

Fluks Bentik dan Potensi Aktivitas Bakteri Terkait Siklus Nitrogen di Sedimen Perairan Mangrove Pulau Dua, Banten
(Benthic Fluxes and Potency of Bacterial Activity Related to Nitrogen Cycle in Pulau Dua Mangrove Sediments, Banten)

Aliati Iswantari¹, Yusli Wardiatno¹, Niken T.M Pratiwi¹ & Iman Rusmana²

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK, IPB,
Jl. Agatis, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680

²Departemen Biologi, FMIPA, IPB, Jl. Agatis, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680
Email: aliatiiiswantari@gmail.com

Memasukkan: November 2013, Diterima: Januari 2014

ABSTRACT

Mangrove ecosystem has important role as source of nutrient particularly nitrogen in coastal area. Nitrogen (N) is a limiting factor in marine and coastal area. The aim of this research was to study benthic fluxes and potency of bacterial activity in sediment of mangroves area, related to nitrogen cycle. This research was conducted in flooded mangroves area in Pulau Dua. The sediment and overlying water was sampled using sediment core sampler. Experimental treatment for flux analysis and sediment-slurry were conducted in three hours. Nutrient of $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, and $\text{NO}_3\text{-N}$ and abundance of nitrifier, denitrifier, DNRA, and ammonifier were analyzed. The results showed that the abundance of anaerobic bacteria was higher than aerobic bacteria. The dominance of bacterial groups found in sediment was ammonification bacteria. The highest nutrient concentration in sediment was $\text{NH}_3\text{-N}$. Benthic fluxes value showed higher $\text{NH}_3\text{-N}$ tends to release from the sediment to water than $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$. Generally, mangrove sediment in Pulau Dua has higher potency of bacterial activity (V_{\max} and K_m) in NO_3 reduction by anaerobic bacteria than NH_3 oxidation by aerobic bacteria.

Keywords: bacteria, benthic fluxes, mangrove, potency of bacterial activity, sediment

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memiliki peranan penting sebagai penyumbang nutrisi terutama nitrogen di perairan pesisir. Nitrogen (N) merupakan faktor pembatas di perairan laut dan pesisir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari fluks bentik dan Potensi aktivitas bakteri di sedimen area mangrove terkait dengan siklus N. Penelitian ini dilaksanakan di daerah perairan mangrove Pulau Dua yang selalu tergenang. Sedimen dan *overlying water* diambil menggunakan *sediment core*. Perlakuan untuk analisis fluks bentik dan *sediment-slurry* dilakukan selama tiga jam. Analisis dilakukan terhadap nutrisi yaitu $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, dan $\text{NO}_3\text{-N}$, serta kelimpahan kelompok bakteri nitrifikasi, denitrifikasi, amonifikasi, dan DNRA. Hasil menunjukkan bahwa kelimpahan kelompok bakteri anaerob lebih tinggi dari bakteri aerob. Kelompok bakteri yang dominan ditemukan di sedimen mangrove Pulau Dua adalah kelompok bakteri amonifikasi. Kandungan nutrisi N tertinggi di sedimen adalah $\text{NH}_3\text{-N}$. Nilai fluks bentik menunjukkan $\text{NH}_3\text{-N}$ memiliki kecenderungan lepas dari sedimen ke air yang lebih besar dibandingkan dengan $\text{NO}_2\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$. Secara umum, sedimen mangrove di Pulau Dua memiliki potensi aktivitas (V_{\max} dan K_m) yang lebih besar dalam reduksi NO_3 oleh bakteri anaerob dibandingkan dengan oksidasi NH_3 oleh bakteri aerob.

Kata Kunci: potensi aktivitas bakteri, fluks bentik, mangrove, sedimen

PENDAHULUAN

Mangrove merupakan vegetasi yang memiliki peranan penting yang tumbuh di daerah pesisir. Mangrove berfungsi sebagai pelindung pesisir dari

erosi, ombak, dan juga menjadi perangkap sedimen. Selain itu, ekosistem mangrove berperan sebagai penyumbang (sumber) nutrisi ke ekosistem pesisir. Tingginya guguran dari mangrove, degradasi dan remineralisasinya menjadi salah satu faktor yang

berkontribusi terhadap tingginya kandungan nutrisi di sedimen mangrove (Silva *et al.* 2007). Menurut Howarth & Marino (2006), nitrogen (N) merupakan faktor pembatas yang kritis untuk produktivitas primer dalam sistem pesisir.

Ekosistem mangrove menyediakan relung ekologis untuk mikroba yang memiliki peran beragam dalam daur ulang nutrisi (Sahoo & Dhal 2008). Siklus N di area mangrove paling utama dilakukan oleh mikroba dibandingkan dengan proses kimia (Alongi *et al.* 1992 diacu dalam Fernandes *et al.* 2012).

Mikroorganisme yang terkait dengan siklus N di sedimen perairan, diantaranya nitrifikasi meliputi AOB (*Ammonia Oxidizing Bacteria*) dan NOB (*Nitrite Oxidizing Bacteria*), denitrifikasi, *anammox* (*anaerobic ammonium oxidation*), DNRA (*dissimilatory nitrate reduction to ammonium*), dan amonifikasi (Rajendran 2011; Canavan *et al.* 2007; Zhu *et al.* 2010). Selain proses bioturbasi dan bioirigasi oleh bentik organisme, adanya aktivitas mikroba turut berperan dalam fluks nutrisi bentik-pelagis di sedimen (Tuominen *et al.* 1999; Volkenborn *et al.* 2007). Fluks bentik dapat menggambarkan aktivitas aktual bakteri dalam pemanfaatan maupun pembentukan N di sedimen. Kemampuan bakteri tersebut dalam beraktivitas didukung oleh potensi aktivitas bakteri dalam memanfaatkan N.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari fluks N bentik ($\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, dan $\text{NO}_3\text{-N}$) dan potensi aktivitas bakteri (V_{\max} dan K_m) yang terkait dengan siklus N pada sedimen perairan mangrove Cagar Alam Pulau Dua, Banten.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian dilakukan pada bulan April hingga Agustus 2013. Pengambilan contoh air dan sedimen dilakukan di area mangrove yang selalu tergenang di daerah Cagar Alam Pulau Dua bagian barat, Banten.

Alat utama yang digunakan adalah *acrylic sediment core* untuk pengambilan contoh air dan

sedimen dan alat pemutar untuk perlakuan fluks bentik. Bahan yang digunakan adalah bahan-bahan untuk analisis parameter kualitas air dan bahan-bahan media tumbuh bakteri yang sudah spesifik untuk kelompok bakteri yang terkait siklus N.

Bahan untuk analisis $\text{NH}_3\text{-N}$ (amonia-N), $\text{NO}_2\text{-N}$ (nitrit-N) mengacu pada Eaton *et al.* 2005 dan $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrat-N) mengacu pada Rand *et al.* 1979. Bahan media untuk analisis kelimpahan kelompok bakteri aerob nitrifikasi dibuat berdasarkan Bhaskar & Charyulu (2005) dengan modifikasi sumber N dan C, yaitu AOB (sumber N: NH_3 , sumber C: CO_3) dan NOB (sumber N: NO_2 , sumber C: CO_3). Selanjutnya media untuk analisis kelimpahan kelompok bakteri anaerob dibuat berdasarkan Rusmana (2007) dengan modifikasi sumber N dan C, yaitu bakteri denitrifikasi (sumber N: NO_3 , sumber C: asetat), bakteri fermentatif DNRA (sumber N: NO_3 , sumber C: glukosa), dan bakteri fermentatif amonifikasi (sumber N: pepton, sumber C: glukosa). Pengkondisian anaerob pada media dilakukan dengan metode OFN (*Oxygen Free Nitrogen*).

Pengukuran terhadap beberapa parameter lingkungan perairan di air seperti suhu, pH, salinitas, dan DO (*dissolved oxygen*) dilakukan secara *insitu*. Pengambilan contoh sedimen juga dilakukan untuk analisis pH, rasio C/N, dan tekstur sedimen. Air (*overlying water*) dan sedimen diambil menggunakan *core* hingga kedalaman 15 cm dari permukaan dasar sedimen.

Untuk mengetahui fluks bentik dari sedimen ke air (*overlying water*), dilakukan perlakuan pada contoh sedimen dan air yang sudah diambil dengan menggunakan *sediment core*. Selanjutnya bagian atas dari *core* tersebut ditutup dengan penutup karet yang sudah dipasangkan alat pemutar berupa *magnetic stirrer* untuk menghomogenkan air. *Sediment core* direndam dan diinkubasi selama 3 jam dan alat pemutar dinyalakan selama waktu inkubasi tersebut. Pengambilan contoh air dilakukan pada t_0 dan t_3 jam. Contoh diambil

menggunakan *syringe* diawetkan dengan HgCl_2 dan selanjutnya dilakukan analisis $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$.

Potensi aktivitas bakteri dapat diketahui melalui percobaan *sediment-slurry* (Oremland *et al.* 1984). *Slurry* dibuat dari sedimen yang dicampur dengan air laut buatan dengan perbandingan 1:3. Terdapat dua perlakuan, yaitu *slurry* anaerobik (metode OFN) dengan penambahan NaNO_3 untuk mengetahui reduksi NO_3 oleh bakteri anaerob dan *slurry* aerobik dengan penambahan NH_4Cl untuk mengetahui oksidasi NH_3 oleh bakteri aerob (Runcie *et al.* 2003). Konsentrasi total *slurry* dalam perlakuan yaitu 0, 100, 300, 500, 800, dan 1000 μM . Setelah ditambahkan nutrisi, *slurry* diinkubasi selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan analisis kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, dan $\text{NO}_3\text{-N}$ pada *slurry*. Potensi aktivitas bakteri ditentukan melalui penghitungan nilai V_{\max} dan K_m .

Untuk analisis air pori, sedimen yang digunakan pada perlakuan fluks bentik dipotong menjadi 3 strata (1-5 cm, 6-10 cm, dan 11-15 cm). Selanjutnya dilakukan pengekstrakan air pori sedimen dengan modifikasi metode analisis air pori pada Giesy *et al.* (1990) & Harkey *et al.* (1994) dan dilakukan analisis $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, dan $\text{NO}_3\text{-N}$.

Analisis kelimpahan bakteri dilakukan pada air dan sedimen yang telah dipotong. Analisis dilakukan terhadap kelompok bakteri AOB, NOB, denitrifikasi, DNRA, dan amonifikasi dengan menggunakan metode MPN (*Most Probable Number*). Setelah bakteri ditumbuhkan di media dan diinkubasi, dilakukan pengujian keberadaan bakteri. Keberadaan kelompok bakteri AOB dan denitrifikasi diuji berdasarkan pembentukan NO_2 , keberadaan kelompok bakteri NOB diuji berdasarkan pereduksian NO_2 , dan keberadaan kelompok bakteri DNRA dan amonifikasi diuji berdasarkan pembentukan NH_3 pada media. Hasil dari analisis MPN dihitung dengan menggunakan perangkat lunak MPN *Calculator*, *Build 23*.

Fluks N bentik dari sedimen ke air (*sediment-overlying water*) dihitung menggunakan formula berikut (Ferguson *et al.* 2004):

$$BF = \frac{(C_{t1} - C_{t0}) \cdot V}{SA \cdot T}$$

Keterangan: BF= fluks nutrisi bentik ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$), C_{t0} = konsentrasi nutrisi ($\mu\text{mol L}^{-1}$) di *overlying water* pada waktu periode awal, C_{t1} = konsentrasi nutrisi ($\mu\text{mol L}^{-1}$) di *overlying water* pada waktu periode akhir, V= volume air di *overlying water* (L) di wadah inkubasi, SA= area permukaan sedimen (m^2) di wadah inkubasi, T= waktu (h)

Penentuan potensi aktivitas mikrobial (V_{\max} dan K_m) dilakukan menggunakan persamaan kinetika Michaelis-Menten, plot Lineweaver-Burk “*double reciprocal*” dengan rumus sebagai berikut (Dowd & Riggs 1965):

$$V_{\max} = (1/V_{\max}) + (K_m/V_{\max})1/C_s$$

Keterangan: V= laju aktivitas ($\mu\text{mol jam}^{-1} \text{ gram sedimen}^{-1}$), C_s = konsentrasi substrat (μM), V_{\max} = laju aktivitas maksimum ($\mu\text{mol jam}^{-1} \text{ gram sedimen}^{-1}$), K_m = konsentrasi saat $\frac{1}{2} V_{\max}$ (μM)

Regresi linier dan uji t digunakan untuk mengetahui hubungan dan signifikansi perbedaan antara satu komponen dengan komponen lainnya.

HASIL

Karakteristik Air dan Sedimen

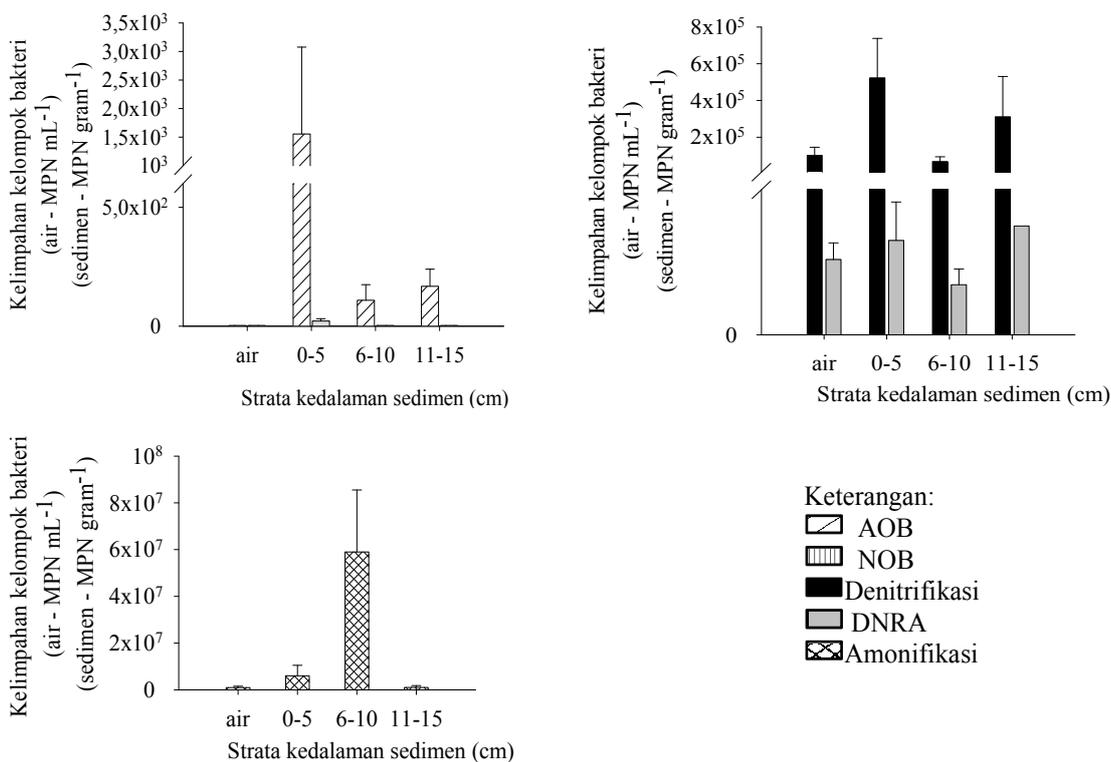
Perairan mangrove Pulau Dua bagian barat memiliki salinitas yang berkisar 26-27‰, pH 8, dan kandungan DO yang cukup rendah yaitu 0,66 mg L^{-1} . Karakteristik sedimen dari perairan mangrove tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Kelimpahan Bakteri

Kelimpahan bakteri di air dan sedimen mangrove dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa kelimpahan kelompok bakteri nitrifikasi (AOB dan NOB), denitrifikasi dan DNRA tertinggi di sedimen

Tabel 1. Karakteristik sedimen di area mangrove Pulau Dua, Banten

Kedalaman (cm)	pH	C (%)	Total N (%)	Rasio C/N	Tekstursedimen (%)		
					Pasir	Debu	Liat
0-5	8,17	2,22	0,12	17,81	40,06	53,88	6,06
6-10	8,21	2,35	0,12	19,09	38,55	54,89	6,56
11-15	8,27	1,68	0,21	8,09	39,92	55,19	4,89

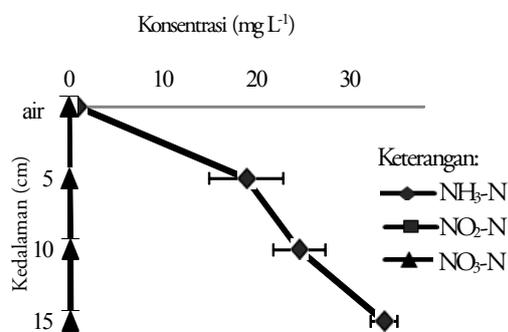


Gambar 1. Kelimpahan bakteri yang terkait siklus N di air dan sedimen area mangrove Pulau Dua

mangrove Pulau Dua terdapat pada strata 0-5 cm. Selanjutnya kelimpahan kelompok bakteri amonifikasi di sedimen mangrove Pulau Dua mendominasi kelompok bakteri terkait siklus N lainnya.

Profil Air Pori Sedimen

Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa kandungan NH₃-N di air lebih rendah dibandingkan di sedimen. Sedimen mangrove pada setiap strata kedalaman memiliki kandungan NH₃-N yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan NO₂-N dan NO₃-N ($P(T<=t) < 0,05$).



Gambar 2. Profil nutrisi pada air dan air pori sedimen mangrove Pulau Dua

Fluks Nitrogen

Hasil percobaan fluks bentik terhadap air dan sedimen dari Pulau Dua menunjukkan hasil yang cenderung mengarah ke pembentukan N (Gambar 3). Fluks NH₃-N berkisar 44,96-108,82 μmol m⁻² h⁻¹, fluks NO₂-N berkisar dari 3,85x10⁻⁵-1,57x10⁻³ μmol m⁻² h⁻¹, dan fluks NO₃-N berkisar dari -1,04-2,62 μmol m⁻² h⁻¹. Fluks NH₃-N merupakan yang paling besar terjadi dibandingkan NO₂-N dan NO₃-N. Konsentrasi awal dari NH₃-N, NO₂-N dan NO₃-N diduga berkaitan dengan fluks N yang dihasilkan dengan R² berturut-turut 99,01%, 96,61%, dan 89,55 % (Gambar 3).

Potensi aktivitas Bakteri dalam Reduksi NO₃ dan Oksidasi NH₃

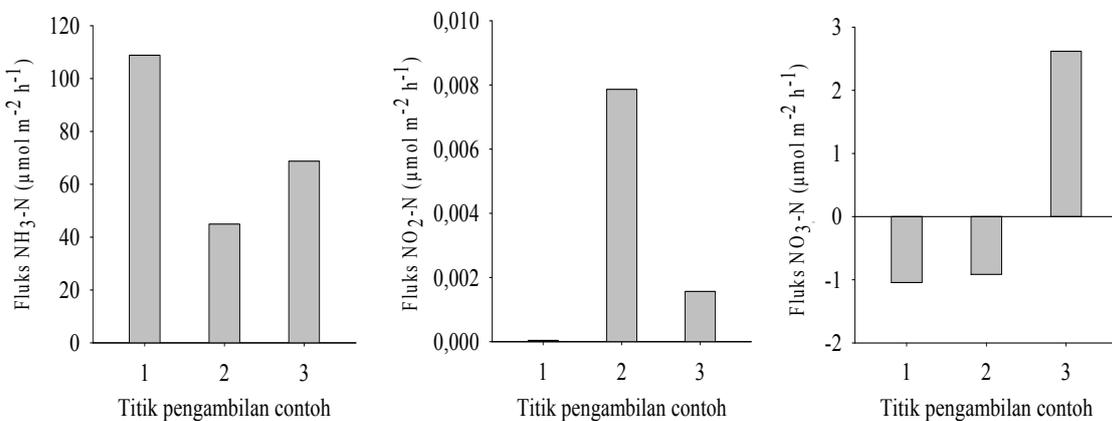
Berdasarkan Gambar 4a dan 4b, diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi total *slurry* maka besar NO₃ yang direduksi dan NH₃ yang dioksidasi semakin meningkat. Selanjutnya nilai V_{max} dan K_m hasil perlakuan *slurry* dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut, aktivitas reduksi NO₃

pada setiap strata kedalaman sedimen memiliki laju (V_{max}) yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas oksidasi NH₃.

PEMBAHASAN

Siklus N di perairan mangrove tidak terlepas dari peran mikroorganisme yang hidup di dalamnya. Analisis terhadap kelimpahan kelompok bakteri nitrifikasi, denitrifikasi, DNRA, dan amonifikasi di air dan sedimen mangrove dapat mewakili dugaan keberadaan dan keterkaitan perannya dalam siklus N.

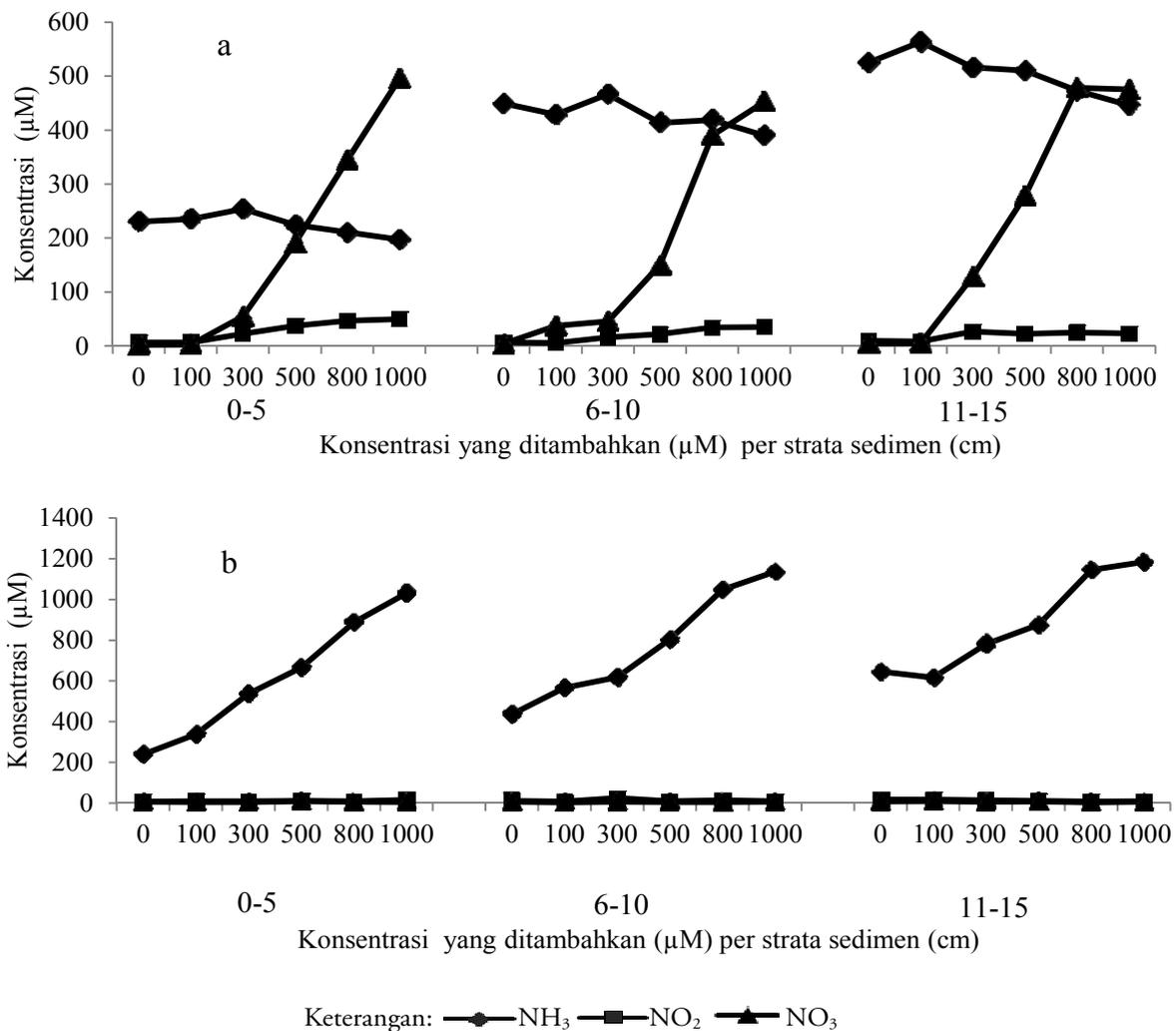
Nitrifikasi merupakan reaksi penting dalam siklus nitrogen yang membutuhkan oksigen dalam proses oksidasi NH₃ menjadi NO₂ dan oksidasi NO₂ menjadi NO₃ (Agustiyan *et al.* 2010; Prosser 2005). Pada strata 0-5 cm diduga terdapat oksigen yang lebih memadai dibandingkan kedalaman yang lebih dalam yang menyebabkan kelimpahan bakteri di strata sedimen di bawahnya menurun (Gambar 1). Bila dikaitkan dengan kandungan



Gambar 3. Fluks NH₃-N, NO₂-N, dan NO₃-N bentik di perairan mangrove Pulau Dua

Tabel 2. Laju aktivitas bakteri maksimum (V_{max}) dan Konsentrasi (K_m) pada sedimen mangrove Pulau Dua

Strata kedalaman (cm)	Reduksi NO ₃			Oksidasi NH ₃		
	V _{max} (μmol jam ⁻¹ gram sedimen ⁻¹)	K _m (μM)	R ² (%)	V _{max} (μmol jam ⁻¹ gram sedimen ⁻¹)	K _m (μM)	R ² (%)
0-5	58,82	815,88	99,81	23,81	2348,10	98,44
6-10	62,50	843,13	99,76	17,86	555,89	67,73
11-15	32,26	379,68	93,97	21,28	148,09	71,81



Gambar 4. Hasil analisis NH₃, NO₂, dan NO₃ pada perlakuan *sediment-slurry* a) dengan penambahan NaNO₃ dan b) dengan penambahan NH₄Cl

DO di air yang berkisar 0,66-0,88 mg L⁻¹, dapat diduga kandungan DO pada sedimen lebih rendah. Namun pada kondisi ini bakteri nitrifikasi masih dapat ditemukan. Hocaoglu *et al.* (2011) menyatakan bahwa proses nitrifikasi masih bisa berjalan pada DO sangat rendah yaitu 0,15-0,5 mg L⁻¹ meskipun tidak optimal.

Denitrifikasi adalah proses mikrobial dimana NO₃ dan NO₂ diubah menjadi N₂O dan N₂ di sedimen aerobik maupun anaerobik (Long *et al.* 2013). Secara umum, kelimpahan bakteri denitrifikasi yang ditemukan lebih tinggi dari bakteri DNRA (Gambar 1). Kondisi rasio C/N di sedimen mangrove Pulau Dua tergolong sedang dan semakin ke strata yang lebih dalam rasionya

semakin rendah rendah (Tabel 1). Pada rasio C/N rendah, proses yang dapat mendominasi adalah denitrifikasi, sedangkan pada C/N tinggi, proses yang dapat mendominasi adalah DNRA (Koike & Hattori 1978; Nedwell 1982 diacu dalam Rusmana 2007).

Berdasarkan Gambar 1, kelompok bakteri amonifikasi diketahui merupakan bakteri yang dominan ditemukan di sedimen mangrove Pulau Dua. Pada penelitian yang dilakukan Badjoeri *et al.* (2010) di lahan tambak juga menunjukkan bahwa bakteri penghasil amonium merupakan bakteri dengan kelimpahan tertinggi yang ditemukan di sedimen. Bakteri amonifikasi merupakan bakteri heterotrof yang mampu

memanfaatkan N organik secara langsung dan mengubahnya menjadi amonia. Tingginya guguran dari vegetasi mangrove (Silva *et al.* 2007) diduga menjadi sumber bahan organik yang tinggi bagi perairan mangrove yang kemudian dimanfaatkan oleh bakteri amonifikasi.

Kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ di sedimen mangrove Pulau Dua lebih tinggi dibandingkan dengan $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ (Gambar 2). Hal ini diduga lebih terkait dengan kelimpahan kelompok bakteri amonifikasi (penghasil NH_3) yang mendominasi kelimpahan bakteri di setiap strata kedalaman sedimen mangrove Pulau Dua. Menurut Silva *et al.* (2007), degradasi dan remineralisasi bahan organik merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya konsentrasi N di sedimen mangrove. Rendahnya kandungan $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ diduga terkait dengan rendahnya kandungan oksigen di sedimen. Menurut Jørgensen & Revsbech (1985), kandungan oksigen di sedimen semakin dalam akan semakin rendah. Hal ini dapat menyebabkan aktivitas bakteri aerob dalam oksidasi NH_3 dan NO_2 menjadi rendah.

Siklus N merupakan proses yang berkesinambungan. Produk dari suatu proses reduksi maupun oksidasi dalam siklus N dapat digunakan untuk menjalankan proses lainnya (Zhu *et al.* 2010). Fluktuasi pembentukan maupun pemanfaatan $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, dan $\text{NO}_3\text{-N}$ tersebut diduga terkait dengan adanya keberadaan dan aktivitas kelompok bakteri terkait siklus N di sedimen. Berdasarkan hasil perhitungan, fluks $\text{NH}_3\text{-N}$ dan $\text{NO}_2\text{-N}$ di perairan mangrove Pulau Dua cenderung bernilai positif yang lebih mengarah ke pembentukan $\text{NH}_3\text{-N}$ dan $\text{NO}_2\text{-N}$, sedangkan fluks $\text{NO}_3\text{-N}$ cenderung bernilai negatif yang menunjukkan terjadi pemanfaatan $\text{NO}_3\text{-N}$ (Gambar 3).

Fluks $\text{NH}_3\text{-N}$ lebih tinggi dibandingkan fluks $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$. Hal ini diduga terkait dengan tingginya kelimpahan kelompok bakteri amonifikasi dan tingginya kandungan $\text{NH}_3\text{-N}$ di

sedimen mangrove. Berdasarkan hal tersebut, sedimen mangrove Pulau Dua berpotensi sebagai penyumbang amonia yang cukup besar ke perairan. Berdasarkan hasil analisis regresi, terdapat dugaan bahwa terjadinya fluks N di perairan terkait dengan faktor kimia yaitu konsentrasi inisial (awal) nutrien tersebut. Bila konsentrasi awal nutrien di air rendah, maka fluks bentik yang dihasilkan akan tinggi, dan sebaliknya.

Berdasarkan hasil analisis perlakuan *sediment-slurry* anaerobik (Gambar 4a), diketahui bahwa telah terjadi reduksi NO_3 yang diduga dilakukan oleh kelompok bakteri denitrifikasi dan DNRA. Hasil dari reduksi NO_3 oleh kelompok bakteri denitrifikasi dapat dilihat pada adanya peningkatan kandungan NO_2 seiring dengan meningkatnya reduksi nitrat. Namun hasil reduksi dari bakteri DNRA tidak dapat dilihat karena kandungan NH_3 mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan NH_3 juga digunakan oleh bakteri denitrifikasi untuk beraktivitas (Rusmana 2007). Berdasarkan hal tersebut, dapat diduga bahwa kelompok bakteri denitrifikasi lebih dominan dalam melakukan reduksi nitrat di sedimen mangrove Pulau Dua yang didukung oleh kelimpahan bakteri denitrifikasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri DNRA.

Pada perlakuan *sediment-slurry* aerobik (Gambar 4b) diduga telah terjadi aktivitas oksidasi NH_3 oleh kelompok bakteri nitrifikasi. Namun hasil aktivitas dari bakteri tersebut tidak tergambar pada hasil $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$ yang didapatkan. Hal tersebut mengindikasikan rendahnya aktivitas oksidasi NH_3 oleh kelompok bakteri nitrifikasi.

Fluks dapat menggambarkan aktivitas aktual dari mikroorganisme dalam memanfaatkan pencemar N yang terjadi sebenarnya di perairan tersebut. Sedangkan V_{\max} dan K_m mencerminkan potensi aktivitas pada kondisi ideal mikroorganisme perairan untuk memanfaatkan pencemar N. Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa laju aktivitas maksimum (V_{\max}) aktivitas reduksi NO_3 pada setiap strata sedimen oleh bakteri

anaerob lebih tinggi dibandingkan dengan oksidasi NH_3 bakteri aerob (Tabel 2). Nilai K_m pada reduksi NO_3^- cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan oksidasi NH_3 kecuali pada strata 0-5 cm. Fox (1991) diacu dalam Putra (2009) menyatakan bahwa nilai K_m kecil berarti kompleks E-S mantap dan afinitas enzim terhadap substrat tinggi, sedangkan bila nilai K_m besar afinitasnya menjadi rendah. Secara umum, tingginya aktivitas reduksi NO_3^- dibandingkan dengan oksidasi NH_3 di sedimen mangrove Pulau Dua diduga terkait dengan kelimpahan bakteri anaerob yang lebih tinggi dibandingkan bakteri aerob.

KESIMPULAN

Fluks N benthik yang terjadi di perairan mangrove Pulau Dua mengindikasikan sumbangan $\text{NH}_3\text{-N}$ dari sedimen ke perairan yang lebih besar dibandingkan dengan $\text{NO}_2\text{-N}$ dan $\text{NO}_3\text{-N}$. Secara umum, potensi aktivitas (K_m dan V_{max}) reduksi NO_3^- oleh bakteri anaerob pada sedimen mangrove Pulau Dua lebih tinggi dibandingkan dengan oksidasi NH_3 oleh bakteri aerob.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyani, D., RM. Kayadoe, & H. Imamuddin. 2010. Oksidasi nitrit oleh bakteri heterotrofik pada kondisi aerobik. *J. Biol. Indones.* 6(2): 265-275.
- Badjoeri, M., YP. Hastuti, T. Widiyanto, & I. Rusmana. 2010. Kelimpahan bakteri penghasil senyawa amonium dan nitrit pada sedimen tambak sistem semi intensif. *Limnotek.* 17 (1): 102-111.
- Bhaskar, K. & PBBN. Charyulu. 2005. Effect of environmental factors on nitrifying bacteria isolated from the rhizosphere of *Setaria italica* (L.) Beauv. *Afr. J. Biotechnol.* 4(10): 1145-1146.
- Canavan, RW., AM. Laverman, & CP. Slomp. 2007. Modeling nitrogen cycling in a coastal fresh water sediment. *Hydrobiologia.* 584: 27-36.
- Dowd, JE., DS. Riggs. 1965. A comparison of estimates of michaelis-menten kinetic constants from various linear transformations. *J. Biol. Chem.* 240 (2): 863-869.
- Eaton, AD., LS. Clesceri, AE. Greenberg, & EW. Rice. 2005. *Standard method for the examination of water and wastewater.* 21st ed. APHA-AWWA- WPCF. Washington D.C.
- Ferguson, AJP., BD. Eyre, & JM. Gay. 2004. Benthic nutrient fluxes in euphotic sediments along shallow sub-tropical estuaries, northern New South Wales, Australia. *Aquat. Microb. Ecol.* 37: 219-235.
- Fernandes, SO., VD. Michotey, S. Guasco, PC. Bonin, & PAL. Bharathi. 2012. Denitrification prevails over anammox in tropical mangrove sediments (Goa, India). *Mar. Environ. Res.* 74: 9-19.
- Giesy, JP., CJ. Rosiu, RL. Graney, & MG. Henry. 1990. Benthic invertebrate bioassays with toxic sediment and pore water. *Environ. Toxicol. Chem.* 9(2): 233-248.
- Harkey, GA., PF. Landrum, & SJ. Klaine. 1994. Comparison of whole-sediment, elutriate and pore-water exposures for use in assessing sediment-associated organic contaminants in bioassays. *Environ. Toxicol. Chem.* 13(8): 1315-1329.
- Hocaoglu, SM, G. Insel, EU. Cokgor, & D. Orhon. 2011. Effect of low dissolved oxygen on simultaneous nitrification and denitrification in a membrane bioreactor treating black water. *Biores. Technol.* 102: 4333-4340.
- Howarth, RW. & R. Marino. 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: Evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.* 51(1, part 2): 364-376.
- Jørgensen, BB. & NP. Revsbech. 1985. Diffusive

- boundary layers and the oxygen uptake of sediments and detritus. *Limnol. Oceanogr.* 30(1): 11-122.
- Koike, I. & A. Hattori. 1978. Denitrification and ammonia formation in anaerobic coastal sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 35(2): 278-282.
- Long A., J. Heitman, C. Tobias, R. Philips, & B. Song. 2013. Co-occurring anammox, denitrification, and codenitrification in agricultural soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 79(1): 168-176.
- Oremland, RS., C. Umberger, CW. Culbertson, & RL. Smith. 1984. Denitrification in San Francisco Bay intertidal sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 47(5): 1106-1112.
- Prosser, JI. 2005. Nitrification. Dalam: Hillel, D. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Academic Press. Elsevier. 31-39
- Putra, GPG. 2009. Penentuan kinetika enzim poligalakturonase (PG) endogenous dari pulp biji kakao. *Jurnal Biologi*. XIII(1): 21 -24.
- Rajendran, J. 2011. Nitrification activity in New Zealand soils and the variable effectiveness of dicyandiamide. [Disertasi]. New Zealand: Massey University.
- Rand, MC., AE. Greenberg, & MJ. Taras. 1979. *Standard method for the examination of water and wastewater*. 14th ed. APHA-AWWA-WPCF. Washington D.C.
- Runcie, JW., RJ. Ritchie, & AWD. Larkum. 2003. Uptake kinetics and assimilation of inorganic nitrogen by *Catenella nipae* and *Ulva lactuca*. *Aquat. Bot.* 76: 155-174.
- Rusmana, I. 2007. Effects of Temperature on denitrifying growth and nitrate reduction end products of *Comamonas testosteroni* isolated from estuarine sediment. *Microbiol. Indones.* 1(1): 43-47.
- Sahoo, K. & NK. Dhal. 2008. Potential microbial diversity in mangrove ecosystems: A review. *Indian J. Mar. Sci.* 38(2): 249-256.
- Silva, CARE., SR. Oliveira, RDP. Rêgo, & AA. Mozeto. 2007. Dynamics of phosphorus and nitrogen through litter fall and decomposition in a tropical mangrove forest. *Mar. Environ. Res.* 64(4): 524-534.
- Tuominen, L, K. Mäkelä, KK. Lehtonen, H. Haahti, S. Hietanen, & J. Kuparinen. 1999. Nutrient fluxes, porewater profiles and denitrification in sediment influenced by algal sedimentation and bioturbation by *Monoporeia affinis*. *Estuar. Coast. Shelf. S.* 49: 83-97.
- Volkenborn, N., L. Polerecky, SIC. Hedtkamp, JEE. van Beusekom, & D. de Beer. 2007. Bioturbation and bioirrigation extend the open exchange regions in permeable sediments. *Limnol. Oceanogr.* 52(5): 1898-1909.
- Zhu, G., MSM. Jetten, P. Kuschik, KF. Ettwig, & C. Yin. 2010. Potential roles of anaerobic ammonium and methane oxidation in the nitrogen cycle of wetland ecosystems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 6: 1043-1055.