

PENGURANGAN AMONIUM DENGAN METODE NITRIFIKASI DAN ANAMMOX PADA AIR LINDI DARI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR SAMPAH JATIBARANG, SEMARANG

Gabriela Nindrasari^{1,*}, V. Irene Meitiniarti², Jubhar C. Mangimbulude^{1,2}

¹Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana

²Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana

*Korespondensi: PPs Magister Biologi UKSW, Jl. Diponegoro no. 52-60 Salatiga 50714

Email: gabriela.nindrasari@yahoo.com

ABSTRAK

Kandungan amonium yang cukup tinggi dalam air lindi TPA Jatibarang dapat menurunkan kualitas air sungai Kreo sehingga perlu diturunkan kadarnya. Kadar amonium secara biologis dapat diturunkan menggunakan proses nitrifikasi-denitrifikasi dan anammox. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan memanfaatkan prinsip proses nitrifikasi dan anammox yang dirancang secara simultan dalam reaktor tidak terpisah, yang ditandai dengan adanya aktivitas dan interaksi bakteri nitrifikasi dan anammox untuk menurunkan jumlah amonium pada air lindi. Dalam penelitian ini digunakan metode kultur *batch* pada medium air lindi yang dirancang dengan zonasi aerob-anaerob untuk lingkungan perkembangan bakteri nitrifikasi dan anammox. Kadar amonium, nitrit, dan nitrat pada medium selama 28 hari diukur dan dianalisis dengan spektrofotometri sebagai parameter nitrifikasi, sedangkan kadar amonium dan nitrit diukur sebagai parameter anammox. Proses anammox berlangsung selama 14 hari pertama, dimana indeks amonium adalah 1.0 dan indeks nitrit 0.9, sedangkan pada hari ke-14 hingga hari ke-28 proses denitrifikasi terjadi dengan indeks amonium adalah 0.6 dan nitrit adalah 10.6. Hasilnya adalah kadar amonium pada kultur mengalami penurunan dengan nilai efisiensi zona aerob 39.75% dan zona anaerob 56.35% sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi proses nitrifikasi dan anammox pada medium air lindi.

Kata kunci : pengurangan amonium, anammox, air lindi, TPA Jatibarang.

PENDAHULUAN

Tempat pembuangan akhir (TPA) sampah Jatibarang terletak di Kelurahan Jatibarang, Kecamatan Mijen, Semarang merupakan areal pembuangan sampah *open dumping* yang telah beroperasi sejak tahun 1992. Sistem pembuangan sampah ini merupakan sebuah isu penting karena pada kenyataannya tidak mampu menahan cairan yang keluar dari tumpukan sampah. Air lindi yang muncul sebagai bilasan air hujan terhadap sampah mengandung bahan-bahan berbahaya seperti logam berat, amonium, dan mikroba patogen. Di TPA Jatibarang, air lindi ditampung ke kolam penampungan yang dialirkan ke beberapa kolam kecil. Salah satu kolam kecil tersebut berjarak kurang dari 20 meter dari sungai Kreo dan sebagian kecil air lindi tampak mengalir dari kolam ke sungai tersebut. Penduduk dusun di TPA ini memanfaatkan air sungai ini untuk air minum dan MCK, sehingga pencemaran air lindi terhadap air sungai berpotensi menimbulkan masalah kesehatan bagi penduduk.

Variasi efek toksik amonium dipengaruhi oleh faktor daerah kontak, konsentrasi, dan lama pemaparan. Pada organisme akuatik, senyawa ini mengakibatkan penurunan tingkat perkembangan tubuh dan secara akumulatif berdampak kematian. Paparan amonium pada manusia selama 30-60 menit pada konsentrasi 50 ppm menyebabkan iritasi hidung dan mata, sedangkan pada konsentrasi 5000 ppm menyebabkan kematian (Agency of Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

Amonium merupakan salah satu hasil metabolisme dekomposisi yang terjadi pada sampah dan perlu diberi perlakuan dengan memecahnya menjadi gas nitrogen sehingga menjadi komponen yang aman bagi lingkungan. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi tingginya kadar amonium pada air lindi, salah satunya dengan memanfaatkan prinsip-prinsip alami yang telah dipelajari dan dikembangkan, misalnya dengan proses pengurangan amonium biologis dengan nitrifikasi, denitrifikasi, dan anammox.

Reaksi kimia nitrifikasi diawali proses pemecahan nitrogen organik menjadi amonium oleh bakteri heterotrof dari genus *Bacillus*, *Clostridium*, *Proteus*, *Pseudomonas*, dan *Streptomyces*, yang disebut amonifikasi. Nitrifikasi merupakan oksidasi aerob amonium menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas*, dilanjutkan dengan oksidasi nitrit menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Kedua genus bakteri autotrof ini memiliki laju pertumbuhan yang lambat. Tingkat oksidasi nitrifikasi ditentukan oleh faktor suhu, persediaan oksigen, dan pH cairan (Anthonisen, Loehr, Prakasam, & Srinath, 1976). Setelah nitrifikasi, proses denitrifikasi terjadi dengan memanfaatkan nitrat sebagai penerima elektron dengan perantara nitrit dan nitrit oksida untuk memproduksi gas nitrogen, yang dilakukan oleh bakteri *Pseudomonas*, *Alkaligenes* dan *Vibrio*. Proses heterotrofik anaerobik ini memerlukan adanya sumber karbon organik, dan hanya nitrit yang akan dihasilkan tanpa karbon organik.

Anammox atau anaerobic ammonium oxidation mulai dikembangkan tahun 1990-an oleh Universitas Teknologi Delft Belanda (Strous, Kuenen, & Jetten, 1999). Proses ini didefinisikan sebagai oksidasi



amonium oleh nitrit sebagai akseptor elektron menjadi gas nitrogen dan H₂O. Proses ini berperan cukup efektif sebagai teknologi pengurangan amonium dibandingkan metode nitrifikasi-denitrifikasi konvensional (Yi, Yong, Huiping, Yong, & Yang, 2010). Telah dikenal dua jenis mikroba anaerob pelaku anammox yaitu *Candidatus Brocardia anammoxidans*, *Kuenenia stuttgartiensis*, *Scalindua brodae*, *S. wagneri*, dan *S. sorokinii*. Prokariot anammox mengoksidasi 30-50% amonium di seluruh bumi menjadi gas nitrogen (Bauman, 2009).

Sebuah teknologi telah diperkenalkan dengan nama metode SHARON atau single reactor high activity ammonium removal over nitrite (Jetten, 1999), yang selanjutnya dikombinasikan dengan anammox dan berlangsung dalam dua reaktor terpisah. Prinsip metode ini adalah menggabungkan nitrifikasi parsial dan anammox. Pada nitrifikasi fase pertama, terjadi oksidasi sebagian amonium menjadi nitrit, kemudian amonium dan nitrit yang menjadi produk dari proses SHARON akan bertindak sebagai substrat untuk melakukan proses anammox.

Penggunaan proses nitrifikasi dan anammox secara bersamaan untuk oksidasi amonium tentu akan lebih efektif untuk menurunkan kadar amonium dibandingkan hanya satu proses. Selain itu, dengan menggabungkan dua proses dalam operasi satu reaktor akan memerlukan lebih sedikit biaya dibandingkan penggunaan dua reaktor yang berbeda untuk masing-masing proses.

Penelitian ini bertujuan menjawab pertanyaan ilmiah mengenai interaksi antara proses nitrifikasi dan anammox dalam penggunaan satu reaktor yang tidak terpisah dan hanya dibatasi dengan zona berbeda. Perancangan zonasi oksik dan anoksik dilakukan agar bakteri nitrifikasi sebagai bakteri aerobik dan bakteri anammox sebagai bakteri anaerobik autotrof dapat melakukan aktivitas secara bersamaan. Tujuan penelitian ini adalah menurunkan kadar amonium pada air lindi dan diharapkan dapat bermanfaat sebagai pilihan metode yang ekonomis untuk menurunkan kandungan amonium air lindi.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian. Subyek penelitian ini adalah air lindi yang berasal dari kolam penampungan air lindi di TPA Jatibarang, Semarang dan digunakan sebagai inokulum (diduga memiliki bakteri nitrifikasi dan anammox). Medium air lindi disterilkan dengan autoklaf pada 121°C selama 15 menit, lalu didinginkan hingga suhu ruang. Satu gram CaCO₃ ditambahkan ke medium untuk nutrisi pertumbuhan bakteri autotrof dan pH medium diatur menjadi 7 dengan penambahan 0.1M NaOH atau 0.1M HCl.

Instrumen penelitian. Reaktor dirancang dari botol kemasan air minum berkapasitas 1.5 L. Medium steril sebanyak 1 L dituang ke dalam botol reaktor, lalu inokulum ditambahkan sebanyak 5 mL. Aerasi sinambung diberikan melalui selang kecil yang mengelilingi botol kira-kira 5 cm dari permukaan medium. Daerah aerob akan terbentuk di bagian atas dan anaerob di bagian bawah tabung. Kondisi oksik dan anoksik berlangsung dalam kultur statis yang tidak terpisah.

Pengambilan Sampel. Pada hari pertama, ke-14, dan ke-28 diambil sampel pada medium. Untuk zona anaerob, sampel diambil pada bagian paling dasar botol reaktor dan sampel zona aerob diambil di daerah permukaan medium. Setiap cuplikan sampel diulang sebanyak 3 kali.

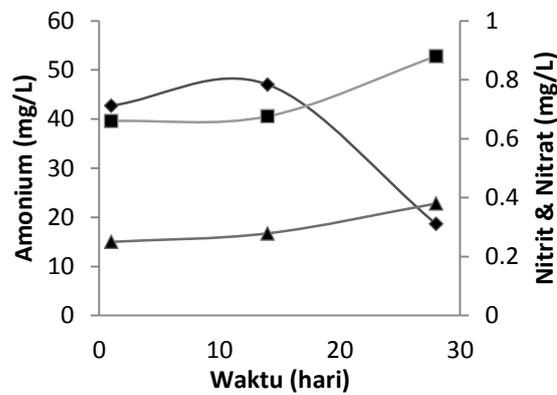
Analisis amonium, nitrit dan nitrat. Kadar amonium, nitrit, dan nitrat diukur pada setiap sampel dari kedua zona, masing-masing menggunakan metode Nessler, kolorisasi, dan asam salisilat. Selanjutnya diamati menggunakan spektrofotometer masing-masing pada panjang gelombang 425, 520, dan 410 nm (Alef & Nanipieri, 1995; Kruis, 1994).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ditampilkan dalam grafik yang menunjukkan perbandingan kadar amonium, nitrit, dan nitrat pada kedua zona terhadap waktu. Pada zona aerob terjadi proses nitrifikasi sedangkan di zona anaerob terjadi proses anammox.

Pada tahap amonifikasi, nitrogen organik dioksidasi menjadi amonium, sehingga menyebabkan naiknya amonium selama minggu pertama pada medium air lindi (Gambar 1).

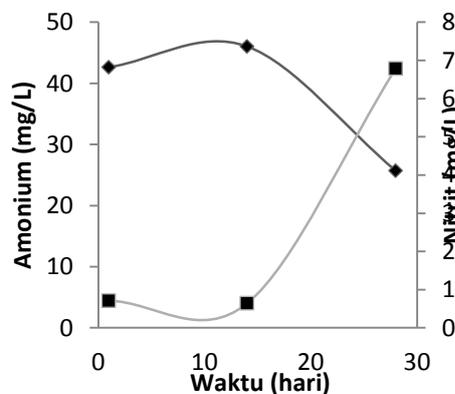




Gambar 1 Perubahan Amonium (♦), Nitrit (■), dan Nitrat (▲) pada Proses Nitrifikasi di Air Lindi

Naiknya amonium pada awal percobaan merupakan indikasi adanya bakteri heterotrof pengamonifikasi yang laju pertumbuhannya lebih tinggi, karena dengan pengambilan nutrisi secara langsung akan lebih cepat dibandingkan dengan bakteri autotrof yang menyusun nutrisinya sendiri terlebih dahulu.

Reaksi stoikiometrik nitrifikasi adalah $\text{NH}_4^+ + 2\text{HCO}_3^- + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ untuk fase pertama lalu $\text{NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ untuk fase kedua. Fluktuasi kadar amonium, nitrit, dan nitrat yang terjadi pada zona oksik menunjukkan mekanisme proses nitrifikasi dengan menurunnya kadar amonium yang menandakan adanya pengambilan amonium oleh bakteri. Selanjutnya penurunan amonium akan diiringi dengan naiknya nitrit yang menjadi produk nitrifikasi fase pertama mulai dari hari ke-14. Selanjutnya nitrit yang diubah menjadi nitrat menyebabkan kadar nitrat sebagai produk nitrifikasi fase kedua akan mengalami kenaikan walaupun belum begitu signifikan karena kedua fase ini terjadi tidak bersamaan, tetapi secara berurutan.



Gambar 2. Perubahan Amonium (♦) dan Nitrit (■) pada Proses Anammox di Air Lindi

Terjadinya proses anammox pada zona anoksik (Gambar 2) dapat diamati dari parameter kandungan amonium dan nitrit. Anammox berlangsung menurut reaksi stoikiometrik: $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$, sehingga proses ini akan ditandai dengan oksidasi amonium oleh nitrit. Terjadinya penurunan kadar amonium diikuti dengan peningkatan kadar nitrit. Peristiwa ini diduga dipengaruhi oleh proses nitrifikasi pada zona aerob, karena pada fase pertama dihasilkan nitrit dalam konsentrasi yang tinggi dan sebagian diantaranya ditransfer ke zona anaerob. Dugaan lain adalah selain proses anammox juga terjadi proses denitrifikasi, yang prosesnya adalah mengubah nitrat menjadi nitrit dan mengakibatkan penumpukan nitrit pada zona anoksik ini.

Dominansi reaksi dalam zona anaerob diukur dengan membandingkan kadar amonium akhir dengan amonium awal, serta nitrit akhir dengan nitrit awal. Proses anammox berlangsung dalam index 0.7-1. Pada 14 hari pertama, indeks amonium adalah 1.0 dan indeks nitrit 0.9. Artinya pada kurun waktu ini proses anammox terjadi. Pada hari ke-14 hingga hari ke-28 indeks amonium adalah 0.6 dan nitrit adalah 10.6, sehingga proses yang terjadi adalah denitrifikasi.

Hasil pengurangan amonium pada percobaan ini adalah sebesar 39.75% di zona aerob dan 56.35% di zona anaerob sehingga cukup efisien untuk penurunan amonium. Proses anammox dalam percobaan ini terjadi lebih cepat daripada nitrifikasi, sehingga laju penurunan perlu diperhitungkan dalam peningkatan



skala penelitian. Pada laju penurunan amonium mulai hari ke-14 hingga hari ke-28, pada zona aerob diperoleh 1.45 mg N-NH₄/hari, sedangkan pada zona anaerob 2.03 mg N-NH₄/hari.

Berdasarkan hasil tersebut, interaksi yang terjadi dalam reaktor dapat digambarkan dengan siklus nitrogen. Dekomposisi asam amino pada air lindi akan membentuk amonium pada medium sehingga kadarnya bertambah, dan proses amonifikasi berlangsung. Pada zona aerob, nitrifikasi terjadi dengan indikasi naiknya nitrit dan selanjutnya nitrat. Pada zona anaerob, anammox ditandai dengan penurunan amonium dan nitrit. Proses denitrifikasi juga terjadi pada zona anaerob dengan naiknya nitrit sebagai produk reaksi.

SIMPULAN, SARAN DAN REKOMENDASI

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa telah terjadi proses nitrifikasi dan anammox yang ditandai oleh adanya penurunan kandungan amonium pada kedua zona. Indeks kenaikan kadar amonium pada zona anammox adalah 1.0 pada hari ke-1 hingga ke-14 dan 0.6 pada hari ke-14 sampai ke-28, sedangkan nitrit adalah 0.9 pada hari ke-1 sampai ke-14 dan 10.6 pada hari ke-14 sampai ke-28. Metode kombinasi aerob-anaerob ini dapat dikatakan cukup efektif dan cepat untuk mengurangi amonia dengan nilai efisiensi zona aerob 39.75% dan zona anaerob 56.35%..

Berdasarkan kesimpulan ini kami menyarankan metode ini untuk dicoba dengan skala yang lebih besar sehingga dapat diaplikasikan untuk pengolahan air lindi di TPA Jatibarang. Rekomendasi kami untuk pengelola TPA Jatibarang adalah perlu dilakukannya pengawasan dan pengolahan terhadap aliran air lindi yang langsung menuju aliran sungai. Air lindi yang berasal dari tempat pembuangan akhir sampah harus dikurangi dan ditangani dengan pengurangan senyawa-senyawa yang berbahaya bagi lingkungan, khususnya amonium.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency of Toxic Substances and Disease Registry. (2004, September). *Toxicological Profile for Ammonia*. Diakses pada 20 Juni 2011, dari Toxic Substances Portal: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp126.pdf>
- Alef, K., & Nanipieri, P. (1995). *Method Applied in Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Academic Press.
- Anthonisen, A. C., Loehr, R. C., Prakasam, T. B., & Srinath, E. G. (1976). Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *J Water Pollut. Control Fed.*, 48 (5), 835-52.
- Bauman, R. W. (2009). *Microbiology with Diseases by Body System (Ed. Ke-2)*. California: Pearson Education Inc.
- Jetten, M. S. (1999). *The Anaerobic Oxidation of Ammonium*. FEMS Microbiology Reviews, 22, 421-37.
- Kruis, F. (1994). *Environmental Chemistry, Selected Analytical Methods*. The Netherlands: IHE Delft.
- Strous, M., Kuenen, J. G., & Jetten, M. S. (1999). Key Physiology of Anaerobic Ammonium Oxidation. *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (7), 3248-50.
- Yi, Y., Yong, H., Huiping, D., Yong, L., & Yang, P. (2010). Research on Enrichment for Anammox Bacteria Inoculated via Enhanced Endogenous Denitrification. *Life System Modeling and Intelligent Computing: Lecture Notes in Computer Science*, 6330, 700-707.

PERTANYAAN

Penanya Maridi (Pendidikan Biologi FKIP UNS):

Antara metode nitrifikasi dan anamox, lebih efektif yang mana?

Jawab:

Lebih efektif anamox

Penanya Fransiana S (Fak. Pertanian, Universitas Pattimura) :

Masyarakat bawah sering memanfaatkan air sungai. Bagaimana cara menetralkan agar tidak tercemar? Bagaimana IPAL yang sederhana untuk masyarakat bawah?

Jawab:

Kurang mengetahui tentang informasi tersebut.

