

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah domestik menjadi sumber pencemar utama bagi badan air di Indonesia, dengan kontribusi beban polutan yang lebih signifikan dibandingkan air limbah industri. Data KLHK menunjukkan sekitar 68% air limbah domestik dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai, dengan konsentrasi amoniak rata-rata >50 mg/L. Kandungan amoniak yang tinggi dapat bersifat toksik bagi biota air dan memicu terjadinya eutrofikasi. Selain itu, proses amoniak menjadi nitrat (nitrifikasi) membutuhkan konsumsi oksigen dalam jumlah besar, sehingga menyebabkan penurunan drastis kadar DO di permukaan air, sehingga membahayakan kehidupan akuatik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022).

Pemberlakuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 menetapkan baku mutu amoniak yang lebih ketat, yaitu maksimal 10 mg/L (PermenLHK No. 68, 2016). Regulasi ini mendorong peningkatan sistem pengolahan, karena Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) hanya mengandalkan proses anaerob belum mampu memenuhi standar tersebut dalam menyisihkan amoniak secara optimal karena tidak mendukung proses nitrifikasi. Oleh karena itu, penambahan unit aerob menjadi strategi yang dibutuhkan untuk meningkatkan kinerja pengolahan. Air limbah domestik bersifat *biodegradable*, sehingga cocok diolah menggunakan sistem biologis melalui kombinasi proses anaerob-aerob untuk mengoptimalkan penyisihan amoniak (Alfiyan dkk., 2024).

Sistem pengolahan air limbah domestik yang umum digunakan di Indonesia adalah tangki septik. Meskipun mampu mengurangi sekitar 60% beban BOD, sistem ini tidak dirancang untuk menyisihkan amoniak secara efisien. Proses anaerob di dalam tangki tidak mendukung nitrifikasi yang membutuhkan oksigen, sehingga efluen amoniak tetap tinggi dan berisiko mencemari lingkungan. Studi Faadhil (2022) menunjukkan bahwa air limbah domestik mengandung amoniak sebesar 24,12 mg/L, BOD 182 mg/L, dan COD 336 mg/L, di mana nilai tersebut tidak memenuhi

baku mutu PermenLHK No. 68 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan sistem konvensional belum mampu mengelola parameter pencemar secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan lanjutan berbasis kombinasi anaerob-aerob yang mendukung proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang efektif menyisihkan amoniak hingga 94,44% (Rawis dkk., 2022).

Sistem pengolahan terdesentralisasi seperti Gappei-Shori Johkasou dari Jepang menjadi acuan desain yang relevan karena mengintegrasikan proses anaerobik dan aerobik secara kompak. Studi oleh Fajri dkk., (2018) menunjukkan bahwa laju aerasi dapat meningkatkan penyisihan nitrogen hingga 60,3%, namun efluen dari beberapa sistem serupa masih belum memenuhi baku mutu amoniak. Hal ini mengindikasikan adanya ruang untuk optimasi, terutama pada pemilihan media lekat dan kondisi operasi (Wang dkk., 2024).

Teknologi pertumbuhan terlekat (*attached growth*) diadopsi untuk meningkatkan efisiensi pengolahan biologis dengan menumbuhkan mikroorganisme sebagai biofilm pada media (Setiyawan dkk., 2023). Keunggulannya meliputi konsentrasi biomassa yang lebih tinggi dan kebutuhan lahan yang lebih kecil (Cai dkk., 2020). Pemilihan material media menjadi faktor krusial, di mana sifat kebasahan (*wettability*) permukaannya sangat berpengaruh. Studi oleh Setiyawan dkk., (2023) menunjukkan media yang lebih hidrofilik seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET) dari botol bekas mampu menyisihkan NH_4^+-N hingga 84%. Temuan ini sejalan dengan Fauzi dkk., (2025), yang menegaskan bahwa variasi polimer, termasuk *Polyvinyl Chloride* (PVC), berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan mikroorganisme.

Evaluasi pengaruh *Hydraulic Retention Time* (HRT) menjadi langkah penting untuk menentukan kondisi operasi yang paling efektif, karena memengaruhi durasi kontak antara polutan dan biofilm (Al Kholif dkk., 2025; Zulfikar dkk., 2022). Berbagai penelitian telah menguji rentang HRT yang berbeda untuk optimasi. Dengan demikian, pengujian pada rentang HRT 12 jam, 24 jam, dan 36 jam menjadi relevan untuk dieksplorasi lebih lanjut guna menemukan waktu tinggal optimal (Zulfikar dkk., 2022).

Berbagai kajian sebelumnya telah membahas sistem anaerob-aerob atau membandingkan beberapa jenis media biofilm secara terpisah. Studi oleh Setiyawan dkk., (2023) meneliti efisiensi media PVC dan PET dalam kondisi anoksik, sementara penelitian lain oleh (Fauzi dkk., 2025) menunjukkan pengaruh variasi polimer terhadap pembentukan biofilm dan efisiensi nitrifikasi pada sistem *fixed-biofilm* aerobik. Namun, belum terdapat kajian yang secara langsung mengintegrasikan media lekat PVC dan PET dalam satu sistem reaktor kombinasi anaerob-aerob. Kombinasi kedua media tersebut berpotensi menghasilkan karakteristik pelapisan mikroorganisme yang saling melengkapi. PVC memiliki daya tahan mekanik dengan struktur sarang tawon yang kokoh, tetapi bersifat lebih hidrofobik, sementara PET memiliki sifat lebih hidrofilik yang memudahkan kolonisasi awal mikroorganisme. Perbedaan karakteristik permukaan ini dapat menciptakan lingkungan biofilm yang stabil, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan amoniak (Setiyawan dkk., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan inovasi dengan menguji performa gabungan media PVC dan PET dalam satu sistem reaktor anaerob-aerob pada variasi HRT, sebagai pendekatan baru dalam pengolahan air limbah domestik.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki maksud untuk menganalisis penyisihan amoniak dari air limbah domestik permukiman menggunakan pengolahan kombinasi anaerob-aerob dengan media lekat *polyvinyl chloride* dan *polyethylene terephthalate*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis penyisihan amoniak dari air limbah domestik menggunakan sistem pengolahan kombinasi anaerob-aerob dengan variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT);
2. Menganalisis penyisihan amoniak pada masing-masing reaktor anaerob, aerob, dan sedimentasi;
3. Menganalisis hasil efluen reaktor dengan mengacu ke baku mutu PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT) terhadap efisiensi penyisihan amoniak dari air limbah domestik menggunakan pengolahan sistem kombinasi anaerob-aerob dengan media lekat PVC dan PET;
2. Memberikan informasi tentang jenis dan peran mikroorganismenya dalam sistem pengolahan kombinasi anaerob-aerob, sehingga dapat membantu pengembangan alternatif teknologi pengolahan yang lebih efektif dan efisien;
3. Mendukung implementasi kebijakan lingkungan sesuai dengan PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016 terkait baku mutu air limbah domestik.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium, menggunakan reaktor sistem kontinu. Rangkaian reaktor sistem kontinu sebagai reaktor utama yang terdiri dari reaktor anaerob – aerob – sedimentasi;
2. Sampel yang digunakan adalah air limbah artifisial yang mengacu kepada karakteristik air limbah domestik permukiman yang berlokasi di IPAL Komunal Kampung Duri, Kota Padang. Metode pengambilan sampel mengacu kepada SNI 6989.59-2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah;
3. Sumber mikroorganismenya dalam proses *seeding* berasal dari lumpur tinja dari truk sedot WC. Proses *seeding* diaplikasikan pada media lekat sarang tawon (PVC) dan potongan botol bekas (PET) menggunakan reaktor *batch* yang terpisah dari reaktor utama. *Seeding* akan dihentikan ketika konsentrasi biomassa terlekat mencapai 2.500-4.000 mg/L VSS dan perubahan warna menjadi kehitaman/kecoklatan, serta tumbuhnya lendir (*slime*) pada media lekat;
4. Media lekat yang digunakan pada reaktor anaerob adalah media sarang tawon berbahan *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan pada reaktor aerob adalah potongan botol plastik bekas berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET);

5. Sistem desain reaktor berdasarkan standar Gappei-Shori Johkaso. Kinerja proses pengolahan pada reaktor anaerob-aerob mengacu kepada baku mutu nasional yang diatur pada PermenLHK Nomor 68 Tahun 2016;
6. Parameter yang dianalisis pada saat *seeding* adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Volatile Suspended Solids* (VSS), pH, *Dissolved oxygen* (DO), dan Temperatur (T). Parameter yang dianalisis ketika *running* adalah amoniak, pH, DO, dan T;
7. Data konsentrasi nitrat dan nitrit diperoleh dari tim satu penelitian;
8. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini berupa analisis statistik deskriptif, *one-way* ANOVA untuk menguji perbedaan signifikan kadar amoniak pada variasi waktu HRT, dan *post-hoc* *Duncan* menggunakan *software* SPSS 27, serta analisis korelasi;
9. Karakterisasi morfologi mikroorganisme melalui pengamatan menggunakan mikroskop cahaya/ optik untuk mengamati bentuk dan ukuran mikroorganisme yang bekerja dalam mendegradasi substrat pada kondisi anaerob dan aerob.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang relevan dengan penelitian, termasuk dasar-dasar pengolahan air limbah, sistem pertumbuhan terlekat, dan kombinasi proses anaerob-aerob, dan penggunaan media lekat PVC dan PET.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang meliputi desain penelitian, alat dan bahan, prosedur percobaan, serta metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil penelitian yang diperoleh, analisis data, serta pembahasan terkait efisiensi kinerja sistem pengolahan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

