

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai analisis profil nitrogen pada *Trickling Filter* media *Arenga pinnata* dengan menggunakan air limbah domestik artifisial, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Efisiensi penyisihan nitrogen dipengaruhi signifikan oleh variasi HRT. Kondisi *non seeding* mencapai kinerja optimal pada HRT 6 jam dengan ACE tertinggi 87,06% (hari ke-8) dan NRE 90,14% (hari ke-9). Kondisi *seeding* juga mencapai kinerja terbaik pada HRT 6 jam (ACE 71,88%; NRE 81,75%), namun dengan fluktuasi lebih besar akibat lumpur aktif pabrik karet PT Abasiat Raya.
2. Profil nitrogen vertikal menunjukkan gradien spasial yang khas pada kedua kondisi yaitu ketinggian 0-90 cm didominasi proses nitrifikasi aerobik (penurunan amoniak, peningkatan nitrat), sedangkan ketinggian 120-150 cm mengindikasikan proses denitrifikasi pada zona anoksik mikro *biofilm*. Profil *non seeding* berkembang lebih stabil, sementara profil *seeding* lebih dinamis pada fase awal akibat amonifikasi dari biomassa lumpur aktif yang beradaptasi. HRT yang lebih pendek (6 jam) menghasilkan gradien yang lebih tajam dan efisiensi penyisihan yang lebih tinggi di seluruh segmen reaktor.
3. Media *Arenga pinnata* mampu mendukung pertumbuhan *biofilm* untuk penyisihan nitrogen, dikonfirmasi oleh peningkatan MLVSS yang konsisten (*seeding* 1.682 mg/g; *non seeding* 38,6 mg/g pada akhir HRT 6 jam) dan rasio MLVSS/MLSS tinggi (76% pada *seeding*) yang mencerminkan dominasi biomassa aktif. Karakteristik ini menunjukkan bahwa *Arenga pinnata* berpotensi sebagai media *biofilm* alami alternatif untuk pengolahan air limbah domestik berbasis *Trickling Filter*, meskipun hasil ini masih memerlukan pengolahan lanjutan (misalnya tahap denitrifikasi khusus atau polishing) sebelum efluen dapat memenuhi baku mutu secara konsisten.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu menjadi perhatian pada penelitian lanjutan, yaitu: (a) tidak dilakukannya pengukuran gas nitrogen (N_2) secara langsung, sehingga keberlangsungan proses denitrifikasi hanya dapat disimpulkan secara tidak langsung dari penurunan konsentrasi nitrat dan TN; (b) tidak dilakukannya pengukuran *Oxidation-Reduction Potential* (ORP), sehingga zona aerobik dan anoksik di sepanjang media hanya diinterpretasikan dari profil DO dan pH tanpa konfirmasi langsung; (c) tidak dilakukannya analisis mikrobiologi (identifikasi dan karakterisasi komunitas mikroorganisme) pada biofilm, sehingga mekanisme nitrifikasi-denitrifikasi hanya dapat dijelaskan secara tidak langsung melalui data kimiawi; dan (d) penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan air limbah domestik artifisial, sehingga hasil yang diperoleh belum tentu merepresentasikan kondisi lapangan secara penuh.
2. Disarankan penelitian lanjutan menggunakan air limbah domestik asli agar hasil lebih merepresentasikan kondisi lapangan.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi HRT yang lebih luas, termasuk di bawah 6 jam (misalnya 4 dan 3 jam) serta di atas 12 jam, untuk menentukan batas operasional optimal dan kapasitas maksimum reaktor.
4. Disarankan memperpanjang waktu operasi (lebih dari 30 hari) untuk mengamati stabilitas kinerja jangka panjang, terutama pada kondisi *seeding* yang masih menunjukkan fluktuasi pada akhir periode penelitian ini.
5. Penelitian selanjutnya sebaiknya melengkapi pengukuran gas nitrogen (N_2), ORP, dan analisis mikrobiologi komunitas mikroorganisme pada biofilm, baik kondisi *seeding* maupun non *seeding*, untuk memperkuat konfirmasi berlangsungnya proses nitrifikasi dan denitrifikasi serta memahami dinamika ekologi mikroorganisme yang berperan di dalamnya.
6. Perlu dilakukan studi komparatif antara media *Arenga pinnata* dengan media biofilm lain (seperti batu kerikil, plastik sintesis, atau media alami lain) pada kondisi operasi yang identik, untuk mengevaluasi keunggulan dan kelemahan relatif media *Arenga pinnata* secara lebih komprehensif.

7. Untuk mendukung penerapan skala lebih besar, disarankan dilakukan analisis tekno-ekonomi terkait biaya investasi, operasional, dan perawatan reaktor *Trickling Filter* media *Arenga pinnata* dibandingkan teknologi pengolahan nitrogen konvensional lainnya.

