

PROSES DENITRIFIKASI DENGAN SISTEM BIOFILTER UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH YANG MENGANDUNG NITRAT

Arie Herlambang dan Ruliasih Marsidi

Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta

Abstrak

Industri yang mengeluarkan limbah amoniak merupakan jenis industri yang cukup banyak keberadaannya di Indonesia, oleh sebab itu suatu penelitian dan pengkajian pengolahan limbah amoniak akan bermanfaat untuk memberi masukan pada pihak pemerintah maupun pihak industri dalam menjaga kelestarian lingkungan perairan. Penelitian dan pengkajian pengolahan limbah amoniak konsentrasi tinggi telah dilakukan dengan cara biologis menggunakan reaktor biofilter tercelup. Pemilihan sistem ini karena telah diketahui cara biologis adalah cara yang paling ekonomis dan reaktor biofilter tercelup merupakan sistem yang mudah dioperasikan dengan hasil yang cukup optimal. Pengolahan limbah amoniak dilaksanakan melalui dua proses yaitu proses nitrifikasi dan proses denitrifikasi. Pada percobaan terdahulu telah dilakukan percobaan penurunan amonia dengan proses nitrifikasi dan berhasil baik, dan percobaan kali ini prosesnya adalah denitrifikasi. Proses denitrifikasi bertujuan untuk menghilangkan senyawa nitrit dan nitrat, sehingga pada akhirnya hasil olahan air limbah yang keluar telah bebas dari senyawa nitrat dan selanjutnya dapat dibuang ke perairan umum. Hasil percobaan proses denitrifikasi menghasilkan penurunan rata-rata nitrit 100% dan nitrat 99%, dengan volume reaktor 45 liter, kapasitas maximum 4,8 liter/jam dan waktu tinggal 72 jam. Kemampuan optimal biofilter dalam menurunkan nitrat adalah 5351 mg/liter/m³ media biofilter, dengan waktu tinggal optimal 3 hari.

Kata kunci : denitrifikasi, nitrat, biofilter

1. PENDAHULUAN

Kadar amoniak yang tinggi pada air sungai menunjukkan terjadinya pencemaran. Pada air sungai kadar amoniak harus dibawah 1 mg/l (syarat mutu air sungai di Indonesia). Sementara itu pada air minum kadar amonia harus nol, disamping berbahaya, adanya amoniak menimbulkan rasa kurang enak.

Amoniak berasal dari nitrogen organik yang diuraikan oleh organisme heterotrop, yaitu organisme yang membutuhkan nutriennya dalam bentuk senyawa organik dan memperoleh energi dengan cara mengoksidasi senyawa organik tersebut. Nitrogen organik berasal dari beberapa sumber antara lain limbah domestik yang termasuk didalamnya sampah, kotoran manusia dan binatang, kemudian berasal dari limbah industri dan dapat pula berasal dari air alam yang terpapar oleh sisa-sisa tumbuhan.

Limbah industri merupakan sumber terbesar yang mengalirkan nitrogen organik ke dalam sistem perairan, industri yang banyak mengeluarkan buangan nitrogen adalah jenis-jenis industri kimia yang memproduksi senyawa nitrogen atau menggunakan bahan baku senyawa nitrogen serta unsur-unsur biologis seperti binatang dan bahan makanan.

Sesungguhnya zat amoniak dan senyawa nitrogen adalah zat kimia yang penting sebagai bahan baku bagi beberapa jenis industri. Industri pupuk disamping memproduksi urea, biasanya memproduksi pula beberapa senyawa nitrogen seperti amoniak, asam nitric, amonium nitrat dan amonium sulfat. Asam nitrat merupakan senyawa utama untuk nitrasi beberapa material, seperti cotton lintens untuk nitrocellulose, toluen untuk TNT kemudian glycerine untuk nitroglycerine dan dinamit.

Mengingat perkembangan industri di Indonesia maka sudah saatnya dilakukan pengkajian dan penelitian pengolahan limbah khususnya limbah amoniak, yang pada akhirnya hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi bagi pelaku industri.

Pada penelitian ini telah dilaksanakan pengkajian dan penelitian pengolahan air limbah yang mengandung amoniak. Sebagai bahan penelitian, limbah amoniak diambil dari industri yang memproduksi amonium nitrat. Limbah cair yang keluar dari industri ini mengandung amoniak dan nitrat.

Hasil analisa laboratorium menunjuk-kan polutan utama yang dikandung air limbah adalah senyawa amoniak dengan konsentrasi 300 mg/l – 3000 mg/l dan nitrat dengan konsentrasi 1000 – 4425 mg/l. Sedangkan konsentrasi BOD sangat kecil yakni sekitar 20-50 mg/l. Berdasarkan karakteristik limbah ini, maka proses pengolahan yang akan diterapkan adalah kombinasi antara proses biologi nitrifikasi dengan biologi denitrifikasi.

Pengolahan secara biologi ini mempunyai beberapa keuntungan:

1. Hasil akhir hasil penguraian senyawa amonia dan nitrat adalah nitrogen yang sangat stabil.
2. Biaya operasi relatif lebih murah karena tidak memerlukan senyawa kimia tambahan sebagaimana halnya pada pengolahan secara kimia-fisika.

Proses denitrifikasi adalah salah satu bagian proses dari proses pengolahan limbah amoniak, dan merupakan kelanjutan dari proses nitrifikasi. Jadi dalam hal ini proses yang pertama adalah proses nitrifikasi yang hasilnya telah diperoleh dan telah dipublikasikan.

Pada proses nitrifikasi dihasilkan senyawa nitrat dan nitrit, kedua senyawa tersebut masih merupakan zat polutan, sehingga masih diperlukan suatu proses untuk menghilangkan kedua senyawa tersebut. Oleh karena itu setelah proses nitrifikasi dilanjutkan dengan proses denitrifikasi, yaitu proses yang merubah unsur nitrit dan nitrat menjadi gas nitrogen (N_2) yang merupakan produk akhir dari proses pengolahan limbah amoniak secara keseluruhan.

Gas nitrogen akan terbuang ke udara, sehingga tidak ada lagi unsur zat nitrogen yang mencemari air yang keluar dari proses pengolahan limbah amoniak. Gas nitrogen adalah senyawa yang sangat stabil.

Percobaan proses nitrifikasi pada program pengolahan limbah amoniak telah dilaksanakan dan hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan kadar amoniak yang cukup baik, yaitu rata-rata penurunan 97,98%. Makalah hasil percobaan nitrifikasi telah dipublikasikan pada Journal Teknologi Lingkungan Vol 3 No 2 Tahun 2002.. Pada makalah kali ini akan diuraikan hasil percobaan proses denitrifikasi yang merupakan kelanjutan proses nitrifikasi. Sesuai dengan urutan proses maka air baku yang masuk pada proses denitrifikasi merupakan air limbah hasil proses nitrifikasi.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji proses pengolahan air limbah yang mengandung konsentrasi amoniak yang tinggi, melalui suatu pengolahan sistem biologis yang menggunakan reaktor biofilm tercelup dengan media plastik tipe sarang tawon. Proses yang dikaji secara keseluruhan adalah proses biologis nitrifikasi-denitrifikasi, namun pada tulisan ini hanya dibahas proses denitrifikasi yang merupakan kelanjutan dari proses nitrifikasi.

Dari hasil penelitian ini diharapkan diperoleh gambaran karakteristik proses denitrifikasi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pada pembuatan alat pengolahan limbah amoniak.

3. TINJAUAN PROSES DENITRIFIKASI

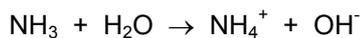
3.1. Senyawa Amoniak

Amoniak (NH_3) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4^+ pada pH rendah yang disebut dengan ammonium. Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni, tinja serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri ataupun limbah domestik.

Konsentrasi amoniak dapat berubah-ubah sepanjang tahun. Pada musin panas konsentrasi senyawa ini dapat sangat rendah, hal ini disebabkan amoniak diserap oleh tumbuhan, selain itu dapat dipengaruhi oleh temperatur air yang tinggi yang dapat mempengaruhi proses nitrifikasi. Sedangkan

pada suhu yang rendah yaitu musim dingin sewaktu pertumbuhan bakteri berkurang dan proses nitrifikasi berjalan lambat menyebabkan konsentrasi amoniak pada sungai tinggi⁽²⁾.

Amoniak dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tersebut tergantung dari pH dan temperatur yang mempengaruhi air. Nitrogen amonia berada dalam air sebagai amonium (NH_4^+) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut :



Kadar amoniak bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan temperatur. Kehidupan air terpengaruh oleh amoniak pada konsentrasi 1 mg/l dan dapat menyebabkan ikan mati lemas karena dapat mengurangi kapasitas oksigen dalam air.

Senyawa amoniak dapat mengurangi efektifitas khlorin yang biasanya digunakan sebagai tahap akhir dalam pengolahan air untuk menghilangkan bahan organik yang tersisa serta untuk proses disinfeksi. Asam hipoklorid dapat bereaksi dengan amoniak membentuk khloramin, dimana kurang efektif sebagai disinfektan sehingga amoniak dapat dikatakan memakai "kebutuhan klorin" pada proses khlorinasi²⁾. Di dalam air limbah, senyawa amoniak ini dapat diolah secara mikrobiologis dengan cara aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat.

3.2. Siklus Nitrogen

Senyawa nitrogen merupakan senyawa yang sangat penting dalam kehidupan, karena nitrogen merupakan salah satu nutrien utama yang berperan dalam pertumbuhan organisme yang hidup. Senyawa ini juga merupakan komponen dasar protein yang keberadaannya di perairan digunakan oleh produsen untuk memproduksi sel oleh hewan dan tumbuh-tumbuhan.

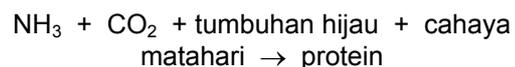
Jumlah nitrogen yang terdapat di atmosfer, paling banyak berada dalam bentuk gas nitrogen sebesar 78 % dan sangat terbatas nutriennya dalam lingkungan air dan daerah pertanian. Pada umumnya gas nitrogen ini tidak dapat dipergunakan secara langsung oleh makhluk hidup, hanya beberapa organisme khusus yang dapat mengubahnya ke dalam bentuk organik

nitrogen dan proses yang terjadi dinamakan *fiksasi*.

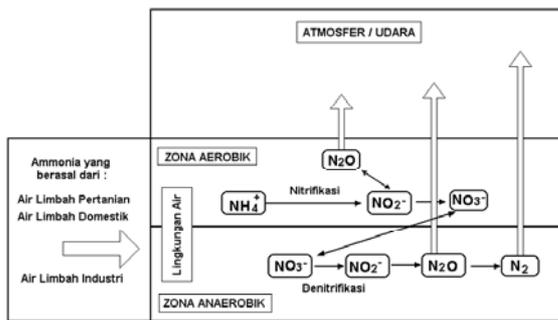
Dalam lingkungan perairan, nitrogen terlarut dapat diikat oleh sejumlah bakteri dan alga. Nitrogen organik yang disintesa oleh tumbuhan dan alga merupakan sumber nitrogen bagi hewan. Dalam metabolismenya hewan akan membuang nitrogen yang berada dalam bentuk senyawa-senyawa yang kemudian senyawa tersebut dimineralisasi oleh mikroorganisme dan nitrogen akan dilepaskan sebagai amoniak. Proses yang sama juga akan terjadi jika tumbuh-tumbuhan dan hewan mati dan akan mengalami dekomposisi. Proses pelepasan amoniak ini disebut juga dengan *amonifikasi*. Amoniak sangat berguna bagi tumbuhan dan mikroorganisme untuk asimilasi menjadi sel baru yang memberikan lebih banyak nitrogen organik.

Untuk mengetahui sejauh mana peran senyawa nitrogen dalam proses pertumbuhan, maka perlu diketahui bentuk serta perubahannya yang terjadi di alam dalam suatu siklus yang disebut siklus nitrogen. Siklus nitrogen yang terjadi di lingkungan perairan secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.

Senyawa nitrat dan amoniak dalam air digunakan oleh tumbuhan dan mikroorganisme dalam proses biosintesis (asimilasi) untuk membentuk sel baru yang akan menghasilkan nitrogen organik.



Setelah hewan dan tumbuhan mati, maka akan didekomposisi oleh proses biokimia dan bahan-bahan nitrogen organik akan diubah kembali dalam bentuk amoniak. Proses ini dinamakan sebagai proses *mineralisasi*. Sebagian besar amoniak di alam akan dioksidasi menjadi bentuk nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) yang dilakukan oleh bakteri autotrof dalam proses yang disebut *nitrifikasi*.



Gambar 1. Siklus nitrogen diperairan ⁽²⁾.

Senyawa nitrit merupakan bahan peralihan yang terjadi pada siklus biologi. Senyawa ini dihasilkan dari suatu proses oksidasi biokimia ammonium, tetapi sifatnya tidak stabil karena pada kondisi aerobik, selama nitrit terbentuk dengan cepat nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrobacter. Sedangkan pada kondisi anaerobik, nitrat dapat direduksi menjadi nitrit yang selanjutnya hasil reduksi tersebut dilepaskan sebagai gas nitrogen. Nitrit yang ditemui pada air minum dapat berasal dari bahan inhibitor korosi yang dipakai di pabrik yang mendapatkan air dari sistem distribusi PAM. Pada air permukaan, konsentrasi nitrit sangat rendah ($\mu\text{g/l}$), tetapi konsentrasi yang tinggi dapat ditemukan pada limbah dan rawa dimana kondisi anaerobik sering dijumpai.

Senyawa nitrat adalah bentuk senyawa nitrogen yang merupakan senyawa yang stabil. Senyawa ini dapat berasal dari buangan industri bahan peledak, pupuk dan cat. Secara alamiah kadar nitrat relatif rendah, tetapi kadar ini dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Di Indonesia konsentrasi nitrat dalam air minum tidak boleh melebihi 10 mg/l ⁽¹⁾.

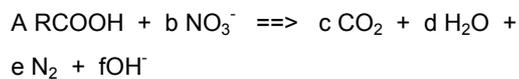
3.3. Proses Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses tahap kedua dalam proses penghilangan amoniak dengan sistem nitrifikasi-denitrifikasi. Proses denitrifikasi adalah perubahan senyawa nitrat menjadi gas nitrogen (N_2). Gas nitrogen adalah senyawa yang sangat stabil.

Bakteri yang bekerja pada proses denitrifikasi adalah bakteri anaerobik, yaitu bakteri yang tidak memerlukan oksigen dalam aktifitasnya, bahkan kehadiran oksigen dapat menyebabkan bakteri ini mati. Untuk itu

proses denitrifikasi memerlukan bioreaktor tertutup yang tidak bersentuhan dengan udara luar.

Reaksi denitrifikasi senyawa nitrat adalah sebagai berikut :



a, b, c, d, e, f = koefisien reaksi

R = gugus alkil senyawa organik

Reaksi reduksi senyawa nitrat menjadi nitrogen memerlukan senyawa karbon organik sebagai sumber elektron (elektron donor). Oleh karena itu pada proses reduksi ini diperlukan penambahan senyawa karbon organik dari luar.

3.3.1. Mikrobiologi Proses Denitrifikasi

Dua mekanisme penting pada proses biologi pengurangan nitrat yaitu asimilatory pengurangan nitrat dan disimilatory pengurangan nitrat ⁽²⁾ :

a. Asimilatory Pengurangan Nitrat

Melalui mekanisme ini nitrat dirubah menjadi nitrit dan kemudian menjadi amonium oleh mikroorganisme. Pada proses ini melibatkan enzim yang mengubah NO_3^- menjadi NH_3 , yang kemudian bersatu kedalam protein dan asam nucleic. Pengurangan nitrat didorong oleh asimilatory pengurangan nitrat, yang aktifitasnya tidak dipengaruhi oleh oksigen.

Mikroorganisme tertentu (seperti pseudomonas aeruginosa) memiliki keduanya yaitu asimilatory pengurangan nitrat dan disimilatory pengurangan nitrat, yang sensitif terhadap oksigen. Kedua enzim diberi nama dengan gene yang berbeda.

b. Disimilatory Pengurangan Nitrat

Proses ini adalah proses pernafasan anaerobic yang dalam hal ini NO_3^- berlaku sebagai penerima elektron. NO_3^- direduksi menjadi nitrous oxide (N_2O), dan gas nitrogen (N_2). Pembebasan N_2 adalah hal yang dominan pada denitrifikasi. Namun N_2 mempunyai kelarutan yang rendah dalam air sehingga cenderung keluar naik sebagai gelembung ⁽²⁾. Mikroorganisme yang terlibat dalam denitrifikasi adalah aerobic autotrophic atau heterotrophic mikroorganisme, yang

dapat berubah menjadi anaerobic pada saat nitrat dipergunakan sebagai penerima electron.

Denitrifikasi berlangsung menurut urutan sebagai berikut :

Nitrate ----> Nitrit ---- > Nitric oxide ---->

Nitrous Oxide ---- > Nitrogen

Reduksi Reduksi Reduksi
 $\text{NO}_3 \text{-----> NO}_2 \text{-----> NO ----->}$

Reduksi
 $\text{N}_2\text{O -----> N}_2$

Denitrifiers berasal dari beberapa grup fisiological dan taksonomi (organotrophs, lithotrophs dan phototrophs) ⁽²⁾ dan dapat menggunakan berbagai sumber energi (kimia organik atau kimia anorganik atau cahaya).

Mikroorganisme yang mampu melakukan denitrifikasi berasal dari genera berikut ini: Pseudomonas, Bacillus, Spirillum, Hyphomicrobium, Agrobacterium, Acinetobacter, Propionobacterium, Rhizobium, Corynebacterium, Cytophaga, Thiobacillus dan Alcaligenes. Genera Pseudomonas (*P. fluorescens*, *P. aeruginosa*, *P. denitrificans*) dan Alcaligenes merupakan yang paling banyak terlibat. Mikroorganisme ini ditemukan di tanah, air dan air buangan.

Nitrous oxide (N_2O) kemungkinan dihasilkan pada saat denitrifikasi, menyusul terjadinya ketidak sempurnaan penghilangan nitrat. Gas ini merupakan polutan udara, sehingga keberadaannya perlu dicegah atau dikurangi. Pada kondisi tertentu, nitrat dirubah menjadi N_2O sampai dengan 8 %. Kondisi yang diinginkan adalah COD/ $\text{NO}_3\text{-N}$ rendah, waktu tinggal pendek dan pH rendah.

3.3.2. Kondisi Proses Denitrifikasi

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi denitrifikasi pada pengolahan air buangan dan pada lingkungan lainnya adalah sebagai berikut :

a. Konsentrasi nitrat.

Disebabkan nitrat berlaku sebagai elektron penerima untuk bakteri denitrifying, maka laju pertumbuhan denitrifiers

tergantung pada konsentrasi nitrat dan mengikuti kinetik tipe Monod.

b. Kondisi anoxic

O_2 bersaing secara efektif dengan nitrat sebagai penerima elektron dalam proses pernafasan. Oksidasi glukosa mengeluarkan lebih banyak energi bebas dengan adanya oksigen (686 kcal/mole glukosa) dari pada adanya nitrat (570 kcal/mole glukosa) ⁽²⁾. Inilah alasan mengapa proses denitrifikasi harus dilaksanakan tanpa adanya oksigen. Denitrifikasi mungkin terjadi didalam flok lumpur aktif dan pada biofilm walaupun tingkat oksigen relatif tinggi pada cairannya. Oleh karena itu adanya oksigen pada air buangan tidak mencegah terjadinya denitrifikasi pada tingkat lingkungan mikro ⁽³⁾.

c. Keberadaan zat organik

Bakteri denitrifying harus mempunyai elektron donor untuk melaksanakan proses denitrifikasi. Beberapa sumber elektron telah dipelajari. Sumber- sumber tersebut termasuk senyawa murni (contoh, asam asetat, asam sitrat, methanol), air buangan domestik, buangan dari industri makanan (bir, molases) dan lumpur. Sumber elektron yang disenangi adalah methanol walaupun agak mahal, dalam hal ini berperan sebagai sumber karbon untuk mendorong denitrifikasi ⁽³⁾.

Biogas, mengandung methan hampir 60 %, dapat juga berlaku sebagai sumber karbon pada denitrifikasi. Telah lama diketahui bahwa methan dapat digunakan sebagai sumber karbon pada proses denitrifikasi, karena bakteri methanotrophic mengoksidasi methan menjadi methanol ⁽²⁾.



5/6 mol methanol diperlukan untuk denitrifying satu mol NO_3 . Namun sebagian methanol digunakan untuk pernafasan cell dan sintesa cell. Penghilangan nitrat maksimum dicapai apabila perbandingan $\text{CH}_3\text{OH}/\text{NO}_3$ mendekati 2,5 ⁽³⁾. Dalam saringan upflow anaerobic penghilangan nitrat hampir sempurna (99,8 %) dicapai pada rasio > 2,65 ⁽²⁾. Diusulkan pada nilai 3,0 dapat dicapai denitrifikasi sempurna.

d. Kemasaman Air Limbah (pH)

Dalam air buangan, denitrifikasi paling efektif pada pH antara 7,0 dan 8,5, dan

optimal sekitar 7,0⁷⁾. Alkalinity dan pH naik selama terjadi denitrifikasi. Secara teoritis, denitrifikasi menghasilkan 3,6 mg alkalinity sebagai CaCO₃, per 1 mg nitrat yang berkurang menjadi N₂. Namun dalam praktek, nilai ini lebih kecil dan nilai 3,0 diusulkan untuk tujuan desain. Denitrifikasi menggantikan lebih kurang setengah dari alkalinity yang dikonsumsi selama denitrifikasi.

e. Temperatur

Denitrifikasi terjadi antara 35°C dan 50°C. Terjadi pula pada temperatur rendah (5 – 10 °C) namun dengan laju yang lebih rendah.

f. Efek logam

Denitrifikasi sangat terpengaruh dengan adanya molybdenum dan selenium, yang aktif dalam pembentukan formate dehydrogenase, salah satu enzim yang berpengaruh dalam metabolisme methanol. Molybdenum sangat penting pada sintesa pengurangan nitrat.

g. Kimia beracun

Organisme denitrifying lebih kurang sensitif terhadap kimia beracun dibandingkan organisme nitrifiers.

3.4. Reaktor Biologis

Struktur reaktor biofilter menyerupai saringan (filter) yang terdiri atas susunan atau tumpukan bahan penyangga yang disebut dengan media penyangga yang disusun baik secara teratur maupun acak di dalam suatu bejana. Fungsi media penyangga adalah sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme yang akan melapisi permukaan media membentuk lapisan massa yang tipis (biofilm). Mikroorganisme ini menguraikan bahan organik yang ada dalam air. Air yang diolah akan dikontakkan dengan sejumlah mikroba dalam bentuk lapisan film (*slime*) yang melekat pada permukaan media.

Media penyangga merupakan salah satu kunci pada proses biofilter. Efektifitas dari suatu media tergantung pada :

- Luas permukaan, semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per unit volume.
- Volume rongga, semakin besar volume rongga/ruang kosong maka semakin besar kontak antara substrat dalam air

buangan dengan biomassa yang menempel

Faktor terpenting yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri pada media penyangga adalah kecepatan aliran serta bentuk dan jenis konfigurasi media. Media yang digunakan dapat berupa kerikil, batu pecah (split), media plastik (polivinil chlorida), dan partikel karbon aktif dan lainnya. Media yang sering digunakan pada proses biologis khususnya biofilter adalah media plastik yang terbuat dari PVC (Gabriel Bitton, 1994). Kelebihan dalam penggunaan media plastik ini antara lain :

- Ringan serta mempunyai luas permukaan spesifik besar (luas permukaan per satuan volume) berkisar antara sebesar 85 - 226 m²/m³.
- Volume rongga yang besar dibanding media lainnya (hingga 95%) sehingga resiko kebuntuan kecil.

Di dalam reaktor biofilter, mikroorganisme tumbuh melapisi keseluruhan permukaan media dan pada saat beroperasi air mengalir melalui celah-celah media dan berhubungan langsung dengan lapisan massa mikroba (biofilm). Mekanisme perpindahan massa yang terjadi pada permukaan suatu media dinyatakan sebagai berikut :

- Diffusi substansi air buangan dari cairan induk ke dalam massa mikroba yang melapisi media.
- Reaksi penguraian bahan organik maupun anorganik oleh mikroba.
- Diffusi produk peruraian ke luar ke cairan induk limbah.

Permukaan media yang kontak dengan nutrisi yang terdapat dalam air buangan ini mengandung mikroorganisme yang akan membentuk lapisan aktif biologis. Proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan film pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan "proses pematangan". Pada awalnya tingkat efisiensi penjernihan sangat rendah yang kemudian akan mengalami peningkatan dengan terbentuknya lapisan film.

3.5. Lapisan Biomassa

Lapisan biomassa atau biofilm menurut Siebel (1987) didefinisikan sebagai

lapisan sel mikroba yang berkaitan dengan penguraian zat organik yang melekat pada suatu permukaan media.

Kecepatan pertumbuhan lapisan biofilm pada permukaan akan bertambah akibat perkembang-biakan dan adsorpsi yang terus berlanjut sehingga terjadi proses akumulasi lapisan biomassa yang berbentuk lapisan lendir (*slime*). Pertumbuhan mikroorganisme akan terus berlangsung pada slime yang sudah terbentuk sehingga ketebalan slime bertambah. Difusi makanan akan terus berlangsung sampai tercapai ketebalan maksimum, sehingga pada kondisi ini difusi makanan ini tidak mampu lagi mencapai permukaan padatan disebelah dalam. Pada kondisi ini mulai terjadi pengelupasan lapisan biomassa yang selanjutnya segera terbentuk koloni mikroorganisme yang baru sehingga pembentukan biofilm akan terus berlangsung. Proses pengelupasan ini juga disebabkan oleh pengikisan cairan yang berlebih yang mengalir melalui biofilm⁽²⁾. Penghilangan substrat oleh lapisan mikroorganisme akan bertambah secara linier dengan bertambahnya ketebalan film sampai dengan ketebalan maksimum, sedangkan penghilangan akan tetap konstan dengan bertambahnya ketebalan biomassa lebih lanjut.

4. BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Bahan

4.1.1. Air Baku

Air baku (Influent) yang masuk ke dalam reaktor denitrifikasi merupakan hasil olahan effluent dari reaktor nitrifikasi, sehingga kualitas air baku pada denitrifikasi sangat tergantung pada proses nitrifikasi, dalam hal ini sangat diharapkan hasil dari proses nitrifikasi sedikit atau sama sekali tidak mengandung amoniak, karena pada proses denitrifikasi yang menjadi tujuan utama adalah mengurangi kandungan nitrit dan nitrat. Reaksi yang terjadi pada reaktor denitrifikasi adalah perubahan senyawa nitrit menjadi nitrat dan akhirnya nitrat menjadi gas nitrogen (N₂)

Tabel 1. Hasil rata-rata dari proses nitrifikasi Amoniak.

No	Waktu Tinggal	AMONIAK (mg/l)	EFISIENSI (%)
1	3	1738	88,95
2	2	242	98,82
3	1	1219,7	98,06

	(HARI)	INLET	OUTLET	
1	3	1738	195,4	88,95
2	2	242	2,5	98,82
3	1	1219,7	7	98,06

Dari hasil percobaan nitrifikasi telah berhasil menurunkan kandungan amoniak lebih dari 90%, dengan volume reaktor 45 liter dan waktu tinggal 1 hari. Namun penurunan amoniak ini diikuti dengan terbentuknya nitrit dan nitrat yang selanjutnya akan dihilangkan dengan proses denitrifikasi. Tabel 1 - 3 berikut adalah hasil rata-rata dari proses nitrifikasi pada amoniak, nitrit dan nitrat.

Tabel 2. Hasil rata-rata dari proses nitrifikasi Nitrit.

No	Waktu Tinggal (HARI)	Nitrit (mg/l)		EFISIENSI (%)
		INLET	OUTLET	
1	3	26,4	259,4	-882,6
2	2	0	0,41	
3	1	2,5	15,75	-530

Tabel 3. Hasil rata-rata dari proses nitrifikasi Nitrat.

No	Waktu Tinggal (HARI)	Nitrat (mg/l)		EFISIENSI (%)
		INLET	OUTLET	
1	3	3245	4772,6	-47,1
2	2	51,75	317,25	-513
3	1	400	525,25	-31,15

4.1.2. Mikroorganisme dan Nutrien

Kondisi reaktor denitrifikasi diatur dalam keadaan anaerobik. Pertama, reaktor diisi dengan sludge dari IPAL Industri Tahu-Tempe untuk proses pembiakan bakteri (*seeding*). Proses pembiakan mikroba di dalam reaktor denitrifikasi dilakukan selama kurang lebih 4 - 5 minggu, dengan waktu tinggal di dalam reaktor sekitar 3 hari, sampai dengan tumbuhnya lendir pada permukaan biofilter. Setelah ketebalan biofilm pada reaktor cukup tebal, selanjutnya air limbah hasil proses nitrifikasi diinjeksikan ke dalam reaktor denitrifikasi. Oleh karena kandungan Organik (C) di dalam air limbah amonium nitrat sangat rendah, maka agar proses denitrifikasi dapat berjalan dengan baik ditambahkan senyawa organik agar perbandingan C/N cukup untuk proses denitrifikasi. Penambahan senyawa organik dilakukan dengan menambahkan asam asetat atau larutan gula.

Pada awal proses pengamatan dilakukan secara visual dengan cara mengamati pertumbuhan biofilm yang melekat pada media biofilter serta gas yang terbentuk. Setelah proses berjalan selama 5 minggu baru dilakukan analisa air sebelum dan sesudah pengolahan.

4.1.3. Model Reaktor Biologis

Model dari reaktor biologis yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor biologis dengan sistem biakan melekat. Spesifikasi Reaktor Denitrifikasi tertera pada Tabel 4. Sedangkan spesifikasi media yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5. Diagram proses reaktor denitrifikasi dapat dilihat pada Gambar 1. Air limbah dari pabrik amonium nitrat digunakan sebagai air baku limbah reaktor nitrifikasi, sedangkan air olahan dari reaktor nitrifikasi ditampung dan digunakan sebagai umpan atau air baku reaktor denitrifikasi.

4.2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam skala pilot, dan merupakan penelitian lanjutan dari proses nitrifikasi yang sudah dilakukan terlebih dahulu. Proses nitrifikasi menghasilkan nitrat yang konsentrasinya cukup tinggi dan dikhawatirkan mengganggu lingkungan. Oleh karena itu dilakukan proses Denitrifikasi, dengan mengalirkan limbah hasil proses nitrifikasi kedalam reaktor anaerobik untuk proses denitrifikasi. Percobaan dilakukan selama tiga bulan, dengan menggunakan berbagai macam konsentrasi limbah dan variasi waktu tinggal untuk proses pengolahan serta pengaturan pH.

Tabel 4. Spesifikasi Reaktor Denitrifikasi Anaerobik.

ITEM	SPESIFIKASI
1	<p>REAKTOR : DENITRIFIKASI-ANAEROBIK</p> <p>Dimensi Total 15 cm x 30 cm x 150 cm (67,5 liter)</p> <p>Volume Reaktor Biofilter 15 cm x 30 cm x 140 cm (63 liter)</p> <p>Tinggi Bed Media 120 cm</p> <p>Volume Media 15 cm x 30 cm x 120 cm (54 liter)</p> <p>Tinggi Ruang Lumpur 10 cm</p> <p>Tinggi kolom air di atas media 10 cm</p> <p>Tinggi Ruang Bebas 10 cm</p>
2	POMPA

	<p>DOSING :</p> <p>Tipe Uni – Dose U04</p> <p>Jumlah 2 unit</p> <p>Kapasita min. 0,95 liter per jam</p> <p>Kapasitas maksimum 4,8 liter per jam</p>
3	<p>WAKTU TINGGAL :</p> <p>Minimum 6 jam</p> <p>Maksimum 33 jam</p>

Tabel 5. Spesifikasi Teknis Media Biofilter.

No	MEDIA BIOFILTER	SPESIFIKASI
1	Bahan	PVC Sheet
2	Tipe	Sarang Tawon
3	Ukuran Lubang	2 cm x 2 cm
4	Ketebalan Media	0,5 mm
5	Ukuran Modul	Disesuaikan dengan ukuran reaktor
6	Luas Permukaan Spesifik	$\pm 226 \text{ m}^2 / \text{m}^3$
7	Berat Spesifik Media	30 – 35 kg / m^3
8	Porositas Media	98 %
9	Warna	Bening / transparan



Gambar 2. Reaktor Nitrifikasi dan Denitrifikasi yang digunakan Untuk Percobaan.

5. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Efisiensi Proses

Setelah proses berjalan selama 5 minggu baru dilakukan analisa air sebelum dan sesudah pengolahan. Hasil analisa air sebelum dan sesudah proses denitrifikasi setelah proses pembiakan bakteri berjalan 5 minggu ditunjukkan seperti pada Tabel 6 – 8. Percobaan dilakukan dengan waktu tinggal 5 hari dan air baku yang digunakan langsung dari pabrik tanpa pengenceran, konsentrasi nitrat berkisar 2324 – 6247 ppm. Pada awalnya percobaan hasilnya cukup bagus, efisiensi dapat mencapai 87,34%, tetapi secara perlahan efisiensinya turun mencapai 17,93% pada minggu ke lima. Penurunan

efisiensi ini dapat mengindikasikan kurangnya pasokan nutrisi untuk bakteri, terutama faktor karbon sehingga kemampuan degradasi limbahnya menurun atau media biofilter yang digunakan kurang banyak, sehingga maksimum *loading*-nya untuk penguraian limbah terlampaui. Ada dua cara untuk mengatasi ini, yaitu dengan menambah media biofilter atau dilakukan pengenceran limbah yang masuk ke dalam reaktor.

Tabel 6. Konsentrasi Nitrat, sebelum dan sesudah proses denitrifikasi dengan waktu tinggal 5 hari

TGL PERCOBAAN	WT (HARI)	NITRAT (mg/l)		EFISIENSI I (%)
		INLET	OUTLET	
11 Juni	5	6247	791	87,34
14 Juni		6137	3591	41,48
18 Juni		2324	1853	20,24
21 Juni		3346	1174	64,92
25 Juni		4370	3587	17,93
Rata2		4485	2199	46,38

Percobaan selanjutnya dilakukan pengenceran, dengan waktu tinggal 3 hari, dengan konsentrasi nitrat berkisar 250 – 337 ppm. Hasilnya cukup mengejutkan ternyata pada minggu pertama 100% nitrat dapat hilang, kemudian pada minggu berikutnya turun, tetapi masih stabil pada kisaran 98 – 99%. Kondisi ini menceminkan proses denitrifikasi berjalan baik dan media biofilternya dapat bekerja optimal. Media biofilter mempunyai kemampuan yang tidak sama untuk setiap proses penguraian limbah, penentuan kemampuan media biofilter menentukan banyaknya media biofilter yang dipakai dalam pengolahan limbah. Jika limbah yang diuraikan terlalu pekat dan melebihi kemampuan bebannya, maka proses menjadi tidak efisien (Gambar 1.).

Tabel 7. Konsentrasi Nitrat, sebelum dan sesudah proses denitrifikasi dengan waktu tinggal 3 hari

TGL. PERCOBAAN	WT HARI	NITRAT (mg/l)		EFISIENSI I (%)
		INLET	OUTLET	
7 Ags	3	250	0	100,00
8 Ags		252	4	98,49
9 Ags		328	3	99,04
10 Ags		337	4	98,95
Rata-rata		291,75	2,75	99

Percobaan selanjutnya dilakukan dengan mempersingkat waktu tinggal dari tiga hari menjadi satu hari (Tabel 8). Konsentrasi nitrat yang digunakan berkisar 293 – 996 ppm. Hasil percobaan menunjukkan penurunan tajam pada efisiensi proses denitrifikasi, baik pada konsentrasi rendah maupun pada konsentrasi yang agak tinggi. Kondisi ini menunjukkan waktu tinggal satu hari terlalu cepat jika dipakai untuk pengolahan limbah nitrat dengan media biofilter.

Tabel 8. Konsentrasi Nitrat, sebelum dan sesudah proses denitrifikasi dengan waktu tinggal 1 hari

TGL. PERCOBAAN	WT HARI	NITRAT (mg/l)		EFISIENSI (%)
		INLET	OUTLET	
14 Ags	1	293	242	17,48
15 Ags		404	224	44,54
20 Ags		663	609	8,13
21 Ags		996	775	22,21
Rata-rata		589	462,5	23

5.2. Waktu Tinggal

Penelitian nitrifikasi dan penelitian denitrifikasi dalam rangka pengolahan limbah amoniak konsentrasi tinggi, dilakukan secara terpisah. Hal ini dilakukan karena waktu tinggal di dalam reaktor yang optimal pada kedua proses tersebut harus diteliti secara terpisah. Setelah diperoleh waktu tinggal yang optimal untuk masing-masing proses, maka rencana selanjutnya adalah melakukan penelitian dengan menggabungkan kedua proses tersebut, sehingga proses pengolahan limbah amoniak dapat berjalan secara keseluruhan dan secara kontinu untuk memperoleh air limbah olahan yang sudah tidak mengandung senyawa nitrogen.

Tabel 9. Korelasi Waktu Tinggal dan Penurunan Konsentrasi Nitrat Serta Efisiensi

No	Waktu Tinggal (HARI)	Nitrat (mg/l)		EFISIENSI RATA2 (%)
		INLET	OUTLET	
1	5	4485	2199	46,38
2	3	291,75	2,75	99
3	1	589	462,5	23

Dari hasil percobaan ini dapat diketahui bahwa reaktor denitrifikasi dapat bekerja optimal dengan waktu tinggal 3 hari, dengan konsentrasi nitrat 250 – 337 ppm. Keterbatasan kemampuan media biofilter dalam menguraikan limbah merupakan hambatan utama, sehingga ketika reaktor dijalankan pada waktu tinggal 1 hari terjadi penurunan efisiensi yang cukup signifikan. Untuk meningkatkan efisiensi pada waktu tinggal satu hari dapat dilakukan dengan cara menambah media biofilter yang digunakan atau penambahan pasokan nutrisi untuk mikroba yang bekerja.

Dengan volume media 0,054 m³ dapat menurunkan nitrat 289 mg/l dengan waktu tinggal 3 hari. Dengan demikian kemampuan biofilter dalam menurunkan nitrat adalah 5 351 mg/liter tiap meter kubik.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Denitrifikasi menggunakan reaktor anarobik dengan media biofilter dapat berjalan dengan baik pada konsentrasi nitrat yang tidak terlalu tinggi, yaitu berkisar konsentrasi nitrat 250 – 337 ppm, dengan efisiensi rata-rata mencapai 99%.
2. Pada konsentrasi nitrat tinggi perlu penambahan nutrisi, terutama untuk menjaga keseimbangan karbon dan fosfor sebagai unsur penunjang pertumbuhan bakteri.
3. Kemampuan biofilter dalam menurunkan nitrat adalah 5351 mg/liter/m³ media biofilter, dengan waktu tinggal optimal 3 hari.

Saran

1. Perlu dilakukan percobaan lanjutan untuk limbah nitrat dengan konsentrasi tinggi dengan penambahan nutrisi dan karbon yang cukup, sehingga proses denitrifikasi dapat berjalan efisien pada waktu tinggal yang singkat.
2. Perlu penambahan waktu percobaan, agar stabilitas proses dapat diamati lebih panjang waktunya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alaerts, G. Dan Santika, S.S. 1987. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya
2. Bitton, G., 1994, *Wastewater Microbiology*, Wiley – Liss, A John Wiley & Sons, Inc, NY.
3. Cristensen, M.H., dan P. Harremoes, 1978, *Nitrification and denitrification in wastewater Treatment*, pp 391 – 414, in “ Water Pollution Microbiology, Vol. 2. 12., Mitchell, ed. Wiley, NY.
4. Graff, A. dkk., 1995, Anaerobic Oxidation of Ammonium Is a Biologically Mediated Process, *Journal of Applied and Environmental Microbiology*.
5. Henze, M. dkk., 1995, *Wastewater Treatment, Biological and Chemical Process*, Springer-Verlag, Lyngby.
6. Kida, K. dkk., 1992, Efficient Removal of NH Accumulation during Anaerobic Treatment of Distillery Wastewater from Sochu Making. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 75, No. 4.
7. Kida, K. dkk., 1999, Efficient Removal of Organic Matter and NH from Pot Ale by a Combination of Methane Fermentation and Biological Denitrification and Nitrification Process. *Journal of Process Engineering*.
8. Metcalf dan Eddy, 2003, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, fourth edition, Metcalf&Eddy, Inc, McGraw Hill, New York.