

PENGEMBANGAN PROSES GABUNGAN ACTIVATED MICROALGAE DAN NITRIFIKASI-DENITRIFIKASI AUTOTROFIK UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK PUPUK UREA

Laili Kusumawardhani dan Yohana Risti Destriani

Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Abstrak

Pengolahan limbah cair berkadar urea dan amonia-nitrogen tinggi merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh pabrik pupuk urea di Indonesia. Alternatif pengolahan yang diteliti adalah dengan proses nitrifikasi-denitrifikasi 1 tahap memanfaatkan lumpur aktif nitrifying. Limbah cair sintesis, dengan komposisi ammonium karbonat, CaCO_3 , H_3PO_4 , dan air, dialirkan dengan laju tertentu menuju bak nitrifikasi-denitrifikasi. Sebagai variabel adalah kadar amonia-nitrogen, yaitu 975.492; 1271.844; 1284.192; 1601.124; 1627.878; 1669.038 ppm. Respon yang diamati adalah kadar amonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada influent dan kadar amonia-nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) serta nitrat-nitrit (NO_3 dan NO_2) pada effluent. Dari hasil penelitian diperoleh data bahwa rata-rata persen penurunan amonium terbesar adalah pada kadar amonium-nitrogen 1627.878 ppm sebesar 45.50%. Hasil penelitian ini memberikan efisiensi yang cukup tinggi sehingga pada masa depan diharapkan dapat diterapkan dalam skala industri

Kata kunci : amonia-nitrogen, nitrifikasi-denitrifikasi, lumpur aktif

Pendahuluan

Di Indonesia, terdapat enam pabrik pupuk urea dengan karakteristik limbah cair berkadar urea dan amonia-nitrogen tinggi. Selama ini proses pengolahan limbah pabrik-pabrik tersebut adalah dengan menampung limbah dalam kolam-kolam besar tanpa perlakuan khusus atau pengaturan kondisi operasi sehingga keluaran proses tidak selalu berada di bawah baku mutu yang ditetapkan.

Penelitian terdahulu memanfaatkan mikroalga berklorofil, yang menghasilkan enzim urease, untuk menguraikan senyawa urea dan amonia dalam air limbah. Dalam skala besar, mikroalga selalu berasosiasi dengan bakteri lain. Mikroalga menyerap senyawa-senyawa CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} hasil metabolisme bakteri. Oksigen yang diproduksi mikroalga, digunakan oleh bakteri untuk proses nitrifikasi-denitrifikasi.

Proses konvensional untuk menghilangkan ammonium pada umumnya melalui 2 tahap, nitrifikasi-aerobik dan denitrifikasi-anaerobik. Dalam skala laboratorium telah dikembangkan proses autotrofik 1 tahap dimana ammonium dioksidasi secara langsung menjadi N_2 dimana kebutuhan O_2 lebih kecil 63% dan tanpa senyawa pereduksi. Kajian yang dilangsungkan pada dekade terakhir menemukan bahwa konversi NH_4^+ menjadi gas N_2 secara autotrofik meliputi 2 tahap: (i) nitrifikasi aerobik NH_4^+ menjadi NO_2^- atau NO_3^- dengan O_2 sebagai penerima elektron dan (ii) denitrifikasi anoksik NO_2^- atau NO_3^- menjadi gas N_2 dengan NH_4^+ sebagai donor elektron (Anderson & Levine, 1986).

Akan tetapi, aplikasi proses 1 tahap dengan nitrifier sebagai biokatalis secara praktis masih menghadapi kendala karena kapasitas spesifik penghilangan N masih sangat rendah yaitu, kurang dari

2 mg N [g Volatile Suspended Solids (VSS)]⁻¹ day⁻¹, dan ketidakpastian kondisi operasi (Bock, et al 1995; Schmidt & Bock, 1997).

Pada tahun 1994, pengolahan efluen dari reaktor metanogenik dengan menggunakan reaktor *fluidized-bed*, mampu menghilangkan nitrat dan secara simultan menurunkan amonium disertai pembentukan gas N₂ (Mulder, et al 1995). Proses itu disebut Anammox (*Anaerobic Ammonium Oxidation*). Mikroorganisme yang mengkatalisis reaksi tersebut belum diidentifikasi, tetapi dianggap tidak berkaitan dengan fungsi nitrifier autotrofik (Strous et al, 1997; van de Graaf et al, 1996). Pertumbuhan populasi mikroba Anammox sangat lambat. Uji skala laboratorium menunjukkan bahwa pada pengolahan air limbah dengan kadar amonium tinggi, input NO₂⁻ dalam jumlah stoikiometrik sangat penting (Strous et al, 1997). Adanya O₂, walaupun dalam jumlah kecil, dapat menghambat konversi amonium secara anaerobik (van de Graaf et al, 1996).

Penelitian skala laboratorium ini mempelajari potensi sistem OLAND (*Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification*) dengan lumpur *nitrifying* sebagai biokatalis. Pada dasarnya pembuatan lumpur aktif *nitrifying* relatif mudah (Gernaey et al, 1997). Tetapi bila lumpur itu kemudian dapat diinduksi untuk mengkonversi NH₄⁺ menjadi N₂ tanpa bantuan sumber karbon organik, maka sebuah langkah penting dalam pengolahan limbah akan mungkin dilakukan.

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, pada bulan september – november 2008. Adapun limbah cair yang digunakan adalah limbah cair sintesis yang dibuat dari campuran amonium karbonat (atau amonium bikarbonat), CaCO₃, H₃PO₄, serta air. Variabel yang diuji dalam penelitian ini adalah variabel konsentrasi Kadar amoniak bikarbonat dlm feed. Percobaan dilakukan sebanyak enam kali, dengan variasi sesuai tercantum di Tabel 1, untuk mengetahui efek dari tiap variabel.

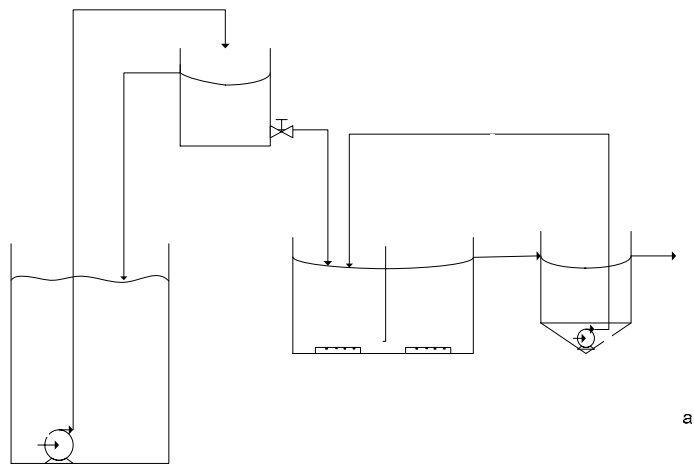
Sumber lumpur *nitrifying* adalah lumpur aktif yang diperoleh dari unit pengolahan air limbah pabrik *particle board* dimana nitrifikasi terjadi pada bak aerobik yang mengolah efluen dari bak anaerob dengan kandungan ammonium tinggi.

Langkah pertama adalah membuat limbah cair sintesis sebanyak 200 liter dengan komposisi amonium karbonat (atau amonium bikarbonat), CaCO₃, H₃PO₄, serta air.

Berikutnya adalah menyiapkan bak nitrifikasi-denitrifikasi yaitu mengisi bak tersebut dengan lumpur aktif dengan konsentrasi tertentu serta aerasi diaktifkan. Setelah bak nitrifikasi-denitrifikasi siap, maka limbah cair dialirkan dari tandon feed, dengan laju alir 1.8 cc/detik (sesuai waktu tinggal). Kondisi operasi dijaga dengan melakukan recycle lumpur secara intermittent. Setelah 24 jam, dilakukan pengambilan sampel pada influent dan effluent untuk dianalisa.

Respon yang diamati adalah kadar amonia-nitrogen (NH₃-N) pada influent dan kadar amonia-nitrogen (NH₃-N) serta nitrat-nitrit (NO₃ dan NO₂) pada effluent.

Analisa NH₃-N dilakukan dengan metode Kjeldahl, sedangkan analisa NO₃ dan NO₂ dilakukan dengan alat spektrometer UV



Gambar Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan :

1. Tandon feed
2. Constant feed tank
3. Bak Nitrifikasi
- 3.a,b Aerator
4. Bak sedimentasi
5. Pompa Feed
6. Pompa recycle Lumpur intermitent

2

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisa penelitian dapat dilihat pada Tabel 1

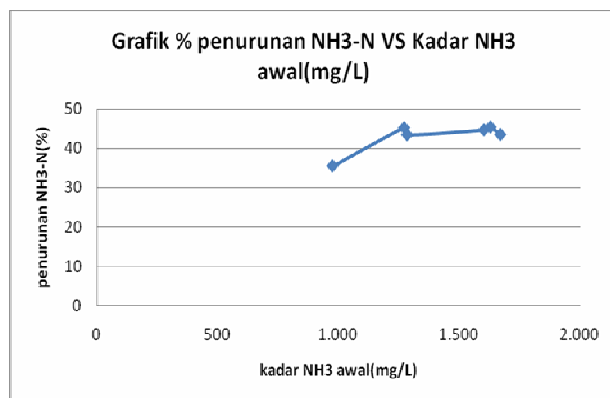
Tabel 1. Hasil Analisa Influent dan Effluent

Run	Konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)		Konsentrasi NO_3^- dan NO_2^- (mg/L)	% Penurunan $\text{NH}_3\text{-N}$
	influent	effluent		
1	975,492	399,252	231,88	35,30%
2	1271,844	527,877	168,11	45,21%
3	1284,192	563,892	162,32	43,45%
4	1601,124	752,199	133,3	44,69%
5	1627,878	758,373	130,43	45,40%
6	1669,038	821,142	121,74	43,50%

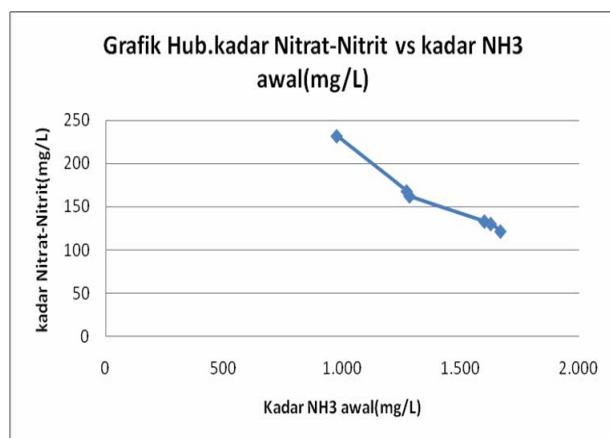
3a

3

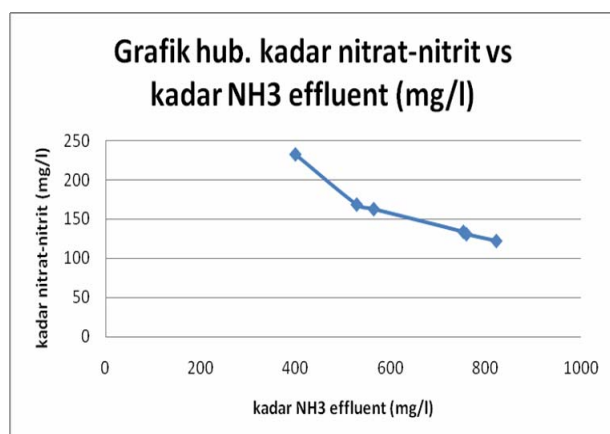
Grafik Hubungan Persen Penurunan Kadar Amonia dengan kadar NH_3 (mg/L)



Grafik Hubungan Kadar Nitrat-Nitrit dengan Kadar NH₃ (mg/L)



Grafik Hubungan Kadar Nitrat-Nitrit vs Kadar NH₃ Effluent(mg/l)



Dari tabel hasil percobaan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata persen penurunan kadar amoniak yang paling besar adalah pada run V. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi konsentrasi Ammonia Nitrogen maka semakin tinggi pula persen penurunan kadar Ammoniaknya. Hal ini disebabkan karena konsentrasi reaktan (ammonia nitrogen) yang semakin tinggi akan mengakibatkan meningkatnya kecepatan reaksi, sehingga konversi dari ammonia nitrogen semakin besar.

Sesuai dengan persamaan :

$$-r_A = k.C_A.C_B$$

Namun pada run berikutnya peningkatan kadar amonia pada feed tidak memberikan peningkatan persen penurunan kadar amonia.

Kesimpulan dan Saran

Makin besar kadar amonia dalam influent makin besar persentase penurunan kadar amoniaknya. Sedangkan persen penurunan kadar amoniak rata-rata paling besar adalah pada run V.

Penelitian ini perlu ditindak lanjuti dengan melakukan optimasi pada variabel konsentrasi amoniak nitrogen. Langkah optimasi diharapkan dapat menjelaskan kondisi optimum proses nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik serta meningkatkan prosentase penurunan kadar amoniak-nitrogen.

Ucapan Terima Kasih

1. Bapak Ir. Indro Sumantri, M.Eng. selaku dosen Pembimbing
2. Bapak Dr. Ir. Abdullah, MS, selaku ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
3. Bapak Ir. Herry Santosa selaku Koordinator penelitian
4. Bapak Untung dan Bapak Murdiono selaku Laboran Laboratorium Penelitian.

Daftar Pustaka

- Anonimus. 1988. Biotechnology and Development. UNESCO. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Netherland.
- 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.
- Bagchi, T.P. 1993. Taguchi Methods Explained, Practical Steps to Robust Design. Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi-110001.
- 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.
- Bock, E., I. Schmidt, R. Stüven, and D. 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.
- Coombs, J. and Hall, D.O. 1982. Techniques in Bioproducity and Photo-synthesis. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- Danks, S.M., Evans, E.H. and Whittaker, P.A. 1983. Photosynthetic Systems. Structure, Function and Assembly. John Wiley and Sons Ltd. Chicester.
- 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.
- Goreau, T. J., W. A. Kaplan, S. C. Wofsy, M. B. McElroy, F. W. Valois, and S. W. Watson. 1980. Production of NO_2^- and N_2O by nitrifying bacteria at reduced concentrations of oxygen. *Appl. Environ. Microbiol.* 40:526-532.
- 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.
- 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.
- 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.
- Muller, E. B., A. H. Stouthamer, and H. W. van Verseveld. 1995. Simultaneous NH_3 oxidation and N_2 production at reduced O_2 tensions by sewage sludge subcultured with chemolithotrophic medium. *Biodegradation* 6:339-349.
- 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*.
- Poth, M. 1986. Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:957-959.
- Schmidt, I., 2002. Anaerobic Metabolism of *Nitrosomonas* and New Application in Wastewater. i.schmidt@TNW.TUdelft.NL
- Schmidt, I., and E. Bock. 1997. Anaerobic ammonia oxidation with nitrogen dioxide by *Nitrosomonas eutropha*. *Arch. Microbiol.* 167:106-111.
- 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
- 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.
- Stein, J.R., 1973. Handbook of Phycological Methods. Culture Methods and Growth Measurement. Cambridge Univ. Press.
- 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.
- 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.
- 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.
- van Dongen, U. 2002. The Combined Sharon Anammox Process. udo.vandongen@STM.TUdelft.NL .

- 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.
- 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.

