

STUDI PENURUNAN NITROGEN AMONIUM LIMBAH TAMBAK UDANG INTENSIF DENGAN MENGGUNAKAN *ROUGHING BIOFILTER* HORIZONTAL

NITROGEN AMMONIUM REMOVAL OF INTENSIVE SHRIMP POND EFFLUENTS USING A HORIZONTAL *ROUGHING BIOFILTER*

Harmin Sulistiyaning Titah¹⁾ dan Agus Slamet¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP - ITS

Abstrak

Penurunan konsentrasi nitrogen dengan proses nitrifikasi pada limbah tambak udang intensif diuji cobakan dengan menggunakan *Roughing Biofilter* Horizontal (RBH). Reaktor biofilter dioperasikan secara kontinyu dengan beban rendah dan variasi waktu yaitu : 1,0 , 1,5 , 2,0 dan 2,5 hari. Air limbah yang digunakan berasal dari limbah tambak udang intensif di Sidoarjo Penelitian ini menunjukkan kemampuan penurunan konsentrasi nitrogen rata-rata yang lebih besar dari 90 %. Proses nitrifikasi yang terjadi mengikuti reaksi orde nol dan kecepatan reaksi dipengaruhi oleh konsentrasi awal nitrogen dan waktu kontak.

Kata kunci: nitrifikasi, *Roughing Biofilter* Horizontal (RBH), tambak udang, waktu kontak

Abstract

The decrease in nitrogen concentration during the nitrification process of wastewater from the intensive shrimp ponds was observed by using the Horizontal *Roughing Biofilter*. The Horizontal *Roughing Biofilter* was run continuously with the low loadings and detention time variation of 1.0 , 1.5, 2.0 and 2.5 days. The waste water was taken from the effluent of shrimp ponds in Sidoarjo. The experiment showed that the average removal of nitrogen concentration was greater than 90%. The nitrification process followed the zero order reaction, and the reaction rate were influenced by the initial concentration of nitrogen and the detention time.

Keywords: nitrification, Horizontal *Roughing Biofilter*, shrimp ponds, detention time

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pengembangan budidaya udang di tambak dengan pola intensif di Indonesia telah dilakukan sejak tahun 1980 (Anonymous,1995). Dari segi ekonomi hal ini sangat menguntungkan, namun ter-jadi kerugian secara ekologis karena limbah tambak pada umumnya dilepas ke kawasan pantai begitu saja tanpa mengalami pengolahan terlebih dahulu. Permasalahan khusus yang ditimbulkan dari usaha tambak udang pola intensif adalah adanya limbah bahan organik yang terakumulasi di petak kawasan pertambakan. Penyebab limbah internal ini misal-nya sisa-sisa pakan, plankton yang mati dan dari hasil ekskresi udang. Pengolahan limbah tambak dapat dilakukan secara fisik, kimia maupun biolo-gis. Pengolahan secara fisik dan kimia selain mahal, dapat

berdampak negatif bagi lingkungan. Sedang-kan cara aman dan murah adalah pengolahan seca-ra biologis.

Salah satu jenis pengolahan limbah yang menggu-nakan sistem *attached growth* (pertumbuhan melekat) adalah biofilter, yang mempunyai konstruksi sederhana dan efisiensi yang tinggi. *Roughing biofilter* horisontal dipilih karena sesuai dengan sistem saluran pembuangan limbah dari tambak, yang menggunakan aliran horisontal. Penurunan nitrogen yang ada dalam limbah tambak udang dapat ber-langsung dengan proses nitrifikasi. Proses nitrifika-si ini dapat terjadi pada sistem *attached growth*.

Proses nitrifikasi merupakan proses oksidasi biolo-gis sehingga dalam penelitian harus dilakukan

aera-si yang terus-menerus untuk menambah oksigen ter-larut. Kinerja dari reaktor *Roughing Biofilter* Horisontal akan dikaji untuk proses nitrifikasi lim-bah tambak udang.

Pada budidaya udang dengan pola intensif, dilakukan penebaran dengan kepadatan tinggi dan pemberian pakan sangat intensif. Sebagian besar pakan yang dimakan oleh udang dirombak jadi daging atau jaringan tubuh, sedangkan sisanya dibuang be-rupa kotoran padat (*feces*) dan senyawa terlarut. *Feces* dikeluarkan melalui anus, sedang amonium lewat insang (golongan hewan *ammonotelic*). Menurut Mahmudi et.al (1997) disebutkan bahwa produk ekskresi yang berupa amonium terlarut dikeluarkan lewat insang pada udang mencapai 70%. Kotoran padat dan sisa pakan yang tidak termakan adalah bahan organik dengan kandungan protein yang tinggi, yang diuraikan menjadi polypeptida, asam-asam amino dan akhirnya amonia sebagai produk akhir yang terakumulasi di dalam air tambak.

Dalam budidaya udang, semakin tinggi kandungan bahan organik di suatu perairan, semakin tinggi pu-la kadar amonia di dalam air tesebut. Hal ini ber-hubungan dengan semakin bertambahnya aktivitas dekomposisi bahan organik yang menghasilkan amonia (Marsono, 1996). Amonia di dalam air me-ngalami hidrolisa sebagai pada persamaan 1.



Kedua bentuk amonia tersebut di dalam air berada dalam keseimbangan, tergantung dari pH air. Dalam kondisi pH rendah reaksi mengarah ke kanan, sedang dalam pH tinggi reaksi bergerak ke kiri. Jadi kalau pH air tambak tinggi, maka daya racun amo-nia meningkat, sebab sebagian besar berada dalam bentuk NH_3 . Amonia dalam bentuk molekul (NH_3) lebih beracun daripada dalam bentuk ion (NH_4^+), sebab amonia dalam bentuk molekul dapat menem-bus bagian membran sel lebih cepat daripada dalam bentuk ion (Colt dan Amstrong, 1976 dalam Poer-nomo, 1989).

Air limbah dari tambak udang pola intensif yang mempunyai kadar amonium tinggi bersama-sama dengan urea dan senyawa limbah lainnya seperti vi-tamin dapat meningkatkan konsentrasi nutrisi terla-rut di dalam air (hipernutrifikasi). Nutrien-

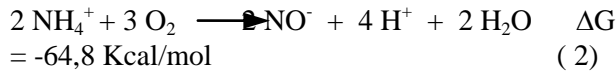
nutrien tersebut akan dimanfaatkan oleh fitoplankton dan mengakibatkan meningkatnya produksi primer (eu-trofikasi). Eutrofikasi dapat menyebabkan perubah-an pada ekosistem pantai, misalnya fluktuasi oksige-n yang besar di permukaan air, penipisan oksigen di dasar dan kondisi anoksik di sedimen dasar.

Proses ini biasanya digunakan untuk menghilangkan beban organik yang ada dalam air limbah. Proses ini juga digunakan untuk mencapai nitrifikasi (konversi dari amonium menjadi nitrat). Proses AAG ini di antaranya *trickling filter*, *roughing filter*, *rotating biological*, *reactor fixed film* nitrifikasi.

Pada dasarnya ada dua jenis *Roughing Biofilter*, yang dibedakan oleh arah alirannya, yaitu *Roughing Biofilter* aliran vertikal dan *Roughing Biofilter* aliran horisontal. *Roughing Biofilter* vertikal banyak dioperasikan untuk beban hidraulik tinggi (Metcalf dan Eddy, 1991). *Roughing Biofilter* vertikal digunakan untuk mengurangi beban organik dengan proses *downstream* dan dapat diaplikasikan untuk proses nitrifikasi. Meskipun pada awalnya *roughing biofilter* merupakan reaktor dengan kedalaman yang dangkal dan menggunakan media batu, tetapi saat ini juga digunakan media sintetik atau *redwood* dengan kedalaman yang lebih besar (3,7 - 12 m).

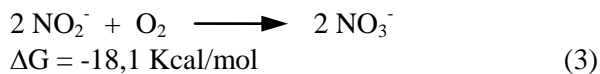
Roughing Biofilter dengan aliran horisontal untuk saat ini banyak dimanfaatkan untuk pengolahan air baku dengan beban hidrolis rendah. Desain roughing filter horisontal mengikuti desain *rectangular sedimentation tank* dengan inlet, outlet, dan zona sedimentasi/filtrasi. Media yang umum dipakai ada-lah batu pecah kasar dengan diameter sekitar 4 - 40 mm. Sedangkan *Roughing Biofilter* horisontal ada-lah merupakan reaktor *Roughing Biofilter* yang di-gunakan untuk mengurangi beban organik dan be-ban nutrisi dengan arah aliran limbah secara ho-risontal (Leo dkk, 1997).

Nitrifikasi adalah proses biooksidasi dari amonia menjadi nitrat. Proses nitrifikasi terjadi dalam dua tahap, yang dilakukan oleh dua golongan bakteri aerobik kemoautotropik. Golongan bakteri ini terdapat di dalam tanah, air, maupun pada habitat sa-lin (air laut). Oksidasi tahap I disebut tahap nitritasi, yaitu oksidasi ion amonium menjadi nitrit, reaksi yang terjadi seperti persamaan 2.



Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah bakteri *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomona mono-cella*, dan *Nitrosococcus oceanus*.

Nitrosococcus oceanus merupakan salah satu bakteri kemoautotrop yang hidup di air laut. Oksidasi tahap II disebut tahap nitrifikasi, yaitu oksidasi nitrit menjadi nitrat, reaksi yang terjadi seperti persamaan 3.



Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah bakteri *Nitrobacter win gradskyi*, *Nitrocystis*, *Nitrococcus mobilis*, *Nitrospina gracilis*, dan *Nitrobacter agilis*. *Nitrococcus mobilis*, *Nitrospina gracilis* merupakan bakteri nitrifikasi yang hidup di air laut yang telah berhasil ditemukan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses nitrifikasi adalah temperatur, oksigen terlarut, keberadaan senyawa beracun di air, pengaruh beban hidraulik, konsentrasi amonium, salinitas, dan pH.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan pengaruh waktu detensi terhadap penurunan nitrogen amonium pada limbah tambak udang intensif dengan menggunakan *Roughing Biofilter* Horizontal, mengetahui perubahan konsentrasi $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, dan $\text{NO}_3^-\text{-N}$ di sepanjang reaktor *Roughing Biofilter* horizontal serta mengetahui

orde reaksi proses nitrifikasi dan kecepatan reaksi nitrifikasi.

2. METODOLOGI

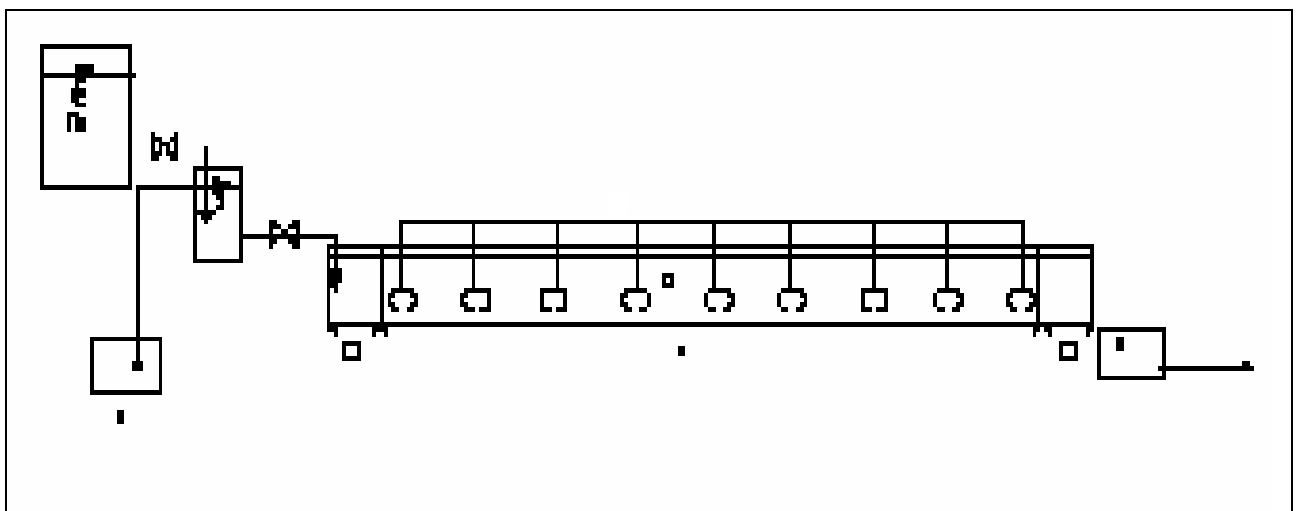
Sebagai media pada reaktor *Roughing Biofilter* horizontal, digunakan batu pecah dengan diameter antara 3/8-1/2 inch. Batu pecah ini diperoleh lewat analisis ayakan.

Reaktor penelitian terdiri dari bak influen, bak overflow, bak penampung overflow dan bak penampung effluen. Reaktor *Roughing Biofilter* horizontal yang digunakan dengan dimensi panjang total 4 m, lebar 0,14 m, kedalaman 0,10 m dan slope 0,5 %

Reaktor biofilter ini dibuat dari talang PVC dengan lebar 14 cm dan kedalaman 10 cm yang dilengkapi dengan sekat berlubang (*perforated-baffle*) pada inlet dan outlet untuk meratakan aliran yang masuk ke dalam reaktor biofilter seperti pada Gambar 1.

Proses operasi dilakukan setelah kondisi *steady state* tercapai. Pada proses operasi, air limbah yang akan diolah dialirkan secara aliran horizontal dengan sistem kontinyu.

Variasi yang dilakukan adalah 4 macam variasi waktu kontak (HRT), yaitu 1 hari, 1,5 hari, 2 hari, dan 2,5 hari. Sampling dilakukan di titik-titik sampling pada reaktor yang telah ditentukan di sepanjang reaktor dengan jarak setiap 50 cm.



Gambar 1. Reaktor RBH

Keterangan Gambar 1.

- A=bak influen . D=aerator
- B=bak overflow . E=reaktor nitrifikasi
- C=bak penampung overflow.
- F=bak penampung effluen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan variasi terhadap waktu kontak. Pemilihan waktu kontak 1 hari, 1,5 hari, 2 hari, dan 2,5 hari dengan alasan karena pertumbuhan mikroorganisme pada air asin membutuhkan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan pertumbuhan mikroorganisme pada air tawar serta dalam penelitian ini digunakan limbah yang memiliki beban organik yang rendah (*low rat*). Tabel 1 menunjukkan variasi yang digunakan da-lam penelitian ini.

Tabel 1. Variasi HRT, HLR dan Q.

HRT (hari)	Q (ml/menit)	HLR (m ³ /m ² hr)
1	14,93	1,8
1,5	9,97	1,21
2	7,48	0,91
2,5	5,97	0,72

Sedangkan Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan efisiensi removal NH₄⁺- N pada Td dan waktu yang berbeda.

Tabel 2. Efisiensi Removal NH₄⁺- N Pada td = 1 Hari Dan 1,5 Hari.

HRT (hari)	NH ₄ ⁺ -N inf.(mg/L)	NH ₄ ⁺ -N eff.(mg/L)	% rem.
1	2,883	0,067	97,68
	2,883	0,000	100,00
	2,989	0,071	97,62
	2,910	0,071	97,56
1,5	2,989	0,000	100,00
	2,989	0,000	100,00
	3,016	0,007	99,77
	2,989	0,000	100,00

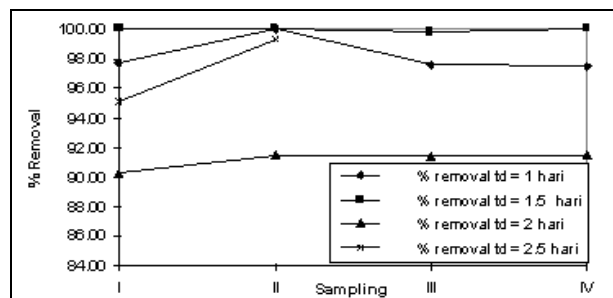
Tabel 3. Efisiensi Removal NH₄⁺- N Pada td = 2 Dan 2,5 Hari.

HRT (hari)	NH ₄ ⁺ -N inf.(mg/L)	NH ₄ ⁺ -N eff.(mg/L)	% rem
2	4,719	0,459	90,27
	4,773	0,406	91,49
	4,719	0,406	91,40
	4,787	0,419	91,23
2,5	4,986	0,246	95,07
	4,986	0,033	99,34

Dari data pada Tabel 2 dan 3, terlihat bahwa semakin besar waktu kontak, semakin kecil beban hi-

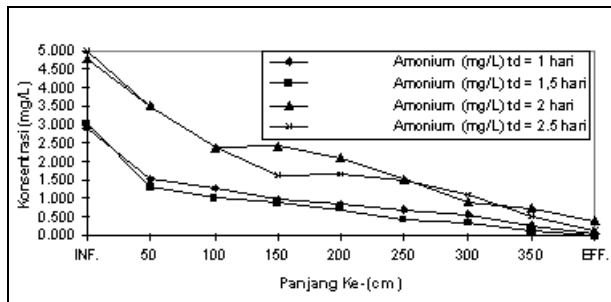
drolik, semakin kecil debit air limbah, semakin lam-bat kecepatan aliran limbah maka removal NH₄⁺-N semakin besar. Waktu kontak sangat mempengaruhi penetrasi substrat (nutrien) dan oksigen ke dalam lapisan biofilm. Peningkatan substrat dan oksigen yang masuk ke dalam biofilm dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri autotrof semakin cepat, yang berakibat pada peningkatan oksidasi amonium.

Dari hasil penelitian, terlihat bahwa untuk waktu kontak 1 hari dan 1,5 hari dengan konsentrasi NH₄⁺-N awal influen yang hampir sama menunjukkan peningkatan penurunan konsentrasi NH₄⁺-N awal. Pada pengoperasian untuk waktu kontak 2 hari dan 2,5 hari dengan konsentrasi NH₄⁺-N awal di influen yang lebih besar dari pengoperasian untuk kedua waktu kontak sebelumnya, ternyata menunjukkan terjadinya penurunan efisiensi removal NH₄⁺-N jika dibandingkan dengan efisiensi removal untuk waktu kontak 1 hari dan 1,5 hari. Selengkapnya dapat dili-hat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara (NH₄-N) Di Influen Dengan Removal NH₄-N

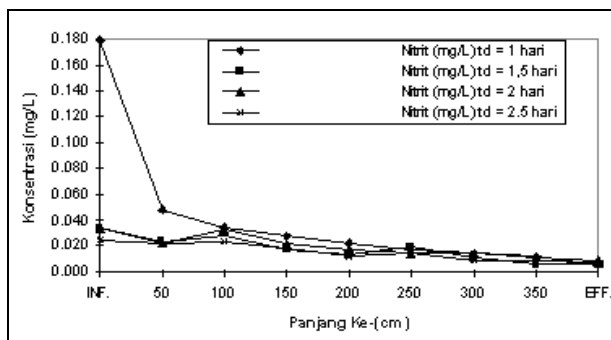
Hal ini disebabkan karena konsentrasi NH₄⁺-N awal di influen air limbah terlalu tinggi sehingga antara beban yang diberikan dengan kecepatan untuk mengoksidasi substrat tidak seimbang. Penyebab la-in yaitu kecepatan difusi O₂ ke dalam biofilm tidak sebanding dengan kecepatan difusi NH₄⁺-N. Deng-an peningkatan konsentrasi nitrogen awal, sedang-kan konsentrasi BOD yang tetap (20 mg/L) berarti perbandingan BOD/N makin kecil. Gambar 3 me-nunjukkan perubahan amonium yang terjadi



Gambar 3. Grafik Perubahan Amonium Pada Reaktor RBH

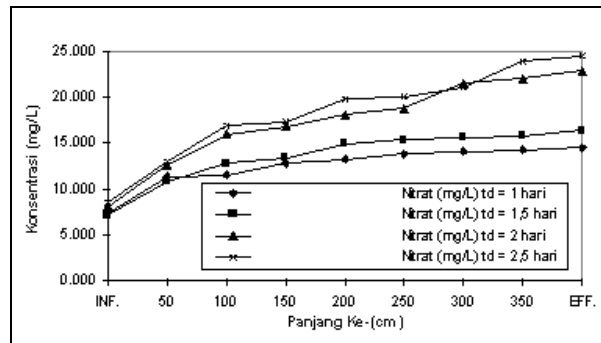
Dari hasil penelitian terhadap keempat variasi wak-tu kontak, diketahui bahwa konsentrasi amonium yang terukur pada tiap-tiap titik sampling di sepanjang reaktor *Roughing Biofilter* Horizontal menunjukkan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa proses nitrifikasi terjadi dalam reaktor *Roughing Biofilter* Horizontal.

Sedangkan konsentrasi nitrit yang terukur pada tiap-tiap titik sampling di sepanjang reaktor *Roughing Biofilter* Horizontal berfluktuatif tetapi tetap menunjukkan kecenderungan terjadi penurunan seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perubahan Nitrit Pada Reaktor RBH

Hal ini disebabkan karena nitrit merupakan senyawa yang tak stabil, senyawa ini merupakan keadaan sementara dari proses oksidasi amonium menjadi nitrat seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perubahan Nitrat Pada Reaktor RBH

Dari hasil penelitian terhadap keempat variasi wak-tu kontak, diketahui bahwa konsentrasi nitrat yang terukur pada tiap-tiap titik sampling di sepanjang reaktor *Roughing Biofilter* Horizontal menunjukkan peningkatan yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar 5 tersebut dapat disimpulkan bahwa telah terjadi proses nitrifikasi terjadi dalam reaktor *Roughing Biofilter* Horizontal.

Dari hasil plot data untuk orde reaksi nol dan orde reaksi pertama, ternyata yang lebih mendekati garis linear adalah orde reaksi nol. Sehingga orde reaksi proses nitrifikasi yang terjadi merupakan orde reaksi nol. Menurut Horan (1993), tipe orde reaksi nol merupakan orde reaksi pada proses oksidasi amonium menjadi nitrat, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai *K* (Kecepatan Reaksi) Pada Orde Reaksi Nol.

td (hari)	[NH ₄ ⁺ -N] inf.(mg/L)	K (mg/L/jam)
1	2,910	(-) 0,091396
1,5	2,996	(-) 0,063165
2	4,760	(-) 0,08003
2,5	4,986	(-) 0,067214

Keterangan : tanda (-) menunjukkan arah slope

Selama proses nitrifikasi tersebut berlangsung, dihasilkan ion H⁺ yang akan menyebabkan terjadinya penurunan pH. Hal ini dapat dijelaskan dengan reaksi kimia yang terjadi selama proses nitrifikasi seperti pada Persamaan 4 berikut.



Pada penelitian ini, pengukuran pH dilakukan pada titik influen dan titik effluen. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa pH antara influen dan effluen tidak mengalami penurunan. Nilai pH di influen

dan di effluen cenderung stabil yaitu masih dalam range pH normal (7-8,5). Hal ini tidak sesuai dengan per-nyataan di awal, bahwa seharusnya pH pada effluen mengalami penurunan. Tidak terjadinya penurunan pH selama proses nitrifikasi ini disebabkan karena adanya buffer alami pada air limbah tambak. Buf-fer alami ini dapat mempertahankan pH dalam sua-tu kisaran yang sempit.

Dari hasil pengukuran oksigen terlarut, dapat diketahui bahwa cenderung terjadi perbedaan oksigen terlarut pada influen dengan oksigen terlarut pada effluen. Oksigen terlarut pada influen mempunyai nilai yang lebih tinggi daripada di effluen. Berarti setelah proses nitrifikasi oksigen terlarut menurun. Hal ini karena proses nitrifikasi adalah proses biologis oleh bakteri dalam kondisi aerobik. Pada saat terjadi nitrifikasi, maka bakteri mengkonsumsi oksig-en terlarut yang ada untuk merubah amonium menjadi nitrat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Waktu kontak berpengaruh terhadap efisiensi remo-val NH_4^+ - N. Makin lama waktu kontak antara air limbah dengan mikroorganisme maka efisiensi re-moval NH_4^+ -N akan meningkat. Konsentrasi NH_4^+ - N awal di influen berpengaruh terhadap efisiensi re-moval NH_4^+ - N. Perbandingan BOD/N semakin ke-cil maka makin tinggi konsentrasi NH_4^+ -N awal di influen. Semakin tinggi konsentrasi NH_4^+ -N awal di influen akan berpengaruh terhadap efisiensi remo-val NH_4^+ -N yaitu terjadi penurunan efisiensi remo-val NH_4^+ -N. Selama proses nitrifikasi pada reaktor *Roughing Biofilter* horisontal terjadi penurunan konsentrasi NH_4^+ -N di sepanjang reaktor RBH, pe-nurunan konsentrasi NO_2^- -N, dan kenaikan konsen-trasi NO_3^- -N di sepanjang reaktor. Orde reaksi pro-ses nitrifikasi adalah orde reaksi nol dan kecepatan reaksi nitrifikasi mempunyai nilai yang bervariasi dipengaruhi oleh waktu kontak maupun konsentrasi NH_4^+ -N di influen. Nilai pH selama proses nitrifikasi tidak mengalami perubahan dalam arti tidak terjadi penurunan atau pun kenaikan pH. pH masih dalam range pH normal. Hal ini disebabkan karena adanya buffer dalam air limbah itu sendiri. Efisiensi removal NH_4^+ -N pada beban yang rendah dengan menggunakan reaktor *Roughing Biofilter* Horison-tal mempunyai nilai

prosentase removal yang besar (di atas 90%). Prosentase efisiensi penyisihan NH_4^+ -N terbesar terjadi pada td 1,5 hari, Q limbah 9,97 ml/menit dengan HLR 1,21 m^3/m^2 hari.

4.2. Saran

Perlunya dilakukan penelitian proses denitrifikasi pada *Roughing Biofilter* horisontal untuk melanjutkan penelitian yang telah dilakukan. Serta penelitian lanjut dengan *Roughing Biofilter* horisontal untuk parameter-parameter kimia lain sehingga air limbah tambak hasil pengolahan dapat digunakan untuk *re-cycle* (mengisi tambak udang lagi).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, (1995). **Jurnal Penelitian Budidaya Pantai**. Badan Penelitian dan Pengembang-an Pertanian. Balai Penelitian Budidaya Pantai Maros.
- Horan N. J., (1993), **Biological Wastewater Treatment System**. John Wiley & Sons, Ltd., New York.
- Leo H., J., Vredendregt. dan Karsten, N., (1997). **Fluid Bed Biological Nitrification And Denitrification In High Salinity Wastewater**. *Water Science and Technology*. **36** : 93 - 100.
- Marsono, B., (1996). **Teknik Pengolahan Air Limbah Secara Biologis**. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP - ITS, Surabaya.
- Metclaf and Eddy, (1991). **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. McGraw Hill Book Company.
- Mahmudi, M., Fajar, M. dan Musa, M. (1997). **Studi Dampak Ekologis Budidaya Udang Terhadap Ekosistem Lingkungan**. Fakul-tas Perikanan, Universitas Brawijaya. Ma-lang.
- Poernomo, A. (1989). **Faktor Lingkungan Dominan Pada Budidaya Udang Intensif**. Balai Penelitian Budidaya Pantai, Badan Peneli-tian dan Pengembangan Pertanian. Maros-Gondol.

