

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) merupakan infrastruktur sanitasi krusial yang bertugas mengolah lumpur tinja dari sistem sanitasi setempat sebelum dibuang ke lingkungan. IPLT Keputih Surabaya telah beroperasi sejak tahun 1991 dengan kapasitas desain 400 m³/hari merupakan pusat pengolahan lumpur tinja utama di Kota Surabaya (Pratama & Priambudi, 2023). Efluen yang dihasilkan IPLT harus memenuhi baku mutu Peraturan Menteri LHK No. 11 Tahun 2025 sebelum dibuang ke badan air, dengan nilai batas amonia 50 mg/L. Namun, evaluasi menunjukkan bahwa efluen IPLT Keputih hingga saat ini belum konsisten memenuhi standar tersebut, khususnya untuk parameter amonia (Annisafitri et al., 2026). Kondisi ini berbahaya karena kadar amonia yang tinggi bersifat toksik bagi biota akuatik (Fu et al., 2020).

Akar masalah ini dapat ditelusuri pada keterbatasan kinerja unit pengolahan biologis utama, yaitu *Oxidation Ditch*. Studi oleh Ningayu, (2024) menemukan bahwa *Oxidation Ditch* IPLT Keputih memiliki persentase penyisihan pencemar di bawah 50% dengan dua penyebab utama yaitu, sistem dioperasikan tanpa *Return Activated Sludge* (RAS), sehingga biomassa aktif tidak diresirkulasi dan konsentrasinya di dalam reaktor menjadi sangat rendah lalu beban organik influen melebihi kapasitas desain yang ditetapkan. Kondisi ini diperburuk oleh jumlah substrat organik yang tersedia tidak sebanding dengan populasi mikroorganisme yang harus dihidupinya, sehingga aktivitas biologis berjalan tidak optimal (Dian & Herumurti, 2016).

Selain persoalan teknis operasional tersebut, terdapat permasalahan mendasar yang bersumber dari karakteristik limbah itu sendiri. Lumpur tinja yang diterima IPLT Keputih bukan hanya berasal dari tangki septik domestik, melainkan merupakan campuran berbagai sumber termasuk limbah komersial dan non-domestik. Kondisi campuran ini menyebabkan konsentrasi dan karakteristik influen yang sangat berfluktuasi dari waktu ke waktu (Nurhayati et al., 2023). Yang lebih fundamental, proses anaerobik jangka panjang di dalam tangki septik telah

mengkonversi sebagian besar nitrogen organik menjadi amonium (NH_4^+) melalui proses amonifikasi, sehingga efluen yang masuk ke unit pengolahan biologis didominasi nitrogen dalam bentuk amonia (Conn et al., 2006). Kondisi karbon rendah ini secara langsung menghambat proses denitrifikasi oleh bakteri heterotrof, Karena bakteri denitrifikasi heterotrofik mutlak memerlukan karbon organik sebagai donor elektron untuk mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen. Akibatnya, meski nitrifikasi dapat berlangsung, nitrat yang terbentuk tidak dapat direduksi secara optimal dan terakumulasi di efluen selama bakteri heterotrof kekurangan karbon sebagai sumber untuk mengubah nitrat menjadi gas nitrogen.

Untuk mengatasi keterbatasan sistem *suspended growth Oxidation Ditch*, teknologi *Moving Bed Biofilm Reactor* menawarkan pendekatan yang lebih andal. Mikroorganisme tumbuh sebagai biofilm yang melekat pada media bergerak plastik sehingga biomassa tidak bergantung pada mekanisme resirkulasi dan tidak mudah tercuci meskipun terjadi fluktuasi beban hidrolis (Pamungkas & Rosariawari, 2024). Namun reaktor dengan aerasi terus-menerus hanya efektif untuk nitrifikasi dan kurang efektif untuk proses denitrifikasi karena tidak tersedia zona anoksik, sistem aerasi secara kontinu hanya akan mengoksidasi amonia dan mengubah wujudnya menjadi nitrat. Jika efluen yang kaya akan nitrat ini langsung dibuang ke badan air penerima, masalah pencemaran lingkungan belumlah selesai karena penumpukan nitrat dapat memicu terjadinya eutrofikasi,

Polutan amonia sebaiknya tidak hanya diubah bentuknya menjadi nitrat dalam air limbah, melainkan diubah menjadi gas nitrogen yang sifatnya tidak mencemari air limbah. Hal ini menuntut adanya proses lanjutan berupa denitrifikasi pada kondisi minim oksigen atau *anoxic* guna mereduksi senyawa nitrat tersebut menjadi gas nitrogen yang terlepas dengan aman ke udara bebas. Penelitian Munfaridah (2022) membuktikan bahwa penerapan sistem aerasi *intermittent* yaitu pengoperasian bergantian antara fase *oxic* optimal ($\text{DO} > 2 \text{ mg/L}$) dan fase *anoxic* optimal ($\text{DO} < 0,5 \text{ mg/L}$) dalam satu reaktor secara signifikan meningkatkan penyisihan total nitrogen karena memfasilitasi nitrifikasi dan denitrifikasi secara berurutan.

Sistem pengolahan biologis murni sangat rentan terhadap fluktuasi konsentrasi amonia yang ekstrem atau *shock loading* dan karakteristik rasio karbon yang rendah pada limbah tinja IPLT. Rasio karbon yang rendah merupakan kendala kritis karena bakteri heterotrof mutlak membutuhkan karbon organik sebagai donor elektron untuk mereduksi nitrat. Tanpa karbon yang cukup, proses denitrifikasi akan berjalan tidak optimal dan nitrat terakumulasi. Untuk menjawab kerentanan ini, diperlukan rekayasa teknologi berupa kombinasi *Moving Bed Biofilm Reactor* tersistem aerasi *intermitent* dengan zeolit alam teraktivasi. Zeolit berperan spesifik sebagai media penukar ion yang secara fisikokimia menyerap lonjakan amonium (NH_4^+) dengan cepat sebelum *biofilm* mengalami toksisitas (Wen et al., 2006a). Di sisi lain, penerapan aerasi *intermittent* bertujuan untuk menciptakan zona oksik dan anoksik, pada zona oksik mikroorganisme dibantu dengan suplai oksigen yang optimal dan pada zona anoksik mikroorganisme heterotrof dibantu dengan menyediakan fase minim oksigen (anoksik) dan suplai karbon sebagai sumber makanan untuk mengubah nitrat menjadi gas nitrogen.

Sinergi antara mekanisme pertukaran ion oleh zeolit dan degradasi biologis oleh *biofilm* ini terbukti mampu menghasilkan efisiensi penyisihan nitrogen yang jauh lebih stabil dibandingkan sistem biologis konvensional (Wang et al., 2023a). Berdasarkan *gap* tersebut, penelitian ini bertujuan menginvestigasi kinerja kombinasi zeolit teraktivasi dan MBBR intermiten sebagai unit pengolahan lanjutan dari efluen *Oxidation Ditch* IPLT Keputih Surabaya dalam menyisihkan amonia dan nitrat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh Variasi siklus *oxic-anoxic* dalam menurunkan parameter Ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor*?
2. Bagaimana pengaruh variasi dosis Zeolit sebagai media pendukung terhadap efisiensi penyisihan Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)?

3. Bagaimana kombinasi optimum antara siklus *oxic-anoxic* dan dosis zeolit dalam menyisihkan parameter amonia dan nitrat pada limbah tinja IPLT?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan spesifik dari penelitian ini Adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi siklus *oxic-anoxic* terhadap efisiensi penyisihan Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) pada limbah tinja IPLT.
2. Menganalisis pengaruh variasi dosis zeolit sebagai media pendukung terhadap efisiensi penyisihan Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$).
3. Menentukan kombinasi optimum antara dosis zeolit dan siklus *oxic-anoxic* untuk menyisihkan Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan rekomendasi teknis dan parameter operasional bagi pengelola IPLT dalam mengoptimalkan penyisihan Amonia dan Nitrat menggunakan teknologi MBBR sebagai alternatif pengolahan yang efisien.
2. Memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan ilmu teknik lingkungan mengenai sinergi kinerja zeolit dan rekayasa siklus aerasi dalam mengatasi fluktuasi beban pencemar pada limbah.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel air limbah yang digunakan diambil dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Keputih Surabaya.
2. Parameter yang di uji dalam penelitian ini adalah Total Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$).
3. Penelitian ini memfokuskan pada efektivitas *Moving Bed Biofilm Reactor* dalam menurunkan parameter Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$).