

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik yang berasal dari penggunaan toilet, kamar mandi, dan wastafel, apabila dibuang langsung ke badan air penerima, seperti sungai tanpa melalui pengolahan akan menurunkan kualitas perairan. Air limbah ini umumnya mengandung bahan organik dan senyawa nitrogen yang dapat menciptakan eutrofikasi dan menimbulkan kondisi anaerob pada perairan. Pendekatan berbasis ekologi sangat dianjurkan karena karakteristik air limbah domestik umumnya bersifat *biodegradable* sehingga dapat diuraikan secara alami. Proses pengolahan mendegradasi senyawa pencemar oleh mikroorganisme yang melekat membentuk lapisan biofilm (Bastom, 2015). Pengolahan air limbah domestik umumnya dapat menggunakan pengolahan biologis melalui tangki septik konvensional dengan proses anaerob. Namun, berdasarkan Shah, (2005) dan Novembry dkk., (2022), kualitas pengolahan sistem septik konvensional hanya mampu menurunkan kandungan nutrisi sebesar 10-30% dan organik sebesar 25-40%. Pengolahan senyawa nutrisi dan organik pada air limbah tidak cukup hanya dengan pengolahan anaerob saja. Penambahan kondisi aerob pada unit pengolahan air limbah domestik lebih efektif dibandingkan hanya berbasis anaerob, sedangkan kombinasi kedua metode tersebut memberikan kinerja yang lebih optimal (Singga & Dukabain, 2019).

Proses biologis dengan pertumbuhan media lekat memiliki kinerja lebih tinggi dibandingkan dengan media tersuspensi (Fauzi, dkk., 2025). Menurut Permadi (2015), menggunakan proses pertumbuhan media lekat kinerjanya lebih tinggi karena efektivitas pengolahan mencapai lebih dari 70%, dianggap lebih ekonomis, hanya membutuhkan lahan kecil, dan biaya operasional relatif murah, sehingga lebih sesuai untuk pengolahan air limbah domestik dibandingkan tanpa media lekat dengan efektivitas hanya mencapai 56% dalam menyisihkan senyawa organik dan nutrisi (Canals dkk., 2025).

Alternatif pengolahan air limbah dalam skala kecil untuk menyisihkan nitrat dan nitrit dapat menggunakan teknologi kombinasi dua proses pengolahan, yaitu

anaerob-aerob. Contoh penerapan kombinasi pengolahan anaerob-aerob tersebut telah diterapkan di Jepang, yaitu pengolahan *Gappei-shori Johkasou*. Menurut Wang dkk., (2024), keunggulan *Gappei-shori Johkasou* tidak hanya mampu mengolah kadar organik saja, tetapi juga dapat menyisihkan kadar fosfat dan nitrogen hingga mencapai 95%, serta pengolahannya lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Pengolahan *Johkasou* dapat dipasang pada tingkat rumah tangga melalui proses biologis dengan pertumbuhan mikroorganisme terlekat secara anaerob-aerob (Trianda, dkk., 2018).

Efisiensi pengolahan menggunakan proses biologis dipengaruhi oleh faktor operasional seperti *Hydraulic Retention Time* (HRT). Menurut Ningtias, dkk., (2015), semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan biofilm yang tumbuh di permukaan media lekat akan semakin besar efisiensi penyisihan parameter pencemar. Teknologi pengolahan air limbah dengan sistem biofilm, seperti reaktor biofilm tetap (*fixed bed*) dan reaktor biofilm bergerak (*moving bed*) digunakan sebagai alternatif mengurangi kandungan nutrisi berlebih dan zat pencemar. Metode biofilm memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sistem lumpur aktif biasa, antara lain jumlah mikroba pengurai lebih banyak, tidak membutuhkan lahan luas, waktu proses lebih singkat, dan hasil pengolahan lebih stabil (Nur & Komala, 2021)

Pengolahan limbah yang mengandung nitrat dan nitrit oleh Sali, dkk (2018) dengan pengolahan anaerob-aerob menggunakan media PVC sarang tawon pada HRT 6-7 hari. Media pada penelitian tersebut dipilih karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar sekitar $250 \text{ m}^2/\text{m}^3$, sehingga dinilai dapat melekatkan dan menumbuhkan mikroorganisme, serta mendukung peningkatan penyisihan polutan. Hasil efektivitas penyisihan pada kadar nitrat sebesar 21,92% dan nitrit sebesar 97,23%. Adapun penyisihan nitrat dan nitrit pada air limbah menggunakan media lekat dari limbah botol plastik PET oleh Fauzi, dkk, (2023) dengan jenis pengolahan aerobik dan anoksik tanpa variasi HRT, didapatkan efisiensi penyisihan nitrat sebesar $64,30 \pm 0,42\%$ dan nitrit sebesar $76,09 \pm 0,66\%$. Media tersebut dipilih karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar hingga $444 \text{ m}^2/\text{m}^3$, sehingga dinilai memiliki efektivitas penyisihan organik yang lebih tinggi dibandingkan

dengan jenis media lainnya karena dapat menampung jumlah mikroorganisme lebih banyak.

Berdasarkan penelitian Fauzi dkk., (2025) dan Setiyawan dkk., (2023), media PVC sarang tawon dan PET sifatnya lebih hidrofilik dibandingkan polimer lainnya, sehingga membuat mikroorganisme lebih mudah melekat. Media PVC mampu menghilangkan bahan organik dan nutrisi lebih efisien dibandingkan polimer lainnya dan media PET dapat membentuk biofilm lebih cepat dan ketersediaannya mudah diperoleh sekaligus mengurangi limbah plastik. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menggunakan satu jenis media lekat atau dengan pengolahan aerobik atau anoksik, sistem yang diterapkan pada penelitian ini menggunakan kombinasi anaerob-aerob secara kontinu dengan dua jenis media lekat, yaitu PVC sarang tawon dan potongan botol plastik bekas berbahan PET. Kombinasi kedua media tersebut dipilih karena dinilai memiliki sifat wettabilitas (kemampuan untuk dibasahi oleh cairan) yang baik, sehingga memungkinkan mikroorganisme untuk melekat dan tumbuh optimal. Dalam penelitian dilakukan dengan variasi waktu tinggal lebih singkat dari penelitian terdahulu, yaitu HRT 36, 24, dan 12 secara bertahap menggunakan kombinasi reaktor anaerob-aerob dan sedimentasi untuk penyisihan nitrat dan nitrit dari air limbah domestik dengan standar US EPA (2009) dan WHO (2011).

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja pengolahan kombinasi reaktor anaerob-aerob dengan media lekat PVC sarang tawon dan PET dalam penyisihan senyawa nitrat dan nitrit pada air limbah domestik. Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis efisiensi penyisihan senyawa nitrat dan nitrit pada air limbah domestik permukiman terhadap pengaruh variasi HRT menggunakan sistem pengolahan pertumbuhan terlekat anaerob-aerob;
2. Menganalisis konsentrasi nitrat dan nitrit pada masing-masing reaktor anaerob dan reaktor aerob dengan standar US EPA 2009 dan WHO 2011;
3. Mengamati morfologi mikroorganisme dominan pada media lekat PVC sarang tawon (reaktor anaerob) dan PET (reaktor aerob) melalui pendekatan mikroskopi.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengembangkan teknologi pengolahan air limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah plastik;
2. Mengoptimalkan aplikasi pengolahan air limbah domestik sesuai dengan regulasi yang berlaku untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh pencemaran air seperti eutrofikasi;
3. Mengenali peranan mikroorganisme dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem kombinasi anaerob-aerob agar efektif dalam penyisihan senyawa nitrat dan nitrit.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup menjelaskan batasan dan fokus dari suatu penelitian. Beberapa ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dalam skala laboratorium menggunakan rangkaian reaktor sistem kontinu didesain berdasarkan standar *Gappei-Shori Johkasou* berupa reaktor anaerob (*fixed bed*) – aerob (*moving bed*) – sedimentasi;
2. Sampel berupa air limbah artifisial mengacu pada karakteristik air limbah domestik di IPAL komunal di Kampung Duri Limau Manis, Kota Padang untuk acuan parameter COD, nitrogen, dan fosfat. Metode pengambilan sampel berpedoman pada SNI 8990:2021 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah;
3. Proses *seeding* menggunakan mikroorganisme yang bersumber dari lumpur tangki septik yang ditumbuhkan pada media lekat PVC sarang tawon dan PET potongan botol plastik bekas. Proses *seeding* secara *batch* dihentikan saat konsentrasi biomassa terlekat telah mencapai 2.500–4.000 mg VSS/L;
4. Reaktor utama anaerob-aerob menggunakan media lekat PVC sarang tawon yang dipindahkan ke reaktor anaerob dan media lekat PET yang dipindahkan ke reaktor aerob;
5. Proses *running* dilakukan pada reaktor kontinu melalui pengamatan pengaruh variasi HRT 36, 24, dan 12 jam dengan menganalisis parameter pH, *Dissolve Oxygen* (DO), temperatur, NO_3^- , dan NO_2^- ;

6. Kinerja pengolahan pada reaktor anaerob-aerob dalam penyisihan nitrat dan nitrit mengacu kepada standar US EPA 2009 dan WHO 2011;
7. Analisis pada penelitian ini berupa analisis deskriptif, uji *One-Way* ANOVA untuk menguji perbedaan signifikan kadar nitrat dan nitrit pada variasi waktu HRT, uji *Post-Hoc Duncan*, serta analisis korelasi menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 26.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

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 senyawa nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-) secara biologis, media lekat pertumbuhan mikroorganisme, *Hydraulic Retention Time* (HRT), penelitian terdahulu, dan peraturan terkait.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan penelitian yang dilakukan selama penelitian, persiapan sampling, karakteristik air limbah asli, persiapan peralatan dan bahan yang digunakan, pengujian kadar nitrat (NO_3^-) dan nitrit (NO_2^-), *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

Bab ini berisikan hasil penelitian dan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan.

