilakukan perhitungan isoterm adsorpsi berdasarkan persamaan Thomas sebagai berikut:

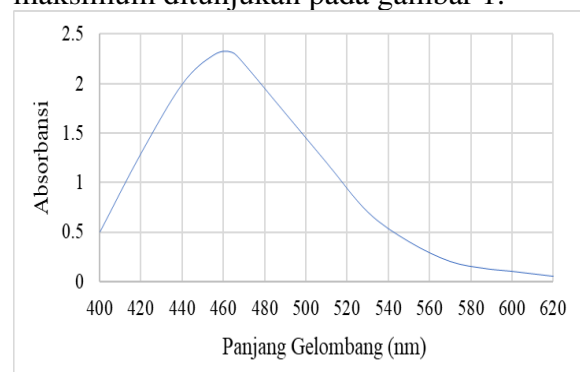
$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{K_{th} q_e X}{Q} - K_{th} C_0 t \dots\dots\dots(2)$$

Dimana C_t adalah konsentrasi efluen (mg/L), K_{th} adalah konstanta kecepatan adsorpsi (L/mg/menit), X adalah massa adsorben (g), q_e adalah kapasitas jerap (mg/g), Q adalah laju alir air (L/menit), dan t adalah waktu sampling (menit).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Kondisi Optimum Adsorben Kulit Buah Kakao

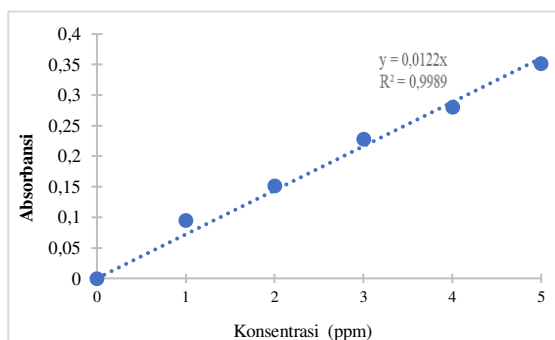
Penentuan kondisi optimum adsorben kulit buah kakao dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan konsentrasi MO yang diadsorpsi. Pengukuran konsentrasi MO dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang didapatkan yaitu 463 nm. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Suherli et al., 2021). Penentuan panjang gelombang maksimum ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Kurva Penentuan Panjang gelombang Maksimum *Methyl Orange*



Persamaan garis yang didapatkan dari kurva kalibrasi digunakan untuk menentukan konsentrasi MO. Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi larutan merupakan sebuah garis lurus. Penurunan kadar MO dapat diketahui dari nilai absorbansi larutan sampel yang diukur, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus pada kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi merupakan kurva yang digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel. Gambar 2. merupakan kurva kalibrasi antara konsentrasi standar larutan MO dengan nilai absorbansinya. Persamaan garis yang dihasilkan adalah $y = 0.0122x$ dengan gradien linieritas R^2 sebesar 0.9989



Gambar 2. Kurva Standar Zat Warna *Methyl orange*

2. Penentuan Laju Alir Optimum terhadap Adsorpsi MO

Laju alir berperan penting dalam menentukan efisiensi adsorpsi karena memengaruhi waktu kontak antara larutan dan adsorben. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada laju alir rendah (25 ml/menit) konsentrasi efluen lebih rendah dibandingkan laju 45 dan 70 ml/menit. Kondisi ini terjadi karena waktu tinggal fluida lebih lama sehingga difusi molekul ke dalam pori adsorben lebih optimal. Sebaliknya, pada laju alir tinggi, waktu kontak singkat menyebabkan kolom lebih cepat mencapai titik jenuh. Dengan demikian, laju alir optimum untuk adsorpsi MO pada sistem ini adalah 25–30 ml/menit.

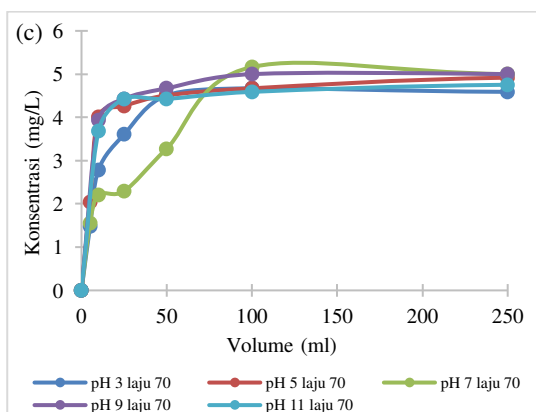
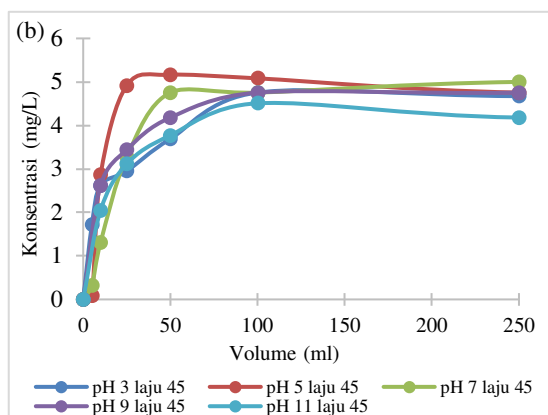
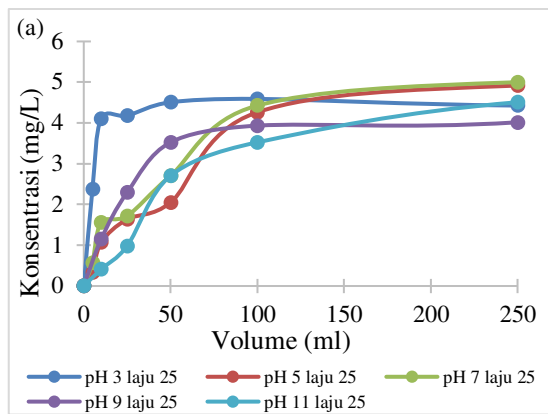
3. Penentuan pH Optimum Terhadap Adsorpsi MO

pH larutan memengaruhi muatan permukaan adsorben dan tingkat ionisasi zat

warna, sehingga berperan penting dalam proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi paling efektif terjadi pada pH 7, ditunjukkan dengan konsentrasi efluen terendah dibandingkan kondisi asam maupun basa. Penggunaan asam pada larutan MO akan mengakibatkan protonasi dimetilamino ($-N(CH_3)_2$) yang merupakan basa lemah dan mengakibatkan perubahan warna dari kuning menjadi merah (Pires et al., 2012). Hal ini umumnya terjadi pada pH kurang dari 3. Penggunaan asam dengan kekuatan ionik yang lebih tinggi seperti SO_4^{2-} atau pun PO_4^{3-} akan mengakibatkan persaingan adsorpsi pada permukaan adsorbent hal ini dikarenakan MO sendiri cenderung bermuatan negatif dengan adanya gugus SO_3^- (Sandberg et al., 1972).

Pada kondisi netral, interaksi elektrostatik antara gugus aktif kulit kakao dan molekul MO berlangsung lebih optimal. pH larutan sangat memengaruhi adsorpsi methyl orange karena dampaknya terhadap muatan permukaan adsorben dan spesiasi zat warna. Pada pH rendah, permukaan adsorben mengalami protonasi sehingga meningkatkan gaya tarik elektrostatik terhadap MO yang bersifat anionik, namun protonasi yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya kompetisi antara ion hidrogen (H^+) dan MO dalam menempati situs aktif adsorpsi. Sebaliknya, pada pH tinggi, deprotonasi permukaan adsorben menghasilkan muatan negatif yang menimbulkan gaya tolak terhadap MO, sementara ion hidroksida (OH^-) turut menurunkan adsorpsi melalui efek repulsive (Iwuozor et al., 2021). Oleh karena itu, kapasitas adsorpsi maksimum umumnya dicapai pada pH menengah, di mana tercapai keseimbangan yang tepat antara muatan permukaan, derajat ionisasi zat warna, dan interaksi kompetitif sehingga penyerapan MO menjadi optimal.

Penelitian ini sejalan dengan temuan (He et al., 2022) dimana pH optimum adsorpsi MO terjadi pada pH 6 atau mendekati netral. Temuan serupa dikuatkan oleh peneliti lainnya (Córdova et al., 2020)(Rashed et al., 2017). Tren adsorpsi terhadap volume ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Antara Volume Terhadap Konsentrasi Efluen Pada Berbagai pH (a) 25 ml/menit, (b) 45 ml/menit, dan (c) 70 ml/menit

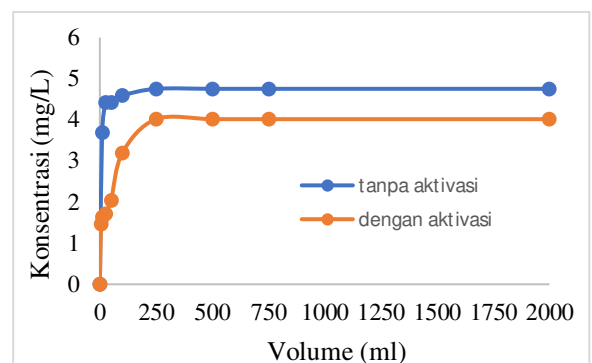
4. Pengaruh Aktivasi Adsorben Terhadap Adsorpsi MO

Aktivasi basa pada kulit buah kakao terbukti meningkatkan luas permukaan dan volume pori adsorben, sehingga kapasitas penyerapan MO lebih tinggi dibandingkan tanpa aktivasi. Tabel 1 menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan kulit buah kakao setelah melalui proses aktivasi.

Tabel 1. Analisis Brunauer-Emmet-Teller (BET) dari Kulit Buah Kakao

| Karakter Pori | Luas Permukaan (m ² /g) | Volume Pori (ml/g) | Ukuran Pori (nm) | Sumber |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|
| Kulit Kakao tanpa aktivasi | 0,0169 | 0,000778 | 7 | (Guerra-Que et al., 2025) |
| Kulit Kakao dengan aktivasi | 1,966 | 0,004617 | 14 | |

Secara keseluruhan, penggunaan adsorben teraktivasi memberikan kinerja adsorpsi yang lebih baik dan lebih sesuai untuk pengolahan limbah tekstil. Namun, residu hasil aktivasi dapat mempengaruhi nilai COD dan TSS pada efluen.



Gambar 4. Kurva Hubungan Volume terhadap Konsentrasi dengan Perlakuan Tanpa Aktivasi dan Aktivasi

Berdasarkan grafik terlihat bahwa luas permukaan adsorben kulit buah kakao dengan aktivasi mengalami peningkatan. Volume total pori dari adsorben kulit kakao dengan aktivasi lebih besar dibandingkan adsorben kulit kakao tanpa aktivasi yaitu awalnya 0,0169 m²/g menjadi 1,966 m²/g. Volume pori adsorben kulit buah kakao dengan tanpa aktivasi memiliki nilai yang lebih kecil yaitu 0,000778 ml/g dibandingkan adsorben kulit buah kakao dengan aktivasi 0,004617 ml/g. Nilai rata-rata jari-jari pori adsorben kulit buah kakao tanpa dan dengan aktivasi ini masih termasuk dalam golongan ukuran mikropori, yakni pada kisaran ukuran diameter pori 0,1-2 Å atau 1-20 nm (Sianipar et al., 2016).



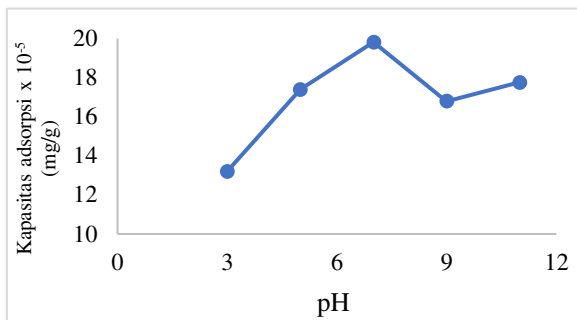
5. Isoterm Adsorpsi Model Thomas

Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara banyaknya adsorbat yang teradsorpsi persatuan berat adsorben secara optimum. Mekanisme adsorpsi yang digunakan yakni tipe isoterm Thomas. Analisis isoterm adsorpsi menggunakan model Thomas menunjukkan bahwa kapasitas serapan (q_e) kulit kakao terhadap MO mencapai 19,81 mg/g pada kondisi optimum.

Nilai konstanta laju perpindahan massa (K_{th}) yang diperoleh mengindikasikan kesesuaian data eksperimen dengan model Thomas, sehingga proses adsorpsi pada kolom dapat dijelaskan dengan baik oleh model ini. Hasil ini menegaskan bahwa kulit buah kakao efektif sebagai bioadsorben alternatif untuk pengolahan limbah tekstil.

Tabel 2. Kapasitas Adsorpsi Kulit Kakao

| pH | q_e (mg/g) |
|----|------------------------|
| 3 | $13,20 \times 10^{-5}$ |
| 5 | $17,39 \times 10^{-5}$ |
| 7 | $19,81 \times 10^{-5}$ |
| 9 | $16,79 \times 10^{-5}$ |
| 11 | $17,76 \times 10^{-5}$ |



Gambar 5. Kurva Kapasitas Adsorpsi Kulit Kakao Variasi pH

Penentuan Kadar COD

Uji COD dapat dijadikan sebagai tolak ukur penentuan beban pencemaran limbah buangan suatu industri ke lingkungan. Pada uji ini juga digunakan bahan kimia berbahaya dan beracun sehingga limbah sisa pengujian COD ini cukup berbahaya. Setelah diperoleh kurva kalibrasi, dilakukan pengujian sampel uji dengan spektrofotometer Uv-Vis dan dihitung kadar COD dengan rumus sebagai berikut:

$$Kadar\ COD = \frac{Abs\ sampel - intersep}{slope} \times 100\% \dots(3)$$

Tabel 3. Hasil Analisis Kadar COD

| Sampel | Baku Mutu COD (mg/L) | Kadar COD (mg/L) |
|---------------|----------------------|------------------|
| Umpan MO | | 105,18 |
| pH terbaik | 150 | 103,77 |
| Aktivasi basa | | 104,47 |

Tabel 3. menunjukkan bahwa kadar COD awal pada larutan MO sebesar 105,18 mg/L. Nilai ini sudah berada di bawah baku mutu limbah cair industri tekstil (≤ 150 mg/L) sesuai Peraturan Menteri LHK No. P.16 Tahun 2019. Setelah dilakukan perlakuan dengan variasi pH terbaik, kadar COD menurun menjadi 103,7 mg/L, sedangkan pada kondisi aktivasi basa sebesar 104,47 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan adsorpsi mampu menurunkan konsentrasi COD meskipun tidak terlalu signifikan, dengan efektivitas tertinggi diperoleh pada kondisi pH terbaik.

Perbedaan nilai COD pada sampel aktivasi basa yang relatif lebih tinggi diduga disebabkan oleh adanya residu atau sisa senyawa organik dari kulit kakao yang belum terlepas sempurna akibat proses pencucian yang kurang optimal. Aktivasi basa meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi, namun pada saat yang sama juga berpotensi melepaskan komponen organik ke dalam larutan, sehingga konsentrasi COD tidak berkurang secara maksimal. Secara keseluruhan, baik perlakuan pH maupun aktivasi basa telah menurunkan kadar COD hingga berada di bawah baku mutu, sehingga proses adsorpsi dengan adsorben kulit kakao berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif pengolahan limbah cair tekstil.

Penentuan Kadar TSS

Uji TSS dapat dijadikan sebagai parameter penting dalam menentukan tingkat kekeruhan dan kandungan padatan tersuspensi pada limbah cair industri. Parameter ini digunakan untuk menilai sejauh mana limbah berpotensi menurunkan kualitas perairan, karena padatan tersuspensi dapat menghambat penetrasi cahaya, mengganggu fotosintesis



organisme akuatik, serta membawa zat pencemar lain. Pada uji ini digunakan proses penyaringan dan pengovenan untuk menghilangkan kadar air, kemudian dilakukan penimbangan sehingga diperoleh massa padatan yang tertinggal. Setelah diperoleh data hasil penimbangan, dilakukan perhitungan kadar TSS dengan rumus sebagai berikut:

$$TSS \text{ (mg/L)} = \frac{(W_1 - W_0) \times 1000}{V} \dots\dots(4)$$

Keterangan :

W_0 : berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

W_1 : berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)

V : volume contoh uji (ml)

1000 : konversi mililiter ke liter

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar TSS

| Sampel | Baku Mutu TSS (mg/L) | Kadar TSS (mg/L) |
|---------------|----------------------|------------------|
| Umpan MO | | 24 |
| pH terbaik | 50 | 22,5 |
| Aktivasi basa | | 23 |

Berdasarkan Tabel 4. diketahui bahwa konsentrasi TSS pada umpan MO adalah 24 mg/L. Nilai ini sudah berada di bawah baku mutu limbah cair industri tekstil, yaitu 50 mg/L sesuai Peraturan Menteri LHK No. P.16 Tahun 2019. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun sampel awal memiliki kandungan padatan tersuspensi, nilainya tidak melewati ambang batas yang dapat mencemari lingkungan.

Setelah dilakukan proses adsorpsi dengan kondisi pH terbaik, kadar TSS sedikit menurun menjadi 22,5 mg/L, sedangkan pada kondisi aktivasi basa turun hingga 23 mg/L. Kedua hasil tersebut juga masih berada di bawah standar baku mutu. Penurunan konsentrasi TSS ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi menggunakan adsorben kulit kakao efektif dalam mengurangi kandungan padatan tersuspensi.

Jika dibandingkan, konsentrasi TSS pada kondisi pH terbaik lebih rendah dibandingkan dengan kondisi aktivasi basa.

Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh adanya residu dari proses aktivasi basa yang masih terbawa ke dalam larutan, sehingga sebagian padatan ikut menambah nilai TSS.

Secara keseluruhan, diperoleh bahwa penggunaan adsorben kulit kakao baik pada kondisi pH optimum maupun setelah aktivasi basa mampu menurunkan TSS pada larutan *methyl orange*. Dengan demikian, adsorben ini berpotensi digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah cair tekstil karena mampu menjaga konsentrasi TSS tetap di bawah ambang batas baku mutu.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, dapat diambil simpulan bahwa kulit buah kakao dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben efektif dalam penyisihan zat warna *Methyl orange* dari limbah cair tekstil. Kondisi optimum dicapai pada laju alir 25 ml/menit dan pH 7, dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 19,81mg/g berdasarkan model Thomas. Aktivasi basa mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi meskipun berpengaruh pada parameter COD dan TSS. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa potensi kulit buah kakao sebagai alternatif adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair industri tekstil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Nasional Bandung yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah Progam Kreatifitas Mahasiswa Itenas No.281/F.006/WRAK/Itenas/VIII/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Azah, N. I., Muchtarichie, R., & Iskandar, Y. (2020). Standardization parameters for cocoa pods (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 16(2), 182–195. <https://doi.org/10.20885/jif.vol16.iss2.a.rt9>
- BPS, (2017) statistik-industri-besar-dan-sedang-jawa-barat-2017—Buku-2-. (n.d.). <https://jabar.bps.go.id/id/publication/20>



- 19/12/20/136e056dedc9940b104777e6/statistik-industri-besar-dan-sedang-jawa-barat-2017-buku-2-.html (diakses 19 Februari 2025)
- Chen, G., Yin, Y., Zhang, X., Qian, A., Pan, X., Liu, F., & Li, R. (2024). Enhanced Adsorption of Methyl Orange from Aqueous Phase Using Chitosan–Palmer Amaranth Biochar Composite Microspheres. *Molecules*, 29(8), 1836. <https://doi.org/10.3390/molecules29081836>
- Córdova, B. M., Santa Cruz, J. P., Ocampo M., T. V., Huamani-Palomino, R. G., & Baena-Moncada, A. M. (2020). Simultaneous adsorption of a ternary mixture of brilliant green, rhodamine B and methyl orange as artificial wastewater onto biochar from cocoa pod husk waste. Quantification of dyes using the derivative spectrophotometry method. *New Journal of Chemistry*, 44(20), 8303–8316. <https://doi.org/10.1039/D0NJ00916D>
- El Malti, W., Koteich, S., & Hijazi, A. (2024). Utilizing *Chamaerops humilis* in removing methylene blue dye from water: An effective approach. *RSC Advances*, 14(33), 24196–24206. <https://doi.org/10.1039/D4RA02983F>
- He, Y., Bao, W., Hua, Y., Guo, Z., Fu, X., Na, B., Yuan, D., Peng, C., & Liu, H. (2022). Efficient adsorption of methyl orange and methyl blue dyes by a novel triptycene-based hyper-crosslinked porous polymer. *RSC Advances*, 12(9), 5587–5594. <https://doi.org/10.1039/D1RA08589A>
- Guerra-Que, Z., López-Margalli, K. S., Urrieta-Saltijeral, J. M., Silahua-Pavón, A. A., Martínez-García, H., García-Alamilla, P., Córdova-Pérez, G. E., Arévalo-Pérez, J. C., & Torres-Torres, J. G. (2025). Activated carbon synthesised from lignocellulosic cocoa pod husk via alkaline and acid treatment for methylene blue adsorption: Optimisation by response surface methodology, kinetics, and isotherm modelling. *RSC Advances*, 15(55), 47231–47254. <https://doi.org/10.1039/d5ra05557a>
- Iwuozor, K. O., Ighalo, J. O., Emenike, E. C., Ogunfowora, L. A., & Igwegbe, C. A. (2021). Adsorption of methyl orange: A review on adsorbent performance. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100179. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100179>
- Lawal, A., & Abdulsalam, A. (2024). Removal of Methyl Orange from Aqueous Solution Using Orange Peel as a Low Cost Adsorbent. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 11(1), 39–46. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1313059>
- Mashuni, Hamid, F. H., Muzuni, Kadidae, L. O., Jahiding, M., Ahmad, L. O., & Saputra, D. (2020). The determination of total phenolic content of cocoa pod husk based on microwave-assisted extraction method. *The 8th International Conference of The Indonesian Chemical Society (ICICS) 2019*. 030013. <https://doi.org/10.1063/5.0001364>
- Nurlaili, T., Kurniasari, L., & Ratnani, R. D. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorbent Zat Warna Methyl Orange Dalam Larutan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2(2). <https://doi.org/10.31942/inteka.v2i2.1938>



- Olakunle, M. O., Inyinbor, A. A., Dada, A. O., & Bello, O. S., (2018) Combating dye pollution using cocoa pod husks: a sustainable approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 11 (1). pp. 4-15. ISSN 1939-7038
- Pandia, S., Siahaan, A. D. Y., & Hutagalung, A. T. (2017). Pemanfaatan Adosrben Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Untuk Menurunkan Oxygen Demand Pada Palm Oil Mill Effluent. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3).
- Pires, M. J. R. G. R., Ferra, M. I. A., & Marques, A. M. M. (2012). Ionization of methyl orange in aqueous sodium chloride solutions. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 53, 93–99.
<https://doi.org/10.1016/j.jct.2012.04.023>
- Pua, F. L., Sajab, M. S., Chia, C. H., Zakaria, S., Rahman, I. A., & Salit, M. S. (2013). Alkaline-treated cocoa pod husk as adsorbent for removing methylene blue from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(3), 460–465.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.06.012>
- Purnamawati, H., & Utami, B. (2014). Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF) ke-5*. vol 5, No. 1 ISSN:2302-7827
- Rashed, M. N., Eltaher, M. A., & Abdou, A. N. A. (2017). Adsorption and photocatalysis for methyl orange and Cd removal from wastewater using TiO₂ /sewage sludge-based activated carbon nanocomposites. *Royal Society Open Science*, 4(12), 170834.
<https://doi.org/10.1098/rsos.170834>
- Sandberg, R. G., Henderson, G. H., White, R. D., & Eyring, E. M. (1972). Kinetics of acid dissociation-ion recombination of aqueous methyl orange. *The Journal of Physical Chemistry*, 76(26), 4023–4025.
<https://doi.org/10.1021/j100670a024>
- Setiaty Pandia, Astri Devi Yunita Siahaan, & Anita Tiurmaida Hutagalung. (2017). Pemanfaatan Adsorben Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand Pada Palm Oil Mill effluent. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(3), 34–40.
<https://doi.org/10.32734/jtk.v6i3.1587>
- Sianipar, L. D., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. (2016), Adsorpsi (Fe) Dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Teraktivasi Asam Klorida, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, Vol. 5, No.2, 50-59.
- Sihombing, P. (2019). Adsorpsi Zat Pewarna Tekstil Methyl Orange Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.).
https://www.academia.edu/92029162/Adsorpsi_Zat_Pewarna_Tekstil_Methyl_Orange_Menggunakan_Adsorben_Kulit_Buah_Kakao-Theobroma_cacao_L_
- Soares, T. F., & Oliveira, M. B. P. P. (2022). Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 27(5), 1625.
<https://doi.org/10.3390/molecules27051625>
- Suherli, N., Zilfa, & Zein, R. (2021). Degradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan TiO₂/Zeolit Klinoptilolit-Ca Secara Fotolisis. *Jurnal Kimia Unand*, 10(3).



Widjajanti, E. (2011). Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Universitas Negeri Yogyakarta, K115-122.