



Pemanfaatan Limbah Sedotan Plastik sebagai Media Lekat dalam Proses Anammox

Utilization of Waste Plastic Straws as Carrier in the Anammox Process

ZULKARNAINI*, ANNISA AULIA RASYIDAH, RIDWAN

Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang – Sumatera Barat

*Email korespondensi: zulkarnaini@eng.unand.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 August 2022

Accepted 18 January 2023

Published 31 January 2023

Keywords:

Anammox

Nitrogen removal

Plastic straw

ABSTRACT

Anaerobic ammonium oxidation (anammox) bacteria tend to settle in the reactor due to self-granulation capability. Carrier is used to enhancing nitrogen removal by anammox biofilm. This study analyzed nitrogen removal using plastic straws as carriers and compared nitrogen removal at different heights of the reactor. The study was conducted using an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor with a volume of 300 mL with three sampling points of 8, 16, and 24 cm and operated for 72 days continuously. The artificial wastewater containing 70 mg-N/L ammonium and nitrite was continuously delivered into the reactor with a hydraulic retention time (HRT) of 6 hours and 3 hours. Cultivated anammox bacteria from Lake Koto Baru, Indonesia, was inoculated into the reactor to start the experiment. The nitrogen removal performance was calculated based on the influent and effluent concentrations of ammonium, nitrate, and nitrite. The nitrogen removal performance achieved a nitrogen removal rate (NRR) of 0.96 kg-N/m³·d, nitrogen removal efficiency (NRE) of 74.62%, and ammonium conversion efficiency (ACE) of 87%. This study shows that nitrogen removal can be optimized by using plastic straws as the carrier. The nitrogen removal mainly occurred in the bottom of the reactor where the average nitrogen removal at 1/3, 2/3, and top of reactor height was 60, 30, and 10%, respectively.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 15 Agustus 2022

Disetujui 18 Januari 2023

Diterbitkan 31 Januari 2023

Kata kunci:

Anammox

Penyisihan nitrogen

Sedotan plastik

ABSTRAK

Bakteri *anaerobic ammonium oxidation* (anammox) cenderung mengendap di dasar reaktor karena kemampuannya untuk membentuk granular. Media lekat sering digunakan untuk meningkatkan penyisihan nitrogen berupa biofilm anammox. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyisihan nitrogen menggunakan sedotan plastik sebagai media lekat dan membandingkan penyisihan nitrogen pada ketinggian reaktor. Penelitian dilakukan menggunakan reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB) bervolume 300 mL dengan 3 titik sampling yaitu pada ketinggian 8, 16, dan 24 cm yang dioperasikan selama 72 hari. Bakteri anammox yang telah dikultivasi dari Telaga Koto Baru, Kabupaten Tanah Datar, Sumatra Barat, diinokulasikan ke dalam reaktor untuk memulai percobaan. Air limbah artifisial yang mengandung 70 mg-N/L amonium dan nitrit dialirkan ke dalam reaktor secara kontinu dengan *hydraulic retention time* (HRT) 6 jam dan 3 jam. Kinerja penyisihan nitrogen dihitung berdasarkan konsentrasi amonium, nitrit dan nitrat. Penyisihan nitrogen maksimal mencapai *nitrogen removal rate* (NRR) 0,96 kg-N/m³.h, *nitrogen removal efficiency* (NRE) 74,62%, dan *ammonium conversion efficiency* (ACE) 87%. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyisihan nitrogen dapat dioptimalkan dengan menggunakan sedotan plastik sebagai media. Penyisihan nitrogen terutama terjadi di bagian bawah reaktor di mana rata-rata penyisihan nitrogen pada 1/3, 2/3, dan paling atas ketinggian reaktor masing-masing adalah 60, 30, dan 10%.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan air limbah sangat perlu sebelum dibuang ke badan air untuk mengurangi dampak nitrogen terhadap lingkungan. Salah satu pengolahan amonium dalam air adalah nitrifikasi-denitrifikasi. Pada proses nitrifikasi-denitrifikasi, terjadi oksidasi amonia oleh bakteri nitrifikasi menjadi nitrat dalam keadaan aerob, lalu dengan menggunakan karbon organik sebagai akseptor elektron nitrat di konversi menjadi gas nitrogen. Akan tetapi, proses nitrifikasi-denitrifikasi dalam pengolahan air limbah memiliki beberapa kelemahan, yaitu kondisi pH asam dapat membuat aktivitasnya terganggu, sehingga dibutuhkan penambahan zat kapur yang dapat menghasilkan banyak lumpur. Selain itu, proses nitrifikasi membutuhkan aerasi untuk menciptakan kondisi aerobik, sehingga tidak ekonomis secara biaya dan energi. Begitu juga pada proses denitrifikasi, ditambahkan bahan organik seperti metanol yang berperan sebagai sumber karbon organik tambahan pada air limbah dengan rasio karbon per nitrogen (C/N) rendah.

Selain proses nitrifikasi-denitrifikasi, telah ditemukan proses *anaerobic ammonium oxidation* (anammox). Proses anammox merupakan salah satu dari litotrof yang sebelumnya sudah diprediksi oleh Broda pada tahun 1977 dan baru ditemukan pada tahun 1995. Proses ini berlangsung dengan bantuan bakteri anammox. Graff, *et al.*, (1996) memperkaya kultur anammox menggunakan pelabelan NH_4^+ dan NO_2^- sebagai simulasi pada *Fixed Bed Reactor* (FBR) dan mendapatkan hasil bahwa gas N_2 merupakan produk akhir yang dominan dari proses tersebut. Berdasarkan hasil eksperimen disimpulkan bahwa bakteri anammox mengoksidasi amonium dengan menggunakan nitrit sebagai penerima elektron menjadi gas nitrogen dalam keadaan anaerobik, proses ini juga menghasilkan sedikit nitrat dan biomassa (Kumar, *et al.*, 2016).

Pada proses anammox, reaktor *Up-Flow Anaerobik Sludge Blanket* (UASB) adalah salah satu reaktor yang mempunyai efisiensi yang tinggi sampai dengan 70–90%, penggunaan energi lebih kecil dan kebutuhan lahan yang lebih sedikit serta teknologi yang telah teruji. Teknologi UASB sudah digunakan pada berbagai pengolahan air limbah contohnya air limbah pengolahan kentang, industri gula, kertas, industri makanan, pengalengan daging dan sari buah, selain itu juga sudah diaplikasikan di seluruh dunia (Nnaji, 2013).

Putra, *et al.*, (2020) berhasil melakukan *start-up* proses anammox dengan *Filter Bioreactor* (FtBR) pada suhu ruang di daerah tropis menggunakan inokulum lumpur yang berasal dari Telaga Koto Baru, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Keberhasilan tersebut terlihat dari perubahan konsentrasi nitrit, amonium dan nitrat pada efluen serta warna merah pada biofilm yang merupakan ciri khas dari bakteri anammox. Hasil penyisihan yang didapatkan Putra, *et al.*, (2020) dari operasional FtBR selama 200 hari dengan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 24 jam menghasilkan *Nitrogen Removal Rate* (NRR) 0,303 kg-N/m³.h; *Nitrogen Removal Efficiency* (NRE) 91,92%, dan *Ammonium Conversion Efficiency* (ACE) 98,9%. Zulfa, (2020) menggunakan inokulum tersebut dalam penelitiannya dengan reaktor anammox UASB yang diberi tambahan batu apung sebagai media lekat dengan HRT yang diturunkan menjadi 12 jam pada suhu ruang. Hasil

yang didapatkan lebih baik dari Putra, *et al.*, (2020) yaitu nilai NRR 0,395 kg-N/m³.h, ACE 98,12%, dan NRE 92,6%. Berdasarkan penelitian tersebut, yaitu hasil penyisihan yang semakin baik di saat HRT diturunkan, maka penelitian ini mencoba menurunkan HRT menjadi 6 jam dan 3 jam, sehingga diharapkan dapat diketahui optimalisasi penyisihan nitrogen dengan menggunakan inokulum yang sama namun dengan HRT yang lebih kecil.

Media lekat berbahan plastik sudah digunakan dengan berbagai bentuk, di antaranya sarang tawon (Dhuha, 2020) dan botol plastik (Nur & Komala, 2021) untuk pengolahan air limbah termasuk nitrogen. Penelitian ini memanfaatkan sedotan plastik yang merupakan salah satu limbah yang belum dimanfaatkan. Sedotan plastik dapat dihasilkan masyarakat sedikitnya 93 juta sedotan per hari di Indonesia (Intan, 2018). Hal ini dibutuhkan perhatian khusus karena sampah sedotan plastik sulit terdegradasi sehingga dapat merusak dan mencemari perairan dan ekosistem laut. Zulkarnaini, *et al.*, (2021) menggunakan plastik yang berasal dari botol minuman kemasan bekas berbahan plastik yang berbentuk gulungan-gulungan mirip dengan sedotan sebagai media lekat bakteri dalam proses anammox. Ketinggian media lekat yang digunakan yakni satu per tiga dari ketinggian reaktor dengan kinerja penyisihan nitrogen tertinggi yaitu 89% untuk ACE dan 80% untuk NRR pada HRT 24 jam, sedangkan pada HRT 12 jam nilai ACE 75% dan NRE 70%. Penelitian tersebut memilih botol minuman plastik bekas agar dapat ditingkatkan nilai gunanya seperti pada pengolahan air limbah. Selain itu juga karena dapat digunakan dalam waktu yang lama karena sifatnya yang sulit untuk terdegradasi. Selanjutnya diharapkan waktu retensi antara biomassa dan air limbah dapat ditingkatkan dengan penggunaan plastik ini (Zulkarnaini, *et al.*, 2021). Berdasarkan hal tersebut, limbah sedotan plastik bekas dipilih sebagai media lekat dalam penelitian ini sehingga mengurangi sampah yang dapat membahayakan lingkungan, serta untuk mengoptimalkan penyisihan nitrogen. Kinerja penyisihan nitrogen juga dianalisis berdasarkan ketinggian dengan perbedaan titik sampling yaitu sepertiga reaktor (8 cm), dua pertiga reaktor (16 cm) dan efluen (bagian atas reaktor, 24 cm). Harapan dari hasil penelitian ini adalah dapat bermanfaat bagi pihak terkait seperti pemerintah atau industri dalam mengoptimalkan proses anammox sehingga dapat diaplikasikan pada penyisihan nitrogen dalam air limbah.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan penyisihan nitrogen dengan proses anammox pada reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB) menggunakan media lekat sedotan plastik dan menganalisis perbandingan penyisihan nitrogen terhadap ketinggian titik sampling.

2. METODE

Penelitian dilakukan skala laboratorium dengan mengoperasikan reaktor UASB selama 72 hari secara kontinu pada suhu ambien.

2.1 Bahan

Bakteri anammox yang telah dikultivasi dari Telaga Koto Baru, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat digunakan sebagai inokulum dengan komposisi bakteri *Candidatus Brocadia fulgida* (20,04%) dan *Candidatus Brocadia caroliensis* (6,20%) (Zulkarnaini, 2020). Limbah sedotan minuman air mineral bekas berbahan plastik digunakan sebagai media lekat ukuran panjang 11 cm, diameter 0,3 cm (Gambar 1). Sebelum digunakan, dilakukan pembilasan dengan akuades sebanyak 3 kali.



Gambar 1. Biomassa bakteri anammox dari Telaga Koto Baru

2.2 Komposisi Air Limbah Artifisial

Air limbah artifisial dialirkan secara kontinu ke dalam reaktor UASB dengan komposisi sesuai dengan Graff, *et al.*, (1996). Komposisi limbah artifisial yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi air limbah artifisial

Bahan kimia	Jumlah
(NH ₄) ₂ SO ₄	70 (mg-N/L)
NaNO ₂	70 (mg-N/L)
MgSO ₄ · 7H ₂ O	300 mg/L
CaCl ₂ · 2H ₂ O	180 mg/L
KH ₂ PO ₄	27,2 mg/L
KHCO ₃ (mg/L)	500 mg/L
Trace element I	1 mL/L
Trace element II	1 mL/L

Sumber: (Zulkarnaini, *et al.*, 2021)

2.3 Konfigurasi Reaktor Penelitian

Konfigurasi Reaktor UASB yaitu bervolume 300 mL dengan tinggi 24 cm dan diameter 4,5 cm yang dilengkapi dengan pompa peristaltik untuk memompakan air limbah artifisial secara kontinu. Air limbah artifisial disediakan dalam jeriken dengan volume 20 L dan diisi secara berkala. Pada influen reaktor terdapat konektor yang memiliki keran agar memudahkan dalam mengontrol kecepatan aliran yang dihubungkan dengan selang. Limbah sedotan plastik sebagai media lekat diisikan se penuh reaktor (Gambar 2). Selain itu, bagian dalam reaktor juga dilengkapi dengan filter berupa kumparan benang agar bakteri tidak mengalir ke efluen. Pada ketinggian 1/3 reaktor (8 cm) dan 2/3 reaktor (16 cm) dilengkapi saluran untuk sampling. Pada bagian atas reaktor

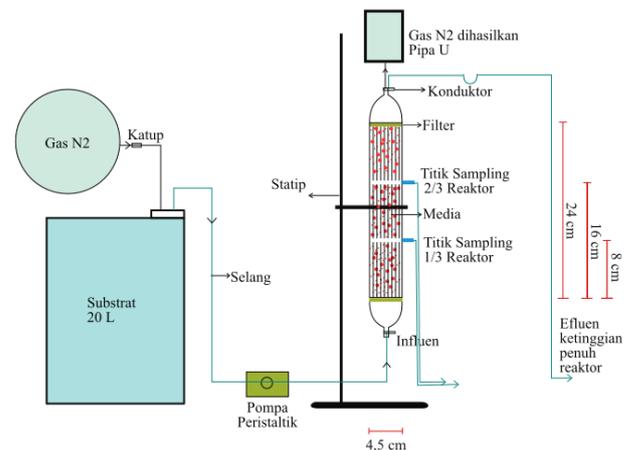
(24 cm) terdapat 2 saluran yaitu efluen untuk analisis sampel dan saluran gas yang dialirkan ke *tedlar bag* untuk menampung gas N₂ yang dihasilkan dari proses anammox. Reaktor ditutupi dengan *aluminium foil* untuk menghalangi cahaya agar bakteri heterotrofik tidak berkembang. Skema instalasi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Reaktor berisi media lekat sedotan plastik



Gambar 3. Media lekat berupa limbah sedotan plastik



Gambar 4. Konfigurasi reaktor penelitian

2.4 Operasional Reaktor

Biomassa bakteri anammox ditambahkan ke dalam reaktor sebanyak 15 mL untuk memulai percobaan. Percobaan dilakukan dengan dua periode *Hydraulic Retention Time* (HRT) yaitu 6 dan 3 jam seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi operasional reaktor percobaan

Periode	Waktu (hari)	HRT (jam)	Konsentrasi Influen	
			NH ₄ ⁺ (mg-N/L)	NO ₂ ⁻ (mg-N/L)
I	0-56	6	70	70
II	57-72	3	70	70

2.5 Metode Analisis dan Perhitungan Kinerja Penyisihan Nitrogen

Sampel diambil dari tangki influen dan efluen dua kali dalam seminggu. Amonium, nitrit dan nitrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800, Jepang) berdasarkan metode Nessler (SNI 06-6989.30-2005), Spektrofotometri (SNI 06-6989.9-2004), dan skrining ultraviolet spektrofotometri (APHA, 1995). Kinerja penyisihan nitrogen dihitung berdasarkan parameter ACE (Persamaan 1), NRE (Persamaan 2), dan NRR (Persamaan 3) (Zulkarnaini, *et al.*, 2019).

$$ACE = \frac{[NH_4^+-N]_{in} - [NH_4^+-N]_{out}}{[NH_4^+-N]_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

$$NRE = \frac{[NH_4^+-N]_{in} + [NO_2^-N]_{in} - [NH_4^+-N]_{out} - [NO_2^-N]_{out} - [NO_3^-N]_{out}}{[NH_4^+-N]_{in} + [NO_2^-N]_{in}} \times 100\%.. (2)$$

$$NRR = \frac{[NH_4^+-N]_{in} + [NO_2^-N]_{in} - [NH_4^+-N]_{out} - [NO_2^-N]_{out} - [NO_3^-N]_{out}}{HRT} \times \frac{24}{1000} \dots (3)$$

Keterangan:

- [NH₄⁺-N]_{in} = Konsentrasi influen amonium (mg/L)
- [NH₂⁻-N]_{in} = Konsentrasi influen nitrit (mg/L)
- [NH₄⁺-N]_{out} = Konsentrasi efluen amonium (mg/L)
- [NO₂⁻-N]_{out} = Konsentrasi efluen nitrit (mg/L)
- [NO₃⁻-N]_{out} = Konsentrasi efluen nitrat (mg/L)
- HRT = *Hydraulic Retention Time* (jam)

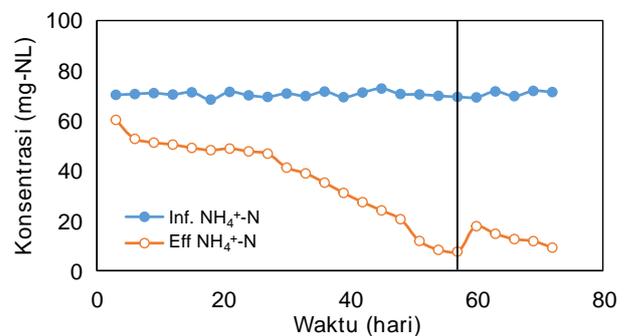
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan secara kontinu selama 72 hari dengan pengambilan sampel dua kali dalam seminggu sehingga didapatkan 24 sampel. Penelitian menggunakan limbah artifisial dengan HRT 6 jam lalu dilanjutkan menjadi 3 jam di hari ke 57 setelah penyisihan nitrogen >80% untuk mencegah terjadinya inhibisi karena keterbatasan substrat/makanan bakteri anammox. Pembahasan meliputi analisis kinerja penyisihan nitrogen melalui proses anammox dengan media sedotan plastik menggunakan reaktor *up-flow anaerobic sludge blanket* (UASB), dan perbandingan penyisihan nitrogen pada ketinggian titik sampling sepertiga reaktor (8 cm), dua pertiga reaktor (16 cm) dan pada efluen reaktor (24 cm) sehingga dapat diketahui optimalisasi dan lokasi penyisihan yang paling baik di dalam reaktor.

3.1 Profil Nitrogen Selama Operasional Reaktor UASB

3.1.1 Konversi Amonium

Selama pengoperasian reaktor anammox, konsentrasi amonium pada efluen secara bertahap mengalami penurunan. Gambar 5 menunjukkan data tentang perubahan konsentrasi NH₄⁺-N selama percobaan. Pada hari ke-3 pengoperasian dengan HRT 6 jam, konsentrasi amonium pada efluen mencapai 60,30 mg-N/L dengan konsentrasi influen NH₄⁺-N ± 70 mg-N/L dan terus mengalami penurunan secara gradual hingga 7,64 mg-N/L pada hari ke-57 percobaan. Sehingga ditingkatkan suplai amonium dengan menurunkan HRT menjadi 3 jam. HRT diturunkan untuk meningkatkan suplai air limbah artifisial ke dalam reaktor karena kebutuhan bakteri yang kian meningkat, yang dapat diketahui dari besarnya penyisihan yang dapat dilakukan oleh bakteri anammox. Hari ke-60 terjadi peningkatan konsentrasi pada efluen menjadi 17,80 mg-N/L. Hal ini terjadi karena *shock loading* yang memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan bakteri anammox sehingga penting untuk dicegah terutama biomassa anammox berupa biofilm (Wang, *et al.*, 2016). Setelah itu terjadi penurunan konsentrasi kembali hingga 9,23 mg-N/L pada akhir percobaan. Amonium merupakan salah satu makanan bagi bakteri anammox. Penurunan amonium dan nitrit secara simultan, merupakan indikasi adanya reaksi anammox. Jika dibandingkan dengan Zulfa, (2020) yang menggunakan reaktor dan inokulum yang sama, dengan media lekat batu apung dan HRT 12 jam, pada awal pengoperasian sudah mampu menyisihkan kadar amonium dari 100 mg-N/L menjadi 74,9 mg-N/L atau dengan Zulkarnaini, *et al.*, (2021) yang menggunakan media lekat yang sama namun dengan inokulum yang berbeda (*Candidatus Brocadia sinica*) dengan HRT 24 dan 12 jam yang juga mampu menyisihkan amonium dari konsentrasi 70 mg-N/L menjadi 50,84 mg-N/L, maka proses *start-up* dari reaktor ini cukup lambat, hal ini terjadi karena proses adaptasi dari inokulum yang sebelumnya dioperasikan pada reaktor yang berbeda yaitu *filter bioreactor* (FtBR) dengan HRT 24 jam (Putra, *et al.*, 2020) yang kemudian HRT diturunkan menjadi 6 jam.

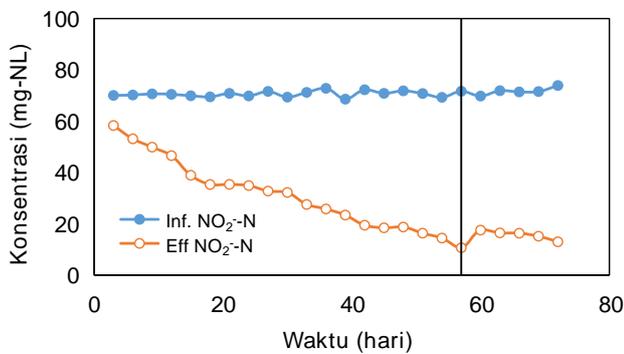


Gambar 5. Profil konsentrasi amonium

3.1.2 Konversi Nitrit

Gambar 6 menunjukkan penurunan konsentrasi nitrit pada reaktor. Sejak dimulainya pengoperasian menggunakan HRT 6 jam, nitrit terus mengalami penurunan secara bertahap. Konsentrasi nitrit pada influen yaitu 70 mg-N/L. Pada hari ke-3, proses anammox menyisihkan NO₂⁻-N hingga konsentrasi 58,32 mg-N/L pada efluen. Pengambilan sampel

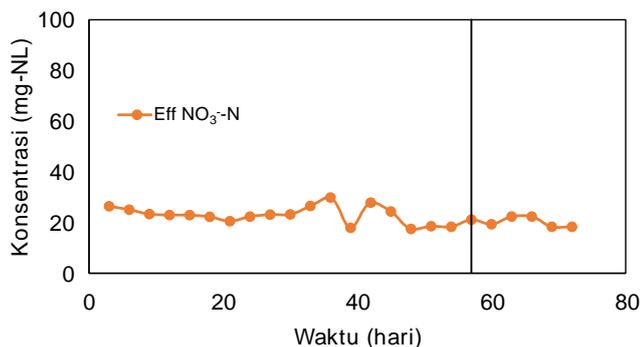
selanjutnya yaitu hari ke-6 hingga hari ke-57 NO₂-N pada efluen mengalami peningkatan penyisihan dari hari sebelumnya. Penyisihan NO₂-N tertinggi terjadi pada hari ke-57 yaitu 10,68 mg-N/L pada efluen. Penyisihan NO₂-N menurun ketika HRT diturunkan menjadi 3 jam. Pada hari ke-60 konsentrasi NO₂-N pada efluen meningkat menjadi 17,53 mg/L lalu hari ke-63 hingga hari ke-72 terjadi penurunan kembali. Penurunan konsentrasi NO₂-N ini menunjukkan adanya aktivitas dari bakteri anammox. Pada proses anammox, nitrit memiliki peran penting yaitu sebagai penerima elektron untuk mengonversi amonium menjadi gas nitrogen. Penyisihan NO₂-N pada masa *start-up* juga sama halnya dengan penyisihan amonium, jika dibandingkan dengan Zulfa, (2020) di mana penyisihan nitrogen yang didapatkan 25% yaitu 100 mg-N/L menjadi 74,9 mg-N/L atau dengan Zulkarnaini, *et al.*, (2021) yang juga mampu menyisihkan 48% nitrit dari konsentrasi 70 mg-N/L menjadi 36,59 mg-N/L.



Gambar 6. Profil konsentrasi nitrit

3.1.3 Produksi Nitrat

Gambar 7 menunjukkan data tentang produksi nitrat selama percobaan. Konsentrasi nitrat yang terukur pada awal yaitu 26,42 mg-N/L. Pada hari ke-6 hingga hari ke-72, konsentrasi nitrat yang dihasilkan cenderung sama pada HRT 6 jam maupun setelah penurunan HRT menjadi 3 jam. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses anammox sudah terjadi sejak awal operasional reaktor, karena adanya nitrat yang dihasilkan dalam keadaan anaerob. Produksi nitrat yang naik berbanding terbalik dengan konsentrasi amonium dan nitrit yang turun, merupakan indikasi terjadinya proses anammox menurut stoikiometri kimianya (Persamaan 4).



Gambar 7. Profil konsentrasi nitrat

3.2 Kinerja Penyisihan Nitrogen

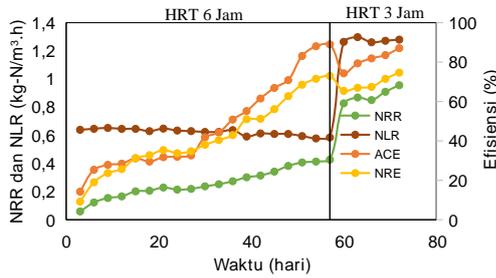
Semenjak awal pengoperasian, penyisihan nitrogen terlihat jelas dengan terjadinya penyisihan pada amonium dan nitrit secara bersamaan serta adanya nitrat yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa proses anammox sudah terjadi. Selain itu, parameter lain yang menjadi kunci terjadinya proses anammox adalah dilihat dari nilai NRR dan NRE.

Nilai NRR menunjukkan tingkat penyisihan nitrogen yang dihitung berdasarkan selisih nilai pembebanan nitrogen dengan konsentrasi nitrogen pada efluen dibagi waktu retensi. Selama 57 hari dengan HRT 6 jam, nilai NRR secara bertahap selalu meningkat dengan nilai NLR dikontrol 0,56 kg-N/m³.h kemudian pada 12 hari selanjutnya HRT diturunkan menjadi 3 jam sehingga NLR meningkat dua kali lipat menjadi 1,12 kg-N/m³.h. Nilai NLR merupakan pembebanan nitrogen selama pengoperasian proses anammox. NRR pada awal percobaan sebesar 0,06 kg-N/m³.h. Rendahnya nilai NRR di awal pengoperasian disebabkan karena bakteri anammox memiliki tingkat pertumbuhan yang lambat di mana waktu penggandaannya cukup lama yaitu 11 hari dengan biomassa yang dihasilkan rendah (Jetten, *et al.*, 1999). NRR maksimum yang didapatkan yaitu 0,43 kg-N/m³.h pada HRT 6 jam pada NLR 0,58 kg-N/m³.h dan 0,956 kg-N/m³.h pada NLR 1,280 kg-N/m³.h. Jika dibandingkan dengan penelitian Zulfa, (2020) yang menggunakan inokulum yang sama dengan batu apung sebagai media lekat, mendapatkan NRR sebesar 0,395 kg-N/m³.h dengan NLR sebesar 0,5 kg-N/m³.h, ataupun dengan Zulkarnaini, *et al.*, (2021) yang juga menggunakan plastik sebagai media lekat yang hanya pada bagian 1/3 paling bawah reaktor dan dengan inokulum yang berbeda yaitu *Candidatus Brocadia sinica*, mendapatkan NRR tertinggi sebesar 0,20 kg-N/m³.h pada NLR 0,30 kg-N/m³.h, maka dapat dilihat bahwa tingkat penyisihan nitrogen pada penelitian ini lebih tinggi atau dapat dikatakan reaktor mampu menyisihkan nitrogen dengan baik walaupun pembebanannya ditingkatkan dua kali lipat dari penelitian Zulfa, (2020) ataupun Zulkarnaini, *et al.*, (2021).

Selama periode operasional reaktor sebagian besar amonium dan nitrit disisihkan dan konsentrasi nitrat lebih tinggi dari influen dan cenderung stabil. Hal ini menunjukkan proses anammox terjadi selama masa percobaan, dilihat dari parameter NRE dan ACE yang mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengoperasian. Pada awal pengoperasian, nilai NRE hanya 9% dan terjadi peningkatan pada hari-hari berikutnya. Efisiensi maksimum dengan HRT 6 jam didapatkan pada hari ke-57 mencapai 72%. Efisiensi mengalami penurunan setelah HRT diturunkan menjadi 3 jam. Nilai NRE yang didapatkan menjadi 65,41%, pada hari selanjutnya mengalami peningkatan lagi hingga mencapai 74,67%.

Parameter ACE juga menjadi salah satu parameter dalam membuktikan proses anammox telah terjadi, karena tujuan dari proses anammox itu sendiri salah satunya adalah untuk menyisihkan kadar amonium yang terdapat dalam air limbah. Jika kandungan amonium di perairan tinggi, maka kualitas air akan menurun, air berubah menjadi keruh, oksigen terlarut rendah, timbul gas-gas beracun dan bahan beracun (Sugiura, *et al.*, 2004). Pada awal reaktor dioperasikan hanya 14,24% amonium yang disisihkan. Seiring

bertambahnya waktu, efisiensi penyisihan juga meningkat hingga ACE 89% pada hari ke-57 dengan HRT 6 jam sedangkan pada HRT 3 jam menurun menjadi 74%. Kinerja penyisihan nitrogen dapat dilihat pada Gambar 8.

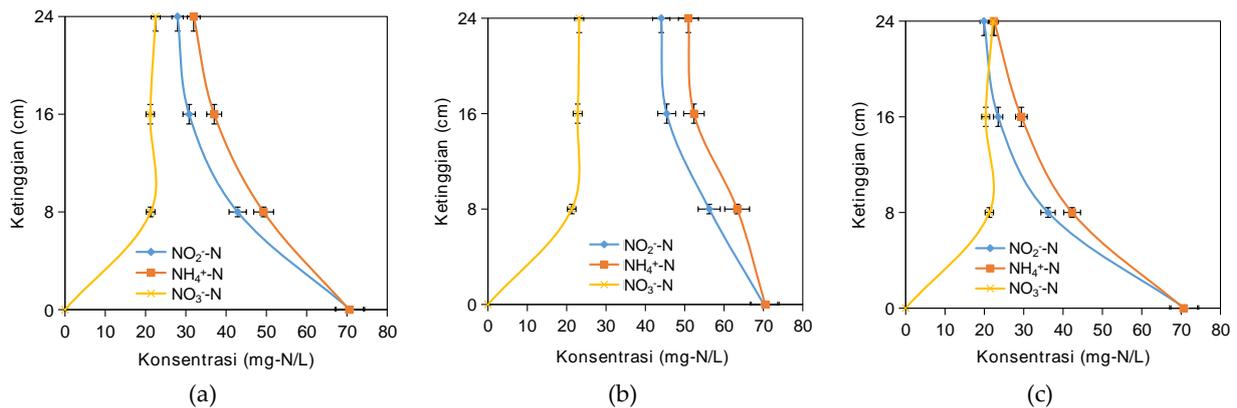


Gambar 8. Kinerja penyisihan nitrogen dengan parameter *nitrogen removal rate* (NRR), *ammonium conversion efficiency* (ACE), dan *nitrogen removal efficiency* (NRE)

3.3 Perbandingan Penyisihan Nitrogen Berdasarkan Ketinggian

Reaktor anammox yang digunakan pada percobaan ini memiliki 3 titik *sampling* pada ketinggian yang berbeda yaitu

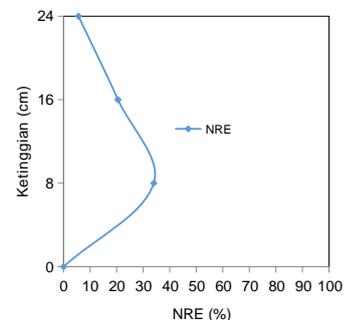
ketinggian 8 cm, 16 cm, dan 24 cm. Berdasarkan Gambar 9(a) pada 24 hari pertama proses anammox didapatkan nilai konsentrasi dari amonium dan nitrit rata-rata sebesar 56,24 mg-N/L dan 63,32 mg-N/L pada ketinggian 8 cm. Lalu pada ketinggian 16 cm konsentrasi amonium dan nitrit yang didapatkan sebesar 45,43 mg-N/L dan 52,34 mg-N/L, dan pada ketinggian 24 cm didapatkan konsentrasi amonium dan nitrit sebesar 44,05 mg-N/L dan 50,93 mg-N/L. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat selisih konsentrasi atau penyisihan lebih besar pada ketinggian 16 cm. Hal ini terjadi karena sebagian biomassa, yaitu bakteri anammox terbawa aliran dan tersangkut di media lekat bagian tengah, yaitu pada rentang ketinggian 16 cm. Pada masa awal permulaan, biomassa yang diinokulasi ke dalam reaktor mudah terbawa aliran karena biomassa tidak melekat dengan baik (Agustina, *et al.*, 2017). Namun setelah itu perlahan nilai penyisihan anammox tertinggi bergeser pada ketinggian 8 cm. Hal ini tergambar pada perbandingan konsentrasi rata-rata pada masing-masing ketinggian yang dapat dilihat di Gambar 10 yang terjadi karena penyebaran air limbah artifisial yang tidak merata ke semua bakteri. Sehingga menyebabkan bakteri yang paling bawah memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan bakteri yang ada di Ma, *et al.*, (2017).



Gambar 9. Perbandingan penyisihan nitrogen: (a) pada 24 hari pertama; (b) hari ke 27–72; (c) penyisihan nitrogen rata-rata dari hari pertama hingga akhir pengoperasian reaktor pada ketinggian yang berbeda

Ma, *et al.*, (2017) juga melakukan perbandingan penyisihan nitrogen berdasarkan ketinggian menggunakan reaktor UASB dengan biomassa tersuspensi jenis granular. Hasil yang didapatkan adalah lebih dari 55% penyisihan terjadi di bagian bawah reaktor. Pada penelitian ini, dengan menggunakan anammox biofilm menggunakan media lekat plastik yang diisi sepenuh reaktor, didapatkan hasil bahwa pada ketinggian 1/3 reaktor (8 cm) nilai NRE rata-rata sebesar 33,97% lalu pada ketinggian 2/3 reaktor (16 cm) nilai NRE rata-rata 20,56% dan pada bagian atas atau ketinggian 24 cm didapatkan nilai NRE rata-rata sebesar 5,63%. Untuk perbandingan nilai NRE dapat dilihat pada Gambar 10.

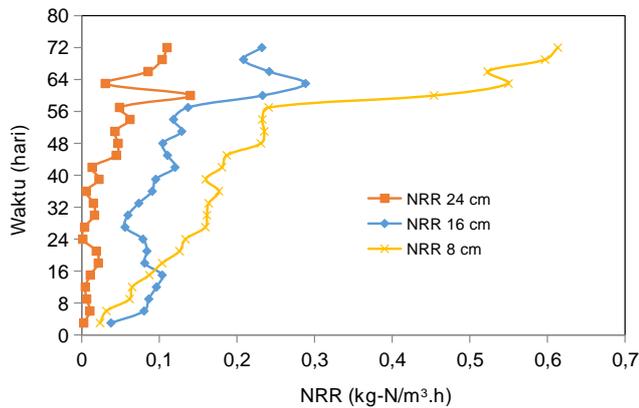
Selanjutnya, nilai NRR rata-rata pada masing-masing ketinggian adalah 0,273 kg-N/m³.h pada ketinggian 8 cm, 0,124 kg-N/m³.h pada 16 cm dan 0,044 kg-N/m³.h pada 24 cm, atau jika dipersenkan nilai penyisihan nitrogen rata-rata tertinggi terjadi di bawah reaktor yaitu pada ketinggian 8 cm



Gambar 10. Perbandingan nilai *nitrogen removal efficiency* (NRE) berdasarkan ketinggian

sebesar 60%, lalu 30% untuk ketinggian 16 cm dan 10% untuk ketinggian 24 cm. Namun pada 24 hari pertama setelah reaktor dioperasikan, penyisihan nitrogen tertinggi terjadi pada ketinggian 16 cm, yaitu 48% sedangkan pada ketinggian 8 cm persen penyisihan adalah 46,4 dan pada ketinggian 24

cm reaktor terjadi penyisihan sebesar 5,6%. Untuk perbandingan nilai NRR pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan nilai NRR pada ketinggian reaktor terhadap waktu

Jika dibandingkan dengan penelitian Ma, *et al.*, (2017), perbandingan persen penyisihan nitrogen berlangsung didominasi pada bagian bawah reaktor. Namun perbedaannya adalah pada 24 hari pertama dalam pengoperasian, di mana penyisihan tertinggi pada penelitian ini terjadi pada ketinggian 2/3 reaktor. Biomassa dalam keadaan optimum harusnya berwarna merah (Ali, *et al.*, 2013). Pada Gambar 12 dapat dilihat perbandingan keadaan reaktor antara bagian 1/3 reaktor yang warna bakterinya lebih merah, lalu di bagian 2/3 reaktor (16 cm) di mana warnanya lebih kecokelatan begitu pun di bagian atas reaktor yang warna merahnya semakin pudar, dan pada bagian paling atas reaktor (24 cm) juga lebih pudar dibanding bagian di bawahnya.

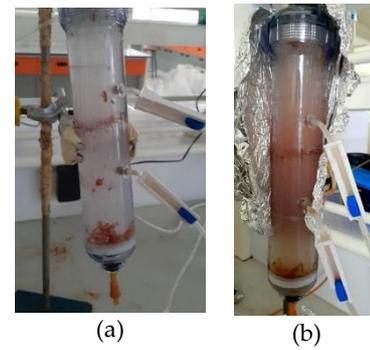
Tabel 3. Perbandingan dengan penelitian terkait

Waktu (Hari)	Inokulum	Biomassa	Media Lekat	HRT (jam)	Suhu (°C)	Jenis Reaktor	NLR (kg-N/m³.h)	ACE (%)	NRE (%)	NRR (kg-N/m³.h)	Referensi
78	<i>Candidatus Brocadia sinica</i>	Biofilm	Plastik	24-12	ambien	UASB	0,14-0,28	82	77	0,12-0,25	(Zulkarnaini, <i>et al.</i> , 2021)
125	<i>Candidatus Brocadia sinica</i>	Biofilm	Ampas Tebu	24-12	ambien	UASB	0,14-0,60	88	85	0,29	(Zulkarnaini, <i>et al.</i> , 2021)
78	<i>Candidatus Brocadia sinica</i>	Biofilm	Ijuk	24-12	ambien	UASB	0,14-0,29	79	76	0,11-0,20	(Zulkarnaini, <i>et al.</i> , 2019)
31	<i>Candidatus Brocadia sinica</i>		Batu Apung	12	ambien	UASB	0,5	87,77	79,80	0,341	Zulfa, (2020)
31	Bakteri anammox dari Telaga Koto Baru	Granular	Batu Apung	12	ambien	UASB	0,5	98,12	92,46	0,395	Zulfa, (2020)
72	Bakteri anammox dari Telaga Koto Baru	Biofilm	Plastik	6-3	ambien	UASB	0,56-1,12	89	74,8	0,43-0,96	Penelitian ini

4. KESIMPULAN

Penelitian mengenai optimalisasi penyisihan nitrogen menggunakan proses anammox pada reaktor UASB dengan limbah sedotan plastik sebagai media lekat dapat disimpulkan bahwa media lekat plastik yang diisi sepuh reaktor dan inokulum yang dikultivasi dari Telaga Koto baru, Tanah Datar, Indonesia dapat mengoptimalkan penyisihan nitrogen. Kinerja penyisihan nitrogen berdasarkan ACE, NRE, NRR pada HRT 6 dan 3 jam adalah 89%, 72%, 0,43 kg-N/m³.h dan 87%, 76,62%, 0,96 kg-N/m³.h.

Penyisihan nitrogen tertinggi berlangsung pada ketinggian 1/3 reaktor (8 cm) yaitu sebesar 60%, sedangkan pada ketinggian 2/3 reaktor (16 cm) penyisihan nitrogen



Gambar 12. Pertumbuhan biofilm pada reaktor (a) awal dan (b) akhir operasional

3.4 Perbandingan dengan Penelitian Terkait

Untuk membandingkan kinerja reaktor yang telah dilakukan dengan kinerja reaktor pada penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, perbandingan penelitian terkait memiliki berbagai perbedaan jenis media lekat dan jenis inokulum, namun inokulum yang sama dilihat dari penelitian Zulfa, (2020), sedangkan media lekat yang sama yaitu pada penelitian (Zulkarnaini, *et al.*, 2021) maka dapat diketahui bahwa nilai penyisihan nitrogen (NRR) pada penelitian ini lebih besar dengan penurunan HRT hingga dua kali lipat. Sedangkan untuk efisiensi penyisihan, nilai yang didapatkan masih di bawah nilai penelitian terkait. Namun demikian, efisiensi akan meningkat seiring dengan berjalannya pengoperasian reaktor secara kontinu, sehingga dapat dikatakan penelitian ini berhasil mengoptimalkan penyisihan nitrogen dengan menggunakan media lekat plastik yang diisi sepuh reaktor dan menggunakan inokulum yang dikultivasi dari Telaga Koto Baru dengan rentang suhu yang sama dengan suhu operasi reaktor anammox.

sebesar 30% dan pada bagian atas atau ketinggian 24 cm didapatkan penyisihan sebesar 10%.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas atas dukungan pembiayaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. E., Novia, N., Diansyah, G., Ike, M., & Soda, S. (2017). Nitrogen Removal by Anammox Biofilm Column Reactor at Moderately Low Temperature. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*,

- 2(3), 78–82. <https://doi.org/10.24845/ijfac.v2.i4.78>
- Ali, M., Chai, L. Y., Tang, C. J., Zheng, P., Min, X. B., Yang, Z. H., Xiong, L., & Song, Y. X. (2013). The Increasing Interest of Anammox Research in China: Bacteria, Process Development, and Application. *BioMed Research International*, 2013(November 2014). <https://doi.org/10.1155/2013/134914>
- APHA. (1995). American Public Health Association - Standard methods for the examination of water and wastewater. In *American Public Health Association, Washington* (23rd ed.).
- Dhuha, S. (2020). *Evaluasi Penerapan Program Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Gampong Peunayong, Banda Aceh*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Graaf, A. A. Van De, Bruijn, P. De, Robertson, L. A., Jetten, M. M., & Kuenen, J. G. (1996). *Autotrophic growth of anaerobic ammonium oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor*. 1996.
- Intan, G. (2018). *Selamatkan Lingkungan, Gerakan Tanpa Sedotan Plastik Mulai Nge-Trend di Masyarakat*. <https://www.voaindonesia.com/a/selamatkan-lingkungan-gerakan-tanpa-sedotan-mulai-nge-trend-di-masyarakat/4664637.html>
- Jetten, M. S. M., Strous, M., Van De Pas-Schoonen, K. T., Schalk, J., van Dongen, U. G. J. M., Van De Graaf, A. A., Logemann, S., Muyzer, G., Van Loosdrecht, M. C. M., & Kuenen, J. G. G. (1999). The anaerobic oxidation of ammonium. *FEMS Microbiology Reviews*, 22(5), 421–437. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(98\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(98)00023-0)
- Kumar, M., Daverey, A., Gu, J. D., & Lin, J. G. (2016). Anammox Processes. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Biological Treatment of Industrial Effluents* (Issue January). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00015-1>
- Ma, H., Niu, Q., Zhang, Y., He, S., & Li, Y. Y. (2017). Substrate inhibition and concentration control in an UASB-Anammox process. *Bioresour Technol*, 238, 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.017>
- Nnaji, C. C. (2013). A review of the upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Desalination and Water Treatment*, 52(22–24), 4122–4143. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.800809>
- Nur, A., & Komala, P. S. (2021). Plastic bottles waste as attached growth media in the removal of organic and nutrients for small-scale wastewater treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(5), 052045. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/5/052045>
- Putra, R. P., Zulkarnaini, & Komala, P. S. (2020). Start-Up Anammox Process Using Sludge from Koto Baru Lake as Inoculum. *Teknologi Lingkungan*, 21(2), 138–146.
- Sugiura, N., Utsumi, M., Wei, B., Iwami, N., Okano, K., Kawauchi, Y., & Maekawa, T. (2004). Assessment for the complicated occurrence of nuisance odours from phytoplankton and environmental factors in a eutrophic lake. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 9(3–4), 195–201. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2004.00246.x>
- Wang, T., Zhang, H., & Yang, F. (2016). Performance of Anammox process and low-oxygen adaptability of Anammox biofilms in a FBR with small ring non-woven carriers. *Ecological Engineering*, 86, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.11.025>
- Zulfa, M. (2020). *Penyisihan Nitrogen Dengan Proses Anammox pada Reaktor Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Memanfaatkan Batu Apung Sebagai Media Lekat*. Universitas Andalas.
- Zulkarnaini, Z., Komala, P. S., & Almi, A. (2021). Anammox biofilm process using sugarcane bagasse as an organic carrier. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 26(1), 25–32. <https://doi.org/10.22146/IJBIOTECH.58554>
- Zulkarnaini, Z., Nur, A., & Ermaliza, W. (2019). Nitrogen Removal in the Anammox Biofilm Reactor Using Palm Fiber As Carrier in Tropical Temperature Operation. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 10(2), 7–15. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2019.v10.no2.p7-15>
- Zulkarnaini, Z., Primasari, B., & Saputra, D. J. (2021). Performance of anammox biofilm reactor under tropical temperature. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1041(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1041/1/012035>