

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik merupakan buangan air berasal dari rumah tangga, fasilitas komersial, institusional, dan umum. Air limbah domestik kaya akan bahan organik dan nitrogen sehingga berpotensi menurunkan DO (*Dissolved Oxygen*) dan eutrofikasi (Tchobanoglous dkk., 2014). Kelebihan nitrogen di perairan menyebabkan pertumbuhan alga dan tumbuhan air yang berlebihan sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta memperburuk kualitas air. Sebagai contoh, Bendungan Saguling di hulu Sungai Citarum telah mengalami kondisi *hiper-eutrofik*, dengan kontribusi nitrogen sebesar 14% berasal dari air limbah domestik (Widyarani dkk, 2022).

Air limbah domestik bersifat *biodegradable*, menjadikan air limbah ini cocok diolah secara biologi (Tchobanoglous dkk., 2014). Pengolahan biologis memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan polutan organik *biodegradable* (Dwiyono & Dewi, 2018). Pengolahan biologis dapat dilakukan dengan sistem terlekat maupun tersuspensi, namun sistem terlekat lebih unggul dengan biomassa aktif tinggi, ruang lebih kecil, waktu tinggal hidrolis lebih singkat, kinerja lebih stabil, dan efisiensi penyisihan nitrogen lebih baik (Huang dkk, 2017; Shao dkk, 2017). Kunci sistem terlekat adalah media biofilm sebagai tempat melekat dan tumbuhnya mikroorganisme pendegradasi substrat, yang idealnya memiliki kekuatan mekanik tinggi, luas permukaan besar, bioafinitas baik, tahan degradasi, inert, dan ringan (Cai dkk, 2020; Zhao dkk, 2019). Penyisihan total nitrogen dapat melalui proses denitrifikasi-nitrifikasi pada kondisi anaerob-aerob (Assefa dkk, 2019). Efisiensinya dipengaruhi oleh *Hydraulic Retention Time* (HRT), di mana HRT yang terlalu pendek maupun terlalu panjang dapat menurunkan penyisihan nitrogen (Fatimah dkk, 2025).

Berbagai penelitian mengenai media biofilm berbahan polimer telah banyak dikembangkan karena sifat fisiknya yang ringan, *inert* (tahan terhadap degradasi biologis), awet, serta mudah dibentuk sehingga memiliki *specific surface area* (SSA) tinggi, yaitu 100–820 m²/m³ (Tchobanoglous dkk., 2014). Sifat fisikokimia

polimer, khususnya *wettabilitas*, berperan penting dalam menentukan adhesivitas mikroorganisme. Media polimer yang banyak diteliti hingga saat ini yaitu *polyethylene terephthalate* (PET), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), *high-density polyethylene* (HDPE), dan *polymethyl methacrylate* (acrylic), *polyethylene* (PE), *polystyrene* (PS), dan *polyurethane* (PU). Penelitian Fauzi dkk, (2025), Setiyawan dkk, (2023), dan Zhao dkk, (2019) menunjukkan material PVC memiliki daya tahan dengan struktur yang kokoh namun bersifat hidrofobik dan PET memiliki sifat lebih hidrofilik sehingga mendukung kolonisasi awal mikroorganisme. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Peng dkk, (2018).

Penelitian Azizah (2025) menggunakan media PVC berbentuk sarang tawon pada zona anaerob dan media PET berukuran 4×4 cm pada zona aerob dengan sistem Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). Sistem tersebut menghasilkan efisiensi penyisihan total nitrogen sebesar 55%, 58%, dan 62% pada HRT 12, 24, dan 36 jam serta telah memenuhi baku mutu, mengingat sistem MBBR yang bergerak dinamis mengikuti aliran fluida, terdapat peluang untuk mengevaluasi apakah kinerja penyisihan yang serupa atau optimal dapat dicapai melalui konfigurasi seperti *Fixed-Bed Biofilm Reactor* (FBBR) dengan susunan reaktor yang sama.

FBBR memiliki beberapa keunggulan, yaitu tidak menghasilkan banyak lumpur buangan, hemat energi, dan lebih stabil karena media tetap meminimalkan gangguan pada *biofilm*. Pada prosesnya, mikroorganisme tumbuh dan melekat membentuk biofilm pada permukaan media yang berada secara tetap di dalam reaktor, sehingga tidak menghasilkan banyak lumpur terbawa keluar bersama aliran effluen (Choi dkk., 2012). Penelitian lain dilakukan Rizka dkk, (2024) menggunakan sistem FBBR dengan media PVC sarang tawon pada proses anoksik dan HRT 9 jam mampu menyisihkan total nitrogen sebesar 58,927%, namun penelitian tersebut masih terbatas pada proses anoksik sehingga diperlukan pengembangan pada sistem anaerob dan aerob.

Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan sistem yang mengacu pada Azizah (2025) dengan mengganti media PET bergerak pada zona aerob menjadi media tetap (*fixed-bed*), sementara media PVC sarang tawon pada zona anaerob tetap dipertahankan. Modifikasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinerja penyisihan total nitrogen serta menghasilkan efluen yang memenuhi standar dengan

acuan kualitas efluen yang ditetapkan oleh *U.S. Environmental Protection Agency* (U.S-EPA, 2009), mengingat parameter tersebut belum diatur secara spesifik dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyisihan total nitrogen dari air limbah domestik menggunakan *fixed-bed biofilm reactor* dengan media lekat berbahan PVC dan PET, sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis penurunan konsentrasi total nitrogen pada masing-masing reaktor dalam konfigurasi FBBR anaerob, aerob, dan sedimentasi serta menganalisis perbandingan konsentrasi hasil penyisihan kinerja FBBR dalam penyisihan total nitrogen dengan baku mutu *U.S. Environmental Protection Agency* (U.S-EPA, 2009).
2. Menganalisis efisiensi penyisihan total nitrogen dari air limbah domestik menggunakan *fixed-bed biofilm reactor* (FBBR) dengan media berbahan PVC dan PET, dengan melihat pengaruh variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada 12, 24, 36 jam terhadap tingkat penyisihan total nitrogen;

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan keilmuan dalam pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan pengolahan sistem terlekat reaktor FBBR dengan media lekat PVC dan PET;
2. Memberikan informasi pengaruh perubahan *Hydraulic Retention Time* (HRT) terhadap efisiensi penyisihan total nitrogen;
3. Memberikan alternatif pengolahan air limbah domestik yang efektif menurunkan total nitrogen hingga memenuhi baku mutu US-EPA dan dapat menjadi referensi bagi pengelola air limbah domestik;

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium yang berlokasi di Laboratorium Penelitian Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, menggunakan air limbah

domestik artifisial dengan rasio C:N:P yang disesuaikan dengan karakteristik air limbah domestik asli.

2. Penelitian menggunakan dua tipe reaktor, yakni reaktor *batch* yang difungsikan untuk proses *seeding* dan reaktor kontinu yang dioperasikan untuk tahap *running* yang digunakan berupa *fixed-bed biofilm reactor* dengan konfigurasi anaerob-aerob secara berurutan.
3. Desain reaktor sistem kontinu mengacu kepada standar *Gappei-Shori Johkaso*, dimana zona anaerob menggunakan media lekat berbentuk sarang tawon berbahan PVC dan zona aerob menggunakan media lekat berbahan PET dengan geometri sarang tawon. Reaktor merupakan sistem yang mampu menyediakan kondisi lingkungan biologis yang kondusif untuk terjadinya reaksi biokimia dalam mendegradasi polutan air limbah hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan.
4. Proses *seeding* dilakukan secara *batch*, terpisah dari reaktor utama (*Fixed-Bed Biofilm Reactor*) pada media lekat PVC dan PET. Sumber mikroorganisme untuk proses *seeding* dari lumpur tinja, yang diambil dari bak anaerob dan aerob IPLT Kota Padang. Proses *seeding* dihentikan ketika terjadi perubahan warna menjadi kehitaman atau kecoklatan serta terbentuknya lapisan lendir (*slime*) pada permukaan media lekat dan konsentrasi biomassa terlekat mencapai 2.500–4.000 mg MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*)/L.
5. Operasional reaktor kontinu dilakukan dengan variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 12, 24 dan 36 jam. Kinerja proses pengolahan pada reaktor anaerob-aerob dalam penyisihan total nitrogen mengacu kepada baku mutu US-EPA dengan rentang 2-6 mg/L, mengingat parameter total nitrogen belum diatur secara spesifik dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025;
6. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup parameter fisika temperatur dan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*) serta parameter kimia pH, DO (*Dissolved Oxygen*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan total nitrogen;

7. Analisis konsentrasi total nitrogen dilakukan menggunakan metode spektrofotometri *ultraviolet-visible* (UV-Vis) berdasarkan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* edisi 2017.
8. Analisis data yang dilakukan meliputi analisis statistik deskriptif, dan uji kolerasi menggunakan perangkat lunak SPSS.

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

Berisi tentang literatur pengertian, jenis, karakteristik, sistem pengolahan air limbah domestik, bahan organik yang ada pada air limbah domestik, pengolahan sistem terlekat, penyisihan senyawa organik secara biologi, *Hydraulic Retention Time* (HRT), penelitian terdahulu terkait pengolahan sistem terlekat, dan peraturan terkait.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan, persiapan sampling, acuan karakteristik air limbah asli, persiapan peralatan yang digunakan, pengujian kadar total nitrogen, *seeding*, persiapan reaktor, persiapan pembuatan air limbah artifisial, *running* dengan variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT), serta metode analisis yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang karakteristik air limbah domestik, *seeding*, kinerja reaktor anaerob-aerob, dan korelasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) terhadap penyisihan total nitrogen;

BAB V PENUTUP

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