

---

# PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PUPUK KADAR AMONIAK TINGGI DENGAN PROSES GABUNGAN MICROALGAE DAN NITRIFIKASI-DENITRIFIKASI AUTOTROFIK

**Indro Sumantri<sup>1)</sup>, Sumarno<sup>1)</sup>, Norma Afiati<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Baru Tembalang, Semarang, 50239

E-mail : indrotekim@yahoo.com

<sup>2)</sup> Jurusan Ilmu Kelautan FPIK UNDIP, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Baru Tembalang, Semarang, 50239

## Abstrak

*Proses biologis konvensional untuk penghilangan urea dan amonium pada air limbah pabrik urea menggunakan proses algae mikro atau proses nitrifikasi-denitrifikasi heterotrofik. Proses yang menggunakan berbagai mikro algae mempunyai keunggulan input hara hanya senyawa P dan mampu menghilangkan urea secara total tetapi tidak mampu menghilangkan kandungan amoniumnya. Proses nitrifikasi-denitrifikasi heterotrofik membutuhkan input karbon organik yang tinggi pada proses denitrifikasinya sehingga biaya pengolahan menjadi tinggi.*

*Tujuan penelitian dengan skala bangku ini untuk mengevaluasi kemampuan sistem gabungan proses algae mikro dan nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik. Algae mikro yang digunakan merupakan spesies algae yang tahan terhadap konsentrasi amonium tinggi dan mampu menghilangkan amonium selain urea. Untuk proses nitrifikasi-denitrifikasi menggunakan lumpur nitrifying yang bersifat autotrofik sebagai biokatalis. Penyediaan lumpur nitrifying secara teknis sangat mudah. Lumpur nitrifying berasal dari lumpur aktif yang diperoleh dari unit pengolahan limbah industri partikel board yang telah diaklimasi pada kondisi konsentrasi amonium tinggi dan autotrofik. Keunggulan masing-masing proses tersebut bila digabung akan menghasilkan proses yang lebih efisien dan murah.*

*Penelitian ini dilakukan dengan kondisi sebagai berikut : kadar SVI mikro algae 25 mL/L, kadar SVI lumpur 100 mL/L, laju aerasi yang digunakan 5 L/menit, waktu tinggal limbah 1 hari, rasio N dan P : 20 : 1. Sedangkan sebagai variabel yang digunakan adalah beban amoniak antara 1000 – 3000 mg/L. Penurunan kadar amoniak yang diukur dilakukan pada akhir pengolahan yaitu setelah bak lumpur. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa prosentase penurunan kadar amoniak bisa mencapai 67 %.*

**Kata kunci :** proses mikroalga, proses nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik, pengayaan dan breeding lumpur nitrifikasi

## Pendahuluan

Di Indonesia terdapat enam pabrik pupuk urea dengan karakteristik air limbah yang mengandung urea dan amonia-nitrogen tinggi. Selama ini proses pengolahan limbah yang dilakukan adalah dengan menampung air limbah dalam kolam-kolam besar tanpa perlakuan atau pengaturan kondisi operasi; semuanya tergantung pada kondisi iklim setempat. Dengan demikian hasilnya tidak memenuhi baku mutu.

Selama ini algae mikro tumbuh cepat di perairan dengan yang mengandung N organik dan anorganik tinggi, karena senyawa tersebut merupakan substrat terbatas algae mikro. Pada unit pengolahan air limbah yang menggunakan lumpur aktif ternyata berkembang bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik. Algae mikro dan bakteri tersebut mempunyai potensi untuk digunakan mengolah air limbah pabrik pupuk urea. Sampai saat ini masih banyak kelemahan penggunaan baik algae mikro maupun bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik diantaranya laju pertumbuhannya lambat dan tidak tahan pada konsentrasi NH<sub>3</sub> tinggi, sehingga perlu penelitian untuk mengembangkan algae mikro dan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi yang mempunyai laju pertumbuhan yang cepat dan tahan NH<sub>3</sub> tinggi.

Untuk penelitian pengembangan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik digunakan lumpur aktif dari pabrik Rimba Partikel Indonesia. P.T. Rimba Partikel Indonesia merupakan pabrik partikel board yang air limbahnya mengandung kadar Urea dan NH<sub>3</sub>-N cukup tinggi. Berdasarkan pertimbangan tersebut lumpur aktif dari unit pengolah limbah P.T. Rimba Partikel Indonesia digunakan sebagai sumber mikroba untuk pengembangan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik.

Untuk algae mikro di Laboratorium Penelitian Jurusan Teknik Kimia telah dikembangkan spesies yang tahan terhadap konsentrasi  $\text{NH}_3\text{-N}$  tinggi, hanya pertumbuhannya masih lambat. Hal ini kemungkinan diakibatkan substrat  $\text{NH}_3\text{-N}$  sebagai substrat terbatas bersifat inhibitor sehingga mengakibatkan laju pertumbuhan algae sangat terhambat.

Tujuan Penelitian adalah untuk : mengembangkan algae mikro dan lumpur aktif untuk sumber algae mikro dan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi untuk unit pengolahan limbah pabrik urea yang tahan konsentrasi  $\text{NH}_3$  tinggi dan mendapatkan proses pengolahan limbah cair berkadar  $\text{NH}_3\text{-N}$  tinggi yang efisien dan murah, menggunakan gabungan algae mikro dan lumpur aktif nitrifikasi-denitrifikasi.

## Metodologi

### 1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian Teknik Kimia

### 2. Bahan dan Alat

#### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini:

##### a. Air Limbah Pabrik Pupuk Urea Sintetis

Air limbah untuk penelitian dibuat secara sintetik yaitu dengan melarutkan amonium karbonat pada berbagai konsentrasi.

##### b. Konsentrat algae mikro

Alga mikro pekat disimpan di Erlen Meyer di freezer

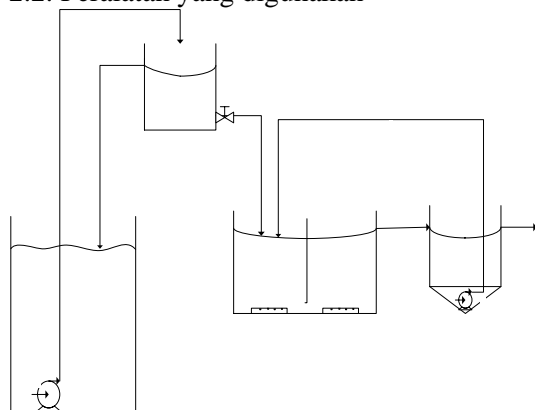
##### c. Lumpur Nitrifying

Sumber lumpur *nitrifying* adalah lumpur aktif yang diperoleh dari unit pengolahan air limbah pabrik *particle board* dimana nitrifikasi terjadi pada bak aerobik yang mengolah efluen dari bak anaerob dengan kandungan ammonium tinggi. Pengkayaan dan *breeding* lumpur *nitrifying* dilakukan menurut cara Linping Kuai dkk (1998).

##### d. Bahan kimia untuk analisis

Bahan kimia untuk analisis amonia-nitrogen, nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen: NaOH p.a.;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  p.a. ; NED.HCl ; Copper-Cadmium granul, Asam Borat p.a.;  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  p.a.; Metilen Blue; Metil Red

#### 2.2. Peralatan yang digunakan



**Gambar 2.1. Skema Peralatan Algae mikro**

Keterangan

1. Tanki tandon
2. Tanki umpan
3. Bak Nitrifikasi-Denitrifikasi
- 3.a,b Aerator
4. Bak sedimentasi
5. Pompa umpan
6. Pompa recycle lumpur

### 2.3. Perlakuan dan Rancangan Percobaan

#### Kultivasi kultur algae mikro

Algae mikro sebanyak 200 ml dikultivasi kedalam wadah 2 l setelah mencapai konsentrasi 2500 mg/L dikultivasi lebih lanjut berturut-turut menjadi 50 L dan 1000 L.

Algae mikro ini selanjutnya diuji untuk mengetahui laju pertumbuhan spesifik pada substrat amonia-nitrogen. Amonia-nitrogen pada konsentrasi tinggi bersifat inhibitor.

Penelitian dilakukan dengan kondisi sebagai berikut : kadar SVI mikroalga : 25 mL/L, kadar SVI lumpur : 100 mL/L, laju aerasi 25 L/menit, waktu tinggal limbah 1 hari, rasio N dan P : 20 : 1. Variabel yang digunakan adalah beban limbah cair dari 1000 – 3000 mg/L. Respon yang diamati adalah penurunan kadar amoniak yang terjadi dan kadar nitrat akhir.

### 2.4. Analisis

Konsentrasi  $\text{NH}_4^+$ -N ditentukan dengan metoda distilasi seperti digambarkan oleh Greenberg et al. (1992).  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N dan MLSS diukur dengan metoda baku (Greenberg et al., 1992).

### 2.5. Prosedur Percobaan

#### 2.5.1. Kultivasi algae mikro

Kultivasi algae mikro yang tahan terhadap amonia-nitrogen tinggi telah dilaksanakan sampai volume 1000 L dan sedang dilakukan pengukuran laju pertumbuhan algae pada kondisi substrat amonia-nitrogen sebagai inhibitor pertumbuhan.

#### 2.5.2. Pengkayaan Lumpur *Nitrifying* Untuk Nitrifikasi-Denitrifikasi Autotrofik

Sumber lumpur *nitrifying* adalah lumpur aktif unit pengolahan air limbah pabrik *particle board* dimana nitrifikasi terjadi pada bak aerobik yang mengolah limbah dengan kandungan ammonium tinggi. Pengkayaan dan *breeding* lumpur *nitrifying* dilakukan menurut cara Linping Kuai dkk (1998):

Pada reaktor 20-liter lumpur pertama kali dibiarkan mengendap. Supernatan dibuang diganti dengan air sumur. Reaktor untuk *breeding* diberi umpan sekali per hari. Umpan harian ke reaktor *breeding* terdiri dari 30 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 10 g serbuk  $\text{CaCO}_3$  sebagai bahan *carrier* dan sumber C anorganik, 3 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , dan 2 ml campuran mikrohara. Larutan stok mikrohara terdiri senyawa-senyawa berikut (per L): EDTA, 5.0 g;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 2.2 g;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1.6 g;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 5.1 g;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 1.6 g;  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 1.1 g;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 5.5 g;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 5.0 g. pH reaktor *breeding* diatur  $7.0 \pm 0.2$ . Larutan stok NaOH (1 N) digunakan untuk mengatur pH. Reaktor *breeding* diaerasi secara kontinyu.

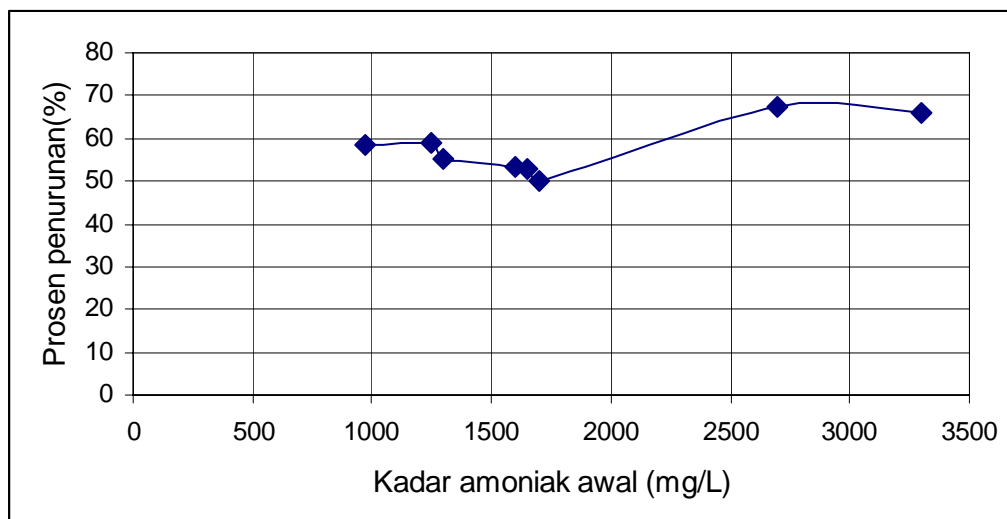
#### 2.5.3. Uji proses nitrifikasi-denitrifikasi Autotrofik

Uji proses menggunakan lumpur *nitrifying* yang telah diperkaya dilakukan pada bak dengan kapasitas 200 L.

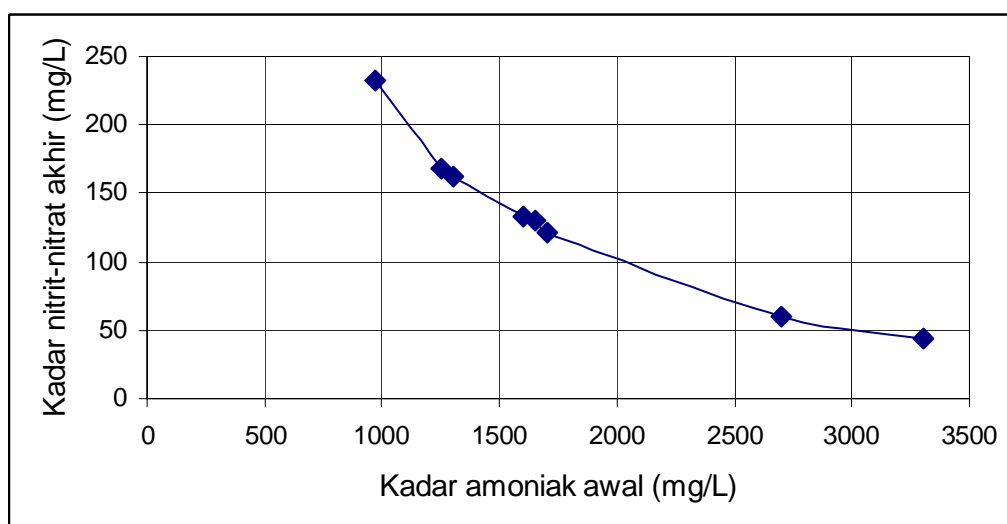
## Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil pengolahan limbah amoniak kadar tinggi

No	Konsentrasi $\text{NH}_3$		Penurunan $\text{NH}_3$ (%)	Kadar $\text{NO}_3$ , $\text{NO}_2$ (mg/L)
	Awal	Akhir		
1	975	402	58,7	232
2	1250	511	59,1	168
3	1300	582	55,2	162
4	1600	750	53,1	133
5	1650	780	52,7	130
6	1700	850	50,0	121
7	2700	885	67,2	60
8	3300	1120	66,1	44



Gambar 1. Prosen penurunan amoniak sistem gabungan mikroalga dan nitrifikasi-denitrifikasi



Gambar 1. Konsentrasi nitrit-nitrat akhir sistem gabungan mikroalga dan nitrifikasi-denitrifikasi

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk meningkatnya kadar amoniak dalam air limbah maka kadar nitrat dan nitrit yang terbentuk semakin turun. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi konversi amoniak menjadi nitrat dan nitrit berjalan dengan baik, jumlah biomassa untuk mengkatalisis amoniak menjadi nitrat dan nitrit sudah memadai.

Secara umum hasil penurunan kadar amoniak dalam air limbah yang diperoleh menunjukkan bahwa penurunan terbaik dicapai pada kadar sekitar 2500 – 3000 mg/L dengan penurunan sekitar 67 %, penghilangan konsentrasi nitrogen amoniak dengan menggunakan mikroalga menunjukkan trend meningkat dengan bertambahnya konsentrasi amoniak. Pada kondisi sampai dengan 3000 mg/L belum menunjukkan adanya inhibitor substrat. Mikroorganisme yang mengkatalisis proses nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik didominasi oleh pengoksidasi ammonium.

Efisiensi penghilangan amoniak dengan mikro alga masih dalam taraf sedang yaitu paling tinggi 67 %. Hal ini disebabkan karena pada proses penghilangan amoniak nitrogen dengan mikro alga amoniak nitrogen sebagai substrat terbatas yang akan diubah menjadi biomassa sehingga bila jumlah amoniak nitrogennya besar maka dibutuhkan mikro alga yang besar pula. Kondisi tersebut merupakan kendala utama proses mikro alga karena mikro alga sangat sulit diendapkan. Penggunaan spesies alga yang mudah mengendap seperti *Spirulina spp* ternyata tidak tahan untuk kadar amoniak tinggi.

---

## Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil penghilangan amoniak nitrogen masih dalam taraf sedang, mikro alga sekitar 67 % dan proses nitrifikasi-denitrifikasi sekitar 66,7 % masih jauh dari yang diharapkan untuk proses komersial yaitu 95 %. Pada mikro alga masalahnya pada pertumbuhan yang lambat karena amoniak digunakan untuk pembentukan biomassa sehingga pengambilan amoniak juga terbatas. Pada proses nitrifikasi-denitrifikasi sangat tergantung pada jumlah bakteri yang mangkatalisis reaksi amoniak dan nitrit menjadi nitrogen dan air.

## Daftar Pustaka

1. Anonimus. 1988. Biotechnology and Development. UNESCO. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Netherland.
2. Anderson, I. C., and J. S. Levine. 1986. Relative rates of nitric oxide and nitrous oxide production by nitrifiers, denitrifiers, and nitrate respirers. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:938-945.
3. Bagchi, T.P. 1993. *Taguchi Methods Explained, Practical Steps to Robust Design*. Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi-110001.
4. Blackmer, A. M., J. M. Bremner, and E. L. Schmidt. 1980. Production of nitrous oxide by ammonia-oxidizing chemoautotrophic micro-organisms in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 40:1060-1066.
5. Bock, E., I. Schmidt, Stüven, and Zart. 1995. Nitrogen loss caused by denitrifying *Nitrosomonas* cells using ammonium or hydrogen as electron donors and nitrite as electron acceptor. *Arch. Microbiol.* 163:16-20.
6. Coombs, J. and Hall, D.O. 1982. *Techniques in Bioproductivity and Photo-synthesis*. Pergamon Press Ltd, Oxford.
7. Danks, S.M., Evans, E.H. and Whittaker, P.A. 1983. *Photosynthetic Systems. Structure, Function and Assembly*. John Wiley and Sons Ltd. Chicester.
8. Gernaey, K., L. Verschuere, L. Luyten, and W. Verstraete. 1997. Fast and sensitive acute toxicity detection with an enrichment nitrifying culture. *Water Environ. Res.* 69:1163-1169.
9. Goreau, T. J., W. A. Kaplan, S. C. Wofsy, M. B. McElroy, F. W. Valois, and S. W. Watson. 1980. Production of  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{N}_2\text{O}$  by nitrifying bacteria at reduced concentrations of oxygen. *Appl. Environ. Microbiol.* 40:526-532.
10. Greenberg, A. E., L. S. Clesceri, and A. D. Eaton (ed.). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. *American Public Health Association*, Washington, D.C.
11. Lampe, D.G., T.C. Zhang, "Evaluation of Sulfur-Based Autotrophic Denitrification", *Proceedings of the HSRC/WERC Joint Conference on the Environmental*, May 1996, Great Plains/Rocky Mountain Hazardous Substance Research Center.
12. Linping Kuai and Willy Verstraete Ammonium Removal by the Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification System, *Applied and Environmental Microbiology*, November 1998, p. 4500-4506, Vol. 64, No.11.
13. Mulder, A., A. A. van de Graaf, L. A. Robertson, and J. G. Kuenen. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiol. Ecol.* 16:177-184.
14. Muller, E. B., A. H. Stouthamer, and H. W. van Verseveld. 1995. Simultaneous  $\text{NH}_3$  oxidation and  $\text{N}_2$  production at reduced  $\text{O}_2$  tensions by sewage sludge subcultured with chemolithotrophic medium. *Biodegradation* 6:339-349.
15. Polle, J., S. Kanakagiri, J.R. Benemann, A. Melis, 1999. Maximizing Photosynthetic Efficiencies and Hydrogen Production by microalgal cultures. *Proceedings of the 1999 U.S DOE Hydrogen Prog. Review NREL/CP-570-26938*.
16. Poth, M. 1986. Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:957-959.
17. Schmidt, I., 2002. Anaerobic Metabolism of *Nitrosomonas* and New Application in Wastewater. *i.schmidt@TNW.TUdelft.NL*

18. Schmidt, I., and E. Bock. 1997. Anaerobic ammonia oxidation with nitrogen dioxide by *Nitrosomonas eutropha*. *Arch. Microbiol.* 167:106-111.
19. Strous, M., E. van Gerven, J. G. Kuenen, and M. Jetten. 1997. Effects of aerobic and microaerobic conditions on anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:2446-2448
20. Strous, M., E. van Gerven, P. Zheng, J. G. Kuenen, and M. S. M. Jetten. 1997. Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process in different reactor configurations. *Water Res.* 31:1955-1962.
21. Stein, J.R., 1973. *Handbook of Phycological Methods*. Culture Methods and Growth Measurement. Cambridge Univ. Press.
22. Strous, M., Kuenen, J.G., Jetten, M.S.M. (1999). Key physiology of anaerobic ammonium oxidation. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 65, No. 7, p. 3248–3250.
23. Surk-Key, Y.& N. Toshiuki, 2002. Activity of *Chlorella vulgaris* associated by *Escherichia coli* W3110 on removal of Total Organic Carbon in Continuous River Water Flow System. *Algae* vol. 17(3): 195-199.
24. Van de Graaf, A.A., de Bruijn, P., Robertson, L.A., Jetten, M.S.M., Kuenen, J.G. (1996). Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. *Microbiology* 142, S. 2187–2196.
25. van Dongen, U. 2002. The Combined Sharon Anammox Process. *udo.vandongen@STM.TUdelft.NL* .
26. van de Graaf, A. A., P. de Bruijn, L. A. Robertson, M. S. M. Jetten, and J. G. Kuenen. 1996. Autotrophic growth of anaerobic, ammonium-oxidizing microorganisms in a fluidized bed reactor. *Microbiology* 142:2187-2196.
27. Van Niel, E.W.J., Robertson, L.A., Kuenen, J.G. (1993). A mathematical description of the behaviour of mixed chemostat cultures of an autotrophic nitrifier and a heterotrophic nitrifier/aerobic denitrifier; a comparison with experimental data. *FEMS Microbiol. Ecol.* 102, p. 99–108.