

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari aktivitas rumah tangga, fasilitas komersial, institusi, dan publik (Tchobanoglous et al., 2014). Menurut Jafarinejad (2019) Air limbah domestik dapat mengandung senyawa nitrogen yang terdiri dari amonia (NH_3), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), nitrogen organik partikulat, dan nitrogen organik terlarut yang berasal dari urin, sisa makanan, protein, serta bahan organik lainnya. Nitrogen dalam air limbah sebagai nutrient pencemar pada air limbah (Sperling, 2007) menimbulkan permasalahan ekologis yang serius bagi badan air penerima, termasuk eutrofikasi dan toksisitas bagi kehidupan akuatik (Kosgey et al., 2022).

Menurut Wijaya & Soedjono, (2018) melaporkan bahwa penyisihan nitrogen pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal berbasis *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) di Indonesia masih rendah. Temuan ini diperkuat oleh tinjauan yang dilakukan Widyarani et al. (2022), yang merangkum beberapa penelitian dan menunjukkan bahwa amonia pada efluen umumnya masih melebihi baku mutu (Nur & Komala, 2021; Rahmawati et al., 2019; Yulistyorini et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan yang lebih efektif untuk meningkatkan penyisihan nitrogen sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

Salah satu pengolahan limbah biologis yaitu *Trickling filter* yang telah digunakan selama lebih dari 100 tahun dan memiliki kemampuan nitrifikasi-denitrifikasi yang baik (Tchobanoglous et al., 2014). Teknologi ini memiliki konstruksi sederhana, kinerja stabil, serta biaya operasi dan pemeliharaan yang rendah (Geng et al., 2024). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa media sintetis, seperti *polyurethane sponge*, *polypropylene cross pack*, dan *pall rings*, mampu menyisihkan amonia hingga 93–98%, nitrat hingga 100%, dan total nitrogen hingga 66,5% (Danshita et al., 2020; Forbis-stokes et al., 2018; Maciejewski et al., 2024). Namun, media tersebut umumnya berbahan polimer plastik seperti *polypropylene* (PP),

polyethylene (PE), dan PVC yang berpotensi mengalami degradasi pada akhir masa pakainya serta memerlukan biaya yang relatif tinggi.

Sebaliknya, media alami lebih murah, mudah didapat dan ramah lingkungan. Adapun penelitian terkait penggunaan media alami seperti pada penelitian Geng et al. (2024) dengan menggunakan media *zeolite*, granular keramik, dan *sponge* yang memiliki efisiensi penyisihan amonia sebesar 6,64%; 8,23%; 21,06% (Geng et al., 2024). Adapun penelitian sebelumnya menggunakan media alami seperti *zeolite* dalam Chang (2002) yang menunjukkan kinerja lebih baik dalam penyisihan TKN. Namun, menurut Loh et al., (2021) Pembentukan *biofilm* pada media sintetis berlangsung lebih lama, yaitu sekitar 20 hari hingga 6 bulan, sedangkan media alami sekitar 15 hari hingga 3 bulan.

Papan pakis merupakan alternatif media alami untuk *trickling filter* karena memiliki rongga yang mendukung pertumbuhan *biofilm* (Juherah & Mangiri, 2019), porositas tinggi sebesar 87,81% sehingga mengurangi risiko penyumbatan (Massaid et al., 2026; Tchobanoglous et al., 2014), serta tahan lapuk dan mampu menyediakan unsur hara dalam jangka panjang (Andalasari et al., 2014). Maharani et al. (2025) melaporkan bahwa media papan pakis mampu menyisihkan amonia hingga 88,21%. Namun, kajian mengenai pemanfaatan media papan pakis sebagai media *biofilm*, khususnya terhadap transformasi nitrogen dalam pengolahan air limbah, masih sangat terbatas.

Selain karakteristik media, keberhasilan proses biologis juga dipengaruhi oleh pembentukan *biofilm* melalui proses *seeding* dan *nonseeding* (Palmer et al., 2007). Penelitian Forbis-stokes et al. (2018) dan Nourmohammadi et al. (2013) menunjukkan bahwa *seeding* meningkatkan penyisihan amonia hingga 81–98% dan total nitrogen hingga 45–50% pada *trickling filter*. Perbandingan kedua kondisi tersebut penting untuk mengevaluasi pengaruh visual *biofilm* terhadap transformasi senyawa nitrogen. Pada penelitian Danshita et al. (2020) belum melakukan percobaan dengan kondisi *seeding* dan *non-seeding*. Keterbaruan pada media dan percobaan 2 kondisi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efektivitas media papan pakis dalam menyisihkan nitrogen, transformasi nitrogen dalam air limbah serta penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam

pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan, efisien dan ekonomis.

Untuk penyisihan nitrogen ditampilkan dalam bentuk profil reaktor untuk melihat perubahan konsentrasi senyawa nitrogen (amonia, nitrat, nitrit, dan total nitrogen) dan melihat nitrifikasi-denitrifikasi berdasarkan waktu dan kedalaman (ketinggian) dalam air limbah. Danshita et al. (2020) mengkaji profil transformasi nitrogen pada reaktor *Down-flow Hanging Sponge* (DHS) melalui pengamatan konsentrasi NH_4^+ -N dan NO_3^- -N di setiap segmen reaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyisihan bahan organik dominan terjadi pada segmen atas, nitrifikasi terjadi pada segmen atas hingga bawah yang ditandai dengan penurunan NH_4^+ -N sebesar 93% dan TN sebesar 55% serta peningkatan NO_3^- -N. Pada akhir operasi, konsentrasi NO_3^- menurun meskipun nitrifikasi meningkat, yang mengindikasikan terjadinya denitrifikasi di dalam *biofilm*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengamatan profil nitrogen pada beberapa segmen reaktor dapat digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Berdasarkan temuan tersebut, hipotesis media papan pakis pada sistem *trickling filter* akan membentuk profil serupa, yakni penurunan NH_4^+ -N pada segmen atas, dengan nilai TN yang ikut menurun, kemudian peningkatan NO_3^- -N, serta proses denitrifikasi yang di duga terjadi dalam *biofilm* dikarenakan terdapat kondisi anaerob.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Dalam pelaksanaannya, penelitian memiliki maksud dan tujuan yang menjadi landasan dalam menentukan tahapan penelitian, metode yang digunakan, serta data yang diperlukan untuk mencapai hasil yang sesuai dengan permasalahan yang dikaji. Adapun maksud dan tujuan dalam penelitian ini yaitu :

1.2.1 Maksud Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh pemahaman mengenai profil nitrogen dalam reaktor *Trickling Filter* dengan media lekat papan pakis. Fokus penelitian diarahkan pada konsentrasi amonia (NH_3), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), dan total nitrogen (TN), guna mengidentifikasi dinamika proses nitrifikasi-denitrifikasi di dalam sistem *biofilm*. Selain itu, penelitian ini dimaksudkan untuk

menilai efektivitas media papan pakis dalam mendukung penyisihan nitrogen dari air limbah domestik artifisial.

1.2.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja media papan pakis sebagai tempat pertumbuhan *biofilm* dalam penyisihan nitrogen pada sistem *trickling filter* dengan variasi HRT 12 jam; 8 jam; dan 6 jam.
2. Menganalisis profil reaktor secara vertikal dalam penyisihan nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, dan TN) pada setiap kedalaman media papan pakis dalam kondisi *seeding* dan *nonseeding* dengan variasi HRT 12, 8, dan 6 jam.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai prinsip kerja *Trickling Filter* dalam menyisihkan nitrogen dari air limbah artifisial.
2. Menyediakan data awal mengenai efektivitas media papan pakis sebagai alternatif media *biofilm* alami pengganti media sintetis pada *Trickling Filter*.
3. Mendorong pemanfaatan bahan alami yang ramah lingkungan dalam pengembangan sistem pengolahan air limbah berbasis *biofilm*.
4. Menjadi acuan awal untuk penelitian lanjutan dan pengembangan teknologi pengolahan limbah cair skala laboratorium maupun skala kecil.
5. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi tepat guna dibidang pengolahan limbah cair, khususnya yang berorientasi pada efisiensi dan keberlanjutan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Laboratorium Air, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, dengan total waktu penelitian sekitar 18 hari. Pengujian dilakukan pada variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) 12, 8, dan 6 jam, setiap variasi HRT dijalankan selama 3 hari untuk masing-masing kondisi *seeding* dan *nonseeding*.

2. Reaktor kontinu yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Trickling Filter* dengan media papan pakis yang merupakan pengolahan aerob dengan sistem aliran ke bawah. Media lekat yang digunakan pada reaktor yaitu papan pakis yang disusun secara vertikal di rangkai menggunakan benang nilon.
3. Sampel yang digunakan pada penelitian ini berupa air limbah domestik artifisial dengan karakteristik yang mengacu kepada karakteristik air limbah domestik asli.
4. Karakteristik air limbah domestik mengacu kepada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Untuk Air Limbah Domestik.
5. Pengujian penelitian dilakukan dengan tiga variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT), yaitu 12 jam, 8 jam, dan 6 jam, dengan masing-masing variasi dioperasikan selama 3 hari.
6. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan dua perlakuan yaitu *non-seeding* dan dengan *seeding*. Kondisi *non-seeding* dioperasikan selama 9 hari dengan pengambilan sampel yang dilakukan setiap hari. Selanjutnya, proses *running* dilanjutkan pada kondisi *seeding* selama 9 hari dengan pengambilan sampel setiap hari.
7. Sumber mikroorganisme pada proses *seeding* berasal dari lumpur aktif (*activated sludge*) dari PT. Abaisiat Raya.
8. Pengambilan sampel dilakukan pada lima titik dengan ketinggian yang berbeda di sepanjang media lekat papan pakis pada reaktor *Trickling Filter* untuk mengetahui profil parameter secara vertikal.
9. Parameter yang dianalisis meliputi parameter fisik yaitu pH dan parameter kimia berupa DO dan Nitrogen (amonia, nitrat, nitrit, dan total nitrogen).
10. Pengujian dilaboratorium berupa uji Amonia dengan metode spektrofotometri yang mengacu pada SNI 06-6989.30-2005 tentang Metode Pengujian Kadar Amonia dalam air secara Fenat, Analisis Nitrat dengan metode spektrofotometri yang mengacu pada SNI 06-2480-1991 tentang Metode Pengujian Kadar Nitrat dalam air secara Brusin Sulfanilat, Analisis Nitrit dengan metode spektrofotometri yang mengacu pada SNI 06-6989.9-2004 dan

Analisis Total Nitrogen dengan metode Spektrofotometri yang mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (2017).

11. *Ouput* dan Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini berupa penyajian data dalam bentuk *time series*, profil nitrogen, efisiensi penyisihan nitrogen dengan media papan pakis, dan *nitrogen balance*.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil penelitian disertai pembahasannya terkait hasil studi karakteristik air limbah, karakteristik inokulan, kondisi operasional reaktor, kinerja *trickling filter*, profiling reaktor *trickling filter*, dan kondisi hasil olahan yang dibandingkan dengan baku mutu.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi penjelasan akhir mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan, yang mencakup kesimpulan dari pembahasan serta saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.