

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR UREA MENGGUNAKAN PROSES GABUNGAN *ACTIVATED MICROALGAE* DAN NITRIFIKASI-DENITRIFIKASI AUTOTROFIK: UJI DENGAN RANCANGAN TAGUCHI

Indro Sumantri^{*1)}, Sumarno¹⁾, dan Norma Afiati²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Semarang, Indonesia, 50275, Telp./Fax : (024)7460058/(024)76480675

²⁾Jurusan Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Semarang, Indonesia, 50275

^{*)}Penulis korespondensi: indrotekim@yahoo.com

Abstract

TREATMENT OF UREA WASTEWATER WITH COMBINED PROCESS OF ACTIVATED MICROALGAE AND NITRIFICATION-DENITRIFICATION AUTOTROPHIC: EVALUATION WITH TAGUCHI DESIGN. *The conventional process for treatment wastewater from urea plant usually use of micro algae process or heterotrophic bacterial nitrification denitrification. Micro algae process use different type of micro algae. The advantage is cheap because used only little bit of P nutrient but cannot used for ammonium removal. Heterotrophic bacterial nitrification denitrification process needed high organic carbon input so that treatment cost so expensive. The objective of the research work was to investigate the potential of combination of special type micro algae process with an autotrophic nitrification-denitrification process. Micro algae species used in micro algae process have ability either for ammonium removal or withstand in high ammonium concentration. Autotrophic nitrification denitrification process used nitrifying bacterial/sludge as the biocatalyst. The origin of the nitrifying sludge was an activated sludge obtained from a particle board industry wastewater treatment plant where nitrification occurred in the aeration basin. Enrichment and breeding of the nitrifying sludge were conducted in high ammonium concentration and autotrophic condition. Based on experiment, enrichment and breeding micro algae which have ability either for ammonium removal or withstand in high ammonium concentration quite easy. By screening experiment with seven variable: MLSS, detention time, NH₃-N concentration, aeration, CaCO₃ concentration, micronutrient, N:P ratio, obtained the best level of variables are NH₃-N concentration, aeration, CaCO₃ concentration at high level. Evaluation limiting substrate inhibition of ammonium to nitrifying bacterial growth also unproved experimentally.*

Keywords: *autotrophic nitrification-denitrification process; enrichment and breeding of the nitrifying sludge; micro algae proces*

Abstrak

Proses konvensional untuk mengolah limbah cair industri urea biasanya menggunakan proses alga mikro atau bakteri heterotropik nitrifikasi-denitrifikasi. Proses alga mikro dapat menggunakan berbagai jenis alga mikro. Keuntungannya adalah murah karena hanya memerlukan nutrisi P sedikit tetapi tidak dapat digunakan untuk menyusutkan amoniak. Proses nitrifikasi-denitrifikasi bakteri heterotropik memerlukan asupan karbon yang tinggi sehingga pengolahan menjadi mahal. Tujuan saat ini untuk penelitian adalah untuk mempelajari kombinasi yang potensial untuk proses alga mikro jenis tertentu dengan proses nitrifikasi-denitrifikasi ototrofik. Jenis alga mikro yang digunakan dalam proses alga mikro mempunyai kemampuan baik untuk penyusutan amoniak atau tahan dalam konsentrasi amoniak tinggi. Proses nitrifikasi-denitrifikasi ototrofik menggunakan bakteri nitrifikasi/lumpur sebagai biokatalis. Lumpur nitrifikasi awal adalah lumpur aktif kolam aerasi unit pengolahan limbah cair industri partikel board Pengayaan dan pembibitan lumpur nitrifikasi dilakukan dalam konsentrasi amoniak yang tinggi dan kondisi ototrofik. Berdasarkan penelitian, pengayaan dan pembibitan alga mikro yang mempunyai kemampuan untuk penyusutan amoniak dan tahan konsentrasi amoniak yang tinggi mudah. Evaluasi substrat pembatas penghambat

amonium terhadap pertumbuhan alga tidak terbukti. Tujuh variabel yang dipilih lewat penapisan adalah : MLSS, waktu tinggal, konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, laju aerasi, kadar CaCO_3 , nutrisi mikro, rasio N:P. Variabel yang berpengaruh adalah konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$, laju aerasi, kadar CaCO_3 .

Kata kunci: proses nitrifikasi-denitrifikasi ototrofik; pengayaan dan pembibitan lumpur nitrifikasi; proses alga mikro

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 sehingga hasilnya tidak memenuhi baku mutu.

Selama ini alga mikro tumbuh cepat di perairan dimana mengandung N organik dan anorganik tinggi, karena senyawa tersebut merupakan substrat terbatas alga mikro. Pada unit pengolahan air limbah yang menggunakan lumpur aktif ternyata berkembang bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik (Van de Graaf dkk., 1996). Alga mikro dan bakteri tersebut mempunyai potensi untuk mengolah air limbah pabrik pupuk urea (Schmidt, 2002). Sampai saat ini masih banyak kelemahan penggunaan baik alga mikro maupun bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik diantaranya laju pertumbuhannya lambat dan tidak tahan pada konsentrasi NH_3 tinggi (Strous dkk., 1997), sehingga perlu penelitian untuk mengembangkan alga mikro dan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi yang mempunyai laju pertumbuhan yang cepat dan tahan NH_3 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 $\text{NH}_3\text{-N}$ cukup tinggi. Berdasarkan pertimbangan tersebut lumpur aktif unit pengolah limbah P.T. Rimba Partikel Indonesia digunakan sebagai sumber mikroba untuk pengembangan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik.

Laboratorium Penelitian Jurusan Teknik Kimia telah mengembangkan spesies alga mikro *Chlamydomonas sp.* yang tahan terhadap konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ tinggi, namun pertumbuhannya masih lambat. Hal ini kemungkinan diakibatkan substrat $\text{NH}_3\text{-N}$ sebagai substrat terbatas bersifat inhibitor sehingga mengakibatkan laju pertumbuhan alga sangat terhambat.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan alga mikro dan lumpur aktif untuk sumber alga mikro dan bakteri nitrifikasi-denitrifikasi untuk unit pengolahan limbah pabrik urea yang tahan konsentrasi NH_3 tinggi dan mendapatkan proses pengolahan limbah cair berkadar $\text{NH}_3\text{-N}$ tinggi yang efisien dan murah dengan menggunakan gabungan alga mikro dan lumpur aktif nitrifikasi-denitrifikasi.

METODE PENELITIAN

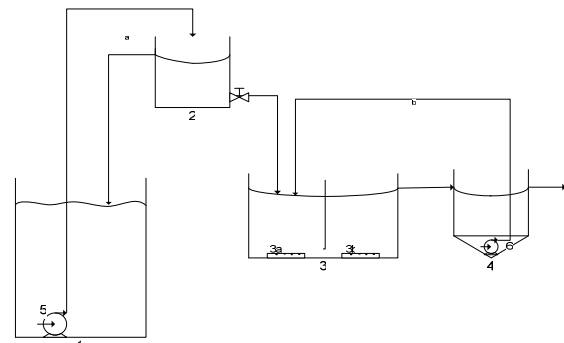
Bahan-bahan Kimia

Air limbah untuk penelitian dibuat secara sintetik yaitu dengan melarutkan amonium karbonat pada berbagai konsentrasi, sedangkan alga mikro pekat disimpan di Erlen Meyer di freezer.

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 amonium tinggi (Gernaey dkk., 1997). Pengkayaan dan *breeding* lumpur *nitrifying* dilakukan menurut cara Kuai dkk. (1998).

Bahan kimia untuk analisis amonia-nitrogen, nitrat-nitrogen dan nitrit-nitrogen (Greenberg dkk., 1992) adalah NaOH p.a., H_2SO_4 p.a., NED.HCl, C-Cd granul, Asam Borat p.a., $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ p.a., Metilen Blue dan Metil Red

Peralatan yang Digunakan



Gambar 1. Skema Peralatan Alga mikro

Keterangan

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

Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Kultivasi kultur alga mikro

Alga mikro sebanyak 200 ml dikultivasi dalam wadah 2 L, dan setelah mencapai konsentrasi 2500 mg/L dikultivasi lebih lanjut berturut-turut menjadi 50 L dan 1000 L (Stein, 1973).

Alga mikro ini selanjutnya diuji untuk mengetahui laju pertumbuhan spesifik pada substrat amonia-nitrogen (Strous, 1999). Amonia-nitrogen pada konsentrasi tinggi bersifat inhibitor.

Persamaan laju pertumbuhan spesifik algae pada substrat amonia-nitrogen yang pada konsentrasi tinggi bersifat inhibitor sbb.:

$$\mu = \frac{\mu_m}{1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i}} = \frac{\mu_m S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}} \quad (1)$$

Persamaan pada bioreaktor kontinyu berpengaduk dengan substrat sebagai inhibitor (Van Niel dkk., 1993):

$$S_0 - S = \tau r_s = \tau \mu S = \frac{\tau \mu_m S}{K_s + S + \frac{S^2}{K_i}} S \quad (2)$$

$$\frac{\tau}{S_0 - S} = \frac{1}{\mu_m K_i} + \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S^2} + \frac{1}{\mu_m} \frac{1}{S} \quad (3)$$

Rancangan percobaan uji untuk sistem alga mikro dengan kadar kandungan alga mikro sebesar 4000 mg/L disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Variabel Uji Percobaan Algae-mikro

τ (jam)	S_0 (mg/L NH ₃ -N)	S (mg/L NH ₃ -N)
24	500	
	600	
	700	
	800	
	900	
	1000	
36	500	
	600	
	700	
	800	
	900	
	1000	

Variabel uji percobaan dengan sistem nitrifikasi-denitrifikasi

Uji sistem nitrifikasi-denitrifikasi untuk pengolahan air limbah dengan kadar amonia-nitrogen

tinggi menggunakan rancangan Taguchi (Bagchi, 1993) dengan variabel uji sebagai berikut:

Tabel 2. Variabel uji percobaan dengan sistem nitrifikasi-denitrifikasi

Variabel Uji	Hasil Percobaan Pendahuluan	
	Rendah (1)	Tinggi (2)
MLSS	2000 mg/L	3000 mg/L
Waktu Tinggal	24 jam	48 jam
NH ₃ -N	375 mg/L	1400 mg/L
Aerasi	5 L/menit	20 L/menit
CaCO ₃	1500 mg/L	3000 mg/L
Rasio N:P	5:1	20:1
Hara mikro	Tanpa	Dengan hara mikro

Rancangan Taguchi (Tabel 3) digunakan untuk menapis variabel penelitian berdasarkan efek positif yang paling dominan. Variabel yang mempunyai efek positif yang besar digunakan untuk variabel penelitian lebih lanjut.

Pengamatan

Respon yang diamati :

- Sistem algae mikro (influen : NH₃-N; efluen : NH₃-N)
- Sistem nitrifikasi denitrifikasi (influen : NH₃-N; efluen : NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N)

Analisis

Konsentrasi NH₄⁺-N ditentukan dengan metoda distilasi seperti digambarkan oleh Greenberg dkk. (1992). NO₂⁻-N, NO₃⁻-N dan MLSS diukur dengan metoda baku (Greenberg dkk., 1992).

Prosedur Percobaan

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.

Tabel 3. Matriks Rancangan Taguchi

MLSS	Waktu Tinggal	NH ₃ -N	Aerasi	CaCO ₃	Rasio N:P	Hara mikro	% Penurunan NH ₃ -N
-	-	-	-	-	-	-	Y ₁
-	-	-	+	+	+	+	Y ₂
-	+	+	-	-	+	+	Y ₃
-	+	+	+	+	-	-	Y ₄
+	-	+	-	+	-	+	Y ₅
+	-	+	+	-	+	-	Y ₆
+	+	-	-	+	+	-	Y ₇
+	+	-	+	-	-	+	Y ₈

- : variabel uji pada konsentrasi rendah
+ : variabel uji pada konsentrasi tinggi

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 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 NH₄Cl, 10 g serbuk CaCO₃ sebagai bahan *carrier* dan sumber C anorganik, 3 g KH₂PO₄, dan 2 ml campuran mikrohara. Larutan stok mikrohara terdiri senyawa-senyawa berikut (per L): 5,0 g EDTA, 2,2 g ZnSO₄·7H₂O, 1,6 g CoCl₂·6H₂O, 5,1 g MnCl₂·4H₂O, 1,6 g CuSO₄·5H₂O, 1,1 g (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O, 5,5 g CaCl₂·2H₂O, 5,0 g FeSO₄·7H₂O. pH reaktor *breeding* diatur 7,0 ± 0,2. Larutan stok NaOH (1 N) digunakan untuk mengatur pH. Reaktor *breeding* diaerasi secara kontinyu.

Uji proses nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penapisan Variabel Penelitian

Hasil penelitian penapisan variabel yang dominan meningkatkan efisiensi penghilangan NH₄⁺ proses nitrifikasi-denitrifikasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persen penurunan NH₃-N pada rancangan Taguchi

Run	Influen NH ₃ -N (mg/L)	Efluen Total N (mg/L)	Penurunan NH ₃ -N (%)
1	431,3	274,3	36,4
2	384,3	280,2	27,1
3	1212,7	1019,0	15,2
4	1118,7	372,4	66,7
5	1354,1	1003,7	25,9
6	1366,4	791,2	42,1
7	393,7	278,8	29,2
8	326,5	299,3	8,2

Tabel 5. Hasil Percobaan Penghilangan Amonia dengan Algae Mikro

τ (jam)	S ₀ (g/L NH ₃ -N)	S (g/L NH ₃ -N)	S ₀ - S (g/L NH ₃ -N)	τ/(S ₀ - S)	1/S ²	1/S	Penurunan NH ₃ -N %
24	0,3459	0,2716	0,0743	323,01	13,56	3,68	21,5
	0,5637	0,3484	0,2153	111,47	8,24	2,98	38,2
	0,7225	0,3689	0,3536	67,87	4,97	2,71	48,9
	0,7993	0,3100	0,4893	49,05	15,55	2,87	61,2
	0,8327	0,4484	0,3843	62,45	15,55	2,23	46,2
36	0,9044	0,2536	0,6508	36,88	10,41	3,94	72,0
	0,3587	0,2434	0,1153	312,23	16,88	4,11	32,1
	0,4407	0,1563	0,2844	126,58	40,93	6,40	64,5
	0,5252	0,3356	0,1896	189,87	8,88	2,98	36,1
	0,5329	0,2652	0,2677	134,48	14,22	3,77	50,2
	0,7430	0,2690	0,4740	75,95	7,35	3,72	63,8
	0,7609	0,3676	0,3933	91,53	7,40	2,72	51,7

Perhitungan efek dominan variabel pada rancangan Taguchi :

$$\text{Efek variabel MLSS} = [(y_5 + y_6 + y_7 + y_8) - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)]/4 = (25,9 + 42,1 + 29,2 + 8,2) - (36,4 + 27,1 + 15,2 + 66,7) = -40,3$$

$$\text{Efek variabel Waktu tinggal} = [(y_3 + y_4 + y_7 + y_8) - (y_1 + y_2 + y_5 + y_6)]/4 = (15,2 + 66,7 + 29,2 + 8,2) - (36,4 + 27,1 + 25,9 + 42,1) = -12,2$$

$$\text{Efek variabel NH}_3\text{-N} = [(y_3 + y_4 + y_5 + y_6) - (y_1 + y_2 + y_7 + y_8)]/4 = (15,2 + 66,7 + 25,9 + 42,1) - (36,4 + 27,1 + 29,2 + 8,2) = 49,0$$

$$\text{Efek variabel Aerasi} = [(y_2 + y_4 + y_6 + y_8) - (y_1 + y_3 + y_5 + y_7)]/4 = (27,1 + 66,7 + 42,1 + 8,2) - (36,4 + 15,2 + 25,9 + 29,2) = 37,4$$

$$\text{Efek variabel CaCO}_3 = [(y_2 + y_4 + y_5 + y_7) - (y_1 + y_3 + y_6 + y_8)]/4 = (27,1 + 66,7 + 25,9 + 29,2) - (36,4 + 15,2 + 42,1 + 8,2) = 47,0$$

$$\text{Efek variabel Rasio N:P} = [(y_2 + y_3 + y_6 + y_7) - (y_1 + y_4 + y_5 + y_8)]/4 = (27,1 + 15,2 + 42,1 + 29,2) - (36,4 + 66,7 + 25,9 + 8,2) = -23,6$$

$$\text{Efek variabel Hara mikro} = [(y_2 + y_3 + y_5 + y_8) - (y_1 + y_4 + y_6 + y_7)]/4 = (27,1 + 15,2 + 25,9 + 8,2) - (36,4 + 66,7 + 42,1 + 29,2) = -98,0$$

Dari perhitungan efek dapat diketahui variabel yang mempunyai efek positif besar terhadap %penurunan NH₃-N adalah konsentrasi NH₃-N; laju aerasi dan konsentrasi CaCO₃.

Variabel Uji Percobaan Sistem Algae mikro

Hasil pengukuran penghilangan NH₃-N dengan algae mikro disajikan pada Tabel 5.

Dengan metoda statistik regresi multivariat, terhadap persamaan (3) diperoleh :

$$\frac{\tau}{S_0 - S} = -309,75 - 21,87 \frac{1}{S^2} + 208,83 \frac{1}{S} \quad (4)$$

dengan koefisien determinasi (r²) = 0,17

Penghilangan konsentrasi NH₃-N pada percobaan menggunakan algae mikro menunjukkan trend meningkat dengan bertambahnya konsentrasi NH₃-N. Hal ini menunjukkan sampai dengan konsentrasi NH₃-N ± 900 mg/L belum menunjukkan adanya inhibitor substrat. Pada uji dengan regresi multivariate juga diperoleh bukti persamaan untuk bioreaktor kontinyu berpengaduk tidak mengarah adanya inhibitor substrat. Persamaan (4) untuk bioreaktor kontinyu berpengaduk tidak sesuai untuk persamaan dengan inhibitor substrat karena ada 2 harga konstanta persamaan yang negatif dan nilai koefisien determinasinya (r²) kecil hanya 0,17. Algae mikro pada saat pH ≤ 7 selalu mati, kemungkinan diakibatkan adanya kompetisi dengan bakteri pengoksidasi NH₄⁺: NH₄⁺ + 1,5 O₂ → NO₂⁻ + 2 H⁺ + H₂O.

Hal ini dikuatkan fakta bahwa bila pH ≤ 7 maka akan terjadi penurunan pH yang cepat akibat terbentuknya 2 mol H⁺ setiap 1 mol NH₄⁺ yang dioksidasi dan sulit dinaikkan kembali ke pH ± 7,5-8,0.

Uji Adanya Hambatan Substrat Terhadap Laju Pertumbuhan Spesifik Bakteri Nitrifikasi-Denitrifikasi

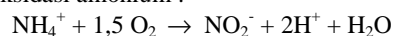
Hasil pengukuran variabel untuk menguji adanya hambatan substrat τ, S₀ dan S disajikan pada Tabel 6.

Dengan metode statistik regresi multivariat didapat :

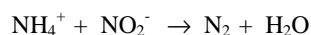
$$\frac{\tau}{S_0 - S} = 390,27 + 88,0 \frac{1}{S^2} - 344,73 \frac{1}{S} \quad (5)$$

dengan koefisien determinasi (r²) = 0,415

Mikroorganisme yang mengkatalisa proses nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik didominasi oleh pengoksidasi amonium. Hipotesis ini didukung oleh fakta saat berlangsung proses nitrifikasi-denitrifikasi pH turun secara cepat. Penurunan pH secara cepat akibat terbentuknya 2 mol H⁺ setiap 1 mol NH₄⁺ pada reaksi oksidasi amonium :



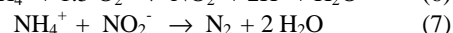
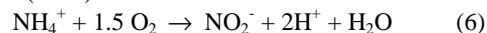
Untuk reaksi total nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik



hanya terbentuk 1 mol H⁺ setiap 1 mol NH₄⁺. Pengaturan parameter oksigen terlarut atau potensial oksidasi reduksi (ORP–Oxidation Reduction Potential) menjadi krusial. Proses nitrifikasi-denitrifikasi terjadi pada kondisi ORP antara kondisi anaerobik dan aerobik atau pada kondisi anoksik.

Stoikiometri

Penghilangan NH₄⁺ pada sistem nitrifikasi-denitrifikasi autotrofik satu tahap terjadi lewat 2 mekanisme berdasarkan temuan Muller, dkk. (1995) dan Poth (1986):



Keseluruhan proses dapat dinyatakan sebagai reaksi gabungan 1 dan 2

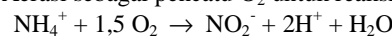


Secara stoikiometri reaksi 3 membutuhkan alkalinitas 3,6 mg CaCO₃ per mg NH₄⁺-N yang dihilangkan. Hasil pengukuran pH yang selalu turun menunjukkan penghilangan NH₄⁺-N sesuai dengan reaksi 3. Di samping itu dari hasil uji dengan rancangan Taguchi variabel konsentrasi suspensi CaCO₃ mempunyai efek positif besar terhadap penghilangan NH₃-N.

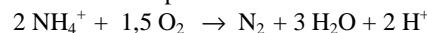
Variabel Dominan Yang Menentukan Peningkatan Efisiensi Penghilangan NH₄⁺.

Berdasarkan eksperimen penapisan dengan rancangan Taguchi, variabel yang mempunyai efek besar terhadap peningkatan efisiensi penghilangan NH₄⁺ adalah (i) konsentrasi NH₄⁺, (ii) aerasi, (iii) jumlah CaCO₃ yang ditambahkan.

Aerasi sebagai pencatu O₂ untuk reaksi



sehingga semakin besar aerasi semakin besar NH₄⁺ yang dioksidasi. Jumlah CaCO₃ yang ditambahkan merupakan pencatu alkalinitas untuk kompensasi kebutuhan alkalinitas pada reaksi



yang secara stoikiometri reaksi 3 membutuhkan alkalinitas 3,6 mg CaCO₃ per mg NH₄⁺-N yang dihilangkan. Semakin besar jumlah CaCO₃ pada sistem semakin memadai mencatu kebutuhan alkalinitas.

Tabel 6. Persen penurunan NH₃-N pada rancangan Taguchi dalam parameter τ, S₀,S

Waktu Tinggal (jam), τ	Influen NH ₃ -N (g/L), S ₀	Efluen Total N (g/L), S	τ/(S ₀ - S)	1/S ²	1/S
24	0,4313	0,2743	152,87	13,29	3,65
24	0,3843	0,2802	230,55	12,74	3,57
48	1,2127	1,019	241,81	0,96	0,98
48	1,1187	0,3724	64,32	7,21	2,69
24	1,3541	1,0037	68,49	0,99	1,00
24	1,3664	0,7912	41,72	1,60	1,26
48	0,3937	0,2788	411,75	12,87	3,59
48	0,3265	0,2993	339,00	11,10	3,33

Hambatan Substrat pada Proses Nitrifikasi-Denitrifikasi

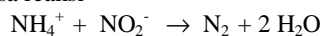
Persamaan (5) tidak sesuai untuk persamaan bioreaktor kontinu dengan hambatan substrat karena ada 1 konstanta yang bernilai negatif dan koefisien determinasinya (r^2) rendah hanya 0,415. Hambatan substrat hanya terjadi bila $\text{pH} \geq 10$, karena pada pH tersebut persentasi NH_4^+ yang menjadi amonia bebas makin tinggi. Amonia bebas bersifat racun terhadap bakteri.

Efisiensi Penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada Algae-Aikro Rendah.

Efisiensi penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ dengan algae-mikro masih dalam taraf sedang yaitu paling tinggi 72%. Hal ini disebabkan karena pada proses penghilangan amonia nitrogen dengan algae-mikro $\text{NH}_3\text{-N}$ sebagai substrat terbatas yang akan diubah menjadi biomasa sehingga bila jumlah $\text{NH}_3\text{-N}$ nya besar dibutuhkan algae-mikro dalam jumlah besar pula. Kondisi tersebut merupakan kendala utama proses algae-mikro karena pengendapan algae mikro sangat sulit sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengendapan dan recycle untuk mendapatkan konsentrasi algae yang tinggi. Penggunaan spesies algae yang mudah mengendap yaitu *Spirulina* spp ternyata tidak tahan terhadap konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ tinggi.

Efisiensi Penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada Proses Nitrifikasi-Denitrifikasi Rendah.

Efisiensi penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ yang masih taraf sedang dimana persen penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ paling tinggi pada penelitian ini hanya 66,7%. Hal ini kemungkinan diakibatkan jumlah bakteri yang mengkatalisa reaksi

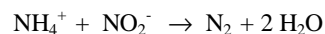


sangat rendah karena pertumbuhannya lambat. Ternyata jumlah bakteri ini tidak berkorelasi dengan jumlah padatan tersuspensi pada air limbah (MLSS) seperti tampak pada uji dengan rancangan Taguchi dimana variabel MLSS mempunyai efek negatif tinggi terhadap penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada penelitian ini hasil penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ masih dalam taraf sedang, pada algae mikro paling tinggi hanya 72,0% dan pada proses nitrifikasi-denitrifikasi hanya 66,7% masih jauh dari sasaran yang diharapkan untuk proses komersial yaitu 95%. Pada algae mikro masalahnya pada pertumbuhan yang lambat karena pada dasarnya $\text{NH}_3\text{-N}$ digunakan untuk pembentukan biomasa, sehingga pertumbuhan yang lambat akan mengakibatkan uptake $\text{NH}_3\text{-N}$ juga terbatas. Pada proses nitrifikasi-denitrifikasi kendala utama tidak pada jumlah bakteri secara keseluruhan atau yang dinyatakan dengan parameter MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid) yang pada penelitian ini cukup memadai tetapi pada rendahnya jumlah bakteri yang mengkatalisa reaksi



Hal ini tampak masih adanya sisa $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NO}_2\text{-N}$ yang cukup besar.

Saran

Untuk meningkatkan efisiensi penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ baik dengan algae mikro maupun nitrifikasi-denitrifikasi perlu dikaji faktor yang mempengaruhi pertumbuhan algae mikro maupun bakteri nitrifikasi-denitrifikasi. Laju pertumbuhan yang tinggi baik algae mikro maupun bakteri nitrifikasi-denitrifikasi dapat meningkatkan efisiensi penghilangan $\text{NH}_3\text{-N}$ sampai pada taraf yang dibutuhkan oleh proses pengolahan air limbah yang mengandung $\text{NH}_3\text{-N}$ tinggi secara komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagchi, T.P., (1993), *Taguchi Methods Explained, Practical Steps to Robust Design*, Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi-110001.
- Germaey, K., Verschuere, L., Luyten, L., and Verstraete, W., (1997), Fast and sensitive acute toxicity detection with an enrichment nitrifying culture, *Water Environ. Res.*, 69, pp.1163-1169.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., and Eaton, A.D., (ed.), (1992), Standard methods for the examination of water and wastewater, *18th ed. American Public Health Association*, Washington, D.C.
- Kuai, L. and Verstraete, W., (1998), Ammonium Removal by the Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification System, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 64, No.11, pp. 4500-4506.
- Muller, E.B., Stouthamer, A.H., and van Verseveld, H.W., (1995), Simultaneous NH_3 oxidation and N_2 production at reduced O_2 tensions by sewage sludge subcultured with chemolithotrophic medium, *Biodegradation*, 6, pp. 339-349.
- Poth, M., (1986), Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate, *Appl. Environ. Microbiol.*, 51, pp. 957-959.
- Schmidt, I., (2002), *Anaerobic Metabolism of Nitrosomonas and New Application in Wastewater*, i.schmidt@TNW.TUdelft.NL
- Strous, M., van Gerven, E., Kuenen, J.G., and Jetten, M., (1997), Effects of aerobic and microaerobic conditions on anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) sludge, *Appl. Environ. Microbiol.*, 63, pp. 2446-2448
- 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, pp. 3248–3250.

van de Graaf, A.A., de Bruijn, P., Robertson, L.A., Jetten, M.S.M., and Kuenen, J.G., (1996), Autotrophic growth of anaerobic, ammonium-oxidizing microorganisms in a fluidized bed reactor, *Microbiology*, 142, pp. 2187-2196.

Van Niel, E.W.J., Robertson, L.A., and 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, pp. 99–108.