

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN PADA BIOSORPSI
DIRECT BLUE 86 OLEH KULIT KELENGKENG
TERMODIFIKASI

The Effect of Stirring Speed on the Biosorption of
Direct Blue 86 by Modified Longan Peel

Anastasya Tri Yolanda & Desy Kurniawati

Universitas Negeri Padang

desy.chem@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Mar 20, 2026	Apr 17, 2026	Apr 29, 2026	May 4, 2026

Abstract

Direct Blue 86 (DB-86) is an anionic azo dye that is widely used in the textile industry and has relatively persistent properties in aquatic environments, making low-cost adsorbents necessary for the treatment of colored liquid waste. This study aims to evaluate the effect of stirring speed on the biosorption of DB-86 using longan peel modified with duck egg white in batch mode. The biosorbent was prepared from acid-activated longan peel and duck egg white with a KL:PTI mass ratio of 1:1. Biosorption experiments were conducted using 0.2 g of biosorbent and 25 mL of 450 mg/L DB-86 solution at pH 2, a particle size of 63 μm , and a contact time of 30 minutes. Variations in stirring speed were set at 100, 150, 200, 250, 300, and 350 rpm. The dye concentration after biosorption was measured using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 627 nm and converted based on the standard curve equation. The results showed that the adsorption capacity increased from 46.734 mg/g at 100 rpm to a maximum of 51.894 mg/g at 200 rpm, with the highest removal efficiency of 95.25%. However, increasing the stirring speed to 250–350 rpm gradually reduced biosorption

performance. The optimum condition at 200 rpm indicates that adequate stirring can improve solution homogeneity and external mass transfer, whereas excessive stirring may disrupt the interaction between the dye and the biosorbent. These findings emphasize the importance of optimizing stirring speed in the biosorption process and demonstrate the potential of longan peel modified with duck egg white as a low-cost biosorbent for removing anionic dyes from liquid waste.

Keywords: Biosorption; Direct Blue 86; Longan Peel; Duck Egg White; Stirring Speed

Abstrak: *Direct Blue 86* (DB-86) merupakan zat warna azo anionik yang banyak digunakan dalam industri tekstil dan memiliki sifat cukup persisten di lingkungan perairan, sehingga diperlukan adsorben berbiaya rendah untuk pengolahan limbah cair berwarna. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan pengadukan terhadap biosorpsi DB-86 menggunakan kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik secara *batch*. Biosorben dibuat dari kulit kelengkeng teraktivasi asam dan putih telur itik dengan rasio massa KL:PTI sebesar 1:1. Percobaan biosorpsi dilakukan menggunakan 0,2 g biosorben dan 25 mL larutan DB-86 450 mg/L pada pH 2, ukuran partikel 63 μm , dan waktu kontak 30 menit. Variasi kecepatan pengadukan dilakukan pada 100, 150, 200, 250, 300, dan 350 rpm. Konsentrasi zat warna setelah biosorpsi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 627 nm dan dikonversi berdasarkan persamaan kurva standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dari 46,734 mg/g pada 100 rpm menjadi maksimum 51,894 mg/g pada 200 rpm, dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 95,25%. Namun, peningkatan kecepatan pengadukan menjadi 250–350 rpm menurunkan kinerja biosorpsi secara bertahap. Kondisi optimum pada 200 rpm menunjukkan bahwa pengadukan yang memadai dapat meningkatkan homogenitas larutan dan perpindahan massa eksternal, sedangkan pengadukan berlebih berpotensi mengganggu interaksi antara zat warna dan biosorben. Temuan ini menegaskan pentingnya optimasi kecepatan pengadukan dalam proses biosorpsi serta menunjukkan potensi kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik sebagai biosorben murah untuk penyisihan zat warna anionik dari limbah cair.

Kata Kunci: Biosorpsi; *Direct Blue 86*; Kulit Kelengkeng; Putih Telur Itik; Kecepatan Pengadukan

PENDAHULUAN

Pencemaran air oleh limbah zat warna sintetis masih menjadi persoalan penting karena senyawa-senyawa tersebut dapat menurunkan kualitas perairan, menghambat penetrasi cahaya, dan menimbulkan dampak ekologis maupun toksikologis (El Meziani *et al.*, 2025). Zat warna azo, termasuk *Direct Blue 86*, dikenal stabil dalam air dan tidak mudah terdegradasi secara alami, sehingga keberadaannya dalam limbah industri tekstil perlu ditangani dengan metode yang efektif dan ekonomis. Sejumlah studi terbaru juga menunjukkan bahwa penyisihan *Direct Blue 86* masih terus dikembangkan melalui berbagai adsorben berbasis biomassa, hidrogel, dan biochar termodifikasi (Eleryan *et al.*, 2025; Shoaib *et al.*, 2023).

Di antara berbagai metode pengolahan limbah zat warna, adsorpsi masih banyak dipilih karena sederhana, fleksibel, dan mampu diaplikasikan menggunakan bahan baku murah (El Meziani *et al.*, 2025). Dalam konteks ini, biosorpsi menjadi menarik karena memanfaatkan biomassa yang kaya gugus fungsi permukaan, seperti hidroksil, karboksil, dan gugus polar lain (Molebatsi *et al.*, 2025), yang dapat berinteraksi dengan molekul zat warna melalui gaya elektrostatis, ikatan hidrogen, dan mekanisme antarmolekul lainnya (Zhu *et al.*, 2023). Penelitian terdahulu tentang adsorben berbasis limbah biomassa juga menegaskan bahwa modifikasi fisik maupun kimia sering dilakukan untuk meningkatkan kinerja adsorben murah terhadap zat warna anionik maupun kationik (Mtweve *et al.*, 2026; Tan *et al.*, 2024).

Salah satu limbah biomassa yang berpotensi dikembangkan sebagai biosorben adalah kulit kelengkeng (*Dimocarpus longan* L.). Pemanfaatan kulit kelengkeng sebagai prekursor adsorben telah dilaporkan pada sejumlah penelitian, baik dalam bentuk karbon aktif (Hoa *et al.*, 2025), adsorben termodifikasi (Ma *et al.*, 2022), maupun material turunan lainnya (Etika *et al.*, 2024). Kulit kelengkeng juga telah digunakan untuk penyisihan zat warna kationik dan bahan pencemar lain, yang menunjukkan bahwa limbah ini memiliki permukaan aktif yang menjanjikan. Selain itu, studi terbaru pada karbon aktif berbahan dasar kulit kelengkeng juga menunjukkan performa yang baik terhadap zat warna anionik seperti *Reactive Black 5* (Hoa *et al.*, 2025).

Di sisi lain, modifikasi biomassa menggunakan bahan berbasis protein mulai banyak dikaji karena mampu menambah atau memperkaya gugus fungsi aktif pada permukaan adsorben. Putih telur mengandung protein dengan gugus amino, karboksil, dan hidroksil yang secara teoritis dapat meningkatkan afinitas terhadap polutan terlarut (Khadivi *et al.*, 2022). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah putih telur dapat dimanfaatkan sebagai bahan adsorben atau modifier adsorben lain untuk penyisihan zat warna dan ion logam, sehingga pendekatan ini layak dipertimbangkan untuk pengembangan biosorben berbasis limbah pertanian (Putra *et al.*, 2024; Zein *et al.*, 2022).

Meskipun penelitian tentang penghilangan *Direct Blue 86* telah dilakukan dengan berbagai material, kajian yang secara spesifik menggabungkan kulit kelengkeng dan putih telur itik sebagai biosorben untuk *Direct Blue 86* masih sangat terbatas. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan kombinasi biosorben baru, tetapi juga membuka kajian pada pasangan material–adsorbat yang belum banyak dieksplorasi.

Dalam sistem adsorpsi *batch*, kecepatan pengadukan merupakan parameter operasi yang penting karena berhubungan langsung dengan ketebalan lapisan batas, laju perpindahan massa eksternal, dan homogenitas kontak antara adsorben dan adsorbat (Kouvalakidou *et al.*, 2023). Kenaikan kecepatan pengadukan umumnya meningkatkan transfer massa hingga titik optimum tertentu, tetapi pada laju yang terlalu tinggi peningkatan adsorpsi tidak selalu berlanjut (Bašić *et al.*, 2025). Oleh karena itu, pengkajian kecepatan pengadukan menjadi penting untuk memahami kondisi operasi terbaik pada biosorben yang dikembangkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan pengadukan terhadap biosorpsi *Direct Blue 86* menggunakan kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik pada sistem batch. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah pada pengembangan biosorben murah, sederhana, dan lebih berkelanjutan untuk pengolahan air limbah berwarna.

METODE

1. Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorium yang dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan biosorben kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik dalam menyerap zat warna *Direct Blue 86* dari larutan. Variabel bebas adalah kecepatan pengadukan, sedangkan variabel respon meliputi kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan. Massa adsorben, volume larutan, konsentrasi awal DB-86, pH, ukuran partikel, waktu kontak, dan suhu dijaga tetap.

2. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan meliputi peralatan gelas, blender, ayakan (BS410), neraca analitik (ABS 220-4), pH meter (ATC), *shaker* (VRN-480), oven, *magnetic stirrer* (MR Hei Standard), *hot plate*, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) (Perkin Elmer), dan *spektrofotometer UV-Vis* (Agilent 8435, model G1103A). Bahan yang digunakan meliputi limbah kulit kelengkeng yang dibeli di pasaran, putih telur itik, akuades, larutan stok *Direct Blue 86* 1000 mg/L, HNO₃, NaOH, KCl, dan etanol p.a.

3. Preparasi Kulit Kelengkeng

Kulit kelengkeng dibersihkan dari kotoran yang menempel, dipotong kecil, lalu dikeringkan pada suhu ruang. Sampel kering kemudian dihaluskan menggunakan blender dan

diayak. Serbuk kulit kelengkeng selanjutnya diaktivasi dengan larutan HNO_3 0,01 M selama 2 jam, disaring, dicuci dengan aquades hingga pH netral, lalu dikeringanginkan.

4. Modifikasi dengan Putih Telur Itik

Putih telur itik segar dipisahkan dari kuningnya, kemudian dikeringkan pada suhu ruang hingga terbentuk padatan kering. Padatan tersebut dihaluskan dan diayak agar diperoleh ukuran partikel yang lebih seragam. Proses modifikasi dilakukan dengan mencampurkan serbuk kulit kelengkeng dan serbuk putih telur itik pada rasio massa 1:1 menggunakan etanol p.a. sebagai medium pencampur, lalu disonikasi selama 15 menit untuk meningkatkan homogenitas campuran. Setelah itu campuran difiltrasi dan dikeringkan pada suhu ruang hingga diperoleh biosorben termodifikasi (Putra *et al.*, 2024).

5. Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi dilakukan terhadap kulit kelengkeng sebelum modifikasi, kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik, dan adsorben setelah proses adsorpsi. Identifikasi gugus fungsi pada adsorben sebelum modifikasi, sesudah modifikasi, dan setelah pengontakan dilakukan menggunakan FTIR. Sementara itu, pengukuran konsentrasi zat warna dalam larutan sebelum dan sesudah biosorpsi dilakukan dengan *spektrofotometer UV-Vis*.

6. Karakteristik Zat Warna dan Kurva Standar

Zat warna yang digunakan adalah *Direct Blue 86* dengan panjang gelombang maksimum, kurva standar, serta konsentrasi larutan setelah biosorpsi ditentukan menggunakan *spektrofotometer UV-Vis* berdasarkan persamaan kurva standar:

$$y = ax + b \quad (1)$$

dengan y sebagai absorbansi dan x sebagai konsentrasi larutan (mg/L).

7. Kecepatan Pengadukan

Sebanyak 0,2 g biosorben dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan 25 mL larutan *Direct Blue 86* dengan konsentrasi awal 450 mg/L. Kondisi operasi yang dijaga tetap meliputi pH 2, ukuran partikel 63 μm , waktu kontak 30 menit, dan suhu ruang. Campuran kemudian *shaker* dengan variasi kecepatan pengadukan 100, 150, 200, 250, 300, dan 350 rpm. Setelah pengontakan selesai, campuran disaring dan filtrat dianalisis menggunakan UV-Vis pada panjang gelombang 627 nm.

8. Analisis Data

Kapasitas adsorpsi dihitung dengan persamaan:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (2)$$

sedangkan efisiensi penyisihan dihitung dengan persamaan:

$$\%R = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

dengan C_0 adalah konsentrasi awal (mg/L), C_e adalah konsentrasi akhir (mg/L), V adalah volume larutan (L), dan W adalah massa adsorben (g).

HASIL

1. Karakterisasi Biosorben

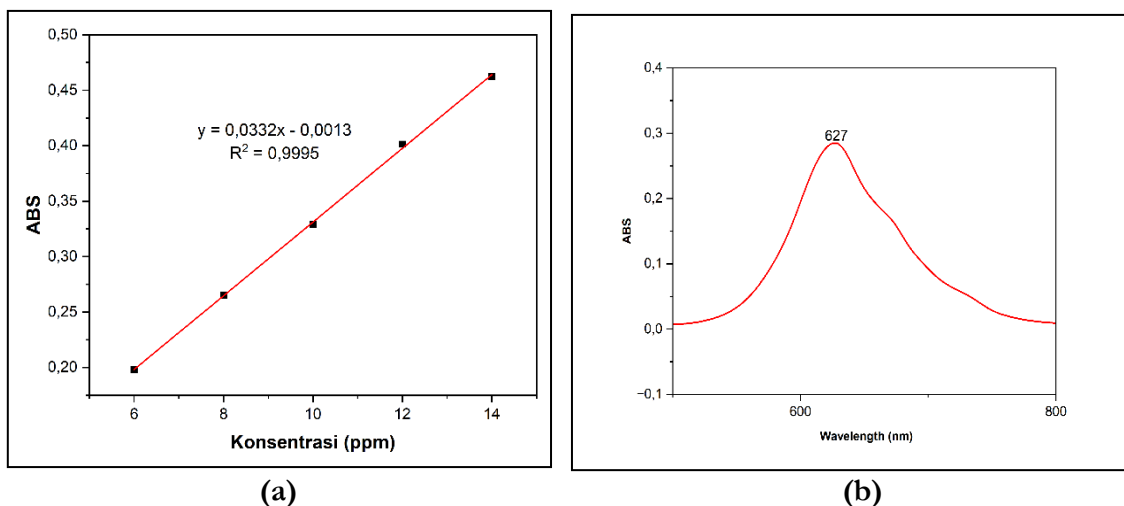
Tujuan dilakukan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada putih telur itik, kelengkeng sebelum modifikasi, setelah modifikasi, dan setelah pengontakan. Spektrum FTIR dari keempat sampel terlihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Hasil FTIR

Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)		
	KL	KL-PTI	KL-PTI-DB86
O-H /N-H Stretching	3327,02	3276,59	3277,28
C-H	2919,96	2929,80	2955,65
C=O	2184,84	2188,24	2143,21
C=C	1618,91	1629,39	1632,05
N-H	-	1532,69	1525,92
C-N	1235,35	1240,77	1323,71
S=O	-		1159,22
C-O	1026,51	1037,82	1032,43

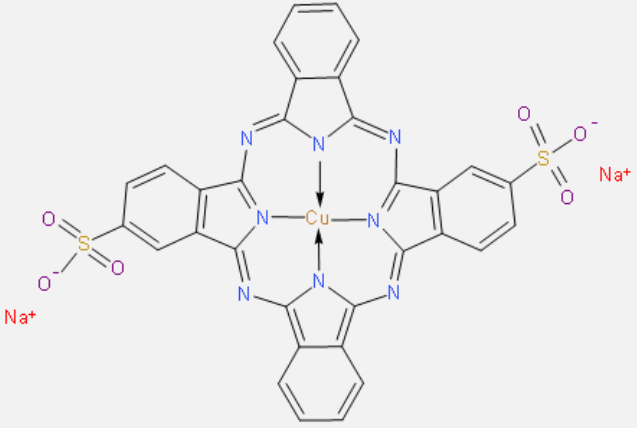
2. Karakteristik Zat Warna dan Kurva Standar

Analisa menggunakan Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan serapan maksimum DB-86 pada 627 nm. Kurva standar pada Gambar 2 memperlihatkan hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi, sehingga digunakan untuk menghitung konsentrasi akhir filtrat dalam perhitungan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyisihan (C_e).



Gambar 1. Panjang Gelombang Maksimum *Direct Blue 86* (a), Panjang Gelombang Masimum DB86 (b)

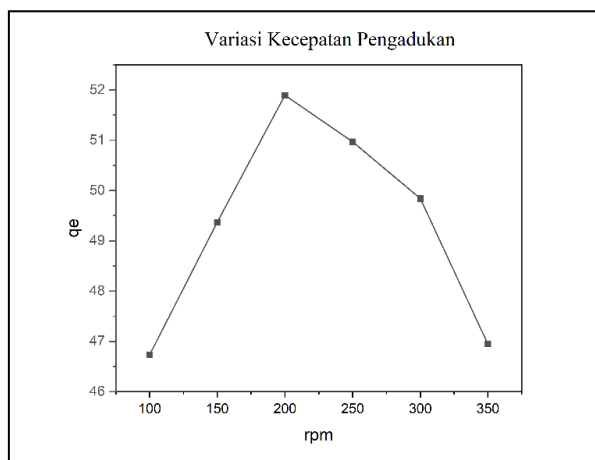
Tabel 2. Karakteristik *Direct Blue 86*

Struktur Kimia	
Rumus Kimia	$C_{32}H_{14}CuNa_2O_6S_2$
Berat Molekul	780,16 g/mol
λ_{max} (nm)	627
Nama IUPAC	copper;disodium;2,11,20,29,38,40-hexaza-37,39-diazanidanonacyclo[28.6.1.1 ^{3,10} .1 ^{12,19} .1 ^{21,28} .0 ^{4,9} .0 ^{13,18} .0 ^{22,27} .0 ^{31,36}]tetraconta-1(36),2,4(9),5,7,10(40),11,13,15,17,19,21(38),22(27),23,25,28,30,32,34-nonadecaene-6,24-disulfonate

3. Kecepatan Pengadukan

Hasil variasi kecepatan pengadukan menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi DB86 berturut-turut adalah 46,734 mg/g pada 100 rpm, 49,369 mg/g pada 150 rpm, 51,894 mg/g

pada 200 rpm, 50,968 mg/g pada 250 rpm, 49,838 mg/g pada 300 rpm, dan 46,944 mg/g pada 350 rpm. Nilai kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada 200 rpm, yaitu 51,894 mg/g.



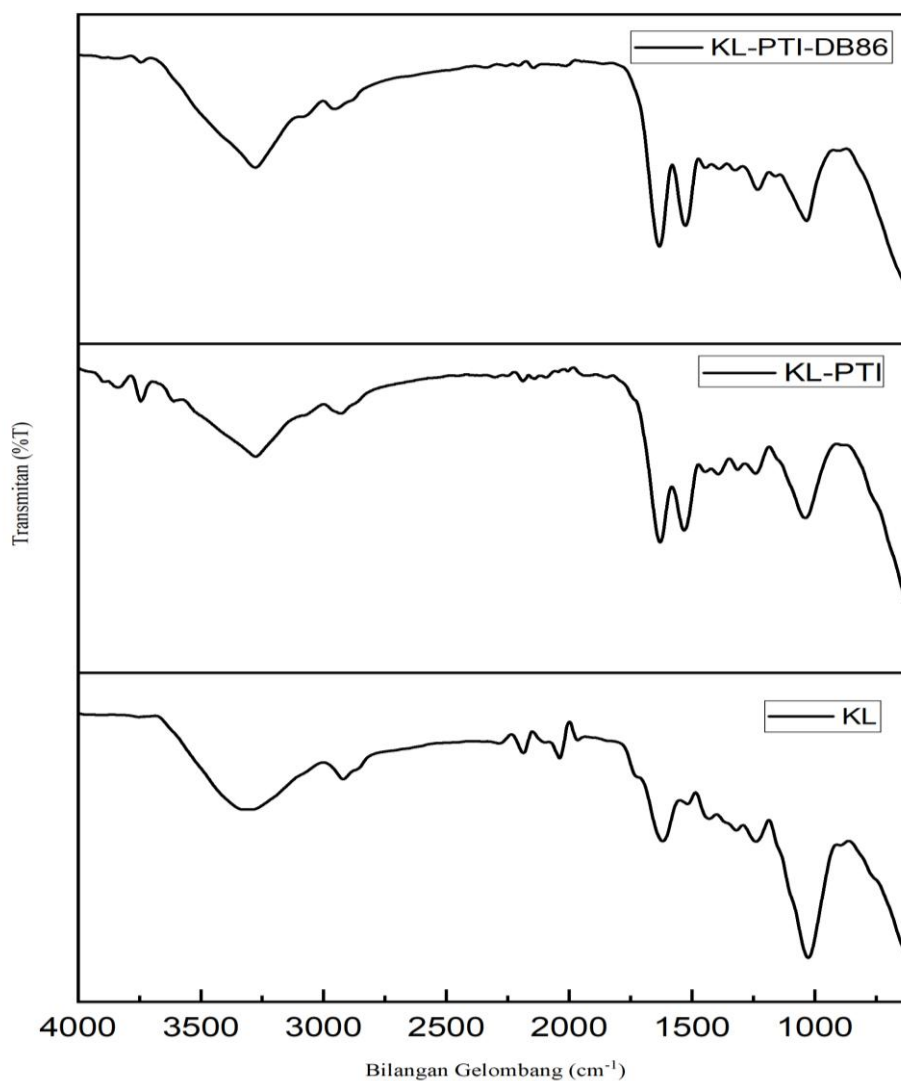
Gambar 2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan

PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Biosorben

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi fungsionalitas permukaan pada kulit kelengkeng (KL), putih telur itik (PTI), biosorben termodifikasi (KL-PTI), serta biosorben setelah adsorpsi *Direct Blue 86* (KLPTI-DB86). Spektrum material dasar KL menunjukkan karakteristik biomassa lignoselulosa alami yang didominasi oleh regangan gugus hidroksil (O-H) pada $3327,02\text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi C-O pada $1026,51\text{ cm}^{-1}$. Gugus tersebut umum pada biomassa lignoselulosa dan dapat berperan sebagai situs aktif melalui ikatan hidrogen, interaksi elektrostatik, dan interaksi permukaan lain (Hoa *et al.*, 2025). Proses modifikasi menggunakan PTI terkonfirmasi keberhasilannya melalui munculnya serapan khas amida II pada spektrum KL-PTI di bilangan gelombang $1532,69\text{ cm}^{-1}$ (vibrasi tekuk N-H), yang menandakan bahwa protein dari putih telur telah berhasil terimpregnasi pada matriks kulit kelengkeng (Waarsyat *et al.*, 2026). Setelah adsorpsi, analisis spektrum KLPTI-DB86 menunjukkan perubahan struktural yang sangat signifikan, ditandai dengan munculnya serapan khas dari gugus sulfonat (S=O) bawaan molekul *Direct Blue 86*. Kehadiran gugus ini teridentifikasi secara jelas melalui munculnya puncak baru yang tajam pada bilangan gelombang $1159,22\text{ cm}^{-1}$ sebagai vibrasi regangan asimetris S=O, serta tumpang tindih pada area $1032,43\text{ cm}^{-1}$ yang diasosiasikan dengan regangan simetris S=O. Temuan ini sangat sejalan dengan penelitian yang mengonfirmasi bahwa puncak di sekitar $1150\text{-}1160\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri utama interaksi antara pewarna turunan sulfonat dengan

situs aktif biosorben (Zarnaghash *et al.*, 2021). Munculnya puncak S=O tersebut, yang disertai dengan pergeseran puncak N-H dari $1532,69\text{ cm}^{-1}$ menjadi $1525,92\text{ cm}^{-1}$, mengimplikasikan terjadinya pembentukan interaksi elektrostatik yang kuat antara gugus amina bermuatan positif pada biosorben dengan gugus sulfonat bermuatan negatif dari zat warna.



Gambar 3. Spektrum FTIR KL, KL-PTI, dan PTI

Hal ini memberikan implikasi penting bahwa strategi modifikasi permukaan menggunakan putih telur itik sangat efektif menciptakan situs pengikatan spesifik (amina) untuk menarik dan mengunci kontaminan anionik. Meskipun instrumen FTIR ini berhasil membuktikan mekanisme pengikatan molekuler (kemisorpsi) secara kualitatif, penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam mengukur densitas situs aktif secara kuantitatif, sehingga

studi lebih lanjut mencakup karakterisasi morfologi permukaan dan isoterm adsorpsi tetap diperlukan untuk memvalidasi performa material ini secara menyeluruh.

2. Karakteristik Zat Warna dan Kurva Standar

Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis merupakan tahapan awal yang esensial dalam studi adsorpsi untuk mengukur konsentrasi zat warna secara kuantitatif. Pengukuran panjang gelombang maksimum ($\lambda_{\max}$) zat warna *Direct Blue 86* (DB86) dilakukan guna menentukan titik serapan foton tertinggi yang akan memberikan tingkat sensitivitas pengukuran paling optimal. Analisis spektrum serapan UV-Vis menunjukkan bahwa nilai $\lambda_{\max}$ untuk DB86 teridentifikasi secara presisi pada 627 nm. Puncak serapan spesifik yang berada di area spektrum visibel ini (600-650 nm) merupakan karakteristik khas dari molekul pewarna biru yang menyerap cahaya komplementer pada rentang warna jingga hingga merah (Based *et al.*, 2022). Serapan maksimal pada titik ini merepresentasikan transisi elektron $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ yang terjadi pada sistem ikatan rangkap terkonjugasi serta gugus kromofor berbasis ftalosianin tembaga yang membentuk kerangka struktural utama dari molekul DB86.

Penentuan panjang gelombang maksimum tersebut kemudian dilanjutkan dengan pembuatan kurva kalibrasi standar menggunakan deret larutan DB86 pada rentang konsentrasi 6 hingga 14 ppm. Plot hubungan antara variasi konsentrasi terhadap nilai absorbansi menghasilkan persamaan garis linear $y = 0,0332x - 0,0013$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9995. Nilai R^2 yang sangat mendekati angka 1 ini membuktikan bahwa data eksperimental mematuhi Hukum Beer-Lambert dengan sangat baik. Terdapat korelasi positif dan proporsionalitas linear yang sangat kuat, di mana setiap peningkatan konsentrasi molekul zat warna dalam larutan akan diikuti oleh peningkatan intensitas cahaya yang diserap oleh instrumen secara konstan (Mäntele & Deniz, 2017).

3. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan (*agitation speed*) merupakan parameter hidrodinamik yang sangat krusial dalam rekayasa sistem adsorpsi fasa cair karena secara langsung mengatur profil laju transfer massa eksternal dari fasa pelarut menuju permukaan padatan. Berdasarkan data variasi kecepatan pengadukan terhadap kapasitas serapan, percobaan yang dilakukan dalam larutan bervolume 25 mL dengan kondisi awal pH 2, konsentrasi adsorbat 450 mg/L, waktu kontak 30 menit, dan ukuran partikel yang dioptimasi pada 63 μm , ini menunjukkan pola

kurva parabolik yang sangat khas. Kapasitas adsorpsi (q_e) mengalami peningkatan linier yang cukup tajam dari kecepatan 100 rpm hingga mencapai titik ekuilibrium tertinggi sebesar kurang lebih 51,9 mg/g pada kecepatan 200 rpm. Peningkatan fase awal ini secara teoritis terjadi karena intensitas mekanik yang lebih besar mampu memecah dan mengurangi ketebalan lapisan batas cairan (*hydrodynamic boundary layer*) yang menyelimuti permukaan partikel biosorben KL-PTI. Reduksi lapisan difusi film ini secara efektif memperkecil hambatan transfer massa, sehingga molekul *Direct Blue 86* dari dalam badan larutan dapat bermigrasi dengan jauh lebih pesat menuju situs aktif pengikatan. Selain itu, tingkat turbulensi moderat pada 200 rpm menjamin dispersi yang homogen untuk material berukuran 63 μm , menjaga agar partikel tetap tersuspensi dan mencegah pengendapan di dasar wadah, sehingga memfasilitasi probabilitas tumbukan maksimum antara molekul zat warna dengan sisi aktif biosorben. Dinamika transfer massa ini terkonfirmasi oleh studi eksperimental kinetika adsorpsi pewarna oleh Jawad dkk. (2020), yang membuktikan bahwa agitasi pada rentang menengah merupakan prasyarat mutlak untuk menembus lapisan hambatan batas cair dan menginisiasi difusi eksternal yang cepat tanpa merusak matriks absorben (Jawad *et al.*, 2020).

Namun, ketika kecepatan pengadukan terus dipacu melewati titik optimum 200 rpm hingga mencapai rotasi 350 rpm, profil kurva seketika berbalik arah dan kapasitas penyerapan menurun secara signifikan hingga menyentuh nilai 46,9 mg/g. Degradasi performa adsorpsi pada rotasi ekstrem ini disebabkan oleh turbulensi berlebihan yang menghasilkan gaya gesek hidrodinamik (*shear force*) terlampaui kuat di dalam sistem suspensi cairan. Gaya mekanik dan sentrifugal yang masif ini bertindak secara destruktif dengan mengikis dan melepaskan kembali (*desorpsi*) molekul zat warna yang baru terikat secara fisik atau terikat lemah di permukaan luar biosorben sebelum molekul tersebut memiliki waktu residu yang cukup untuk menembus ke situs pori internal. Terlebih lagi, energi pusaran kinetik yang terlalu agresif rentan menyebabkan keausan fisik pada struktur partikel atau justru memaksa terjadinya aglomerasi inter-partikel akibat benturan keras yang terus-menerus. Penurunan kapasitas penyerapan akibat tekanan gaya geser berlebih ini dilaporkan secara komprehensif dalam studi eksperimental Bellaj dkk. (2024) yang menggunakan matriks berbasis kitosan. Penelitian tersebut menegaskan bahwa meskipun agitasi pada awalnya mendorong transfer massa, tingkat vorteks cairan yang kelewat batas pada rotasi tinggi secara signifikan akan mendisrupsi kestabilan ikatan antara pewarna anionik dan situs aktif biopolimer, meniadakan keseimbangan laju adsorpsi, dan memaksa molekul pewarna tersapu kembali ke dalam aliran pelarut (Bellaj *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap biosorpsi DB-86 oleh kulit kelengkeng termodifikasi putih telur itik. Kapasitas adsorpsi meningkat dari 46,734 mg/g pada 100 rpm menjadi maksimum 51,894 mg/g pada 200 rpm dengan efisiensi penyisihan tertinggi 95,25%, kemudian menurun pada 250-350 rpm. Temuan ini menunjukkan bahwa pengadukan optimum meningkatkan homogenitas larutan dan perpindahan massa eksternal, sedangkan pengadukan berlebih dapat menurunkan kestabilan interaksi adsorbat-biosorben. Kontribusi penelitian ini terletak pada pemanfaatan kombinasi limbah kulit kelengkeng dan putih telur itik sebagai biosorben murah untuk penyisihan zat warna anionik. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan replikasi statistik, uji kinetika, isoterm, termodinamika, regenerasi adsorben, dan pengujian pada limbah tekstil nyata untuk memperkuat validitas dan aplikasi praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- Bašić, A., Mužek, M. N., Penga, Ž., & Svilović, S. (2025). Optimising batch sorption: Effect of mixing speed and reactor design on wastewater treatment kinetics and efficiency. *Processes*, 13(3), Article 712. <https://doi.org/10.3390/pr13030712>
- Bellaj, M., Aziz, K., El Achaby, M., El Haddad, M., Gebrati, L., Kurniawan, T. A., Chen, Z., Yap, P.-S., & Aziz, F. (2024). Cationic and anionic dyes adsorption from wastewater by clay-chitosan composite: An integrated experimental and modeling study. *Chemical Engineering Science*, 285, Article 119615. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119615>
- Deng, K., Ouyang, J., Hu, N., Dong, Q., Chen, C., & Wang, H. (2022). Improved stability of blue colour of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. based on copigmentation. *Molecules*, 27(18), Article 6089. <https://doi.org/10.3390/molecules27186089>
- Eleryan, A., Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Hassaan, M. A., Ragab, S., Osibote, O. A., Hossain, I., & El Nemr, A. (2025). Adsorption of Acid Yellow 36 and direct blue 86 dyes to *Delonix regia* biochar-sulphur. *Scientific Reports*, 15, Article 3448. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85405-4>
- El Meziani, S., Agnaou, H., El Haddaj, H., Boumya, W., Barka, N., & Elhalil, A. (2025). Sustainable adsorption technologies for textile dye removal: Advances in biomass-derived and magnetically modified activated carbons. *Cleaner Chemical Engineering*, 12, Article 100210. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2025.100210>
- Etika, S. B., Kurniawati, D., Mulia, M., Darussalam, R., Suryani, O., Nasra, E., & Frista, N. (2024). Adsorption of metanil yellow using flavonoid extract from longan peel (*Dimocarpus longan*): Optimization of pH and concentration. *Pharmacognosy Journal*, 16(6), 1315–1319. <https://doi.org/10.5530/pj.2024.16.212>
- Hoa, N. T. H., Quynh, N. T., Nguyen, V. D., Nguyen, T. N., Huy, B. Q., Thanh, N. T., Loan, H. T., Hoa, N. T. Q., & Nghia, N. T. (2025). Adsorptive removal of Reactive Black 5 by longan peel-derived activated carbon: Kinetics, isotherms, thermodynamics, and modeling. *Water*, 17(11), Article 1678. <https://doi.org/10.3390/w17111678>

- Jawad, A. H., Abdulhameed, A. S., & Mastuli, M. S. (2020). Acid-factionalized biomass material for methylene blue dye removal: A comprehensive adsorption and mechanism study. *Journal of Taibab University for Science*, 14(1), 305–313. <https://doi.org/10.1080/16583655.2020.1736767>
- Khadivi, H., Sirousazar, M., Abbasi-Chianeh, V., & Jalilnejad, E. (2022). Egg white/polyvinyl alcohol/clay bionanocomposite hydrogel adsorbents for dye removal. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(8), 3186–3202. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02430-4>
- Kouvalakidou, S. L., Varoutoglou, A., Alibrahim, K. A., Alodhayb, A. N., Mitropoulos, A. C., & Kyzas, G. Z. (2023). Batch adsorption study in liquid phase under agitation, rotation, and nanobubbles: Comparisons in a multi-parametric study. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(53), 114032–114043. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30342-w>
- Ma, J., Hou, L., Li, P., Zhang, S., & Zheng, X. (2022). Modified fruit pericarp as an effective biosorbent for removing azo dye from aqueous solution: Study of adsorption properties and mechanisms. *Environmental Engineering Research*, 27(2), Article 200634. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.634>
- Mäntele, W., & Deniz, E. (2017). UV–VIS absorption spectroscopy: Lambert-Beer reloaded. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 173, 965–968. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.09.037>
- Molebatsi, M., Nkoane, B., Keroletswe, N., Chigome, S., & Kabomo, M. T. (2025). The use of biosorbents in water treatment. *Environments*, 12(9), Article 302. <https://doi.org/10.3390/environments12090302>
- Mtweve, B. B., Managa, M., Moja, T. N., & Mubiayi, M. P. (2026). A systematic review of lignocellulosic fibers modification techniques: Enhancing selective adsorption–desorption of textile dyes. *Processes*, 14(4), Article 710. <https://doi.org/10.3390/pr14040710>
- Putra, A., Fauzia, S., Deswati, Arief, S., & Zein, R. (2024). The potential of duck egg white as a modifier for activated rice straw to enhance Cr(VI) ions adsorption in an aqueous solution. *South African Journal of Chemical Engineering*, 48, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.02.002>
- Shoaib, A. G. M., Ragab, S., El Sikaily, A., Yilmaz, M., & El Nemr, A. (2023). Thermodynamic, kinetic, and isotherm studies of Direct Blue 86 dye absorption by cellulose hydrogel. *Scientific Reports*, 13, Article 5910. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33078-2>
- Tan, Y. Y., Abdul Raman, A. A., Zainal Abidin, M. I. I., & Buthiyappan, A. (2024). A review on sustainable management of biomass: Physicochemical modification and its application for the removal of recalcitrant pollutants—Challenges, opportunities, and future directions. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(25), 36492–36531. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33375-x>
- Waarsyat, F., Kurniawati, D., Etika, S. B., Sari, T. K., Husein, S., Jeningsih, & Budiman, S. (2026). Biosorption of Indigo Carmine onto duck egg white-modified longan peel biosorbent: Effect of particle size and contact time. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 27(2), 155–166. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol27-iss02/665>

- Zarnaghash, N., Rezaei, R., Hayati, P., Moaser, A. G., & Doroodmand, M. M. (2021). Shape-controlled synthesis of sodium zincate mesoporous structures based on sulfonated melamine formaldehyde and their application as catalysts for Biginelli reaction. *Journal of Molecular Structure*, 1232, Article 130028. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.130028>
- Zein, R., Hevira, L., Zilfa, Rahmayeni, Fauzia, S., & Ighalo, J. O. (2022). The improvement of indigo carmine dye adsorption by *Terminalia catappa* shell modified with broiler egg white. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(15), 13795–13812. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-02290-3>
- Zhu, H., Chen, S., & Luo, Y. (2023). Adsorption mechanisms of hydrogels for heavy metal and organic dyes removal: A short review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, Article 100552. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100552>