

UJI KINERJA CANGKANG TELUR SEBAGAI ADSORBEN DALAM PROSES ADSORPSI

¹Noorma Kurnyawaty, ¹Wahyudi, ¹Najwa Putri Nabillah*

¹Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

*Penulis korespondensi: najwanabillah03@gmail.com

Abstrak. Cangkang telur ayam merupakan limbah organik yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dalam jumlah tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis kalsium oksida (CaO). Senyawa CaO memiliki kemampuan untuk berfungsi sebagai adsorben dalam penyerapan zat warna berbahaya seperti methylene blue. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap efisiensi adsorpsi methylene blue menggunakan adsorben CaO hasil sintesis dari cangkang telur melalui metode presipitasi. Proses sintesis dilakukan dengan melarutkan cangkang telur dalam larutan HCl , diikuti dengan presipitasi menggunakan NaOH , serta tahap kalsinasi pada suhu 600°C untuk memperoleh CaO . Proses adsorpsi dilakukan dengan menambahkan 0,1 g adsorben ke dalam 25 mL larutan methylene blue 10 ppm pada pH netral selama 15 menit, dengan variasi kecepatan pengadukan 75–200 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh signifikan terhadap kinerja adsorpsi, di mana efisiensi tertinggi sebesar 81,96% diperoleh pada kecepatan 175 rpm. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan ukuran partikel berada pada rentang 271–390 nm, sedangkan analisis EDS mengidentifikasi unsur utama Ca (17,36%), O (33,01%), dan C (49,64%). Puncak serapan pada 515 cm^{-1} pada spektrum FTIR menandakan adanya ikatan Ca–O. Berdasarkan analisis isoterm, model Freundlich menunjukkan kesesuaian terbaik ($R^2 = 0,97$), yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara fisis melalui mekanisme multilayer.

Kata kunci: adsorpsi, cangkang telur, kalsium oksida (CaO), *methylene blue*.

Abstract. Eggshells, which are primarily composed of calcium carbonate (CaCO_3), can be utilized as a potential raw material for the synthesis of calcium oxide (CaO). Calcium oxide (CaO) demonstrates promising adsorption capability for removing hazardous dyes such as methylene blue. This study aims to examine the effect of stirring speed variation on the adsorption efficiency of methylene blue using eggshell-derived CaO synthesized via the precipitation method. The synthesis involved dissolving eggshells in HCl , followed by precipitation using NaOH and calcination at 600°C to produce CaO . The adsorption process was conducted by adding 0.1 g of CaO adsorbent into 25 mL of 10 ppm methylene blue solution at pH 7 for 15 minutes under varying stirring speeds (75–200 rpm). The results indicated that stirring speed strongly influenced adsorption efficiency, with the highest efficiency (81.96%) achieved at 175 rpm. SEM analysis revealed particle sizes of 271–390 nm, and EDS detected Ca (17.36%), O (33.01%), and C (49.64%) as the dominant elements. The FTIR spectrum displayed a characteristic Ca–O band at 515 cm^{-1} . Freundlich isotherm provided the best fit ($R^2 = 0.97$), suggesting that the adsorption mechanism is physical and occurs through a multilayer process.

Keywords: adsorption, calcium oxide (CaO), eggshell, *methylene blue*.

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan masih menjadi permasalahan utama yang dihadapi berbagai sektor industri. Salah satu sumber pencemaran yang sering dijumpai berasal dari limbah zat warna sintetik yang dibuang ke badan air. Pewarna ini bersifat stabil dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Salah satu zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, dan farmasi adalah *methylene blue*, yaitu zat warna kationik

golongan thiazine yang memiliki kestabilan tinggi serta toksisitas terhadap organisme akuatik.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghilangkan polutan warna dari air limbah, di antaranya adalah osmosis balik, oksidasi kimia, fotodegradasi, elektrokoagulasi, dan adsorpsi. Dari berbagai teknik tersebut, adsorpsi menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan karena biayanya relatif rendah, prosedurnya sederhana, serta menghasilkan limbah sekunder yang minimal. Selain itu, metode ini bersifat ramah lingkungan, efisien, dan tidak memerlukan bahan kimia berbahaya (Athirah, Amin dan Dani, 2023).

Adsorpsi merupakan proses akumulasi molekul dari suatu zat (adsorbat) pada permukaan zat padat (adsorben) akibat adanya gaya tarik antarmolekul. Berdasarkan sifat interaksi yang terjadi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Perbedaan keduanya terletak pada kekuatan ikatan yang terbentuk, homogenitas permukaan, energi adsorpsi, serta sifat reversibilitasnya (Ningrum dkk., 2025).

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan bahan alam atau limbah organik sebagai bioadsorben semakin berkembang pesat. Salah satu limbah yang melimpah jumlahnya namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah cangkang telur. Limbah ini banyak dihasilkan dari rumah tangga, restoran, dan industri makanan. Cangkang telur merupakan bahan padat berwarna putih yang tersusun oleh kristal kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 95–98% (Hajar dkk., 2016). Apabila tidak diolah, limbah tersebut dapat menimbulkan masalah lingkungan karena membutuhkan waktu lama untuk terurai.

Kandungan kalsium karbonat yang tinggi menjadikan cangkang telur berpotensi besar sebagai bahan dasar pembuatan kalsium oksida (CaO). Selama ini karbon aktif sering digunakan sebagai adsorben konvensional, namun penggunaannya relatif mahal dan tidak selalu ramah lingkungan. Sebaliknya, CaO hasil sintesis dari cangkang telur dapat menjadi alternatif adsorben yang ekonomis, mudah diperoleh, serta memiliki luas permukaan aktif yang besar. Selain itu, CaO dikenal memiliki sifat basa kuat dan reaktivitas tinggi yang mendukung kinerjanya dalam proses adsorpsi (Habte dkk., 2019).

Sintesis CaO dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti pemanasan langsung (kalsinasi), gelombang mikro, sol-gel, atau presipitasi. Dalam penelitian ini digunakan metode presipitasi karena teknik ini sederhana, membutuhkan energi dan suhu relatif rendah, serta tidak memerlukan peralatan kompleks. Selain itu, metode ini memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap ukuran partikel dan morfologi hasil sintesis (Sunardi, Krismawati, dan Mahayana, 2020). Produk CaO yang dihasilkan dengan metode presipitasi umumnya memiliki ukuran partikel lebih kecil dan luas permukaan lebih besar dibandingkan dengan metode pemanasan langsung, karena pertumbuhan kristal dapat dikendalikan selama proses pengendapan.

Kinerja adsorpsi tidak hanya ditentukan oleh sifat fisikokimia adsorben, tetapi juga oleh parameter proses seperti pH, konsentrasi larutan, waktu kontak, temperatur, dan kecepatan pengadukan. Kecepatan pengadukan merupakan faktor penting karena berpengaruh terhadap laju perpindahan massa antara adsorbat dan adsorben. Jika pengadukan terlalu lambat, proses penyerapan berjalan lambat karena terbatasnya kontak permukaan, sedangkan jika terlalu cepat, dapat terjadi desorpsi akibat gangguan pada permukaan adsorben (Benkhaya, Rabet, dan Harfi, 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh variasi kecepatan pengadukan terhadap efisiensi adsorpsi *methylene blue* menggunakan adsorben CaO hasil sintesis dari limbah cangkang telur ayam. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemanfaatan limbah organik menjadi bahan bernilai tambah serta berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah berbasis material ramah lingkungan.

2. Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang telur ayam yang diperoleh dari pedagang nasi goreng di Jalan Cipto Mangunkusumo, Kecamatan Samarinda Seberang. Bahan kimia yang digunakan meliputi larutan HCl 2N, NaOH 3N, zat warna *methylene blue*, aquadest, serta indikator universal. Semua bahan kimia memiliki tingkat kemurnian analitik. Sementara, peralatan utama yang digunakan antara lain neraca analitik, oven, ayakan berukuran 100 dan 120 mesh, hotplate, *magnetic stirrer*, cawan petri, kaca arloji, termometer, gelas kimia, erlenmeyer, corong kaca, mortar, dan furnace. Instrumen karakterisasi yang digunakan meliputi spektrofotometer UV-Vis, Fourier Transform Infrared (FTIR), serta Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM–EDS).

2.1 Preparasi Cangkang Telur

Cangkang telur terlebih dahulu dicuci hingga bersih dari sisa membran organik, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Setelah kering, cangkang dihancurkan menggunakan mortar hingga menjadi serbuk halus dan diayak menggunakan ayakan berukuran –100 +120 mesh. Proses ini dilakukan untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam dan meningkatkan efisiensi pada tahap sintesis berikutnya (Sunardi, Krismawati, dan Mahayana, 2020).

2.2 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Sebanyak 12,5 gram serbuk cangkang telur dilarutkan dalam 250 mL larutan HCl 2N pada suhu 90°C selama 2 jam untuk melarutkan kalsium karbonat menjadi kalsium klorida (CaCl₂). Hasil larutan kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dari residu padat. Selanjutnya, larutan CaCl₂ ditambahkan secara perlahan dengan 250 mL larutan NaOH 3N sambil diaduk hingga terbentuk endapan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂). Campuran dibiarkan hingga endapan mengendap sempurna, lalu dipisahkan melalui dekantasi dan penyaringan.

Endapan Ca(OH)₂ yang diperoleh dicuci menggunakan aquadest hingga pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C sampai beratnya konstan. Hasil kering dikalsinasi dalam furnace pada suhu 600°C selama 1 jam untuk mengubah Ca(OH)₂ menjadi kalsium oksida (CaO). Proses kalsinasi ini berfungsi untuk melepaskan komponen volatil seperti air dan karbon dioksida, sehingga menghasilkan fase oksida yang stabil (Sunardi, Krismawati, dan Mahayana, 2020).

2.3 Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue

Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm disiapkan pada pH netral (pH 7). Sebanyak 0,1 gram adsorben CaO hasil sintesis ditambahkan ke dalam 25 mL larutan *methylene blue*. Proses adsorpsi dilakukan selama 15 menit menggunakan variasi

kecepatan pengadukan 75, 100, 125, 150, 175, dan 200 rpm. Setelah proses selesai, larutan disaring, dan filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur konsentrasi zat warna yang tersisa (Hevira dan Gampito, 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sintesis Kalsium Oksida (CaO)

Adsorben kalsium oksida (CaO) disintesis dari cangkang telur melalui metode presipitasi. Proses ini dilakukan dengan melarutkan bahan yang mengandung kalsium ke dalam pelarut asam, kemudian menambahkan larutan basa sebagai pengendap (*anti-solvent*) sesuai dengan prinsip yang dijelaskan oleh Sunardi, Krismawati, dan Mahayana (2020). Canggang telur yang telah dibersihkan dikeringkan, kemudian digiling hingga berbentuk serbuk halus dan diayak menggunakan saringan berukuran -100 +120 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam.

Tahapan utama sintesis meliputi empat langkah: (1) pelarutan komponen kalsium dari cangkang telur menggunakan larutan HCl, (2) presipitasi menggunakan larutan NaOH, (3) pencucian endapan dengan aquadest hingga mencapai kondisi netral, dan (4) pengeringan serta kalsinasi endapan kalsium hidroksida $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$.

Selama proses pelarutan, kalsium karbonat (CaCO_3) yang terkandung dalam cangkang telur bereaksi dengan HCl menghasilkan kalsium klorida (CaCl_2). Selanjutnya, CaCl_2 yang terbentuk diendapkan dengan larutan NaOH, menghasilkan endapan kalsium hidroksida $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ dan produk samping berupa natrium klorida (NaCl). Garam yang terbentuk kemudian dipisahkan melalui pencucian menggunakan aquadest untuk menghilangkan sisa ion yang tidak diinginkan (Sunardi, Krismawati, dan Mahayana, 2020).

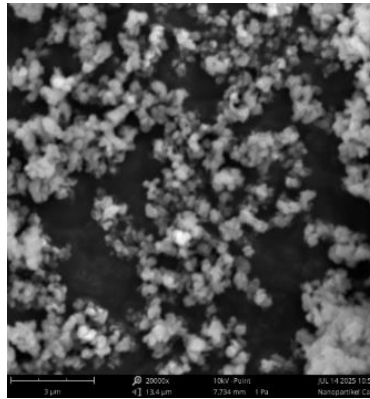
Endapan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan dikeringkan pada suhu 100°C hingga massa konstan, kemudian dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 600°C selama 1 jam untuk mengubahnya menjadi kalsium oksida (CaO). Tahap kalsinasi berfungsi untuk menghilangkan komponen volatil seperti air dan karbon dioksida, sehingga menghasilkan senyawa oksida yang lebih stabil secara termal. Proses ini juga membantu menguraikan senyawa hidroksida atau karbonat yang masih tersisa (Hairunisa, Shofiyani, dan Syahbanu, 2019).

Hasil kalsinasi menunjukkan bahwa sebagian kecil $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 masih dapat terdeteksi akibat reaksi yang tidak sempurna. Hal ini diperkuat oleh data EDS pada Tabel 1 yang memperlihatkan kandungan unsur C sebesar 49,64% dan O sebesar 33,01%. CaO bersifat higroskopis dan mudah bereaksi dengan uap air serta karbon dioksida di udara, menghasilkan kembali $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 melalui reaksi hidrasi dan karbonasi. Transformasi fasa ini dapat mengubah morfologi dan sifat permukaan adsorben, yang pada akhirnya memengaruhi mekanisme dan model adsorpsi yang berlangsung.

3.2 Analisa SEM-EDX Kalsium Oksida (CaO)

Analisis *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-ray* (SEM–EDS) dilakukan untuk mengamati bentuk morfologi serta komposisi unsur yang terkandung dalam serbuk kalsium oksida (CaO) hasil sintesis. Citra hasil pengamatan SEM dengan perbesaran $20.000\times$ dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil observasi, morfologi partikel CaO menunjukkan bentuk yang cenderung sferis dengan sebaran ukuran yang tidak seragam, berkisar antara 271 hingga 390 nm. Distribusi ukuran partikel diperoleh menggunakan

perangkat lunak **Image-J** melalui proses *thresholding*, sehingga diperoleh nilai diameter partikel secara akurat. Partikel-partikel CaO tampak saling beragregasi, yang menunjukkan bahwa material memiliki karakteristik polikristalin (Sunardi, Krismawati, & Mahayana, 2020).

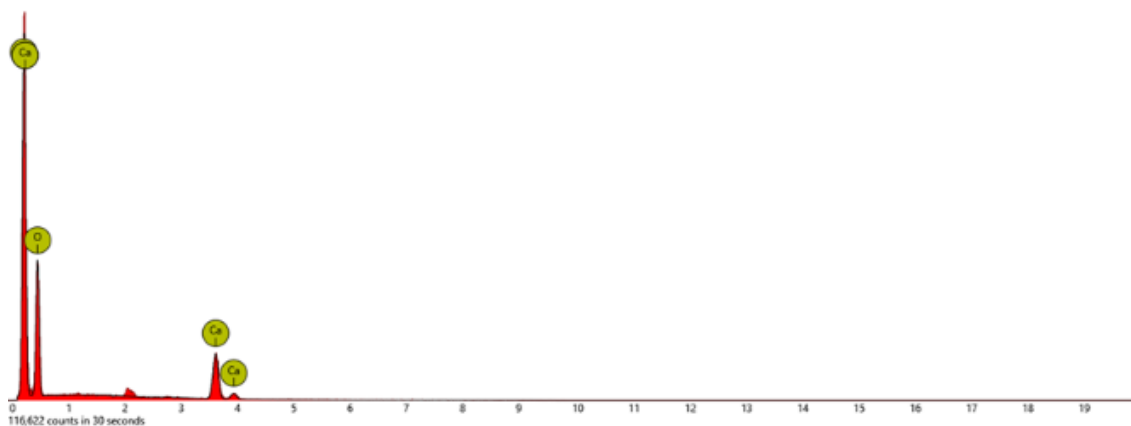


Gambar 1. Hasil Analisa SEM perbesaran 20.000x

Perbedaan ukuran partikel dipengaruhi oleh laju pengadukan saat proses presipitasi, terutama ketika penambahan larutan NaOH ke dalam filtrat CaCl_2 . Pada penelitian ini, CaO yang dihasilkan dari limbah cangkang telur melalui metode presipitasi belum dapat digolongkan sebagai nanopartikel karena ukuran partikel masih melebihi rentang standar ISO 80004-1:2023, yaitu 1–100 nm (ISO, 2023).

Hasil ini berbeda dengan penelitian Sunardi, Krismawati, dan Mahayana (2020) yang melaporkan ukuran partikel CaO sebesar $12,42 \pm 0,14$ nm dengan kondisi proses yang lebih terkendali. Namun, ukuran partikel yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki kesamaan dengan studi yang dilakukan oleh Anggelina dkk. (2024), di mana kisaran ukuran berada pada 200–500 nm. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh faktor termal selama tahap kalsinasi dan kondisi pengadukan yang memengaruhi pertumbuhan kristal. Walaupun ukuran partikel belum mencapai skala nano, produk CaO tetap dikategorikan sebagai hasil sintesis berbasis presipitasi karena diperoleh melalui proses pengendapan kimia yang terkontrol.

Hasil analisa EDS kalsium oksida (CaO) ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 1.



Gambar 2. Hasil Analisa EDS Kalsium Oksida (CaO)

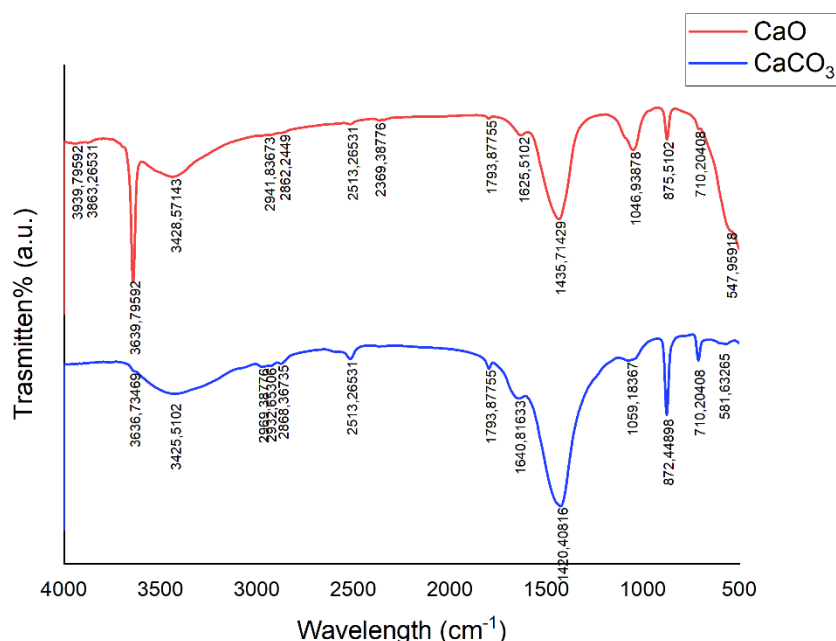
Tabel 1. Distribusi Unsur Kalsium Oksida (CaO)

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	62,35	49,64
8	O	Oxygen	31,12	33,01
20	Ca	Calcium	6,53	17,36

Spektrum EDS memperlihatkan puncak utama dari unsur kalsium (Ca), oksigen (O), dan karbon (C). Komposisi unsur tersebut mengindikasikan keberhasilan konversi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO_3) dari cangkang telur menjadi kalsium oksida (CaO). Persentase berat unsur Ca sebesar 17,36%, O sebesar 33,01%, dan C sebesar 49,64% menunjukkan bahwa masih terdapat sisa karbonat atau hidroksida pada permukaan akibat reaksi kalsinasi yang belum sempurna (Sunardi, Krismawati, & Mahayana, 2020). Keberadaan ketiga unsur tersebut sekaligus menegaskan bahwa proses sintesis CaO berhasil dilakukan, meskipun sebagian kecil senyawa karbonat masih terdeteksi pada permukaan partikel.

3.3 Analisa FTIR pada Cangkang Telur Ayam dan Kalsium Oksida

Analisis FTIR dilakukan dengan mengamati panjang gelombang dari puncak-puncak karakteristik yang muncul pada spektrum sampel. Setiap gugus fungsi memiliki rentang panjang gelombang yang spesifik, sehingga keberadaan gugus-gugus fungsi tertentu dalam suatu sampel dapat diidentifikasi berdasarkan posisi puncaknya. Melalui analisis ini, keberadaan gugus fungsi seperti C-O, O-H, dan Ca-O dalam kalsium oksida (CaO) hasil sintesis dari cangkang telur dapat terdeteksi (Sunardi, Krismawati dan Mahayana, 2020).



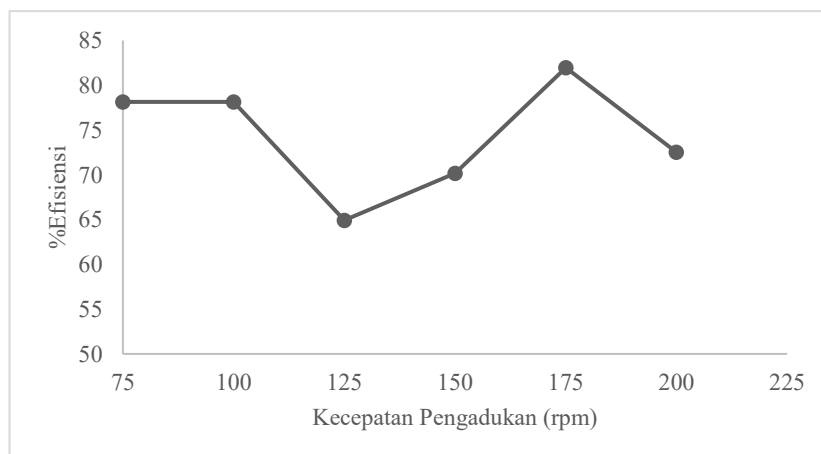
Gambar 3. Spektrum FTIR Bubuk Cangkang Telur (CaCO_3) dan Kalsium Oksida (CaO)

Hasil analisis FTIR dari bubuk cangkang telur (CaCO_3) dan kalsium oksida (CaO) dapat dilihat pada Gambar 3. Pada hasil analisa yang dilakukan ikatan CaO hasil sintesis dapat diidentifikasi pada puncak bilangan gelombang 515 cm^{-1} . Puncak ini tidak terdapat secara dominan pada spektrum cangkang telur sebelum dikalsinasi (CaCO_3), mendandakan keberhasilan konversi dari karbonat menjadi oksida. Puncak gelombang sekitar $1400\text{-}1500 \text{ cm}^{-1}$ menurut Karim (2022) merupakan karakteristik gugus fungsi karbonat (CO_3^{2-}), setelah dilakukan kalsinasi puncak gelombang menurun menunjukkan sebagian besar gugus karbonat telah terurai selama proses pemanasan. Puncak serapan 3640 cm^{-1} berasal dari gugus $-\text{OH}$ akibat dari kelembaban atau air terikat pada permukaan CaO , sering terjadi pada CaO karena sifatnya yang higroskopis, sehingga mudah menyerap uap air dari udara dan membentuk senyawa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Chong dkk., 2023).

Kegagalan dalam pembentukan kalsium oksida (CaO) dapat dianalisis melalui hasil karakterisasi SEM-EDX dan FTIR, yang menunjukkan bahwa unsur CaO telah berikatan secara berlebihan dengan unsur C dan O. Proses ini menyebabkan reaksi kimia, di mana CaO bereaksi menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sehingga menurunkan efektivitas dari CaO . Selain itu, sebagian dari CaO tersebut telah kembali menjadi CaCO_3 , yang memperburuk kualitas dan efisiensi dari bahan tersebut. Akibatnya, ketidakmampuan untuk mengontrol kondisi reaksi yang tepat menyebabkan partikel CaO mengalami aglomerasi, sehingga gagal terbentuk kalsium oksida. Interaksi berlebihan antara unsur CaO dan unsur C serta O menjadi faktor utama dalam kegagalan pembentukan yang diinginkan.

3.4 Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Persentase Efisiensi

Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan pengadukan 75, 100, 125, 150, 175, dan 200 rpm, untuk mengetahui kecepatan pengadukan optimum dalam melakukan adsorpsi larutan zat warna *methylene blue* (MB) 10 ppm menggunakan kalsium oksida (CaO). Hasil adsorpsi yang didapat akan diuji dengan spektrofotometer UV-Vis, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap %Efisiensi Adsorpsi

Berdasarkan Gambar 4, larutan zat warna *methylene blue* yang di adsorpsi dengan variasi kecepatan pengadukan memiliki %efisiensi optimum pada 81,96% dengan kecepatan pengadukan optimum berada pada 175 rpm. Dapat dilihat dari grafik dimana pada kecepatan pengadukan 125 rpm mengalami fluktuasi tetapi maksimal pada kecepatan pengadukan 175 rpm karena telah mengalami peningkatan daya serap adsorpsi terhadap

adsorben, namun pada kecepatan pengadukan 200 rpm kembali terjadi penurunan %efisiensi.

Efisiensi pada kecepatan pengadukan 75 rpm dan 100 rpm berada di angka yang cukup tinggi dan dalam kondisi stabil yaitu 78,14% dan 78,15%, hal ini menunjukkan bahwa ketika rentang ini perpindahan massa berlangsung secara optimal tanpa menyebabkan gangguan pada permukaan adsorben. Namun, penurunan terjadi pada 125 rpm dan kembali naik secara signifikan pada kecepatan pengadukan 150 rpm dan 175 rpm, pada kecepatan pengadukan ini diduga merupakan fase transisi di mana kecepatan pengadukan mulai cukup kuat untuk menyebabkan gangguan distribusi dari adsorbat atau desorpsi parsial, namun belum cukup kuat untuk meningkatkan kembali laju perpindahan massa. Ketika kecepatan pengadukan berada pada kecepatan yang terlalu tinggi yaitu pada 200 rpm efisiensi kembali mengalami penurunan karena terjadinya desorpsi akibat gaya geser yang terlalu berlebih atau telah rusaknya permukaan dari adsorben kalsium oksida (CaO) (Hanum, Gultom dan Simanjuntak, 2017). Maka, pada penelitian ini didapatkan persentase efisiensi adsorben terbaik pada kecepatan pengadukan optimum berada pada 175 rpm dengan %efisiensi 81,96%

Kecepatan pengadukan yang terlalu rendah menyebabkan proses adsorpsi akan berlangsung dengan lambat. Terjadi sebaliknya, jika pengadukan terlalu cepat akan melampaui batas optimal dan berpotensi merusak struktur dari adsorben, sehingga efisiensi adsorpsi akan menjadi berkurang (Syauqiah, Amalia dan Kartini, 2011). Peningkatan kecepatan pengadukan dapat meningkatkan jumlah zat terlarut yang teradsorpsi. Namun, proses ini akan mencapai titik jenuh ketika kapasitas maksimum adsorben telah dipenuhi, yaitu saat pori-pori pada permukaan adsorben telah terisi penuh. Saat kondisi ini, penyerapan tidak dapat meningkat lagi karena telah mencapai titik optimum (Hanum, Gultom dan Simanjuntak, 2017).

Berdasarkan hasil uji adsorpsi yang menunjukkan persentase efisiensi hingga 81,96% dengan kecepatan pengadukan terbaik berada pada 175 rpm, dapat disimpulkan bahwa kalsium oksida (CaO) hasil sintesis dari cangkang telur ayam berpotensi digunakan sebagai adsorben. Ukuran partikel merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi efisiensi adsorben. Semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin tinggi kemampuan adsorpsinya. Partikel yang lebih kecil akan lebih efektif dalam adsorpsi karena memiliki *intermolecular* yang lebih kuat, meningkatkan luas permukaan, sehingga memperbesar area kontak dalam proses adsorpsi (Benkhaya, Rabet dan Harfi, 2020).

Adsorben kalsium oksida (CaO) akan menjadi lebih efisien ketika dapat digunakan kembali untuk adsorpsi zat warna. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ofudje dkk. (2021) adsorben kalsium oksida layak untuk digunakan Kembali setelah dievaluasi menggunakan asam asetat 0,5 M sebagai agen desorpsi. Persentase desorpsi untuk pewarna akan menurun seiring dengan meningkatnya jumlah penggunaan ulang adsorben. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben kalsium oksida yang diperoleh dari cangkang telur dapat digunakan kembali untuk meningkatkan efisien penggunaan dari adsorben kalsium oksida (CaO).

3.5 Hasil Studi Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi sehingga proses adsorpsi dapat terjadi. Isoterm adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich* (Nitsae dkk., 2021). Isoterm adsorpsi *methylene blue* oleh adsorben kalsium oksida (CaO) dapat ditentukan dengan

membandingkan persamaan regresi linear dan koefisien determinasi (R^2) (Huda dan Yulitaningtyas, 2018). Hasil dari regresi linear dan koefisien determinasi (R^2) dari kedua model isoterm dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Regresi Linear dan Koefisien Determinasi (R^2)

Isoterm	Persamaan	R^2
<i>Langmuir</i>	$y = -0,4757x + 0,7604$	0,9299
<i>Freundlich</i>	$y = -0,3437x + 0,3857$	0,9700

Menurut Sihombing (2019), model isoterm yang paling sesuai ditentukan berdasarkan koefisien determinasi (R^2) tertinggi, karena semakin tinggi nilai R^2 atau mendekati 1 menunjukkan kesesuaian antara model isoterm dengan data hasil percobaan. Berdasarkan hasil koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari penelitian ini dapat diketahui model isoterm adsorpsi yang paling mendekati 1 adalah model isoterm *Freundlich* yaitu 0,97 dibandingkan model isoterm *Langmuir* yaitu 0,9299. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berjalan ke arah adsorpsi secara fisika, dimana model adsorpsi yang terbentuk terjadi secara *multilayer* atau terdapat lebih dari satu lapisan permukaan.

Model isoterm Langmuir hanya sesuai untuk proses adsorpsi monolayer pada permukaan adsorben yang bersifat homogen, sedangkan model Freundlich menggambarkan proses adsorpsi pada permukaan adsorben yang heterogen dengan energi adsorpsi yang tidak seragam. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi larutan dengan kekuatan ion rendah, molekul karbon aktif memiliki struktur pori yang kompleks dan saling berhubungan, terdiri dari pori makro, mikro, dan meso (transisi). Pori makro berperan dalam penyerapan molekul adsorbat berukuran besar yang berhubungan dengan permukaan luar partikel karbon, sedangkan pori mikro dan meso berfungsi menyerap molekul pelarut dan adsorbat berukuran lebih kecil. Proses adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini cenderung membentuk lapisan ganda atau multilayer akibat distribusi ukuran pori dan situs aktif yang tidak seragam. Adsorben kalsium oksida (CaO) dari cangkang telur, memiliki permukaan bersifat heterogen akibat adanya perubahan fasa menjadi Ca(OH)_2 dan CaCO_3 selama proses aktivasi, yang menyebabkan terbentuknya struktur berpori tidak seragam dan mendukung terjadinya adsorpsi multilayer (Farina Nury dkk., 2023).

Karakteristik permukaan suatu adsorben sangat memengaruhi mekanisme adsorpsi, apakah berlangsung secara fisik maupun kimia. Berdasarkan penelitian terdahulu yang melakukan adsorpsi zat warna *methylene blue* menggunakan adsorben dari tempurung kelapa menurut Abbas dan Trari (2024) dan menggunakan adsorben dari batang pohon singkong menurut Sulaiman dkk. (2021), proses adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir, yang menunjukkan kecenderungan terhadap adsorpsi kimia (kemisorpsi). Perbedaan tersebut dapat terjadi karena permukaan adsorbennya bersifat relatif homogen, sehingga energi adsorpsi pada setiap situs aktif cenderung seragam. Sebaliknya, penggunaan adsorben berbasis CaO (kalsium oksida) umumnya menunjukkan perilaku adsorpsi yang lebih sesuai dengan model isoterm Freundlich, yang menggambarkan permukaan adsorben bersifat heterogen. Hal ini disebabkan oleh keberagaman situs aktif dan distribusi energi adsorpsi pada permukaan CaO, yang dapat berasal dari adanya gugus

fungsi berbeda, ketidakaturan struktur kristal, serta variasi ukuran dan bentuk pori. Karakteristik tersebut memungkinkan terjadinya adsorpsi multilayer, di mana molekul *methylene blue* dapat berinteraksi pada beberapa lapisan permukaan dengan kekuatan ikatan yang bervariasi. Dengan demikian, perbedaan tingkat kehomogenan permukaan antara karbon aktif dan CaO berperan penting dalam menentukan mekanisme serta model isotherm adsorpsi yang paling sesuai.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Ukuran partikel kalsium oksida (CaO) yang didapatkan sebesar 295,8672 nm, sehingga belum bisa disebut sebagai karena ukuran yang dihasilkan belum memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh ISO 80004-1:2023 dimana ukuran antara 1-100 nm.
2. Kegagalan terbentuknya kalsium oksida disebabkan oleh unsur CaO yang terlalu banyak mengikat unsur C dan O, menghasilkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 . Hal ini mengganggu kinerja CaO, menyebabkan partikel mengalami aglomerasi. Faktor utama kegagalan ini adalah interaksi berlebihan antara unsur CaO dengan C dan O.
3. Kecepatan pengadukan berpengaruh pada persentase efisiensi adsorpsi zat warna *methylene blue* dengan menggunakan adsorben kalsium oksida (CaO) hasil sintesis dari limbah cangkang telur.
4. Kecepatan pengadukan optimum saat melakukan adsorpsi dengan adsorben kalsium oksida dari cangkang telur berada pada 175 rpm dengan efisiensi sebesar 81,96%.

5. Saran

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian terhadap potensi reusabilitas terhadap adsorben kalsium oksida (CaO).

6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Politeknik Negeri Samarinda melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah membantu dalam pendanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- Abbas, M. and Trari, M., 2024. Adsorption Behavior of Methylene Blue Onto Activated Coconut Shells: Kinetic, Thermodynamic, Mechanism and Regeneration of the Adsorbent. *Dose-Response*, 22(4), pp.1–18. <https://doi.org/10.1177/15593258241290708>.
- Angelina, E., Noviardiyanti, F.Z., Pujiastuti, C., Muljani, S. and Sumada, K., 2024. Sintesa dan Karakterisasi Nanopartikel Kalsium Oksida Dari Cangkang Telur Dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(2), pp.127–132.
- Athirah, F., Amin, I. and Andi, A.I.S.Y., 2023. Analisa Perbandingan Adsorpsi Logam Besi (Fe) Dalam Limbah Cair Industri Menggunakan Bioadsorben Cangkang Telur Ayam dan Telur Itik. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 2(2), pp.103–107.
- Benkhaya, S., Rabet, S.M. and Harfi, A. El, 2020. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107891>.

Noorma Kurnyawaty, Wahyudi, Najwa Putri Nabillah
najwanabillah03@gmail.com : Uji Kinerja Cangkang Telur Sebagai Adsorben Dalam Proses Adsorpsi

Chong, N.S., Nwobodo, I., Strait, M., Cook, D., Abdulramoni, S. and Ooi, B.G., 2023. Preparation and Characterization of Shell-Based CaO Catalysts for Ultrasonication-Assisted Production of Biodiesel to Reduce Toxicants in Diesel Generator Emissions. *Energies*, 16. <https://doi.org/10.3390/en16145408>.

Farina Nury, D., Luthfi, M.Z., Deviany, D., Achmad, F. and Panjaitan, J.R.H., 2023. Pengaruh Massa Karbon Aktif dan Konsentrasi Adsorbat dalam Penyerapan Zat Warna Metilen Blue. *ISTA Online Teknologi Journal*, [online] 04(02), pp.56–67. Available at: <<http://iontech.ista.ac.id/index.php/iontech>>.

Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R. and Ahn, J.W., 2019. Synthesis of Nano-Calcium Oxide from Waste Eggshell by Sol-Gel Method. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/su11113196>.

Hairunisa, Shofiyani, A. and Intan Syahbanu, 2019. Sintesis Kalsium Oksida Dari Cangkang Kerang Ale-Ale (*Meretrix meretrix*) Pada Suhu Kalsinasi 700°C. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(1), pp.36–40.

Hajar, E.W.I., Sitorus, R.S., Mulianingtias, N. and Welan, F.J., 2016. Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ Dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. *Konversi*, 5(1), pp.1–8. <https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4771>.

Hanum, F., Gultom, R.J. and Simanjuntak, M., 2017. Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru Dengan Karbon Aktif Dari Kulit Durian Menggunakan KOH Dan NaOH Sebagai Aktivator. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), pp.49–55.

Hevira, L. and Gampito, 2022. Dekolorisasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Biosorben Kulit Telur. *Jurnal Farmasi Sains dan Obat Tradisional*, 1(2), pp.71–80.

Huda, T. and Yulitaningtyas, T.K., 2018. Kajian Adsorpsi Methylene Blue Menggunakan Selulosa dari Alang-Alang. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01), pp.9–19. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol1.iss1.art2>.

ISO, 2023. *ISO 80004-1:2023 Nanotechnologies*. [online] Available at: <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/36414b05-d29e-4b75-a699->>.

Karim, J.A., 2022. *Analisis Gugus Fungsi Dan Porositas Batuan Menggunakan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR) Dan Scanning Electron Microscope (SEM) Di Toraja, Sulawesi Selatan*. Makassar.

Kurniawan, A., Nizar, M., Rijal, M., Bagas, R. and Setyarsih, W., 2014. Studi Pengaruh Variasi Suhu Kalsinasi Terhadap Kekerasan Bentuk Morfologi, Dan Analisis Porositas Nanokomposit CaO/SiO₂ Untuk Aplikasi Bahan Biomaterial. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 4(2), pp.22–26.

Ningrum, S.S., Pitaloka, D.A.D., Setiawan, B.H. and Zulaika, A., 2025. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar Mangan (Mn). *Open Journal Systems*, 19(07), pp.5087–5092.

Noorma Kurnyawaty, Wahyudi, Najwa Putri Nabillah
najwanabillah03@gmail.com : Uji Kinerja Cangkang Telur Sebagai Adsorben Dalam Proses Adsorpsi

Nitsae, M., Solle, H.R.L., Martinus, S.M. and Emola, I.J., 2021. Studi Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Arang Aktif Tempurung Lontar (*Borassus flabellifer* L.) Asal Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kimia Riset*, 6(1), pp.46–57.

Ofudje, E.A., Sodiya, E.F., Akinwunmi, F., Ogurdiran, A.A., Oladeji, O.B. and Osideko, O.A., 2021. Eggshell Derived Calcium Oxide Nanoparticles for Toluidine Blue Removal. *Desalination and Water Treatment*, pp.294–308.

Sihombing, Y.P., 2019. *Adsorpsi Zat Pewarna Tekstil Methyl Orange Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao L.)*. Medan.

Sulaiman, N.S., Amini, M.H.M., Danish, M., Sulaiman, O. and Hashim, R., 2021. Kinetics, thermodynamics, and isotherms of methylene blue adsorption study onto cassava stem activated carbon. *Water (Switzerland)*, 13(20), p.1. <https://doi.org/10.3390/w13202936>.

Sunardi, S., Krismawati, E.D. and Mahayana, A., 2020. Sintesis dan Karakterisasi Nanokalsium Oksida dari Cangkang Telur. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(2), p.250. <https://doi.org/10.20961/alchemy.16.2.40527.250-259>.

Syauqiah, I., Amalia, M. and Kartini, H.A., 2011. Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif. *Info Teknik*, 12(1), pp.11–20.