

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik didefinisikan sebagai air limbah yang timbul dari kegiatan sehari-hari manusia terkait pemanfaatan air, seperti mandi, mencuci, dan aktivitas sanitasi lainnya, yang mencakup limbah kakus (*black water*) maupun limbah nonkakus (*grey water*) dari kawasan permukiman dan fasilitas umum. Apabila tidak dikelola secara memadai, air limbah tersebut berisiko mencemari lingkungan dan menimbulkan gangguan kesehatan masyarakat (Kementerian Lingkungan Hidup, 2025). Berdasarkan hal tersebut, penentuan teknologi pengolahan yang sesuai dengan karakteristik tepat guna, efektif, efisien, dan mudah diaplikasikan menjadi aspek krusial yang perlu dipertimbangkan. Karakteristik air limbah yang *biodegradable*, yakni memiliki kemampuan terurai oleh aktivitas mikroorganisme dan diindikasikan melalui rasio $BOD/COD > 0,5$, memungkinkan air limbah tersebut diolah melalui pendekatan biologis (Al Kholif dkk., 2023; Tchobanoglous dkk., 2014).

Salah satu parameter pencemar utama pada limbah domestik adalah amonia. Amonia (NH_3) merupakan bentuk nitrogen tidak terionisasi yang masuk ke lingkungan perairan dan menjadi perhatian utama karena memiliki efek beracun langsung (*direct toxic effects*) yang dapat merusak sistem biologis hingga menyebabkan kematian organisme akuatik. Toksisitas amonia bersifat dinamis karena meningkat signifikan seiring kenaikan pH dan suhu perairan, dengan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar $<5 \text{ mg/L}$ (U.S. EPA, 2013).

Indonesia tercatat sebagai negara penghasil limbah terbesar ke empat di dunia, khususnya timbulan limbah plastik seperti botol plastik kemasan minuman sekali pakai yang berbahan *polyethylene terephthalate* (PET). Banyaknya konsumsi minuman kemasan menyebabkan PET terus menumpuk dan menjadi sumber pencemaran lingkungan apabila tidak dimanfaatkan kembali. Salah satu bentuk pemanfaatan kembali botol plastik PET adalah sebagai media lekat pada sistem pengolahan air limbah berbasis *biofilm*. PET memiliki sifat fisik dan permukaan

yang memungkinkan mikroorganisme melekat dan membentuk *biofilm* dengan baik (Fauzi dkk., 2023).

Pada sistem *Fixed-Bed Biofilm Reactor* (FBBR), keberhasilan proses pengolahan sangat bergantung pada karakteristik permukaan media. Setiap jenis polimer memiliki sifat fisik dan kimia berbeda yang memengaruhi proses pembentukan *biofilm*, terutama tingkat hidrofilisitas yang menentukan kemudahan media berinteraksi dengan air dan mikroorganisme. Pemilihan media yang tepat menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi FBBR, khususnya pada pengolahan air limbah domestik yang masih menjadi tantangan di banyak daerah (Setiyawan dkk., 2023). Salah satu metode biologis yang efisien dalam menyisihkan senyawa organik adalah pengolahan pertumbuhan terlekat (*attached growth*), yang efektivitasnya sangat ditentukan oleh kemampuan media lekat dalam memfasilitasi pertumbuhan mikroorganisme (Fauzi dkk., 2025; Dorji dkk., 2021).

Di antara berbagai polimer yang telah diuji, PVC dan PET menunjukkan *wettability* serta *specific surface area* (SSA) terbaik, yaitu 100–820 m²/m³, sehingga mendukung pelekatan mikroorganisme secara optimal (Tchobanoglous dkk., 2014). Perbedaan tingkat hidrofilisitas antar-polimer turut menentukan kecepatan pembentukan *biofilm*. Penelitian Setiyawan (2023) yang membandingkan lima jenis media (PET, HDPE, PVC, PP, dan akrilik), PET memiliki sifat hidrofilik paling tinggi dan terbukti menghasilkan lapisan *biofilm* yang lebih tebal dan stabil dibandingkan media lainnya, sehingga kinerja penyisihan COD, amonia, dan fosfat menjadi lebih baik, dengan efisiensi penyisihan amonia berkisar antara 54,35–69,67%. Dengan demikian, pemanfaatan kembali botol PET sebagai media *biofilm* tidak hanya mengurangi beban limbah plastik, tetapi juga menjadi solusi efektif dan ekonomis dalam meningkatkan performa pengolahan air limbah berbasis *biofilm*.

Selain pemilihan media, evaluasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) merupakan tahapan penting dalam menentukan kondisi operasi paling efektif, karena HRT berperan langsung dalam mengatur lamanya kontak antara polutan dan *biofilm* sebagai agen pengolahan biologis. Penggunaan variasi HRT 36, 24, dan 12 jam menjadi relevan untuk diteliti guna mendapatkan waktu tinggal yang optimal (Azmi dkk., 2018; Zulfikar dkk., 2022). Oktafianti (2025) menyatakan bahwa penyisihan

amonia tertinggi terjadi pada HRT 36 jam dengan efisiensi 76,1%, menggunakan kombinasi reaktor *anaerob-aerob* dengan media lekat PVC dan PET berbasis konfigurasi *Gappei-Shori Johkaso*. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa integrasi sistem *biofilm* mampu meningkatkan kualitas efluen limbah domestik melalui efisiensi penyisihan bahan organik dan nutrien yang tinggi, sekaligus menegaskan relevansi penggunaan media plastik dalam mendukung penyisihan amonia (Buslima dkk., 2025).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja FBBR menggunakan media PVC (*anaerob*) dan PET (*aerob*) dalam menyisihkan amonia dari air limbah domestik. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi HRT 36, 24, dan 12 jam terhadap efisiensi penyisihan amonia, serta menilai kesesuaian hasil dengan baku mutu air limbah domestik berdasarkan *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA) tahun 2013. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah domestik yang lebih efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki maksud untuk mengevaluasi kinerja sistem pengolahan air limbah domestik pemukiman dalam menyisihkan amonia menggunakan *Fixed-Bed Biofilm Reactor* dengan media lekat berbahan PVC dan PET akibat adanya perubahan HRT. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis efisiensi penyisihan amonia dari air limbah domestik pemukiman menggunakan *Fixed-Bed Biofilm Reactor* dengan media berbahan PVC dan PET akibat pengaruh HRT dengan variasi 36, 24, dan 12 jam;
2. Menganalisis penurunan konsentrasi amonia pada reaktor menggunakan media lekat PVC dan PET;
3. Membandingkan hasil kinerja FBBR dalam penyisihan amonia dengan baku mutu *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA) tahun 2013.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan keilmuan dalam pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan FBBR dengan media lekat PVC dan PET;
2. Mengetahui pengaruh perubahan HRT terhadap efisiensi penyisihan amonia pada air limbah domesik.

1.4 Ruang Lingkup

Beberapa ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan Universitas Andalas;
2. Air limbah yang digunakan adalah air limbah artifisial yang karakteristiknya menyerupai air limbah domestik pemukiman asli;
3. Reaktor yang digunakan ada 2 jenis yaitu *reactor batch* untuk *seeding* dan *reactor* kontinu untuk *running*;
4. Reaktor kontinu berupa rangkaian reaktor *anaerob* – *aerob* – sedimentasi. Media lekat yang digunakan pada reaktor *anaerob* adalah media berbahan *polyvinyl chloride* (PVC) dan pada reaktor *aerob* menggunakan plastik botol bekas berbahan *polyethylene terephthalate* (PET) yang berbentuk sarang tawon;
5. Reaktor didesain berdasarkan standar *Gappei-Shori Johkaso*;
6. Sampel yang digunakan saat *running* pada reaktor kontinu berupa air limbah artifisial dengan karakteristik mengacu kepada karakteristik air limbah domestik asli.
7. Reaktor merupakan suatu sistem yang mampu menyediakan sebuah lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia dari air limbah yang mengandung polutan yang sesuai dengan baku mutu;
8. Proses *seeding* dilakukan secara *batch*, dilakukan terpisah dari reaktor utama penelitian ini (FBBR), dan diaplikasikan pada media lekat sarang tawon PVC dan PET hingga konsentrasi biomassa terlekat mencapai 2500 – 4000 mg MLVSS/L dan perubahan warna menjadi kehitaman/kecoklatan serta tumbuhnya lendir (*slime*) pada media lekat;
9. Sumber mikroorganisme pada proses *seeding*/pembibitan berasal dari lumpur

- tinja pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kota Padang;
10. *Running* pada reaktor kontinu dilakukan dengan variasi HRT 36, 24, dan 12 jam;
 11. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi parameter lingkungan pH, *Dissolve Oxygen* (DO), Temperatur (T), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS) dan amonia;
 12. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini berupa analisis statistik deskriptif, *one-way anova* dan *Post-hoc Duncan* serta analisis korelasi menggunakan *software SPSS 27*;
 13. Kinerja proses pengolahan pada reaktor *anaerob – aerob* mengacu kepada baku mutu internasional yang diatur pada *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA) tahun 2013;
 14. Penelitian ini tidak mencakup identifikasi dan analisis jenis mikroorganisme maupun bakteri yang berperan dalam proses penyisihan amonia pada unit pengolahan, sehingga pembahasan terkait peran mikroorganisme hanya didasarkan pada kajian literatur.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi literatur air limbah domestik, karakteristik, teknologi pengolahan air limbah domestik secara biologis, prinsip pengolahan air limbah domestik dengan sistem pertumbuhan terlekat, penyisihan amonia secara biologis, media lekat pertumbuhan mikroorganisme, *Hydraulic Retention Time* (HRT), penelitian terdahulu, dan peraturan terkait.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan umum, tahapan penelitian, studi literatur, studi lapangan, persiapan peralatan yang digunakan, persiapan pengambilan sampel air limbah, karakterisasi air limbah asli,

persiapan reaktor, *seeding*, persiapan pembuatan air limbah artifisial, *running* dengan variasi konsentrasi substrat, metode analisis sampel, dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang karakteristik air limbah domestik, *seeding*, kinerja reaktor *anaerob-aerob*, dan korelasi HRT terhadap penyisihan amonia;

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan.

