

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air minum yang aman dan layak konsumsi merupakan kebutuhan dasar manusia yang harus dipenuhi untuk menjamin kesehatan dan kualitas hidup. Namun, hingga saat ini, akses terhadap air minum bersih dan aman masih menjadi tantangan global yang serius. Kontaminasi mikrobiologis, khususnya oleh bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*), masih menjadi penyebab utama penyakit diare yang mengancam keselamatan jiwa, terutama pada bayi dan anak-anak (Widiastuti, 2024). Menurut *World Health Organization* (2024), diare masih menjadi penyakit dengan angka kejadian tinggi dan tersebar luas di negara berkembang, dengan sekitar 1,7 miliar kasus setiap tahunnya. Di Indonesia, diare merupakan penyakit endemik yang sering menimbulkan Kejadian Luar Biasa (KLB) dan menyebabkan kematian, terutama pada anak-anak. Data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan bahwa Riskesdas 2018 mencatat prevalensi diare pada semua kelompok umur sebesar 8%, balita sebesar 12,3%, dan bayi sebesar 10,6%. Sementara itu, pada *Sample Registration System* tahun 2018, diare masih menjadi salah satu penyebab utama kematian pada neonatus sebesar 7% dan pada bayi usia 28 hari sebesar 6%. Berdasarkan Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2022, Provinsi Sumatera Barat menempati peringkat ketujuh dengan jumlah kasus diare yang tinggi di Indonesia. Pada tahun yang sama, Kota Padang menjadi wilayah dengan prevalensi diare tertinggi di Provinsi Sumatera Barat, yaitu sebesar 15,3%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan kualitas air minum dan sanitasi masih menjadi isu kesehatan masyarakat yang memerlukan perhatian serius. Data tersebut menegaskan bahwa permasalahan kontaminasi air minum, khususnya di wilayah penelitian, masih sangat mendesak untuk ditangani.

Pencemaran mikrobiologis pada air minum dapat terjadi akibat masuknya berbagai sumber kontaminan dari lingkungan, seperti aktivitas rumah tangga, kondisi sanitasi yang kurang memadai, limpasan air hujan, maupun proses pengolahan air yang belum berjalan secara efektif. Salah satu indikator yang umum digunakan untuk menilai kualitas mikrobiologis air adalah keberadaan bakteri *E. coli*.

Pemilihan *E. coli* didasarkan pada sifatnya yang secara spesifik berasal dari saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, sehingga keberadaannya secara langsung mengindikasikan kontaminasi feses yang berpotensi membawa patogen enterik penyebab penyakit bawaan air (Kamei & Soori, 2026). Dibandingkan dengan Total Coliform yang mencakup berbagai jenis bakteri dari lingkungan maupun sumber non-fekal, *E. coli* merupakan indikator mikrobiologi yang lebih spesifik dan diakui secara internasional sebagai indikator terpilih untuk mendeteksi kontaminasi feses pada air minum *World Health Organization* (WHO, 2022). Hal ini didukung oleh pedoman WHO yang menyatakan bahwa meskipun *E. coli* merupakan indikator polusi feses yang lebih presisi, jumlah bakteri koliform termotoleran dapat diterima sebagai alternatif, sedangkan bakteri koliform total tidak dapat diterima sebagai indikator kualitas sanitasi air, khususnya di daerah tropis, karena banyak bakteri yang tidak signifikan secara sanitasi muncul hampir pada seluruh pasokan air yang belum diolah (WHO, 2022). Selain itu, pada pengujian menggunakan air artifisial diperlukan strain murni yang terstandarisasi agar kemampuan adsorpsi elektrostatis permukaan ATA foil dapat dievaluasi secara objektif tanpa dipengaruhi oleh kompetisi antarspesies bakteri. Oleh karena itu, pengendalian dan penyisihan *E. coli* menjadi langkah penting dalam memastikan air minum tetap aman dan layak konsumsi (Mumtaz, 2024).

Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, berbagai teknologi *Point-of-Use* (POU) telah dikembangkan untuk digunakan pada skala rumah tangga, seperti perebusan, klorinasi, solar disinfection (SODIS), dan filtrasi. Namun, metode-metode tersebut masih memiliki keterbatasan dari aspek efektivitas, keberlanjutan, serta penerimaan masyarakat. Dalam upaya mencari alternatif yang lebih efisien dan berkelanjutan, metode adsorpsi muncul sebagai salah satu pendekatan yang efektif dalam menghilangkan kontaminan, termasuk mikroorganisme patogen. Salah satu material adsorben yang menunjukkan potensi besar dalam penyisihan mikroorganisme adalah Alkali-Treated Aluminium (ATA), yang telah terbukti efektif menyerap kontaminan dan relatif aman bagi kesehatan manusia maupun lingkungan (Ihsan dkk., 2025).

ATA foil merupakan material adsorben yang terbentuk secara *in situ* pada permukaan aluminium foil. Pembentukan lapisan aktif terjadi melalui reaksi antara

aluminium dan larutan alkali yang menghasilkan aluminium hidroksida, $\text{Al}(\text{OH})_3$, langsung pada permukaan substrat aluminium. Lapisan $\text{Al}(\text{OH})_3$ ini berperan sebagai situs aktif adsorpsi yang mampu mengikat mikroorganisme melalui interaksi elektrostatik serta interaksi spesifik antara gugus permukaan bakteri dan hidroksida aluminium. Pendekatan ini menghasilkan adsorben yang terintegrasi dengan substrat sehingga lebih mudah diaplikasikan. Mekanisme tersebut memungkinkan sel bakteri terjatuh pada permukaan adsorben sehingga konsentrasinya dalam air dapat berkurang secara signifikan (Ihsan dkk., 2025).

Sebagian besar penelitian sebelumnya menunjukkan kendala utama, yaitu umumnya disintesis dalam bentuk bubuk halus yang menyulitkan aplikasi praktis pada sistem *Point-of-Use* (POU) karena sulit dipisahkan dari air setelah proses pengolahan. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus dalam penelitian ini. Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui penggunaan ATA foil yang memiliki kemampuan tinggi dalam menyisihkan mikroorganisme patogen melalui mekanisme penyisihan melalui adsorpsi elektrostatik dan penjerapan fisik sel *E. coli* di atas permukaan amorf ATA foil. Permukaan bermuatan positif pada ATA foil mampu menarik dan mengikat bakteri bermuatan negatif seperti *E. coli*, *Salmonella enterica*, dan *Acinetobacter baumannii*. Efisiensi penyisihan dapat mencapai lebih dari 99%, dengan kapasitas adsorpsi maksimum. (Ihsan dkk., 2024).

Dalam menjamin validitas teknologi yang dikembangkan, efektivitas ATA foil diuji pada dua kondisi, yaitu air akuades yang diinokulasi *E. coli* sebagai sampel artifisial untuk mengukur kapasitas adsorpsi murni, serta air DAMIU sebagai sampel nyata (*real sample*). Pengujian pada DAMIU penting untuk mengevaluasi kinerja ATA foil terhadap gangguan senyawa organik dan anorganik yang umum terdapat pada air konsumsi masyarakat (Ihsan dan Derosya, 2024). Kombinasi antara kemudahan operasional, penggunaan bahan baku ekonomis, serta aspek keamanan material menjadikan ATA foil sebagai teknologi POU yang inovatif dan berkelanjutan untuk penyisihan *E. coli* dari air minum. Pemilihan Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) sebagai sampel nyata didasarkan pada tingginya tingkat konsumsi air isi ulang oleh masyarakat akibat harga yang lebih terjangkau dan ketersediaannya yang mudah. Namun demikian, hasil pengawasan kualitas air minum di berbagai daerah masih menunjukkan adanya DAMIU yang tidak memenuhi persyaratan mikrobiologi,

khususnya terkait keberadaan *E. coli*. Oleh karena itu, DAMIU dipilih sebagai sampel nyata untuk mengevaluasi penerapan ATA foil pada kondisi yang lebih mendekati penggunaan lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan serta mengkaji efektivitas aluminium foil berlapis ATA yang disintesis dari pupuk $Mg(NO_3)_2$ dan pupuk *wood ash*/abu kayu sebagai teknologi POU baru dalam penyisihan *E. coli* dari air minum. Inovasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyediaan air minum yang aman, terjangkau, dan mudah diterapkan oleh masyarakat.

Perlu ditekankan bahwa penggunaan pupuk sebagai bahan baku dalam fabrikasi tidak menimbulkan kontaminan baru pada air hasil olahan, karena ion-ion penyusunnya terikat kuat dalam struktur kristal ATA foil yang stabil. Pendekatan serupa menggunakan residu seperti abu biomassa juga telah disampaikan sebagai proses yang ramah lingkungan dan menghasilkan adsorben aman tanpa pelepasan kontaminan berbahaya selama proses adsorpsi, karena mekanisme utamanya adalah pemindahan kontaminan dari fase cair ke fase padat melalui interaksi permukaan dan pertukaran ion (Manurung dkk., 2025).

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah memanfaatkan aluminium foil *Alkali-Treated Aluminium* (ATA) yang disintesis dari pupuk $Mg(NO_3)_2$ dan pupuk *wood ash*/abu kayu sebagai adsorben untuk menyisihkan *E. coli* pada air minum. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik kristalinitas dan morfologi material ATA foil untuk mengonfirmasi keberhasilan sintesis serta pengaruh variasi waktu fabrikasi (6 jam dan 24 jam) terhadap kualitas lapisan yang terbentuk.
2. Menguji efektivitas ATA foil dalam menyisihkan bakteri *E. coli* serta membandingkan kinerjanya pada dua kondisi matriks air yang berbeda, yaitu air akuades (*artificial sample*) dan air Depot Air Minum Isi Ulang (*real sample*), untuk memvalidasi aplikabilitas teknologi pada kondisi lapangan.
3. Menganalisis keamanan air hasil olahan dengan mengukur konsentrasi aluminium (Al) terlarut guna memastikan produk inovasi ATA foil memenuhi standar kualitas air minum yang berlaku.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menyediakan metode alternatif POU yang efektif dan mudah diterapkan untuk penyisihan bakteri *E. coli* pada air minum di skala rumah tangga.
2. Mengembangkan pemanfaatan bahan yang mudah diperoleh dan relatif ekonomis, seperti aluminium foil, pupuk $Mg(NO_3)_2$, dan pupuk *wood ash*/abu kayu, sebagai material penyusun adsorben untuk mengatasi permasalahan kontaminasi mikrobiologis pada air minum.
3. Berpotensi mengurangi angka kejadian penyakit diare akibat air tercemar mikroba, terutama pada bayi dan anak-anak.
4. Menjadi solusi pengolahan air minum di daerah pascabencana dan depot air minum di Indonesia yang kerap mengalami kontaminasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan, mulai dari tahap persiapan hingga penyusunan laporan, yang direncanakan pada bulan Maret 2026 hingga Juni 2026.
2. Penelitian ini berfokus pada sintesis dan pengujian efektivitas material ATA foil yang difabrikasi pada substrat aluminium foil.
3. Bahan baku yang digunakan untuk sintesis ATA foil dibatasi pada pupuk $Mg(NO_3)_2$ sebagai sumber ion Mg^{2+} dan pupuk *wood ash*/abu kayu komersial sebagai sumber ion hidroksida dan basa kuat.
4. Fokus penelitian ini dibatasi pada bakteri *E. coli* untuk mendalami interaksi spesifik antara dinding sel Gram-negatif dengan permukaan aktif aluminium oksihidroksida amorf.
5. Variasi waktu perendaman dalam tahap fabrikasi ATA foil dibatasi pada 6 jam dan 24 jam. Mengacu pada penelitian Johan dkk., 2023; Fukugaichi dkk., 2024 dan Ihsan dkk., 2025, maka alasan pemilihan waktu 6 Jam merupakan durasi dengan proses pengikisan alkalis pada lapisan pasif Al_2O_3 telah selesai dan reaksi presipitasi *in-situ* mulai menumbuhkan lapisan awal hidroksida/oksihidroksida aluminium amorf. Tujuannya untuk menguji apakah

proses fabrikasi yang lebih singkat (efisien secara waktu dan energi) sudah cukup membentuk situs aktif permukaan untuk menyisihkan *E. coli*. Sedangkan waktu 24 Jam, untuk memberikan waktu retensi yang cukup bagi spesies aluminat terhidrasi untuk terus mengalami rekristalisasi dan transformasi morfologi permukaan menjadi struktur jaringan berpori yang lebih kompleks dan saling terhubung. Untuk mendapatkan kerapatan situs aktif hidroksil dan luas permukaan spesifik maksimum guna mencapai efisiensi penyisihan bakteri hingga 100%.

6. Sampel air yang digunakan dalam pengujian terdiri atas air akuades yang diinokulasi *E. coli* dengan konsentrasi target 100 CFU/100 mL (*artificial sample*) dan air Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) yang terindikasi mengandung kontaminasi mikrobiologis secara alami (*real sample*) di wilayah Kota Padang.
7. Sampel air DAMIU diambil rumah makan Pondok Aia Badarun berlokasi di Jl. Irigasi, Kelurahan Cupak Tengah, Kecamatan. Pauh, Kota Padang.
8. Analisis data akan mencakup uji karakterisasi dan morfologi ATA foil menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD), serta uji efektivitas terhadap *E. coli* menggunakan *metode Colony Forming Unit* (CFU).
9. Fabrikasi ATA foil dan uji mikrobiologi dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan Laboratorium Penelitian, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, sedangkan uji instrumen SEM-EDX dan XRD dilaksanakan di Laboratorium Sentral Universitas Andalas.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang kualitas air minum, indikator pencemaran biologis, penyisihan *E. coli*, dan teori-teori pendukung lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahapan penelitian yang dilakukan, studi literatur, persiapan percobaan mencakup alat dan bahan, metode analisis laboratorium, lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasannya

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan

