

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan air bersih merupakan prasyarat mendasar bagi kehidupan manusia. Industrialisasi dan urbanisasi yang pesat telah mengakibatkan pencemaran air yang signifikan, sehingga membahayakan akses manusia terhadap sumber air bersih (Manoj et al., 2024) (Anh et al., 2023). Pencemaran air merupakan krisis global yang menuntut perhatian segera. Khususnya, pencemaran sumber air oleh pewarna kimia yang dilepaskan dalam air limbah telah menjadi titik fokus penyelidikan ilmiah di seluruh dunia (X. Li et al., 2024). Limbah industri tekstil memberikan kontribusi yang signifikan terhadap beban lingkungan secara keseluruhan. Salah satu pewarna kationik populer yang persisten terhadap lingkungan, beracun, karsinogenik, dan mutagenik adalah pewarna metilen biru (MB) (Ali et al., 2024) (G. B. Singh et al., 2024). Pembuangan air limbah yang mengandung pewarna MB yang diolah sebagian atau tidak diolah dapat menimbulkan banyak risiko kesehatan (Al-Tohamy et al., 2022). Pewarna MB dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti sianosis, nekrosis jaringan, pembentukan badan Heinz, muntah, penyakit kuning, syok, peningkatan denyut jantung, dan lain-lain (Guo et al., 2023). Krisis air bersih yang meningkat, diperburuk oleh pengelolaan limbah industri yang tidak memadai, menimbulkan ancaman yang signifikan terhadap ekosistem perairan dan kesehatan manusia (Thanigaivel et al., 2024). Dalam konteks paradigma pengelolaan sumber daya air yang semakin rumit, pentingnya pemanfaatan kembali air limbah menjadi semakin menonjol (B. J. Singh et al., 2023).

Produksi limbah padat global telah mencapai proporsi yang mengkhawatirkan, meliputi jenis limbah yang luas, termasuk limbah kota, industri, dan makanan. Menurut Badan Pusat Statistik 2024 mencatat produksi telur Indonesia mencapai $\pm$ 5,6 juta ton. Dari jumlah tersebut, Asosiasi Peternak Unggas Indonesia (2023) menyatakan 10-12% berupa cangkang telur, setara dengan 560.000-672.000 ton limbah per tahun. Di luar sumber industri, sektor pertanian merupakan kontributor signifikan terhadap produksi limbah. Salah satu contoh limbah pertanian adalah limbah kulit biji kopi, dari Data Ditjen Perkebunan tahun 2023 Produksi kopi nasional yang mencapai 800.000 ton biji kopi menyisakan masalah lingkungan besar: 1,2-1,5 juta ton limbah kulit kopi per tahun. Yang mengkhawatirkan, 85-90% limbah ini tidak terkelola dengan baik. Meningkatnya produksi limbah ini menghadirkan tantangan lingkungan yang berat. Sebagian besar residu padat ini saat ini dibuang ke tempat pembuangan sampah tanpa pra-pengolahan, yang berkontribusi terhadap polusi lingkungan (M. Singh et al., 2024) (Khan et al., 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan kritisi untuk pendekatan ilmiah yang inovatif untuk meningkatkan pengelolaan limbah dan memaksimalkan pemanfaatan limbah yang efektif (Hajam et al., 2023).

Salah satu limbah yang berasal dari limbah biomassa muncul sebagai penyerap yang efektif untuk menghilangkan polutan pewarna dari air limbah. Karbon aktif



adalah penyerap yang lebih efisien untuk menghilangkan banyak polutan (organik, anorganik, dan biologis)(Bazan-Wozniak & Pietrzak, 2020). Karbon aktif yang berasal dari biomassa memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang tinggi yang menjadi perhatian dalam pengolahan air sebagai penyerap yang kuat untuk meningkatkan kinerja fotokatalitiknya dan menghilangkan polutan organik dari air limbah tekstil secara langsung(Soffian et al., 2022)(Rasouli et al., 2023).

Berbagai jenis bahan yang terbuat dari kulit telur juga telah dilaporkan dalam literatur untuk penggunaannya dalam menghilangkan polutan air(Saratale et al., 2021). Komponen utama limbah kulit telur adalah kalsium karbonat (CaCO_3), yang dimurnikan untuk menghasilkan Kalsium oksida (CaO), CaO merupakan basa kuat dan dapat menetralkan asam dalam air limbah(C. Li et al., 2024). Limbah cangkang telur yang mengandung karbonat (CO_3^{2-}) dapat diubah menjadi radikal karbonat ($\text{CO}_3^{\cdot-}$), yang secara signifikan dapat meningkatkan kapasitas mineralisasi sistem katalitik, yang menunjukkan selektivitas yang luar biasa terhadap senyawa organik(Tajat et al., 2024). Zonato dkk. mempelajari penggunaan kulit telur yang cukup untuk menyerap 96% Reactive Blue(Zonato et al., 2022). Sementara itu, komposit C/ CaO dilaporkan menghasilkan efisiensi degradasi MB maksimum sebesar 83%(Ahmad et al., 2020). Dostie dkk. melaporkan dalam penelitian mereka bahwa penggunaan CaO menghasilkan laju karbonasi yang cepat karena sifat kaustiknya yang tinggi(Dostie et al., 2024).

Penelitian ini memperkenalkan pengembangan komposit AC/ CaO yang inovatif sebagai katalis yang sangat menjanjikan untuk menghilangkan MB dari air limbah. Penelitian sebelumnya telah melaporkan sintesis komposit C/ CaO menggunakan berbagai agen aktivasi, yaitu NaOH dan asam ortofosfat dengan metode seperti sol-gel. Penggabungan CaO dan AC yang disintesis melalui metode *solid-state* akan meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan aspek yang lebih berkelanjutan. Selain itu, kami mengintegrasikan sistem IoT untuk memantau proses fotokatalis yang sedang berlangsung. Dalam percobaan ini, struktur kristal dan morfologi permukaan material dianalisis dengan XRD dan SEM. Sifat morfologi meliputi analisis permukaan material melalui *Scanning Electron Microscope*, yang memberikan informasi mengenai ukuran pori-pori, distribusi partikel, dan luas permukaan material, yang mempengaruhi kinetika adsorpsi. Oleh karena itu, pendekatan baru ini diperlukan untuk pengolahan air limbah zat warna menggunakan pendekatan metode fotokatalitik terbaru, yang akan memberikan bahan dan proses fotokatalitik yang lebih efisien dan ramah lingkungan mendukung prinsip ekonomi sirkular.

1.2 Tujuan Penelitian



Agus fungsi, ukuran kristal, dan morfologi karbon aktif dari kulit oksida dari cangkang telur dan komposit AC/ CaO .

Kapabilitas karbon aktif dari kulit biji kopi, kalsium oksida dari komposit AC/ CaO untuk mendegradasi metilen biru.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Manfaat ilmiah

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan material komposit baru dari sumber biomassa yang ramah lingkungan dan meningkatkan pemahaman tentang mekanisme fotokatalisis termasuk pengaruh suhu kalsinasi, rasio komponen, dan kondisi reaksi fotokatalisis dalam degradasi senyawa organik. Pengembangan material berbasis limbah organik seperti AC/CaO tidak hanya menawarkan solusi untuk masalah lingkungan, tetapi juga membuka peluang baru dalam pengembangan material fungsional yang berkelanjutan.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini menawarkan manfaat praktis yang signifikan dalam aplikasi fotokatalis untuk degradasi metilen biru dari limbah cair, yaitu pengolahan limbah yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah pertanian dan rumah tangga, proses degradasi yang efisien dan efektif menggunakan sinar matahari, pemanfaatan sumber daya lokal yang melimpah dan murah, potensi penerapan dalam skala luas di industri tekstil dan pengolahan limbah domestik, serta kontribusi pada peningkatan kualitas air yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair.

3. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Penelitian pembuatan komposit AC/CaO dari kulit biji kopi dan cangkang telur menawarkan manfaat ekonomi yang signifikan melalui pengurangan biaya pengolahan limbah, penciptaan nilai tambah dari limbah, dan dukungan ekonomi sirkular, di mana limbah diubah menjadi material bernilai tinggi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya baru. Dari sisi lingkungan, penelitian ini berkontribusi pada pengurangan pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan limbah dan mendegradasi metilen biru, mengurangi jejak karbon melalui penggunaan sumber daya lokal dan energi matahari, serta meningkatkan kualitas lingkungan dengan menghasilkan air yang lebih bersih dan aman. Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis untuk pengolahan limbah, tetapi juga mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dan pelestarian lingkungan.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2024, di Laboratorium Fisika Material Dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Bahan dan Alat

2.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Cangkang Telur
2. Kulit Biji Kopi
3. H_3PO_4 (*phosphoric acid*)
4. *Aquadest*

2.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Furnace*
2. Oven
3. Cawan petri
4. Lumpang porselen
5. Ayakan 200 *mesh*
6. Gelas kimia
7. Tabung ukur
8. Corong
9. Kertas saring *Whatman 42*
10. Cawan kursibel
11. FT-IR (*Fourier Transform Infrared*)
12. XRD (*X-Ray Diffraction*)
13. *Spectrometer Uv-Vis*
14. SEM (*Scanning Electron Microscope*)
15. Spatula
16. Timbangan digital
17. NodeMCU ESP8266
18. Arduino Uno R3



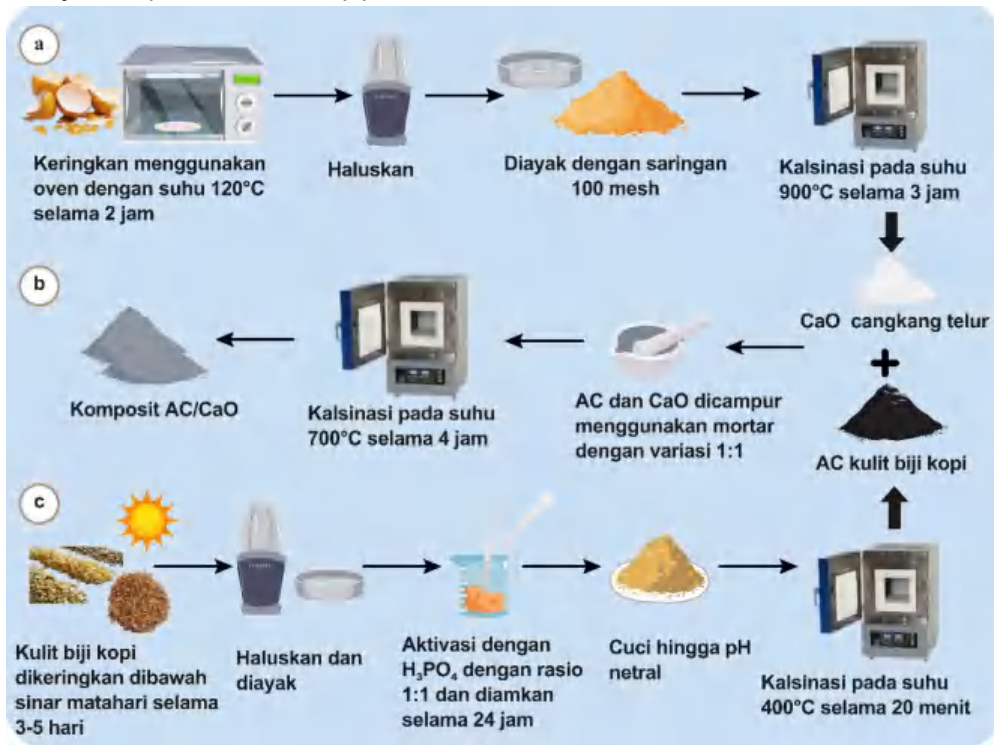
C
D

itian

Sintesis AC Kulit Biji Kopi

kulit biji kopi melibatkan beberapa Langkah. Pertama, kulit biji enar-benar kering, lalu digiling menjadi bubuk halus. Serbuk ini

diaktifkan dengan mencampurkannya dengan H_3PO_4 dengan perbandingan 1:1, diamkan campuran tersebut selama 24 jam, atau memasukkannya ke dalam oven untuk mempercepat aktivasi. Setelah itu, kulit kopi yang telah diaktivasi dibilas dengan air suling untuk menetralkan pH, dan terakhir, kulit kopi dikeringkan di dalam tungku pada suhu $400^\circ C$ selama 20 menit. Proses ini meningkatkan porositas dan luas permukaan karbon, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar.1(a)**.



Gambar 1. Skema (a) preparasi CaO dari cangkang telur, (b) proses Komposit AC/CaO, dan (c) preparasi AC dari kulit biji kopi.

2.3.2 Mekanisme Sintesis CaO Cangkang Telur

Sintesis CaO dimulai dengan ekstraksi kalsium dari kulit telur. Proses ini melibatkan pembersihan kulit telur untuk menghilangkan kotoran, pengeringan menyeluruh selama sekitar 48 jam, dan kemudian penggilingan menjadi bubuk halus. Kulit telur yang telah dihaluskan kemudian dikalsinasi dalam tungku pada suhu $900^\circ C$ selama 3 jam. Suhu tinggi diperlukan untuk menyediakan energi yang cukup untuk melepaskan karbon dioksida (CO_2) sebagai gas, ditunjukkan



komposit AC/CaO

CaO menggabungkan hasil sintesis AC dan CaO yang telah. Proses ini melibatkan pencampuran bubuk CaO dari

cangkang telur dengan AC yang berasal dari kulit biji kopi dengan komposisi yang sama menggunakan mortar untuk memastikan pencampuran yang merata. Bahan-bahan yang telah dicampur kemudian dikalsinasi dalam tungku pada suhu 700°C selama 2 jam seperti yang ditunjukkan pada **Gambar.1(b)**.

2.4 Pengamatan dan pengukuran

2.4.1 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan sifat struktur ikatan kimia, spektrum spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR) dari sampel diperoleh antara rentang bilangan gelombang (4000-400) cm⁻¹ pada spektrofotometer FTIR tipe IRPrestige-21 Shimadzu Corp. Spektroskopi IR mengukur serapan radiasi inframerah oleh sampel, yang berkaitan dengan vibrasi molekul. Spektrum IR menunjukkan intensitas serapan terhadap bilangan gelombang/frekuensi.

2.4.2 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Analisis menggunakan instrumen *X-ray Diffraction* (XRD) (Shimadzu 7000) pada rentang 2θ dari 10°-70° untuk mengidentifikasi struktur, ukuran kristal, unsur, parameter kisi, dan derajat kristalisasi suatu material melalui pola difraksi sinar-X yang dihasilkan. Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan Scherrer :

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Dengan keterangan (D) merupakan ukuran kristal, λ panjang gelombang cahaya yang digunakan untuk difraksi, β adalah nilai *Full width at half maximum* (FWHM), k merupakan konstanta *scherrer*, dan θ adalah sudut difraksi sinar-X pada puncak tertinggi.

2.4.3 *UV-Vis Spectroscopy*

Pengujian *UV-Vis Spectroscopy* (UV-Vis Shimadzu 1800) bertujuan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam mengadsorpsi polutan metilen biru.

2.4.4 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) Hitachi TM4000PlusII digunakan untuk mengamati morfologi meliputi Deteksi struktur pori, retakan, dan tekstur permukaan dari setiap bahan

2.4.5 Pemantauan IoT

Sistem IoT diimplementasikan, dengan memanfaatkan berbagai komponen dan sensor untuk mengoptimalkan akuisisi data. Mikrokontroler Arduino Uno R3 berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat untuk pengumpulan data. Transmisi data ke basis data difasilitasi oleh modul NodeMCU ESP8266. Sensor PH-4502C untuk



or DS18B20 untuk pemantauan suhu. Perangkat pemantauan can di dalam wadah, diposisikan 20 cm di bawah permukaan n selama 24 jam untuk memperoleh data pengukuran selama

2.5 Bagan penelitian

