

# Pemanfaatan Cangkang Telur Terenkapsulasi sebagai Adsorben: Karakterisasi dan Studi Kinetika Adsorpsi Metilen Biru

## *Encapsulated Eggshell-Based Adsorbents: Characterization and Kinetic Analysis of Methylene Blue Adsorption*

John Yoro Parlindungan<sup>\*1</sup>, Rusnadi<sup>2</sup>, Lamtiar Ferawaty Siregar<sup>1</sup>, Jesi Jecsen Pongkendek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Musamus, Jl. Kamizaun Mopah Lama, Merauke, 99611, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha, Bandung, 40312, Indonesia

\*Email: [parlindungan\\_fkip@unmus.ac.id](mailto:parlindungan_fkip@unmus.ac.id)

### Article history:

Diterima : 19 Agustus 2025  
Direvisi : 23 Januari 2026  
Disetujui : 27 Januari 2026  
Mulai online : 27 Maret 2026

E-ISSN: 2337-4888

### How to cite:

John Yoro Parlindungan, Rusnadi, Lamtiar Ferawaty Siregar, Jesi Jecsen Pongkendek. (2026). Pemanfaatan Cangkang Telur Terenkapsulasi sebagai Adsorben: Karakterisasi dan Studi Kinetika Adsorpsi Metilen Biru. Jurnal Teknik Kimia USU, 15(1), 21-29.

### ABSTRAK

Pemanfaatan serbuk cangkang telur sebagai adsorben memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal pemisahan setelah proses adsorpsi serta potensi penyumbatan ketika diterapkan pada sistem kolom. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan modifikasi melalui proses enkapsulasi, di mana serbuk cangkang telur diimobilisasi dalam matriks kalsium alginat guna membentuk struktur adsorben yang stabil. Penelitian ini mengkaji kinetika adsorpsi metilen biru (MB) menggunakan tiga jenis adsorben: kalsium alginat (CA), serbuk cangkang telur terenkapsulasi (CA-SCKT), dan serbuk cangkang telur tanpa enkapsulasi (SCKT). Analisis kinetika dilakukan menggunakan model orde satu semu dan orde dua semu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi pada semua jenis adsorben mengikuti model kinetika orde dua semu, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang lebih tinggi.

**Kata kunci:** metilen biru, adsorpsi, enkapsulasi, cangkang telur

### ABSTRACT

The utilization of eggshell powder as an adsorbent presents certain limitations, particularly in terms of post-adsorption separation and the potential for clogging in column applications. To address these challenges, encapsulation was employed as a modification technique, wherein the eggshell powder was immobilized within a calcium alginate matrix to form a stable adsorbent structure. This study investigated the adsorption kinetics of methylene blue (MB) using three types of adsorbents: calcium alginate (CA), encapsulated eggshell powder (CA-SCKT), and unencapsulated eggshell powder (SCKT). Kinetic analysis was conducted using pseudo-first-order and pseudo-second-order models. The results indicated that the adsorption process for all adsorbents followed the pseudo-second-order kinetic model, as evidenced by higher correlation coefficient ( $R^2$ ) values.

**Keyword:** methylene blue, adsorption, encapsulation, eggshell



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.  
<https://doi.org/10.32734/jtk.v15i1.22507>

## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan serbuk cangkang telur (SCKT) sebagai bahan adsorben untuk menghilangkan zat warna tekstil, seperti metilen biru, telah menjadi fokus penelitian yang menjanjikan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik kimia dan fisik cangkang telur yang memungkinkan transformasi limbah organik menjadi material fungsional bernilai tambah. Kandungan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang tinggi pada cangkang telur diketahui berperan penting dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap ion dan molekul zat warna,

melalui mekanisme pertukaran ion dan interaksi elektrostatik yang kuat [1]. Selain itu, morfologi berpori dari struktur cangkang telur berkontribusi terhadap luas permukaan spesifik yang besar, yang mendukung efisiensi adsorpsi zat warna terlarut [2].

SCKT terdiri dari senyawa anorganik ( $\text{CaCO}_3$ ) dan komponen protein yang memperkuat potensinya sebagai biosorben dalam pengolahan air limbah tekstil. Proses perlakuan awal seperti pengeringan, penggilingan, dan aktivasi termal telah terbukti dapat meningkatkan performa adsorptif SCKT. Aktivasi termal, khususnya melalui pemanggangan, mampu memperbesar jumlah situs aktif pada permukaan material, sehingga memperkuat afinitas terhadap molekul metilen biru dan zat warna lain yang bermuatan negatif.

Penelitian yang dilakukan oleh Rápó dkk., (2020) menunjukkan bahwa limbah cangkang telur memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi zat warna, seperti *Remazol Brilliant Violet-5R*, dari larutan air. Temuan ini memperkuat gagasan bahwa SCKT dapat dioptimalkan sebagai biosorben alternatif dalam pengolahan limbah cair. Namun, efektivitas adsorpsi SCKT sangat dipengaruhi oleh sejumlah parameter operasional, termasuk pH, suhu, waktu kontak, dan konsentrasi awal zat warna.

Interaksi antara permukaan SCKT dan molekul zat warna melibatkan berbagai mekanisme fisik dan kimia, seperti gaya elektrostatik, ikatan van der Waals, serta interaksi ionik. Mekanisme ini berkontribusi terhadap proses adsorpsi yang kompleks, terutama dalam kondisi lingkungan tertentu [3,4]. Oleh karena itu, optimalisasi kondisi operasi sangat diperlukan untuk mencapai efisiensi proses yang maksimal, serta untuk memastikan bahwa pendekatan ini layak diterapkan secara ekonomis dan berkelanjutan [5].

Beberapa studi juga melaporkan bahwa variabel seperti suhu, waktu kontak, dan konsentrasi awal zat warna memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi adsorpsi. Pengaruh waktu kontak sangat signifikan dalam proses adsorpsi, karena setiap adsorpsi memerlukan waktu untuk memungkinkan interaksi antara bahan adsorben dan zat warna. Penelitian Haris dan Maghfiroh (2019) menunjukkan bahwa perubahan waktu kontak dari 30 hingga 150 menit memberikan variasi yang besar dalam efisiensi adsorpsi [6]. Waktu kontak yang terlalu pendek mungkin tidak memberikan cukup waktu bagi zat warna untuk terikat pada permukaan adsorben, sementara waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan fenomena kejenuhan di mana adsorben tidak dapat menyerap zat warna lebih lanjut.

Dari segi konsentrasi awal zat warna, para peneliti mencatat bahwa variasi konsentrasi mempengaruhi kapasitas adsorpsi SCKT. Pada tingkat konsentrasi yang tinggi, jumlah situs aktif pada permukaan adsorben tidak cukup untuk menyerap semua molekul zat warna, menyebabkan penurunan efisiensi adsorpsi. Sebaliknya, pada konsentrasi awal yang lebih rendah, lebih banyak situs aktif yang tersedia untuk adsorpsi, yang berkontribusi terhadap peningkatan penghilangan zat warna dari larutan [7].

Model isoterm adsorpsi seperti Langmuir dan Freundlich dapat digunakan untuk memahami perilaku adsorpsi dan membantu mengoptimalkan kondisi proses adsorpsi. Model Langmuir berasumsi bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan homogen dengan situs aktif yang seragam, dan dapat memberikan wawasan mengenai kapasitas maksimum adsorpsi SCKT terhadap zat warna yang diuji. Di sisi lain, model Freundlich yang lebih kompleks dapat digunakan untuk menggambarkan adsorpsi heterogen yang terjadi pada permukaan SCKT [8].

Hasil dari penelitian Oko dkk., (2022) menunjukkan bahwa penggunaan SCKT sebagai adsorben untuk metilen biru menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Dalam percobaan mereka, efisiensi adsorpsi mencapai 99,9861% setelah 60 menit waktu kontak pada konsentrasi awal 100 ppm. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya optimalisasi parameter seperti suhu, waktu kontak, dan konsentrasi dalam meningkatkan efektivitas SCKT sebagai adsorben untuk zat warna tekstil [9].

Berdasarkan beberapa hasil penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa SCKT memiliki potensi yang besar sebagai adsorben limbah tekstil, dengan beberapa keterbatasan, terutama dalam hal pemisahan setelah proses adsorpsi serta potensi penyumbatan ketika diterapkan pada sistem kolom. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan modifikasi melalui proses enkapsulasi, di mana serbuk cangkang telur diimobilisasi dalam matriks kalsium alginat. Alginat memiliki kemampuan untuk membentuk hidrogel ketika dikombinasikan dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$ , yang menjadikannya pilihan ideal untuk dienkapsulasi dengan bahan adsorben lainnya [10]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa *beads* berbasis alginat dapat memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, terutama dengan tambahan material seperti karbon aktif dari sumber alami [11].

Penelitian oleh Zouboulis dan Katsoyiannis menunjukkan bahwa adsorben dari alginat, terutama yang terisi dengan bahan aktif, memiliki efektivitas yang lebih baik dalam mengadsorpsi arsenik dari air [12]. Dalam pengembangan ini, keberadaan kalsium alginat tidak hanya membantu mendukung adsorben, tetapi juga meningkatkan interaksi ionik yang diperlukan untuk menangkap kontaminan dari air. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi serta membandingkan model kinetika adsorpsi antara kalsium alginat (CA), SCKT tanpa enkapsulasi, dan SCKT terenkapsulasi (CA-SCKT).

## 2. Metode

### Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam sintesis adsorben meliputi natrium alginat (Sigma-Aldrich, Cat. No. W201502, kalsium klorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Merck, Cat. No. 102382), serbuk cangkang telur, metilen biru (Merck, Cat. No. 105281), HCl 25% (Merck, Cat. No. 100317), NaOH (Merck, Cat. No. 106462), dan  $\text{HNO}_3$  65% (Merck, Cat. No. 100456). Air akuades digunakan untuk pencucian dan pembilasan pada berbagai tahapan, serta sebagai pelarut utama dalam seluruh proses eksperimental.

Peralatan yang digunakan meliputi pH meter *Mettler Toledo Seven Compact*, spektrofotometer UV-Vis Agilent 8453, SEM *Hitachi SU3500*, FTIR *Shimadzu Prestige 21* dan shaker *OVAN OMIOE*.

### Persiapan Sampel

Cangkang telur dibersihkan dari membran bagian dalam, kemudian dicuci menggunakan akuades, dan dikeringkan. Setelah benar-benar kering, cangkang dihancurkan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 80 mesh. Serbuk cangkang telur yang telah diperoleh kemudian dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu 80–100°C selama 8 jam.

### Pembuatan Kalsium Alginat (*Ca-Alginate*)

Sebanyak 2 gram natrium alginat dilarutkan secara perlahan ke dalam 100 mL akuades panas ( $\pm 80^\circ\text{C}$ ) sambil diaduk menggunakan pengaduk magnetik hingga larut sempurna. Larutan natrium alginat kemudian diteteskan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2% menggunakan buret. Granul kalsium alginat (CA) yang terbentuk direndam selama  $\pm 24$  jam ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2%, kemudian disaring, dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2%, dan dikeringkan pada suhu ruang selama  $\pm 24$  jam.

### Enkapsulasi Serbuk Cangkang Telur

Sebanyak 0,2 gram natrium alginat dicampur dengan 2 gram serbuk cangkang telur, kemudian ditambahkan 100 mL air akuades yang telah dipanaskan hingga  $\pm 80^\circ\text{C}$  secara bertahap sambil diaduk hingga homogen. Campuran tersebut kemudian diteteskan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2% menggunakan buret. Granul hasil enkapsulasi (CA-SCKT) kemudian didiamkan selama 24 jam dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2%, lalu diangkat, dicuci dengan akuades, ditiriskan, dan dikeringkan pada suhu ruang selama  $\pm 24$  jam.

### Pembuatan Kurva Standar Metilen Biru

Larutan stok metilen biru (MB) 1000 ppm disiapkan dalam labu ukur 250 mL. Kemudian dibuat larutan standar dengan konsentrasi 1,5; 2; 3; 4; dan 5 ppm menggunakan larutan stok tersebut ke dalam masing-masing labu ukur 100 mL. Setiap larutan standar diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer sinar tampak (UV-Vis).

### Adsorpsi Metilen Biru

Kondisi dan prosedur adsorpsi metilen biru oleh kalsium alginat, serbuk cangkang telur (SCKT), dan serbuk cangkang telur yang dienkapsulasi (CA-SCKT) mengikuti metode yang dilaporkan oleh Parlindungan dkk., (2019) [13].

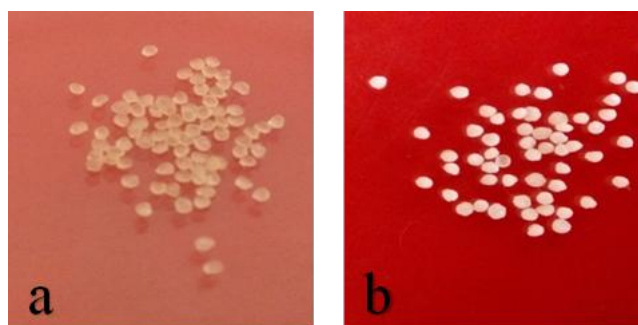
### Kinetika Adsorpsi

Studi kinetika adsorpsi metilen biru oleh adsorben SCKT, CA, dan CA-SCKT dilakukan menggunakan dua model kinetika, yaitu model orde satu semu dan orde dua semu, pada suhu 28°C.

## 3. Hasil dan Pembahasan

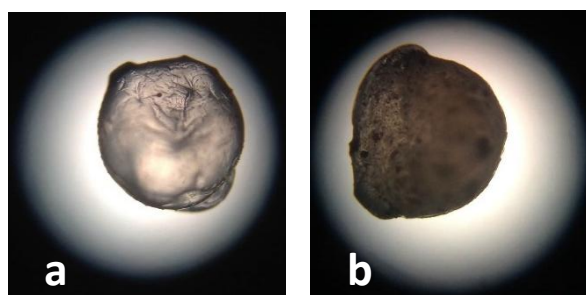
### Sintesis dan Karakterisasi Adsorben

Pada penelitian ini terdapat tiga adsorben yang digunakan, yaitu serbuk cangkang kulit telur (SCKT), kalsium alginat (CA), dan serbuk cangkang kulit telur yang terenkapsulasi dalam kalsium alginat (CA-SCKT). Pembuatan adsorben CA dilakukan dengan cara mengalirkan larutan natrium alginat 2 % (b/v) ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  2 % (b/v) menggunakan buret 50 ml tetes demi tetes sehingga dihasilkan butiran seperti manik-manik. Butiran-butiran ini dibiarkan terendam selama  $\pm 24$  jam, lalu diangkat dan dibersihkan dengan akuades, kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan selama  $\pm 24$  jam. Untuk adsorben CA-SCKT, pembuatan dilakukan dengan cara yang sama seperti CA, namun pada larutan natrium alginat ditambahkan serbuk cangkang kulit telur lalu diaduk hingga rata sebelum diteteskan ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Hasil dari sintesis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Granula CA dan (b) Granula CA-SCKT hasil sintesis.

Pada Gambar 1 dapat dilihat butiran adsorben CA dalam keadaan kering mempunyai warna bening dan CA-SCKT mempunyai warna putih. Hal ini disebabkan serbuk cangkang kulit telur telah menutupi atau menyebar rata pada kalsium alginat. Adsorben yang telah kering juga diamati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 40x. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat pada gambar mikrokapsul CA lebih bening bila dibandingkan dengan mikrokapsul CA-SCKT yang berwarna lebih gelap. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa permukaan kedua mikrokapsul terlihat bergelombang, namun pada granula CA-SCKT terlihat lebih kasar, yang menandakan serbuk menyebar sampai ke permukaan granula.

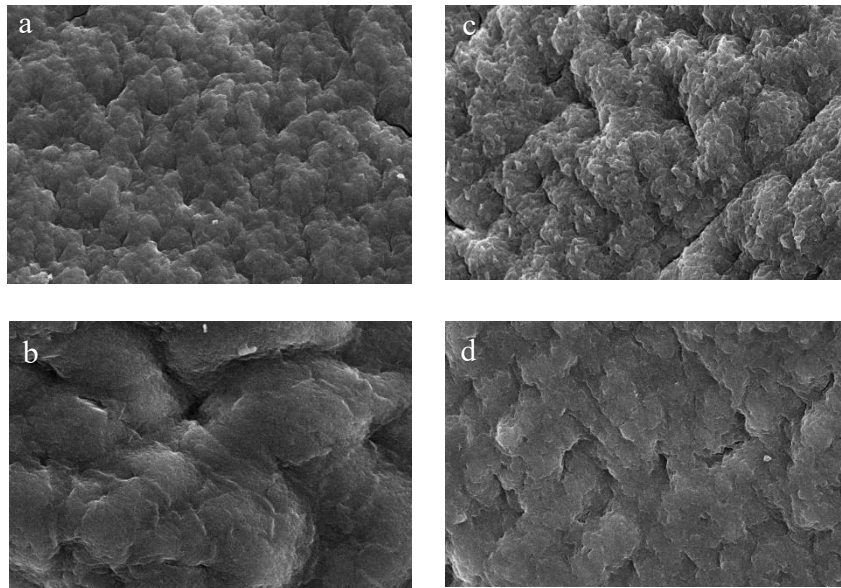


Gambar 2. Penampakan morfologi CA dan CA-SCKT menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 40 kali.

Pengamatan morfologi permukaan CA dan CA-SCKT sebelum serta sesudah adsorpsi berdasarkan uji SEM dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar dapat dilihat bahwa pada CA sebelum adsorpsi permukaan lebih halus dan terlihat pori yang cukup banyak. Alginat memiliki struktur unik yang mendukung pengikatan zat warna. Analisis SEM menunjukkan morfologi permukaan alginat yang berpori, yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi [14]. Penelitian oleh Mahmoodi (2011) menunjukkan bahwa alginat bersifat ramah lingkungan dan dapat digunakan untuk menghilangkan zat warna dari larutan, menegaskan bahwa morfologi permukaan berpengaruh signifikan terhadap kapasitas penyerapan [15]

Setelah mengalami adsorpsi, permukaan tampak ditutupi oleh lapisan yang lebih tebal dan jumlah pori kelihatan lebih sedikit karena telah tertutupi oleh metilen biru. Proses enkapsulasi alginat dapat memperbaiki karakteristik adsorpsi dengan menyediakan lingkungan yang lebih terkendali untuk interaksi dengan zat warna. Penelitian oleh Jayanudin menunjukkan bahwa variasi komposisi dalam proses enkapsulasi memiliki dampak signifikan pada efisiensi enkapsulasi dan karakterisasi morfologi permukaan menggunakan SEM [16]. Pada penelitian ini terlihat bahwa CA-SCKT memiliki permukaan yang lebih kasar dan jumlah pori yang lebih banyak. Hal ini bisa meningkatkan kapasitas adsorpsi dari CA. Setelah kontak dengan metilen biru terlihat bahwa permukaan tertutupi metilen biru yang bertumpuk-tumpuk dengan jumlah pori yang semakin sedikit. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian metilen biru menempel pada permukaan adsorben.

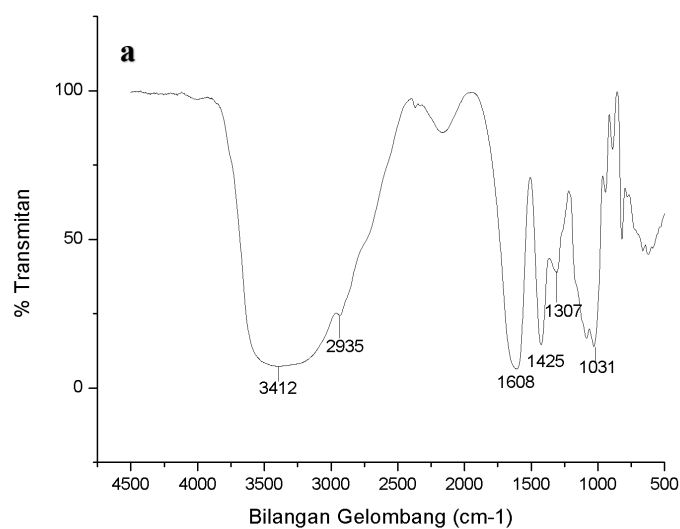
Menurut penelitian oleh Borah dkk., (2023) dan rekan-rekan, alginat terenkapsulasi dengan nanopartikel SnO<sub>2</sub> menunjukkan efisiensi tinggi dalam mengadsorpsi pewarna anionik dan kationik [10]. Ini menunjukkan potensi luar biasa dari sistem terenkapsulasi dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi. Selain itu, penelitian oleh Hermanto menunjukkan bahwa komposit beads dari aktifkan karbon, alginat, dan kitosan menunjukkan peningkatan kemampuan adsorpsi zat warna dibandingkan dengan alginat murni [17].

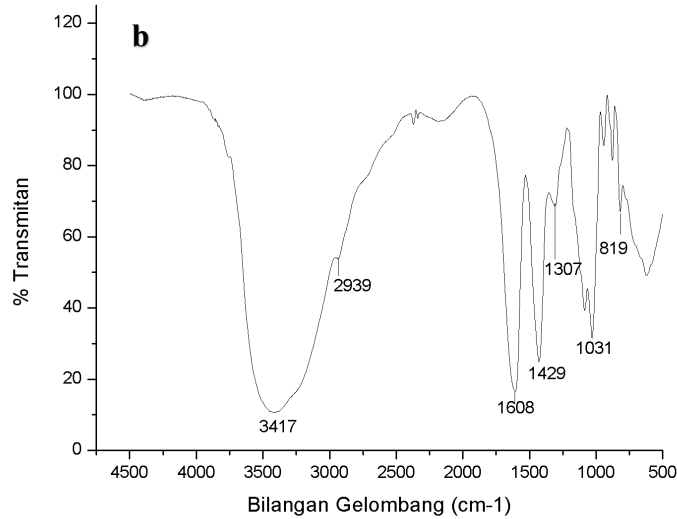


Gambar 3. Hasil SEM CA (a) sebelum, (b) setelah dan CA-SCKT (c) sebelum, (d) setelah kontak dengan metilen biru.

Adsorben CA dan CA-SCKT juga dikarakterisasi menggunakan FTIR. Berdasarkan hasil spektrum IR yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan gambar, terlihat bahwa puncak yang muncul adalah gugus hidroksil, O-H pada daerah  $3412\text{ cm}^{-1}$  pada CA dan  $3417\text{ cm}^{-1}$  pada CA-SCKT. Selain gugus O-H, muncul juga gugus C=O yang ditunjukkan pada daerah serapan  $1608\text{ cm}^{-1}$  baik pada CA maupun CA-SCKT. Adanya serapan yang muncul pada  $1030\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* gugus C-O [18]. Selain itu pada spektrum IR dari CA-SCKT muncul pita pada panjang gelombang  $891\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan ciri adanya karbonat dari cangkang kulit telur [19].

Penelitian yang dilakukan Hermanto dkk., (2024) menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (-OH) yang dapat berkontribusi pada interaksi adsorpsi dengan zat warna dan melaporkan bahwa pada pH yang lebih rendah, terdapat komponen negatif yang berinteraksi dengan ion kationik, dan keberadaan gugus hidroksil di permukaan adsorben sangat membantu dalam proses ini [17]. Hal ini diperkuat oleh penelitian oleh Kazemi, yang menunjukkan bahwa hidroksiapatit yang disintesis dari cangkang telur juga menunjukkan gugus fungsi yang relevan dalam adsorpsi zat warna kationik seperti metilen biru [20].





Gambar 4. Spektrum FTIR kalsium alginat (CA) (a) dan serbuk cangkang kulit telur terenkapsulasi (CA-SCKT) (b).

### Kinetika Adsorpsi

Pada penelitian ini digunakan dua model kinetika adsorpsi: orde satu semu dan orde dua semu. Bentuk *linear* persamaan laju dari orde satu semu dapat ditulis sebagai berikut :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (1)$$

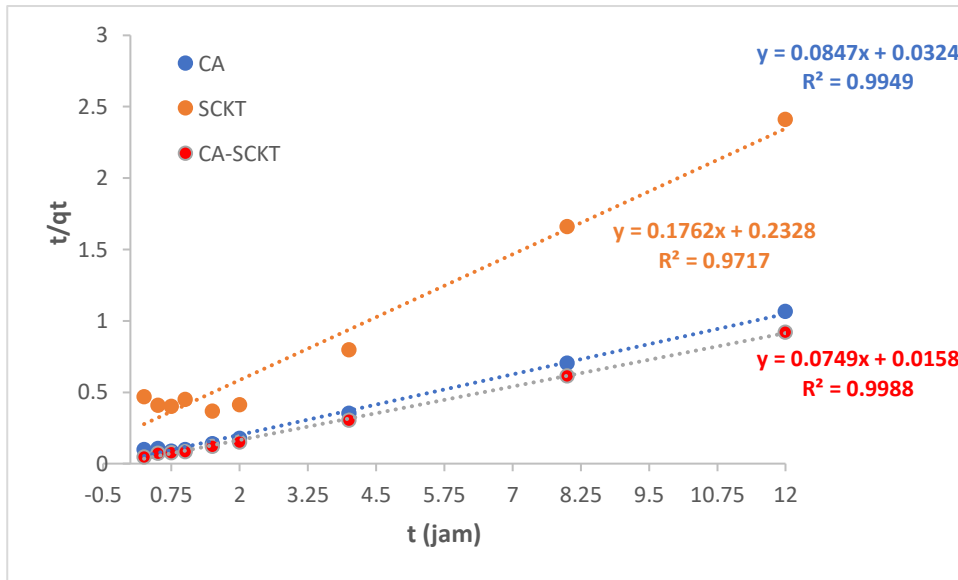
dimana:  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g),  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada saat  $t$  (mg/g),  $k^1$  adalah tetapan laju reaksi orde satu semu ( $\text{jam}^{-1}$ ), dan  $t$  adalah waktu kontak (jam).

Kurva linier antara  $\log(q_e - q_t)$  terhadap  $t$  diplot berdasarkan hasil eksperimen, kemudian ditentukan nilai  $q_e$  dan  $k^1$  dengan melihat nilai perpotongan dan kemiringan dari persamaan liniernya. Kinetika adsorpsi orde satu semu menjelaskan model kinetika adsorpsi pada sistem padat-cair berdasarkan kapasitas adsorpsi dari fasa padat yang diasumsikan bahwa satu adsorbat teradsorpsi pada satu sisi aktif adsorpsi pada permukaan adsorben. Sedangkan bentuk linier dari persamaan laju orde dua semu dituliskan sebagai berikut :

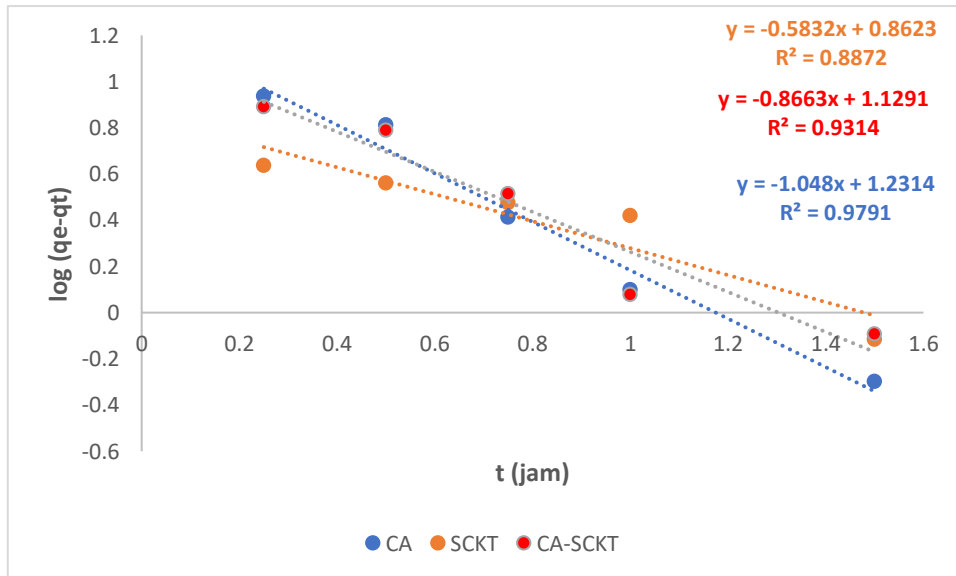
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

$q_e$  merupakan kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g),  $q_t$  adalah kapasitas adsorpsi pada saat  $t$  (mg/g),  $k^2$  adalah tetapan laju reaksi orde dua semu ( $\text{g/mg jam}$ ), dan  $t$  adalah waktu kontak (jam). Kurva linier antara  $t/q_t$  terhadap  $t$  dibuat berdasarkan hasil eksperimen, kemudian ditentukan nilai  $q_e$  dan  $k^2$  dengan melihat nilai kemiringan dan perpotongan dari persamaan liniernya. Kinetika adsorpsi orde dua semu menjelaskan model kinetika adsorpsi yang diasumsikan bahwa satu adsorbat teradsorpsi pada dua sisi aktif adsorpsi pada permukaan adsorben.

Kinetika adsorpsi zat warna metilen biru yang teradsorpsi oleh adsorben CA, CA-SCKT hasil sintesis, dan SCKT dipelajari dengan menggunakan dua model kinetika, yakni kinetika adsorpsi orde satu semu dan orde dua semu. Pemodelan keduanya dapat dilihat pada Gambar 5 serta Gambar 6.



Gambar 5. Model kinetika orde satu semu untuk adsorpsi metilen biru.



Gambar 6. Model kinetika orde dua semu untuk adsorpsi metilen biru.

Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang lebih mendekati satu, maka zat warna metilen biru oleh CA, CA-SCKT, dan SCKT mengikuti model kinetika orde dua semu. Hal yang sama juga diperoleh Mirzaei dkk., (2019) menggunakan alginat untuk mengadsorpsi MB; Thomason, (2011) yang mengadsorpsi MB menggunakan sekam padi yang dienkapsulasi dalam kasiium alginat, serta adsorpsi MB menggunakan Sabut Kelapa yang dilakukan Bhaumik (2019) [21].

Model kinetika orde dua semu mengasumsikan proses adsorpsi terjadi secara kimia, dimana satu adsorbat yaitu MB, terikat pada dua sisi aktif adsorben. Hal ini juga menunjukkan bahwa kontak antara zat warna dan adsorben secara cepat terjadi karena berada di tingkat permukaan molekuler. Nilai konstanta laju masing-masing model kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan CA, CA-SCKT, dan SCKT dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta laju kinetika adsorpsi Metilen Biru.

Adsorben	Orde Satu Semu		Orde Dua Semu	
	$k_1$	$R^2$	$k_2$	$R^2$
CA	2,413	0,972	0,221	0,995
SCKT	1,343	0,887	0,133	0,972
CA-SCKT	1,995	0,931	0,355	0,998

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini terdapat tiga adsorben yang digunakan, yaitu serbuk cangkang kulit telur (SCKT), kalsium alginat (CA), dan serbuk cangkang kulit telur yang terenkapsulasi dalam kalsium alginat (CA-SCKT). Dari hasil sintesis didapatkan bahwa SCKT berhasil dienkapsulasi pada alginat, dibuktikan dengan menyebarnya secara merata SCKT pada butiran alginat. Selain itu, hasil FTIR menunjukkan puncak-puncak yang menunjukkan adanya SCKT dalam kapsul alginat. Proses adsorpsi metilen biru oleh ketiga adsorben mengikuti model kinetika orde dua semu.

#### 5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini

#### Daftar Pustaka

- [1] E. Rápó, L. E. Aradi, Á. Szabó, K. Posta, R. Szép, dan S. Tonk, “Adsorption of remazol brilliant violet-5r textile dye from aqueous solutions by using eggshell waste biosorbent,” *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, hal. 8385, 2020.
- [2] S. Ben Salah, A. Attia, R. Ben Amar, dan M. Héran, “eggshell waste as a sustainable adsorbent for effective removal of direct dyes from textile wastewater,” *Chemistryselect*, vol. 10, no. 16, hal. e202500149, 2025.
- [3] M. Y. Chou, T. A. Lee, Y. S. Lin, S. Y. Hsu, M. F. Wang, P. H. Li, P. H. Huang, W. C. Lu, dan J. H. Jo, “On the removal efficiency of copper ions in wastewater using calcined waste eggshells as natural adsorbents,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, hal. 437, 2023.
- [4] R. Dadashi, M. Bahram, K. Farhadi, Z. Asadzadeh, dan J. Hafezirad, “Photodecoration of tungsten oxide nanoparticles onto eggshell as an ultra-fast adsorbent for removal of MB dye pollutant,” *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, hal. 14478, 2024.
- [5] X. Wang, J. Jiang, dan W. Gao, “Reviewing textile wastewater produced by industries: characteristics, environmental impacts, and treatment strategies,” *Water Sci. Technol.*, vol. 85, no. 7, hal. 2076–2096, 2022.
- [6] M. N. Haris dan M. Maghfiroh, “Efektivitas adsorpsi zat warna yellow disperse oleh limbah cangkang kerang simping dengan pendekatan isoterm adsorpsi,” *J. Penelit. Inov.*, vol. 4, no. 4, hal. 2309–2316, 2024.
- [7] S. Suliesyah dan A. D. Astuti, “Optimasi aktivator  $ZnCl_2$  dalam pembuatan karbon aktif dari batubara dan pengujian karbon aktif sebagai adsorben,” *J. Penelit. Dan Karya Ilm. Lemb. Penelit. Univ. Trisakti*, vol. 6, no. 2, hal. 191–201, 2021.
- [8] H. Amelia, R. Fitria, dan S. Sunardi, “Kajian isoterm adsorpsi metilen biru pada biochar kulit sagu (*metroxylon sagu*),” *Justek J. Sains Dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, hal. 135–142, 2023.
- [9] S. Oko, A. Kurniawan, dan D. Angreni, “Pengaruh massa adsorben blending cao dari cangkang telur dan karbon teraktivasi untuk adsorpsi zat warna methylene blue,” *Metana*, vol. 18, no. 2, hal. 99–104, 2022.
- [10] S. J. Borah, A. Gupta, K. K. Dubey, dan V. Kumar, “Fabrication of highly efficient encapsulated  $SnO_2@alginate$  beads as regenerative nanosorbents for anionic dye pollutants removal from aqueous solution,” *Mater. Adv.*, vol. 4, no. 21, hal. 5160–5174, 2023.
- [11] A. Benettayeb, S. Ghosh, M. Usman, F. Z. Seihoub, I. Sohoo, C. H. Chia, dan M. Sillanpää, “Some well-known alginate and chitosan modifications used in adsorption: a review,” *Water*, vol. 14, no. 9, hal. 1353, 2022.
- [12] A. I. Zouboulis dan I. A. Katsoyiannis, “Arsenic removal using iron oxide loaded alginate beads,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 41, no. 24, hal. 6149–6155, 2002.
- [13] J. Y. Parlindungan, J. J. Pongkendek, S. Wairara, dan N. Abdullah, “Encapsulation powder skin duck eggshells on alginate as adsorbent methylene blue,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 343, no. 1, hal. 1–6, 2019.

- [14] M. A. Sabino, O. Sereno, dan F. L. Dantas, “Morphology study of alginate micro/nano particles for the encapsulation of divalents  $Mg^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  ions,” *Int. J. Adv. Med. Biotechnol. - Ijamb*, vol. 1, no. 1, hal. 22–30, 2018.
- [15] N. M. Mahmoodi, “Equilibrium, kinetics, and thermodynamics of dye removal using alginate in binary systems,” *J. Chem. Eng. Data*, vol. 56, no. 6, hal. 2802–2811, 2011.
- [16] J. Jayanudin, R. Rochmadi, M. K. Renaldi, dan P. Pangihutan, “The influence of coating material difference against encapsulation efficiency of red ginger oleoresin,” *Alchemy J. Penelit. Kim.*, vol. 13, no. 2, hal. 274, 2017.
- [17] D. Hermanto *et al.*, “Facile synthesis of activated carbon/alginate/chitosan composite beads as rhemazole brilliant blue r adsorbent,” *Indones. Phys. Rev.*, vol. 7, no. 3, hal. 480–495, 2024.
- [18] H. Daemi dan M. Barikani, “Synthesis and characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopolymannuronate salt and its calcium nanoparticles,” *Sci. Iran.*, vol. 19, no. 6, hal. 2023–2028, 2012.
- [19] A. Mittal, M. Teotia, R. K. Soni, dan J. Mittal, “Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: a review,” *J. Mol. Liq.*, vol. 223, no. 1, hal. 376–387, 2016.
- [20] H. Roohollahi, H. Zeinalzadeh, dan H. Kazemian, “Recent advances in adsorption and separation of methane and carbon dioxide greenhouse gases using metal-organic framework-based composites,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 61, no. 30, hal. 10555–10586, 2022.
- [21] A. B. Baunsele dan H. Missa, “Kajian kinetika adsorpsi metilen biru menggunakan adsorben sabut kelapa,” *Akta Kim. Indones.*, vol. 5, no. 2, hal. 76, 2020.