

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan komponen penting dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya tujuan ke-6, subtujuan 6.1, yang menargetkan tercapainya akses universal terhadap air minum yang aman dan terjangkau bagi semua orang (United Nations, 2024). Tanpa ketersediaan air bersih, pembangunan tidak dapat berlangsung secara optimal karena air merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan manusia (Lackner dkk., 2020). Menurut *World Health Organization* (WHO, 2023) sekitar 1,7 miliar orang di dunia masih mengonsumsi air minum yang terkontaminasi tinja. Kondisi ini menyebabkan tingginya angka kejadian diare, yang diperkirakan mengakibatkan 505.000 kematian setiap tahun, dengan hampir 90% di antaranya merupakan anak-anak di bawah usia lima tahun.

Kontaminasi air minum seringkali ditunjukkan dengan adanya bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*), yang menjadi indikator utama pencemaran fekal. Di Indonesia, permasalahan ini kerap terjadi pada sumber air alternatif yang diakses masyarakat. Sebagai contoh kasus, hasil penelitian menunjukkan 88,9% Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Kota Padang terkontaminasi bakteri *coliform*, 40,7% tidak memenuhi syarat *hygiene* dan sanitasi, dan hanya 33,3% yang diawasi pihak eksternal oleh Dinas Kesehatan (Eryeni Syofia dkk., 2023).

Menimbang tantangan ini, teknologi pengolahan air di titik penggunaan (*Point of Use/POU*) atau tingkat rumah tangga (*Household Water Treatment/HWT*) menjadi solusi yang relevan dan adaptif bagi wilayah dengan keterbatasan akses air bersih. Metode umum seperti perebusan, klorinasi, filtrasi, dan *Solar Water Disinfection* (SODIS) efektif membunuh patogen (CDC, 2024). Namun, setiap metode memiliki keterbatasan, perebusan berisiko kontaminasi ulang jika penyimpanan tidak higienis, klorinasi meninggalkan bau dan rasa khas, disinfeksi menggunakan sinar matahari (SODIS) bergantung pada intensitas cahaya matahari, filtrasi memerlukan perawatan rutin serta efektivitasnya bergantung pada ukuran pori dan desain (Ihsan

& Derosya, 2024). Keterbatasan ini semakin signifikan pada masyarakat di daerah pedalaman dengan akses terbatas, sehingga dibutuhkan solusi pengolahan air yang cepat, mudah diaplikasikan, dan mampu mengatasi kontaminasi berulang.

Adsorpsi merupakan metode konvensional yang umum digunakan dalam pengolahan air karena efektif dan hemat biaya dalam menghilangkan bakteri dan virus (Sellaoui dkk., 2021; Sukmana dkk., 2021). Salah satu material yang potensial adalah *Layered Double Hydroxide* (LDH), adsorben yang kuat dan terbukti efektif untuk mengadsorpsi berbagai jenis bakteri dan virus dari air. Material ini aman bagi manusia karena bersifat nontoksik dan biokompatibel, bahkan sering dimanfaatkan dalam aplikasi farmasi (Forano dkk., 2018). Meskipun demikian, LDH (dan semua adsorben) dalam bentuk bubuk memiliki keterbatasan praktis dalam aplikasi POU/HWT karena sulit dipisahkan dari air dan digunakan kembali setelah proses adsorpsi (Dlamini dkk., 2020). Untuk memaksimalkan potensi LDH, diperlukan solusi inovatif yang mengatasi keterbatasan bentuk bubuknya.

Beberapa studi telah berhasil mensintesis LDH secara *in-situ* pada permukaan pelat aluminium (Fukugaichi dkk., 2022) dan aluminium foil (Johan dkk., 2023), menghasilkan "LDH terikat" yang efektif menyerap dan menghilangkan patogen dari air, dengan penghilangan *Escherichia coli* mencapai lebih dari 99% dalam waktu 3 hingga 24 jam. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa lempengan aluminium dapat berfungsi sebagai substrat sekaligus sumber ion Al^{3+} yang penting dalam pembentukan struktur LDH. Meskipun demikian, penelitian yang ada umumnya dalam fabrikasi LDH secara *in-situ* masih menggunakan reagen kimia yang relatif mahal dan tidak mudah diperoleh oleh masyarakat awam, serta menggunakan lempengan aluminium murni yang tidak umum ditemukan di rumah tangga serta memerlukan kemampuan khusus di laboratorium. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan memilih aluminium foil komersial. Aluminium foil dipilih karena sifatnya yang mudah difabrikasi dan seringkali tersedia sebagai bahan yang melimpah di rumah tangga atau bahkan menjadi sampah, menjadikannya pilihan yang sangat praktis dan ekonomis untuk aplikasi POU/HWT skala rumah tangga.

Dalam mengatasi keterbatasan biaya dan kompleksitas, penelitian ini mengusulkan sintesis LDH yang lebih sederhana dan berkelanjutan yang diberi nama "LDH foil", yaitu dengan memanfaatkan air laut sebagai sumber ion magnesium (Mg^{2+}) dan kapur sirih ($Ca(OH)_2$) sebagai reagen alkali, untuk menumbuhkan LDH pada permukaan aluminium foil komersial. Pendekatan ini menawarkan keunggulan dibandingkan sintesis konvensional, berupa mengurangi biaya dan ketergantungan pada reagen kimia teknis, sehingga sangat aplikatif untuk skala rumah tangga dan masyarakat awam. Selain itu ion Mg^{2+} yang terkandung dalam air laut berpotensi menghasilkan LDH tipe Mg-Al yang dikenal memiliki kemampuan adsorpsi mikrob, memastikan efektivitas disinfeksi yang sebanding di tingkat POU.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi disinfeksi air POU dengan fokus utama pada penyisihan *E. coli* sebagai indikator bakteriologis pada air minum yang terkontaminasi, menggunakan material LDH *in-situ* pada aluminium foil komersial. Kebaruan dalam penelitian ini adalah sintesis LDH yang lebih sederhana dan berkelanjutan berupa LDH foil, dengan memanfaatkan bahan yang melimpah dan mudah diperoleh, yaitu air laut sebagai sumber ion magnesium dan kapur sirih ($Ca(OH)_2$) sebagai reagen alkali. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya produksi tetapi juga membuat proses fabrikasi lebih aman dan aplikatif bagi masyarakat terutama untuk pengolahan air minum skala rumah tangga.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan material adsorben berbasis *Layered Double Hydroxide* (LDH) pada aluminium foil (LDH foil) dengan menggunakan bahan baku lokal yang mudah diperoleh untuk meningkatkan kualitas air minum melalui penyisihan bakteri *E. coli*. Pengembangan ini diarahkan sebagai solusi POU/HWT yang ekonomis dan aplikatif untuk mengatasi masalah kontaminasi bakteriologis, khususnya pada air minum yang rentan.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakterisasi material LDH yang disintesis *in-situ* pada aluminium foil komersial dengan memanfaatkan air laut dan kapur sirih (LDH

foil) untuk mengidentifikasi struktur kristalin, morfologi, dan komposisi elemental.

2. Mengevaluasi efektivitas adsorben LDH foil dalam menurunkan konsentrasi bakteri *E. coli* melalui uji *batch* pada dua jenis sampel air: (1) air *aquadest* yang diinokulasi *E. coli* pada skala laboratorium, dan (2) air dari Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) yang terkontaminasi secara alami (sebagai studi kasus kontaminasi air minum di lapangan).
3. Menganalisis konsentrasi logam aluminium dalam air setelah proses pengolahan, serta mengevaluasi keamanan adsorben ini berdasarkan standar kualitas air minum yang berlaku.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Bagi Ilmu Pengetahuan
 - a. Memberikan kontribusi dalam bidang material adsorben, khususnya pemanfaatan LDH yang disintesis dari bahan baku lokal (air laut dan kapur sirih) berbasis aluminium foil (LDH foil) sebagai media penyisih bakteri.
 - b. Menyediakan data karakterisasi dan efektivitas disinfeksi *E. coli* yang spesifik untuk material LDH foil, yang dapat menjadi acuan empiris dalam perancangan sistem pengolahan air POU yang terdesentralisasi.
 - c. Menjadi referensi ilmiah untuk penelitian lanjutan mengenai aplikasi LDH dalam bidang lingkungan dan kesehatan.
2. Bagi Masyarakat
 - a. Menyediakan alternatif teknologi pengolahan air minum yang mudah diaplikasikan dan efektif dalam mengurangi risiko penyakit akibat *Escherichia coli*.
 - b. Meningkatkan akses terhadap air bersih di daerah yang kesulitan menggunakan teknologi konvensional.
3. Bagi Lingkungan
 - a. Membuka peluang pengembangan teknologi pengolahan air minum yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan bahan yang mudah diperoleh dan

sering dianggap limbah (aluminium foil bekas) serta sumber daya alam melimpah (air laut dan kapur sirih).

- b. Mengurangi ketergantungan pada media filtrasi impor atau mahal, sehingga mendorong kemandirian teknologi pengolahan air dalam negeri.
4. Bagi Kesehatan
 - a. Mengurangi risiko penyakit bawaan air (*waterborne diseases*) seperti diare, disentri, dan infeksi usus akibat kontaminasi *Escherichia coli*.
 - b. Mendukung pencapaian SDGs poin 6 (*Clean Water and Sanitation*).

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada rentang Desember 2025 – Mei 2026 di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan Laboratorium Penelitian, Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
2. Adsorben yang digunakan adalah LDH yang dibentuk secara *in-situ* pada permukaan aluminium foil komersial menggunakan air laut sebagai sumber ion magnesium dan kapur sirih ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sebagai reagen alkali.
3. Sintesis LDH dilakukan melalui proses perendaman aluminium foil dalam air laut yang telah dialkalkan dengan kapur sirih pada suhu ruang selama 2 variasi waktu, yaitu 6 jam dan 24 jam untuk membandingkan pengaruh waktu sintesis terhadap pembentukan lapisan LDH.
4. Percobaan dilakukan menggunakan dua jenis sampel air:
 - a. Air yang diinokulasi *E. coli* pada skala laboratorium terkontrol, menggunakan *aquadest* sebagai media dasar untuk memastikan konsentrasi *E. coli* awal yang seragam (± 100 CFU/mL).
 - b. Air DAMIU pada rumah makan yang terkontaminasi secara alami, untuk mengevaluasi kinerja LDH foil dalam matriks air yang lebih kompleks dan kondisi nyata.
5. Uji adsorpsi dilakukan secara *batch* menggunakan LDH foil sebagai adsorben. Prosesnya melibatkan penambahan 16 cm² LDH foil ke dalam 100 mL air sampel. Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali (triplo).

6. Pengujian penyisihan bakteri *E. coli* dilakukan dengan pengambilan sampel dalam rentang waktu tertentu (0, 3, dan 24 jam).
7. Analisis kualitas air meliputi pengujian konsentrasi bakteri *E. coli* sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC), serta pengukuran konsentrasi aluminium (Al) menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk memastikan keamanan air hasil pengolahan dan membandingkannya dengan standar kualitas air minum yang berlaku (Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 tahun 2023).
8. Karakterisasi morfologi dan struktur LDH foil dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) untuk menganalisis komposisi elemental (Mg dan Al) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk memastikan terbentuknya lapisan LDH pada permukaan aluminium foil.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang *Escherichia coli* sebagai indikator pencemar air minum, teknologi pengolahan air minum, teori tentang adsorpsi, material *Layered Double Hydroxide* (LDH), serta penelitian-penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, mulai dari studi literatur, persiapan bahan dan pembuatan aluminium foil berlapis LDH, rancangan reaktor *batch* skala laboratorium, metode pengujian terhadap air minum terkontaminasi *Escherichia coli*, parameter yang dianalisis, serta lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil karakterisasi material LDH, hasil uji penyisihan *Escherichia coli*, serta pembahasan mengenai efektivitas adsorben LDH dibandingkan dengan teori maupun penelitian terdahulu.

BAB V

PENUTUP

Bab ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar pengembangan pemanfaatan LDH dalam pengolahan air minum dapat lebih optimal.

