Vol. 23 No. 2 (Juli 2022) 143-150
e-ISSN 2548-6101 p-ISSN 1411-318X

Jurnal Teknologi Lingkungan

Journal Homepage: ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL

Penyisihan Nitrogen dengan Proses Anammox Menggunakan Lumpur Muara Penjalinan Kota Padang sebagai Inokulum

Nitrogen Removal by Anammox Process Using Sludge from Muara Penjalinan of Padang City as Inoculum

FALDI LULRAHMAN[1,2] SHINTA SILVIA[1], ZULKARNAINI[1*]

[1]Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang-Sumatera Barat
[2]Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang Tabing, Padang-Sumatera Barat
*zulkarnaini@eng.unand.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received 6 April 2022
Accepted 15 July 2022
Published 31 July 2022

Keywords:
Anammox
Filter bioreactor
Muara Penjalinan
Seawater
Sludge

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze nitrogen removal by anaerobic ammonium oxidation (anammox) process using sludge from Muara Penjalinan Padang as an inoculum in a filter bioreactor (FtBR). The configuration of FtBR consisted of a housing filter with an effective volume of 1,500 mL and a string wound filter cartridge of 0.5 µm as a carrier for the growth of anammox bacteria. The artificial wastewater was made using seawater containing ammonium and nitrite with a concentration of 70 mg-N/L, which was delivered to the reactor continuously with a hydraulic retention time (HRT) of 24 hours. Influent and effluent samples were collected once-twice a week to analyze the concentration of ammonium, nitrite, and nitrate, based on Nessler, spectrophotometry, and UV screening methods. Process anammox takes place in FtBR based on the average ratio of ΔNO_2^--N/ΔNH_4^+-N and ΔNO_3^--N / ΔNH_4^+-N of 0.986 dan 0.239. The nitrogen removal performance was calculated based on the ammonium conversion efficiency (ACE), nitrogen removal efficiency (NRE), nitrogen loading rate (NLR), and nitrogen removal rate (NRR). After operating the reactor for 143 days, the nitrogen removal of ACE, NRE, and NRR were 20.268%, 16. 872%, and 0.026 kg-N/m^3·d at NLR 0.1804 kg-N/m^3·d.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:
Diterima 6 April 2022
Disetujui 15 Juli 2022
Diterbitkan 31 Juli 2022

Kata kunci:
Anammox
Filter bioreactor
Muara Penjalinan
Air laut
Lumpur

ABSTRAK

Anaerobic ammonium oxidation (anammox) merupakan penyisihan amonium menjadi gas nitrogen menggunakan nitrit sebagai penerima elektron dan berkontribusi dalam penyisihan nitrogen di lautan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyisihan nitrogen melalui proses anammox menggunakan lumpur Muara Penjalinan Kota Padang sebagai inokulum pada *filter bioreactor* (FtBR). Konfigurasi FtBR terdiri atas *housing filter* dan *string wound filter cartridge* sebagai media lekat untuk pertumbuhan biomassa anammox yang dioperasikan secara kontinu dengan *hydraulic retention time* (HRT) 24 jam pada suhu ambien. Limbah artifisial dibuat menggunakan air laut yang dengan menambahkan 70 mg-N/L amonium dan nitrit masing-masingnya yang dipompakan ke reaktor secara kontinu. Pengambilan sampel influen dan efluen dilakukan satu hingga dua kali dalam seminggu untuk pengukuran konsentrasi amonium, nitrit dan nitrat berdasarkan metode Nessler, spektrofotometri, dan skrining spektrofotometri ultraviolet. Proses anammox berlangsung dalam reaktor berdasarkan rasio ΔNO_2^--N/ΔNH_4^+-N dan ΔNO_3^--N / ΔNH_4^+-N sebesar 0,986 dan 0,239 yang mendekati stoikiometri reaksi anammox. Setelah operasional reaktor selama 143 hari didapatkan kinerja penyisihan nitrogen maksimal *ammonium conversion efficiency* (ACE), *nitrogen removal efficiency* (NRE) dan *nitrogen removal rate* (NRR) berturut-turut 20,268%, 16,872% dan 0,026 kg-N/m^3.h pada *nitrogen loading rate* (NLR) 0,1804 kg-N/m^3.h.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Anaerobic amonium oxidation (anammox) merupakan proses biologis yang mampu mengonversi amonium menjadi gas nitrogen (N_2) menggunakan nitrit sebagai akseptor elektron dalam kondisi anaerob (Kartal *et al*., 2013). Jika dibandingkan dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi, proses anammox mampu menghemat kebutuhan oksigen hingga 60%, mengurangi produksi lumpur hingga 90%, dan mengurangi penyebab pemanasan global karena lebih sedikit memproduksi N_2O (Ali *et al*., 2014). Di habitat alami dan habitat buatan seperti sungai, danau, muara, akuifer air tanah, lahan basah, sawah, *everglades*, tanah, dan air laut keberadaan bakteri anammox dapat ditemukan (Qian *et al*., 2018).

Keberadaan senyawa nitrogen dalam air laut selain secara alami (nitrogen organik), dapat juga berasal dari beberapa sumber pembuangan (nitrogen anorganik) yang mengalir ke dalam laut. Beberapa sumber nitrogen anorganik tersebut di antaranya berasal dari industri-industri pertanian, kimia, tekstil, kulit, makanan, dan kehutanan. Nitrogen anorganik adalah salah satu nutrisi utama di perairan asin yang dapat membatasi produktivitas produsen (Qian *et al*., 2018). Amonium dapat berasimilasi, tetapi dapat juga digunakan sebagai sumber energi ketika dioksidasi pertama kali menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat dalam proses nitrifikasi (Zulkarnaini *et al*., 2018). Nitrit dan nitrat selanjutnya dapat direduksi menjadi gas nitrogen di zona *suboksik* dengan proses anammox atau denitrifikasi (Zulkarnaini *et al*., 2018). Saat ini sedikit informasi tentang bagaimana dan sejauh mana berbagai kelompok bakteri siklus nitrogen berkontribusi pada siklus biogeokimia nitrogen di ekosistem perairan asin (Zulkarnaini *et al*., 2018). Pada tahun 2003, ditemukan bukti langsung berupa penemuan pertama bakteri anammox di cekungan anoksik terbesar di dunia yaitu Laut Hitam. Sejak itu penelitian lanjutan telah menunjukkan bahwa bakteri anammox memainkan peran dominan dalam penyisihan nitrogen dalam sistem *upwelling* Benguela dan Peru (Van Duc *et al*., 2018).

Agustina *et al.* (2017) melaporkan bahwa proses anammox mampu berlangsung pada suhu tropis dengan tingkat penyisihan nitrogen maksimum 1,05 kg-N/m^3.h menggunakan bakteri anammox *strain* KSU-1 yang berasal dari *Osaka University*, Jepang. Putra *et al.* (2020) melakukan kultivasi bakteri anammox dengan sumber inokulum dari lumpur Telaga Kotobaru menggunakan *filter bioreactor* (FtBR) dengan perbedaan suhu operasional yaitu pada suhu ambien dan suhu 35 °C dengan HRT 24 jam. Kinerja penyisihan nitrogen maksimal pada kedua reaktor tersebut secara berturut-turut adalah 92,03% dan 91,92%. Percobaan ini berhasil mengidentifikasi empat spesies bakteri anammox yakni *Ca. Brocadia fulgida, Ca. Brocadia caroliniensis, Ca. Brocadia sinica,* dan *Ca. Anammoxoglobus propionicus* (Putra *et al.*, 2020). Selain melangsungkan proses pada ekosistem air tawar, bakteri anammox juga berlangsung pada ekosistem air asin. Gumelar *et al.*, (2022) menggunakan inokulum dari limbah padat tambak udang intensif untuk menyisihkan nitrogen hingga 72,58% pada FtBR menggunakan air laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja penyisihan nitrogen melalui proses anammox pada lingkungan air asin menggunakan FtBR yang dioperasikan secara kontinu di suhu ambien. *Start-up* reaktor menggunakan inokulum berupa lumpur dari Muara Penjalinan Kota Padang, Sumatera Barat.

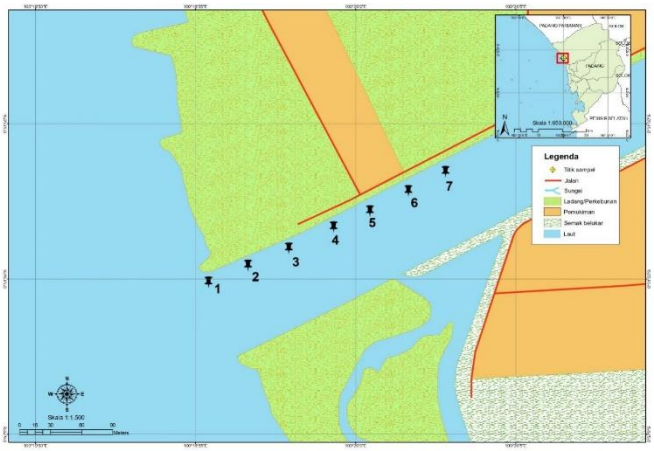
1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyisihan nitrogen pada air laut melalui proses anammox menggunakan lumpur Muara Penjalinan Kota Padang sebagai inokulum menggunakan *Filter Bioreactor* (FtBR) pada suhu ambien.

2. METODE

2.1 Bahan

Lumpur dari Muara Penjalinan Kota Padang diambil pada 7 titik dengan teknik komposit di Muara Penjalinan Kota Padang dengan kedalaman 0,5–1,0 m di bawah permukaan air. Sampel diambil sebanyak 1 Liter setiap masing-masing titik sampling, selanjutnya dicampur dan dihomogenkan ke dalam jeriken 20 L yang tertutup rapat. Sebanyak 1.500 mL lumpur digunakan sebagai inokulum untuk memulai operasional reaktor penelitian pada hari yang sama dengan pengambilan sampel. Operasional reaktor dimulai dengan mengalirkan limbah artifisial yang dibuat dari air laut yang diganti satu kali dalam seminggu.



Gambar 1. Titik pengambilan sampel lumpur pada Muara Penjalinan Kota Padang

2.2 Metode

2.2.1 Instalasi Reaktor

Reaktor yang digunakan untuk penelitian disebut dengan *filter bioreactor* (FtBR). Konfigurasi FtBR terdiri atas *housing filter* ukuran 10 inci (Nanotec, China) dengan volume efektif 1.800 mL dan sebagai media lekat pertumbuhan bakteri digunakan *string wound filter cartridge* ukuran pori 0,5 μm (Puretex, USA) terlihat pada Gambar 2.

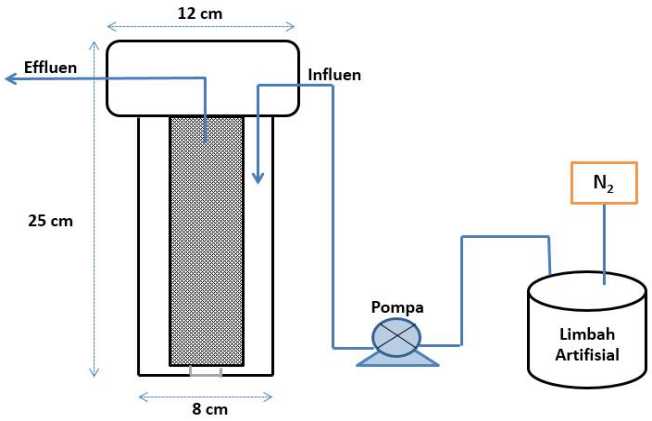
String wound filter cartridge tersebut diletakkan di tengah-tengah *housing filter*, agar dapat mempertahankan biomassa anammox yang ada di lumpur biakan supaya menempel dan tidak keluar bersama aliran efluen pada reaktor. Air limbah artifisial dialirkan secara kontinu ke reaktor dengan pompa peristaltik (*stepper motor* Nema, *driver*

L298N, dan Arduino Uno). Kecepatan alir pompa peristaltik diatur 1,25 mL/menit dengan *Hydraulic Retention Time* (HRT) 24 jam. Pada bagian atas reaktor terdapat saluran efluen untuk analisis sampel. Pada bagian ini juga dilengkapi dengan katup gas untuk membuang gas nitrogen yang terperangkap dalam reaktor sebagai produk dari proses anammox. *Aluminium foil* digunakan untuk menutup reaktor yang berfungsi untuk menghalangi terpapar cahaya agar bakteri fotoheterotrof tidak berkembang. Gambar 3 memperlihatkan skema instalasi reaktor FtBR.

(A)

(B)

Gambar 2. Perangkat reaktor penelitian FtBR: (A) *string wound filter*, (B) *housing filter*



Gambar 3. Skema instalasi FtBR

Tabel 1. Komposisi air limbah artifisial

Bahan Kimia	Jumlah (mg/L)
$(NH_4)HCO_3$	395,3
$NaNO_2$	344,7
Trace Elements I	
Na EDTA (II)	6.370
$FeSO_4$	5.000
Trace Elements II	
Na EDTA (II)	19.110
$CoCl.6H_2O$	240
$MnCl_2.4H_2O$	990
$CuSO_4.5H_2O$	250
$NaMoO_4.2H_2O$	220
$NiCl_2.6H_2O$	190
$NaSeO_4.10H_2O$	240
H_3BO_4	140

2.2.2 Persiapan Air Limbah Artifisial

Air laut diambil setiap kali pembuatan air limbah artifisial. Air limbah artifisial dibuat dengan menambahkan masing-masing 70 mg-N/L amonium dan nitrit dalam bentuk $NaNO_2$ dan $(NH_4)HCO_3$ ke dalam air laut serta *trace elements* I dan II (Van De Graaf *et al*., 1996). Air laut yang digunakan tidak dilakukan sterilisasi dan dibilas dengan gas N_2 untuk menghilangkan oksigen terlarut selama 30 menit selama preparasi sebelum dialirkan ke reaktor. Komposisi air limbah artifisial yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2.3 Analisis Data

Sampel untuk dianalisis di ambil dari tangki influen dan efluen satu hingga dua kali dalam seminggu. Konsentrasi amonium, nitrit dan nitrat dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu, Jepang) berdasarkan SNI 06-2479-1991, SNI 06-6989.9-2004 dan skrining spektrofotometri ultraviolet (APHA-2017). Pengukuran salinitas, suhu dan pH menggunakan *Salinity Tester* (HANNA, Romania), termometer (Kris Chef, Indonesia) dan pH meter (Ohaus, Amerika Serikat).

2.2.4 Perhitungan Penyisihan Nitrogen

Kinerja penyisihan nitrogen berdasarkan parameter efisiensi konversi amonium (*ammonium conversion efficiency*/ACE), efisiensi penyisihan nitrogen (*nitrogen removal efficiency*/NRE), laju pembebanan nitrogen (*nitrogen loading rate*/NLR), dan laju penyisihan nitrogen (*nitrogen removal rate*/*NRR),* yang dihitung berdasarkan Persamaan 1, 2, 3, dan 4 (Zulkarnaini *et al*., 2018):

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

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

$$NLR = \frac{[NH_4^+\text{-}N]_{in} + [NO_2^-\text{-}N]_{in}}{HRT} \times \frac{24}{1000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$NRR = \frac{[NH_4^+\text{-}N]_{in} + [NO_2^-\text{-}N]_{in} - [NH_4^+\text{-}N]_{out} - [NO_2^-\text{-}N]_{out} - [NO_3^-\text{-}N]_{out}}{HRT} \times \frac{24}{1000} \ldots\ldots\ldots (4)$$

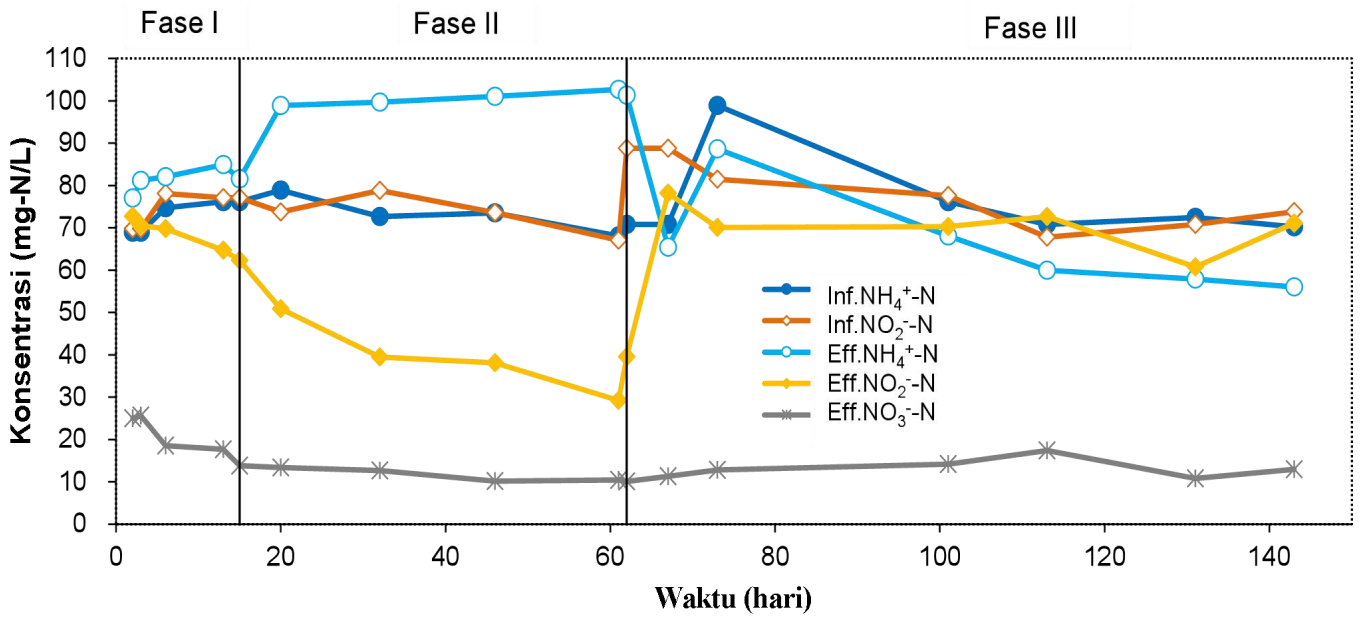
Keterangan:

$[NH_4^+\text{-}N]_{in}$ = Konsentrasi amonium pada influen (mg-N/L)
$[NO_2^-\text{-}N]_{in}$ = Konsentrasi nitrit pada influen (mg-N/L)
$[NH_4^+\text{-}N]_{out}$ = Konsentrasi amonium pada efluen (mg-N/L)
$[NO_2^-\text{-}N]_{out}$ = Konsentrasi nitrit pada efluen (mg-N/L)
$[NO_3^-\text{-}N]_{out}$ = Konsentrasi nitrat pada efluen (mg-N/L)
HRT = *Hydraulic Retention Time* (jam)

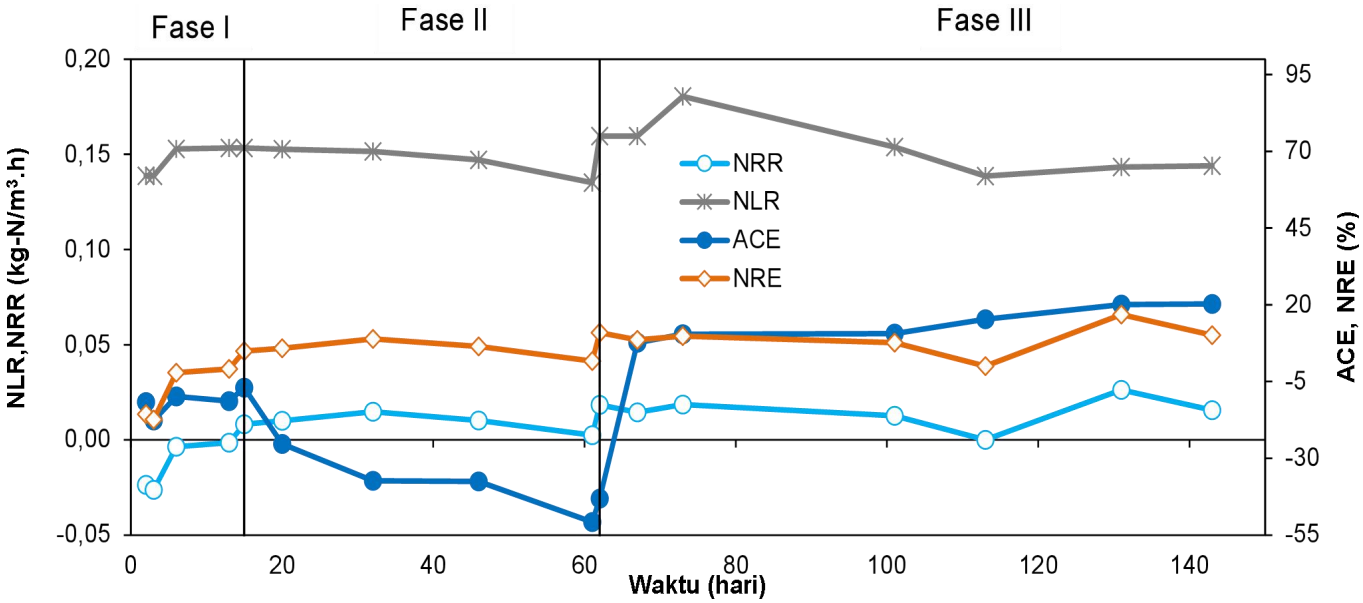
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tahapan *Start-Up*

Kesuksesan dalam *start-up* proses anammox dapat dilihat dengan melakukan *monitoring* terhadap konsentrasi amonium pada efluen. Menurut Chen *et al.* (2016) tahapan anammox dapat dibagi menjadi empat tahapan yang dapat dilihat dari konsentrasi amonium pada efluen yaitu *cell lysis phase, lag phase, transition phase,* dan *activity elevation phase*. Penelitian ini berlangsung dalam tiga tahapan yaitu *cell lysis phase, lag phase,* dan *transition phase* sebagaimana terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Profil nitrogen selama operasional FtBR, fase I *cell lysis phase,* fase II *lag phase,* dan fase III *transition phase*



Gambar 5. Profil kinerja penyisihan nitrogen selama operasional FtBR

3.1.1 *Cell Lysis Phase/Fase Lisis Sel (1–15 Hari)*

Cell lysis phase atau juga disebut sebagai fase *sluggish*, pada proses anammox merupakan suatu fase atau tahapan di mana konsentrasi amonium pada efluen lebih tinggi daripada konsentrasi amonium pada influen (Chen *et al.*, 2016). *Cell lysis* terjadi karena perubahan drastis dari lingkungan sel, yang dapat menyebabkan tekanan pada inti protein sehingga terjadi denaturasi, proteolisis, dan agregasi (Skiba *et al.*, 2018). Selain itu, keberadaan bakteri aerob dan kematian bakteri heterotrof akibat perubahan lingkungan sehingga terjadi lisis sel dan pemecahan nitrogen organik menjadi amonia mengakibatkan peningkatan konsentrasi amonium pada efluen (Wang *et al.*, 2018).

Gambar 4 memperlihatkan pada fase I (fase lisis sel) konsentrasi amonium dan nitrit masing-masing pada influen diatur 70 mg-N/L. Pada penelitian ini *fase sluggish* terjadi pada 0 hingga 15 hari, hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (2016) selama 16 hari dan penelitian oleh Wang *et al.* (2018) selama 15 hari. Selama fase ini konsentrasi amonium pada efluen selalu lebih tinggi dari konsentrasi amonium pada influen karena inokulum yang merupakan kultur campuran yang berasal dari lumpur Muara Penjalinan Kota Padang mengalami lisis sel dan amonium dihasilkan dari degradasi nitrogen organik. Berbeda dengan konsentrasi nitrit pada efluen cenderung terus menurun jika dibandingkan dengan konsentrasi influen nitrit terutama pada hari keenam, ketiga belas dan kelima belas. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas bakteri denitrifikasi yang dominan pada tahap ini (Wang *et al.*, 2018). Kondisi ini belum dapat menunjukkan aktivitas proses anammox secara nyata. Dikarenakan belum terlihat aktivitas penyisihan nitrogen secara jelas berdasarkan perhitungan karena pada fase ini nilai rata-rata ACE, NRE, dan NRR bernilai negatif yaitu -11,520%, -6,207% dan -0,009 kg-N/m^3.h, dengan NLR 0,147 kg-N/m^3.h.

3.1.2 *Lag Phase/Fase Penyesuaian (16–62 Hari)*

Umumnya pada fase penyesuaian, konsentrasi efluen amonium menunjukkan stabil dan hampir sama dengan konsentrasi influen (Chen *et al.*, 2016). Fase ini oleh beberapa peneliti juga disebut sebagai fase *expressive*. Akan tetapi, yang tetap menjadi ciri khas dari fase ini adalah grafik cenderung stabil dan umumnya berkisar pada atau sama dengan konsentrasi influen (Chen *et al.*, 2016). Akhir dari fase ini adalah fase transisi, di mana ditandai terjadinya penurunan terlebih dahulu kemudian terjadi kenaikan dan penurunan yang tidak stabil dari konsentrasi efluen amonium.

Gambar 4 memperlihatkan pada fase II (fase penyesuaian), konsentrasi amonium dan nitrit influen dipertahankan pada kisaran 70 mg-N/L dan salinitas 29,7–32,4 ppt. Uniknya konsentrasi dari amonium pada efluen masih menunjukkan konsentrasi yang tinggi dari konsentrasi influen dan bahkan lebih tinggi lagi dari konsentrasi amonium pada efluen selama fase lisis sel. Pada fase lisis sel konsentrasi efluen amonium yang berkisar pada nilai 80 mg-N/L, sedangkan pada fase penyesuaian konsentrasi amonium pada efluen berkisar pada 100 mg-N/L. Hal ini menunjukkan kemungkinan proses lain yang menghasilkan amonium yaitu proses *Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium* (DNRA). Hal ini diperkuat karena nitrit yang turun dengan drastis dan grafik dari nitrat yang cenderung menunjukkan penurunan jika dibandingkan dengan fase lisis. Konsentrasi efluen nitrit rata-rata adalah 68,041 mg-N/L dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata nitrit pada fase penyesuaian adalah 39,445 mg-N/L. Ciri khas dari proses DNRA ini adalah nitrat dan nitrit yang semakin menurun dikarenakan adanya reduksi nitrat menjadi nitrit dan diubah menjadi amonium sehingga konsentrasi amonium menjadi naik (Song *et al.*, 2013). Proses DNRA merupakan proses pengubahan nitrat-nitrit menjadi amonium pada suasana anaerobik (Mirghorayshi *et al.*, 2018). Proses DNRA sering terjadi ketika pemberian air limbah artifisial sebagai makanan bagi bakteri secara kontinu dan menunjukkan konsentrasi amonium yang menjadi tinggi dan produksi nitrat yang cenderung naik dan kemudian turun (Mirghorayshi *et al.*, 2018). Perbedaan mendasar antara proses denitrifikasi dan DNRA adalah konsentrasi nitrat, di mana pada proses denitrifikasi nitrat yang turun tidak menghasilkan kenaikan dari konsentrasi amonium sedangkan pada DNRA menunjukkan penurunan konsentrasi nitrat yang cukup signifikan menghasilkan kenaikan bagi konsentrasi amonium (Mirghorayshi *et al.*, 2018). Hal ini dibuktikan dengan data konsentrasi nitrat efluen pada fase lisis rata-rata sebesar 20,131 mg-N/L dibandingkan dengan konsentrasi nitrat efluen pada fase penyesuaian berkisar 11,352 mg-N/L. Dengan demikian dapat dikatakan indikasi pada lag phase proses didominasi oleh proses DNRA dan aktivitas dari proses anammox masih tertutupi. Nilai rata-rata ACE, NRE dan NRR pada fase penyesuaian berturut-turut adalah -38,809%, 6,729% dan 0,011 kg-N/m^3.h dengan NLR sebesar 0,149 kg-N/m^3.h.

3.1.3 *Transition Phase/Fase Transisi (63–143 Hari)*

Fase transisi merupakan fase yang mulai menunjukkan nilai positif dari nilai ACE, NRE dan NRR (Chamchoi & Nitisoravut, 2007). Fase ini biasanya dilakukan dengan melakukan peningkatan dari NLR sehingga grafik dari konsentrasi amonium cenderung naik–turun (Chen *et al.*, 2016). Fase ini tidak selalu umum didapatkan oleh peneliti kultivasi anammox, tergantung kepada aktivitas anammox yang didapatkan seperti yang dialami oleh Chen *et al.* (2016), di mana aktivitas anammox telah terlihat begitu nyata sehingga disebut sebagai *enhanced phase* (fase peningkatan).

Konsentrasi nitrit dan amonium pada fase III (fase transisi) dipertahankan dalam kisaran 70 mg-N/L dan salinitas 29,7–32,4 ppt. Pada fase III terlihat konsentrasi efluen amonium dan konsentrasi efluen nitrit lebih rendah dari konsentrasi influen yang terlihat pada Gambar 4. Kemudian konsentrasi nitrat sudah mulai menunjukkan kenaikan pada efluen. Dengan demikian dapat dikatakan indikasi aktivitas bakteri anammox yang telah diduga ada pada *lag phase* sebelumnya didominasi oleh proses DNRA sehingga aktivitas dari proses anammox tertutupi dan pada fase penyesuaian sudah mulai tampak proses anammox dengan ciri penurunan konsentrasi amonium dan nitrit, kemudian peningkatan konsentrasi nitrat pada efluen. Hal ini juga menunjukkan bahwa DNRA tidak mengganggu atau menjadi hambatan terhadap proses anammox. Fase penyesuaian ini mulai terlihat setelah dilakukan pembuangan lumpur inokulum pada hari ke-60 yang diinokulasikan ke dalam reaktor dengan mempertahankan biomassa yang melekat pada *string wound filter cartridge.* Pembuangan lumpur ini merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Putra *et al.* (2020) yang melakukan pembuangan lumpur awal dari FtBR setelah operasional reaktor selama 60 hari.

Pada fase transisi terlihat nilai ACE, NRE dan NRR sudah menunjukkan hasil positif. Hal ini menunjukkan aktivitas dari bakteri anammox mulai menunjukkan kinerja penyisihan nitrogen. Pada fase transisi ini tidak terlihat lagi proses DNRA. Gambar 5 menunjukkan nilai rata-rata ACE, NRE, NLR dan NRR pada fase transisi berturut-turut adalah 16,857%, 10,594% dan 0,018 kg-N/m^3.h pada NLR 0,184 kg-N/m^3.h. Jika dibandingkan dengan penelitian Putra *et al.* (2020) yang melakukan kultivasi bakteri anammox dengan sumber inokulum dari lumpur Telaga Kotobaru menggunakan *Filter Bioreactor* (FtBR) dengan perbedaan suhu operasional yaitu pada suhu ambien dan suhu 35 °C dengan HRT 24 jam, nilai rata-rata ACE, NRE, NLR dan NRR pada fase transisi berturut-turut adalah -10,32%, 31,67%, 0,054 kg-N/m^3.h dan 0,1414 kg-N/m^3.h, maka nilai rata-rata ACE pada penelitian ini lebih baik dari Putra *et al.* (2020). Hal ini disebabkan pada penelitian Putra *et al.* (2020) pada fase transisi masih didominasi oleh proses DNRA dan fenomena *sluggish* sehingga nilai efluen amonium masih tinggi. Bila dibandingkan dengan penelitian Gumelar *et al.* (2022) yang juga menggunakan FtBR dan air laut sebagai limbah artifisial kemudian menggunakan limbah padat tambak udang intensif sebagai inokulum nilai penyisihan amonium tertinggi terjadi pada hari ke-113 dengan nilai 82,49% (Gumelar *et al.*, 2022). Penelitian ini nilai penyisihan amonium tertinggi terjadi pada hari ke-143 dengan nilai 20,268%. Hal ini menunjukkan nilai penyisihan amonium pada penelitian ini masih rendah dibandingkan dengan penelitian Gumelar *et al.* (2022).

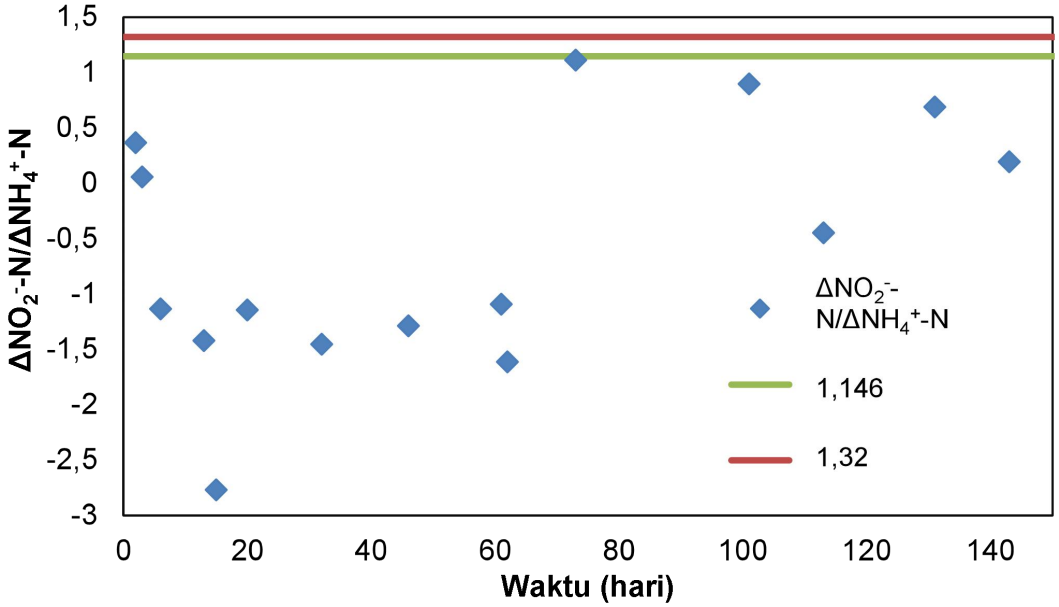
3.2 Stoikiometri Anammox

Proses anammox bisa diketahui dari rasio molar konsumsi nitrit dengan konsumsi amonium (ΔNO_2^--N/ΔNH_4^+-N) untuk menghasilkan gas nitrogen dan nitrat (Lu *et al.*, 2017). Pada saat ini dikenal ada 2 rasio dalam stoikiometri anammox yakni 1:1,32 antara mol amonium dengan nitrit yang menghasilkan 0,26 mol nitrat (Strous *et al.*, 1998) dan rasio 1:1,146 antara mol amonium dengan mol nitrit yang menghasilkan 0,161 mol nitrat (Lotti *et al.*, 2014). Persamaan Strous terlihat pada Persamaan 5:

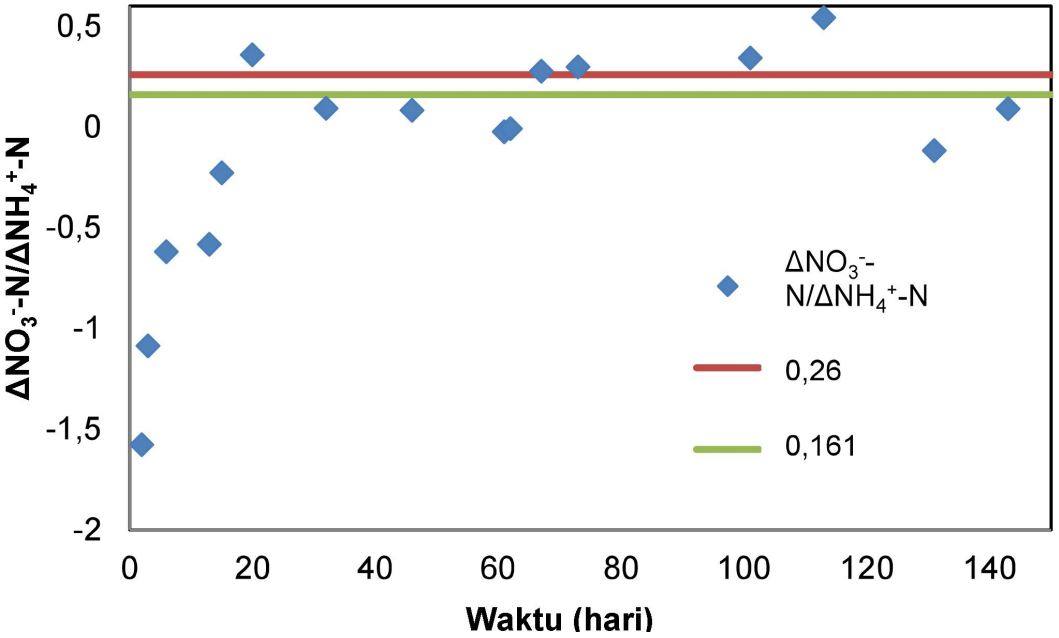
$$NH_4^+ + 1{,}31NO_2^- + 0{,}066HCO_3^- + 0{,}13H^+ \rightarrow N_2 + 0{,}26NO_3^- + 0{,}066CH_2O_{0,5}N_{0,15} + 2H_2O \quad (5)$$

Pada penelitiannya Strous *et al.* (1998) menggunakan biomassa bakteri anammox berbentuk granular pada suhu optimum 32–33 ^{0}C dengan *Sequencing Batch Reactor (SBR)* sebagai reaktor. Kemudian Lotti *et al.* (2014) menggunakan biomassa bakteri anammox berbentuk biofilm pada suhu 30 ^{0}C dan menggunakan *Sequencing Batch Reactor (SBR)* sebagai reaktor yang terdapat pada Persamaan 6:

$$NH_4^+ + 1{,}146NO_2^- + 0{,}071HCO_3^- + 0{,}057H^+ \rightarrow 0{,}986N_2 + 0{,}161NO_3^- + 0{,}071CH_2O_{0,5}N_{0,15} + 2{,}002H_2O \quad (6)$$



Gambar 6. Rasio ΔNO_2^--N/ΔNH_4^+-N. Garis merah adalah koefisien stoikiometri oleh Strous dan garis hijau oleh Lotti



Gambar 7. Rasio ΔNO_3^-N/ΔNH_4^+-N. Garis merah adalah koefisien stoikiometri oleh Strous dan garis hijau oleh Lotti

Gambar 6 memperlihatkan nilai rata rasio ΔNO_2^--N/ΔNH_4^+-N pada fase transisi yang didapatkan dari penelitian ini adalah 0,986. Jika dibandingkan dengan nilai stoikiometri rasio teoritis yang dirumuskan oleh Strous dan Lotti yaitu 1,32 dan 1,146 maka nilai ini mendekati rasio teoritis Lotti. Perbedaan nilai rasio terjadi karena perbedaan

spesies, kondisi operasional reaktor, jenis reaktor, salinitas dan suhu dalam pengoperasian.

Gambar 7 memperlihatkan nilai rasio rata-rata ΔNO_3^--N/ΔNH_4^+-N pada fase transisi didapatkan pada penelitian ini adalah 0,239. Jika dibandingkan dengan nilai rasio stoikiometri anammox yang dirumuskan oleh Strous dan Lotti yaitu 0,26 dan 0,161, maka konsumsi amonium untuk menghasilkan nitrat pun di atas nilai Lotti. Penyebabnya karena terjadinya proses nitrifikasi yang juga berlangsung pada reaktor, sehingga nitrat yang dihasilkan lebih tinggi. Proses nitrifikasi terjadi karena proses oksidasi ammonium menjadi nitrat oleh selain bakteri anammox. Proses nitrifikasi ini terjadi karena adanya bakteri *Nitrosomonas* yang mengoksidasi amonium menjadi nitrit, selanjutnya nitrit teroksidasi menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Hal ini kemungkinan oksigen yang masuk ke dalam reaktor.

3.3 Pengamatan Visual Biomassa

Salah satu yang menunjukkan kesuksesan kultivasi bakteri anammox adalah terjadinya perubahan warna yang terjadi pada biomassa (Tikilili, 2016). Umumnya perubahan warna akan terlihat jelas jika kelimpahan bakteri anammox sudah tinggi dibuktikan dengan nilai penyisihan amoniumnya yang tinggi (di atas 50%). Terlihat pada Gambar 8 perubahan warna pada media lekat *string wound filter*, akan tetapi belum terlihat jelas warna biomassa anammox karena nilai penyisihan amonium masih rendah yaitu 20,268% dan operasional reaktor masih 140 hari. Bakteri anammox yang memiliki pertumbuhan yang lambat membutuhkan waktu yang panjang untuk menjadi dominan sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk melihat perubahan warna pada reaktor.

Tahap awal Tahap akhir

Gambar 8. Kondisi media lekat (*string wound filter*) saat tahap awal dan tahap akhir percobaan

4. KESIMPULAN

Lumpur dari Muara Penjalinan, Kota Padang sebagai inokulum pada FtBR dapat memulai proses anammox untuk penyisihan nitrogen pada air laut. Indikator keberhasilan dilihat dari nilai kinerja penyisihan nitrogen maksimal yaitu ACE; NRE; dan NRR berturut-turut 20,268%; 16,872%; dan 0,026 kg-N/m^3.h pada NLR 0,1441 kg-N/m^3.h.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih kepada pihak kampus Politeknik ATI Padang yang memfasilitasi tempat operasional reaktor serta peralatan pengujian sampel.

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. doi: 10.24845/ijfac.v2.i4.78.

Ali, M., Oshiki, M., & Okabe, S. (2014). Simple, rapid and effective preservation and reactivation of anaerobic ammonium oxidizing bacterium candidatus brocadia sinica. Water Research, 57(0), 215–222. doi: 10.1016/j.watres.2014.03.036.

Chamchoi, N. & Nitisoravut, S. (2007). Anammox enrichment from different conventional sludges. Chemosphere, 66(11), 2225–32. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.09.036.

Chen, C., Sun, F., Zhang, H., Wang, J., Shen, Y., & Liang, X. (2016). Evaluation of COD effect on anammox process and microbial communities in the anaerobic baffled reactor (ABR). Bioresource Technology, 216, 571–78. doi: 10.1016/j.biortech.2016.05.115.

Graaf, A. A. Van De, Bruijn, P. De, Robertson, L. A., Jetten, M. M., & Kuenen, J. G. (1996). Autotrophic growth of anaerobic in a fluidized bed reactor. Microbiology, 142, 2187-2196.

Gumelar, G., Zainuddin, E., & Zulkarnaini, Z. (2022). Anaerobic ammonium oxidation performance in shrimp pond wastewater treatment. Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering, and Technology (AIJASET), 02(02), 4–9. doi: 10.25077/aijaset.v2i1.41.

Kartal, B., De Almeida, N. M., Maalcke, W. J., Op den Camp, H. J. M., Jetten, M. S. M., & Keltjens, J. T. (2013). How to make a living from anaerobic ammonium oxidation. FEMS Microbiology Reviews, 37(3), 428–61. doi: 10.1111/1574-6976.12014.

Lotti, T., Kleerebezem, R., Lubello, C., & van Loosdrecht, M. C. M. M. (2014). Physiological and kinetic characterization of a suspended cell anammox culture. Water Research, 60, 1–14. doi: 10.1016/j.watres.2014.04.017.

Lu, Y., Ma, L., Ma, L., Shan, B., & Chang, J. (2017). Improvement of start-up and nitrogen removal of anammox process in reactors inoculated with conventional activated sludge using biofilm carrier materials. Environmental Technology, 0(0), 1–24. doi: 10.1080/09593330.2017.1294624.

Mirghorayshi, M., Zinatizadeh, A. A., & Van Loosdrecht, M. (2018). Evaluating the process performance and potential of a high-rate single airlift bioreactor for simultaneous carbon and nitrogen removal through coupling different pathways from a nitrogen-rich

wastewater. Bioresource Technology, 260, 44–52. doi: 10.1016/j.biortech.2018.03.048.

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.

Qian, G., Wang, J., Kan, J., Zhang, X. X., Xia, Z., Zhang, X. X., Miao, Y., & Sun, J. (2018). Diversity and distribution of anammox bacteria in water column and sediments of the eastern indian ocean. International Biodeterioration and Biodegradation, 133, 52–62. doi: 10.1016/j.ibiod.2018.05.015.

Skiba, M. A., Maloney, F. P., Dan, Q., Fraley, A. E., Aldrich, C. C., Smith, J. L., & Brown, W. C. (2018). PKS–NRPS enzymology and structural biology: considerations in protein production. Methods in Enzymology, 604, 45-88.

Song, G. D., Liu, S. M., Marchant, H., Kuypers, M. M. M., & Lavik, G. (2013). Anammox, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium in the East China Sea sediment. Biogeosciences, 10(11), 6851–64. doi: 10.5194/bg-10-6851-2013.

Strous, M., Heijnen, J. J., Kuenen, J. G., & Jetten, M. S. M. (1998). The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms. Applied Microbiology and Biotechnology, 50(5), 589–96. doi: 10.1007/s002530051340.

Tikilili, P. V. (2016). Performance and modelling of non-granular anammox culture for wastewater treatment. Information Technology.

Van Duc, L., Song, B., Ito, H., Hama, T., Otani, M., & Kawagoshi, Y. (2018). High growth potential and nitrogen removal performance of marine anammox bacteria in shrimp-aquaculture sediment. Chemosphere, 196, 69–77. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.159.

Wang, T., Liu, R., O'Meara, K., Mullan, E., & Zhao, Y. (2018). Assessment of a field tidal flow constructed wetland in treatment of swine wastewater: life cycle approach. Water (Switzerland), 10(5), 10050573. doi: 10.3390/w10050573.

Zulkarnaini, Yujie, Q., Yamamoto-Ikemoto, R., & Matsuura, N. (2018). One-stage nitritation/anammox process using a biofilm reactor with two-inflow. Journal of Water and Environment Technology, 16(2), 106–14. doi: 10.2965/jwet.17-050.