

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik merupakan buangan yang berasal dari berbagai aktivitas rumah tangga, seperti mandi, mencuci, memasak, dan penggunaan toilet, serta dari fasilitas publik seperti pasar dan rumah sakit (Kementerian Negara Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016). Limbah ini umumnya mengandung bahan organik, nitrogen, fosfor, serta senyawa kimia lainnya yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan apabila tidak diolah secara tepat. Total nitrogen berasal dari urin, sisa makanan, dan deterjen. Komponen ini sebagian besar bersifat *biodegradable*, sehingga pengolahan biologis menjadi metode yang efektif untuk penyisihan total nitrogen, dengan lebih dari 70% nitrogen dapat terdegradasi secara biologis (Tchobanoglous dkk., 2014).

Kombinasi proses anaerob dan aerob merupakan pendekatan unggulan. Proses anaerob bekerja tanpa oksigen untuk menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas, sedangkan proses aerob mendukung proses nitrifikasi, yaitu konversi amonia menjadi nitrat. Efisiensi sistem kombinasi ini dapat mencapai 70% (Liu, 2021). Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan sistem reaktor terlekat dengan pendekatan kombinasi proses anaerob–aerob guna memastikan pengolahan air limbah domestik mencapai baku mutu yang ditetapkan oleh United States Environmental Protection Agency (US.EPA, 2009).

Sistem pertumbuhan terlekat (*attached growth system*) memiliki keunggulan dibanding sistem tersuspensi karena mikroorganisme tumbuh pada permukaan media yang memungkinkan pembentukan biofilm. Media berbahan PVC (sarang tawon) dan PET (botol plastik bekas) dipilih karena memiliki *wettability* yang tinggi, mendukung efisiensi nitrifikasi dan denitrifikasi, serta stabilitas proses yang baik (Fauzi dkk., 2025; Setyawan dkk., 2023). Reaktor anaerob menggunakan sistem *fixed-bed* dengan media PVC (di Biase dkk., 2019), sementara reaktor aerob menggunakan sistem *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dengan media PET (Dezotti dkk., 2017).

Inovasi teknologi media biofilm semakin berkembang untuk mencapai luas permukaan spesifik (*Specific Surface Area/SSA*) dan porositas optimal. SSA yang ideal berkisar antara 100–820 m²/m³ (Tchobanoglous dkk., 2014), dan karakteristik media seperti kekasaran, porositas, serta stabilitas mekanik sangat berpengaruh terhadap pembentukan biofilm (Dias, 2018; Chou, 2019).

Berbagai jenis media lekat telah digunakan, mulai dari bambu dan tongkol jagung hingga bahan daur ulang seperti botol plastik. Media alami memiliki keterbatasan umur pakai dan efisiensi rendah. Sementara itu, media dari plastik daur ulang seperti botol PET dan sarang tawon PVC dinilai lebih unggul karena ringan, tahan lama, mudah diperoleh, dan mendukung prinsip ekonomi sirkular (Lago dkk., 2024). Penggunaan botol plastik sebagai media biofilm dapat mencapai efisiensi penyisihan total nitrogen hingga 98%, serta menghemat biaya investasi 7–10%.

Media sarang tawon juga menunjukkan performa yang tinggi. Dengan SSA antara 100–223 m²/m³ dan porositas tinggi, media ini mendukung aliran fluida dan distribusi oksigen secara merata. Struktur berongganya mencegah penyumbatan dan memastikan kestabilan hidrolis. Meskipun harga awal lebih tinggi dibanding media alami, daya tahan dan efektivitasnya menjadikannya solusi jangka panjang (Tchobanoglous dkk., 2014).

Penelitian oleh Sali dkk. (2018) menunjukkan bahwa media sarang tawon dalam sistem biofilter tercelup mampu menurunkan total nitrogen sebesar 43,65%, amonia 85,80%, dan nitrit 97,23% dengan HRT optimal 6–7 hari. Oleh karena itu, HRT merupakan parameter penting yang menentukan durasi waktu air limbah berada dalam reaktor serta efisiensi interaksi mikroorganisme dan substrat.

Dengan mempertimbangkan efisiensi teknis, keberlanjutan lingkungan, serta kemudahan operasional, penggunaan media PVC dan PET dalam sistem reaktor anaerob–aerob dipilih sebagai solusi optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penyisihan total nitrogen dari air limbah domestik menggunakan kombinasi media lekat PET dan PVC dengan variasi HRT, guna

memberikan alternatif pengolahan limbah yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja reaktor anaerob – aerob – sedimentasi menggunakan media lekat PVC dan PET dalam menyisihkan total nitrogen pada air limbah domestik, sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi HRT terhadap efisiensi penyisihan total nitrogen dalam air limbah domestik menggunakan reaktor anaerob – aerob – sedimentasi;
2. Menganalisis penurunan total nitrogen akibat perubahan HRT pada masing-masing reaktor anaerob-aerob menggunakan media lekat PVC dan PET;
3. Membandingkan hasil kinerja reaktor dengan baku mutu total nitrogen dalam *United States. Environmental Protection Agency (US.EPA)*.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai pengaruh perubahan waktu tinggal hidraulik (HRT) terhadap efisiensi penyisihan total nitrogen dalam air limbah domestik permukiman menggunakan pengolahan anaerob-aerob menggunakan PVC dan PET sebagai media lekat;
2. Memberikan informasi penting tentang jenis dan peran mikroorganisme dalam sistem pengolahan anaerob-aerob, sehingga pengetahuan ini dapat membantu dalam pengembangan sistem pengolahan yang lebih efektif;
3. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan air limbah domestik yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium, menggunakan reaktor sistem kontinu;
2. Sampel menggunakan air limbah artifisial dengan mengacu kepada karakteristik air limbah asli domestik permukiman. Pengambilan sampel dilakukan di salah satu

- IPAL komunal Kampung Duri, Kecamatan Limau Manis, Kota Padang, Sumatera Barat dengan metode pengambilan sampel mengacu ke SNI 6989.59-2008;
3. Rangkaian reaktor terbagi 2 yaitu reaktor *Seeding* dengan sistem *batch* dan reaktor utama dengan sistem kontinu yang terdiri dari rangkaian reaktor anaerob - aerob - sedimentasi;
 4. Sistem desain reaktor berdasarkan Gappei-Shori Johkasou;
 5. Media lekat yang digunakan pada reaktor anaerob adalah media sarang tawon berbahan *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan pada aerob adalah potongan botol plastik bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET);
 6. Reaktor merupakan suatu Sistem ini dirancang untuk menyediakan suatu lingkungan biologis yang optimal, sehingga dapat mendukung terjadinya reaksi biokimia dalam proses pengolahan air limbah yang mengandung konsentrasi polutan tinggi menjadi air limbah yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan;
 7. Sumber mikroorganisme dalam proses *Seeding* /pembibitan berasal dari lumpur tangki septik;
 8. *Running* pada reaktor kontinu dilakukan dengan variasi HRT 12; 24; dan 36 jam;
 9. Proses *Seeding* dilakukan pada reaktor *batch* (dilakukan terpisah dari reaktor utama) dan diaplikasikan pada media lekat sarang tawon dan potongan botol plastik bekas hingga konsentrasi biomassa terlekat mencapai 2500 – 4000 mg VSS/L dan perubahan warna menjadi kehitaman/kecoklatan serta tumbuhnya lendir (*slime*) pada media lekat;
 10. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini meliputi pH, *Dissolved Oxygen* (DO), Temperature (T) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Volatile Suspended Solids* (VSS), dan total nitrogen;
 11. Analisis total nitrogen dilakukan dengan metoda spektrofotometri ultraviolet (UV-Vis) sesuai *Standard Methods for The Examination Of Water and Wastewater* Tahun 2017;
 12. Analisis statistik yang dilakukan pada penelitian ini berupa analisis deskriptif, uji *One Way Anova*, *post-hoc Duncan* serta analisis korelasi;

13. Pengamatan morfologi dilakukan secara mikroskopik yaitu menggunakan mikroskop cahaya (mikroskop optik) untuk mengamati bentuk dan ukuran mikroorganisme yang bekerja dalam mendegradasi substrat (total nitrogen) pada kondisi anaerob dan aerob.
14. Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan pewarnaan gram positif dan negatif.

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, HRT, penelitian terdahulu terkait pengolahan sistem terlekat, dan peraturan terkait;

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan, persiapan sampling, karakteristik air limbah asli, persiapan peralatan yang digunakan, pengujian kadar total nitrogen, *Seeding*, persiapan reaktor, persiapan pembuatan air limbah artifisial, *Running* dengan variasi HRT, metode analisis yang digunakan, serta karakterisasi morfologi mikroorganisme.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil penelitian dan pembahasannya;

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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