

## TEKNOLOGI BIOFILTER UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH AMMONIA

Titiresmi dan Nida Sopiah

Balai Teknologi Lingkungan – BPPT  
Gedung 412 Kawasan Puspiptek Serpong, 15314

### Abstract

*Ammonia compound is chemical compounds abundance in nature. Ammonia wastes discharge into water body will have a negative impact and cause ecological and healthy problems. High concentration of ammonium will give eutrofication problem in water body therefore dissolve oxygen demand will be decreased as well as self purification of water ecosystem. This negative impact will influenced for aquatic organism which died gradually. The efforts decrease of ammonia concentration is by biological waste water treatment utilizing microbes for changing ammonia to nitrite and nitrate. One of the technologies could be carried out is nitrification process technology using biofilter with 80% efficiency. For decreasing ammonia concentration can be used biological treatment by using microbe which can change it ti nitrite and nitrate*

**Key words:** ammonia, biofilter technology, nitrification

### 1. PENDAHULUAN

Umumnya penurunan kualitas badan air saat ini sudah mencapai tingkat mengkhawatirkan keadaan ini diperparah dengan bertambahnya beban pencemaran yang berasal dari limbah industri dan domestik.

Salah satu limbah cair yang dihasilkan dari proses kegiatan industri dan domestik adalah nitrogen-ammonia. Ammonia dalam air permukaan berasal dari urine, tinja serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri. Dalam air permukaan, kadar ammonia kurang dari 10 mg/L sedangkan pada air buangan biasanya mencapai 30

mg/L atau lebih. Akumulasi limbah tersebut bila sampai di badan air akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan sehingga dapat mempengaruhi dan menimbulkan masalah ekologi dan kesehatan untuk masyarakat sekelilingnya.

Masalah-masalah yang timbul akibat konsentrasi Nitrogen yang tinggi antara lain

- Eutrofikasi pada badan air yaitu menurunnya oksigen terlarut pada badan penerima air sehingga kemampuan *self purification* ekosistem air semakin rendah.
- Terbentuknya ammonia bebas ( $\text{NH}_3$ ) yang dihasilkan dari temperatur dan pH yang tinggi sehingga

menyebabkan proses nitrifikasi tidak stabil dan keracunan pada biota air.

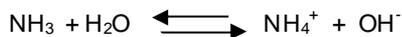
- c. Konsentrasi ammonia pada rentang 0,2 - 2 mg/L menyebabkan keracunan pada ikan ; 0,2 - 9 mg/L keracunan pada organisma yang lebih tinggi.

## .2. Senyawa Nitrogen

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

Nitrogen ammonia di lingkungan berada dalam bentuk ion ammonium dan ammonia yang tidak terionisasi .

Hubungan diantara kedua bentuk ini berada dalam suatu sistem keseimbangan, seperti tampak dalam persamaan berikut ini :



Pada pH lebih besar dari 7 reaksi akan bergeser ke sebelah kiri, sedangkan pada pH kurang 7 reaksi akan bergeser ke sebelah kanan.

Konsentrasi ammonia dapat berubah-ubah sesuai dengan perubahan suhu. Pada musim panas, dimana suhu lingkungan meningkat, konsentrasi ammonia di perairan sangat rendah, disebabkan aktivitas bakteri pada suhu ini meningkat sehingga proses nitrifikasi dan nitrifikasi terjadi dengan baik. Sedangkan pada musim penghujan, suhu lingkungan menjadi rendah, pada kondisi tersebut pertumbuhan bakteri menurun, proses nitrifikasi berjalan lambat menyebabkan konsentrasi ammonia meningkat.

Nitrit merupakan senyawa yang terbentuk dari proses oksidasi senyawa ammonia, nitrit di alam bersifat tidak

stabil dan mudah teroksidasi menjadi nitrat. Nitrit pada limbah cair, umumnya konsentrasinya kurang dari 1,0 mg/L <sup>(3)</sup>. Nitrat merupakan senyawa stabil, dihasilkan dari proses lanjutan dari oksidasi ammonia menjadi nitrit dan selanjutnya dioksidasi lagi menjadi nitrat. Nitrat biasanya ada dalam jumlah yang kecil pada air permukaan, tetapi pada air tanah konsentrasi dapat menjadi tinggi pada daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Senyawa nitrat dihasilkan pula dari limbah industri bahan peledak, pupuk dan cat.

## 3. Proses Pengolahan Limbah Ammonia secara Biologis

Ammonia merupakan salah satu senyawa yang keberadaannya di alam diperlukan oleh makhluk hidup, dalam jumlah yang besar senyawa kimia ini mempunyai sifat yang toksik dan dapat mengganggu estetika karena dapat menghasilkan bau yang menusuk dan terjadinya eutrofikasi di daerah sekitarnya. Usaha-usaha yang dilakukan untuk menyisihkan ammonia adalah dilakukan proses pengolahan ammonia menjadi senyawa lain yang lebih aman bagi lingkungan perairan. Pengolahan limbah secara biologis merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah saat ini dengan melibatkan aktivitas mikroorganisma sehingga mengakibatkan terjadinya transformasi senyawa-senyawa kimia menjadi senyawa lain yang mempunyai sifat dan karakter yang berbeda dengan senyawa asalnya.

Dalam pengolahan limbah secara biologis, ada dua kategori proses <sup>(9)</sup>, yaitu :

- a). *Suspended-growth process*, adalah proses pengolahan secara biologi yang melibatkan aktivitas mikroorganisma untuk mengurai bahan organik atau unsur-unsur lainnya di dalam air limbah menjadi gas. Dan mikroorganisma tumbuh

dalam keadaan tersuspensi di dalam aliran.

- b). *Attached-growth process*, proses pengolahan secara biologi yang melibatkan aktivitas mikroorganisma untuk mengurai bahan organik atau unsur-unsur lainnya di dalam air limbah menjadi gas. Dan mikroorganisma tumbuh terlekat pada media tumbuh, seperti batu, keramik, plastik. Proses ini disebut juga sebagai *fixed film processes*

Proses pengolahan limbah ammonia secara biologis melibatkan rangkaian proses pengolahan aerob dan dilanjutkan dengan proses anaerob. Proses aerob merupakan proses oksidasi senyawa ammonia menjadi senyawa transisi nitrit selanjutnya diikuti proses oksidasi nitrit menjadi senyawa nitrat yang stabil. Proses aerob ini lebih dikenal dengan istilah nitrifikasi. Setelah proses nitrifikasi berjalan secara sempurna perlu dilakukan tahapan kedua yaitu proses anaerob, proses ini dikenal dengan istilah denitrifikasi. Pada tahap ini senyawa nitrat ,yang terbentuk dari proses oksidasi ammonia, diolah lebih lanjut menjadi nitrogen

### 3.1. Proses Nitrifikasi

Nitrifikasi merupakan suatu proses transformasi senyawa nitrogen dari nitrogen ammonia ( $\text{N-NH}_4^+$ ) menjadi nitrogen nitrat ( $\text{N-NO}_3^-$ )<sup>(5)</sup>. *Nitrosomonas mengoksidasi* ammonia menjadi nitrit dan dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter* dalam kondisi aerob<sup>(12)</sup>.

*Nitrosomonas* dan *nitrobacter* merupakan bakteri nitrifikasi yang paling berperan dalam proses biologis oksidasi ammonium menjadi nitrat.

Transformasi nitrifikasi dari ammonium menjadi nitrat melibatkan dua tahapan, yaitu :

#### 3.1.1. Tahap Nitritasi

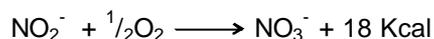
Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) menjadi ion nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) yang melibatkan bakteri *Nitrosomonas*, seperti *Nitrosomonas europea*, *Nitrosomonas oligocarbogenes*. Reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi ini memerlukan 3,43 gram  $\text{O}_2$  untuk mengoksidasi 1 gram nitrogen menjadi nitrit.

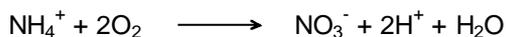
#### 3.1.2. Tahap Nitrisasi

Pada tahap kedua proses nitrifikasi, mikroba yang berperan adalah kelompok *nitrobacter* seperti *Nitrobacter agilis*, *Nitrobacter winogradski*, bakteri ini mengoksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ); Adapun reaksi tersebut adalah sebagai berikut :



Reaksi ini memerlukan 1,14 gr  $\text{O}_2$  untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat.

Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



Kedua reaksi di atas berlangsung secara eksotermik

### 3.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Nitrifikasi

Proses nitrifikasi merupakan proses biologis yang melibatkan bakteri aerob, pertumbuhan bakteri ini dipengaruhi oleh :

- Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen)

Konsentrasi oksigen terlarut dalam pengolahan limbah ammonia mempunyai peranan penting, karena dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri dan aktivitasnya. Menurut Wurhmann (1962) dan Painter (1970)<sup>(16)</sup>, konsentrasi oksigen terlarut dalam reaktor proses nitrifikasi minimum 2 mg/L, artinya bila konsentrasi oksigen terlarutnya dibawah 2 mg/L maka proses nitrifikasi akan terganggu.

- b. Temperatur  
Temperatur optimum bagi bakteri *nitrosomonas* adalah 35°C dan temperatur optimum bakteri *nitrobacter* adalah 35°C – 42°C<sup>(16)</sup>,

- c. pH

pH optimum untuk proses nitrifikasi adalah antara 7,5 – 8,5, meskipun bakteri nitrifikasi sensitif terhadap pH, mereka mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan pada nilai pH di luar jarak optimum<sup>(4)</sup>. pH optimum nitrifikasi adalah 8,4, pada pH 7 efisiensi masih dapat dicapai sebesar 80% dan 90% dari laju maksimal proses nitrifikasi berlangsung pada 7,8 – 8,9 sedangkan pada pH diluar 7,0 – 9,8 laju proses yang terjadi kurang dari 50%. Laju proses nitrifikasi akan menurun pada pH 6,3 – 6,7 dan pada pH 5 – 5,5 proses nitrifikasi akan berhenti<sup>(16)</sup>.

- d. Waktu detensi (td)

Waktu detensi adalah lamanya waktu kontak antara air buangan dengan mikroorganisma pengurai dalam reaktor. Lamanya waktu detensi yang digunakan akan mempengaruhi efektivitas proses pengolahan.

- e. Konsentrasi nitrogen ammonia

Ammonia dapat menghambat pertumbuhan bakteri nitrifikasi bila

konsentrasinya lebih besar dari 750 mg/L sedangkan konsentrasi ammonia diatas 1000 mg/L akan bersifat toksik terhadap bakteri nitrifikasi<sup>(2)</sup>.

### 3.3. Reaktor Biologis Unggun Tetap (Biofilter Tercelup)

Reaktor dengan media tetap diperkenalkan oleh Young & Mc. Carty pada tahun 1967. Bioreaktor ini adalah reaktor yang terdiri dari tangki berisi bahan pembantu berupa bahan penyangga tetap.

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.

#### 3.3.1. Bioreaktor Lekat Diam

Bioreaktor adalah suatu alat yang dilengkapi dengan suatu media penyangga (*support material*) yang berfungsi sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme yang ditandai dengan terbentuknya lapisan biofilm pada permukaan media penyangga. Bioreaktor ini salah satu bentuk *packed-bed* reaktor yang didalamnya terjadi proses pertumbuhan melekat.

Reaktor dengan sistem pertumbuhan melekat diciptakan dengan pertimbangan untuk mendapatkan konsentrasi mikroorganisme yang tinggi. Dengan sistem ini diharapkan agar mikroorganisme tumbuh dan berkembang biak pada media yang ada sehingga lumpur akan mempunyai umur yang panjang dan hanya sedikit mikroorganisme yang terbawa keluar.

Tujuan utama perencanaan reaktor media diam diaerasikan ini adalah sebagai berikut:

- a. Media yang seluruhnya terendam (*fully submerged media*) digunakan untuk mengatasi masalah keringnya biofilm, terutama pada reaktor yang digunakan pada daerah yang beriklim panas seperti di Indonesia.
- b. Media penyangga bersifat statis sehingga hemat energi penggerak (*driving energy*). Koloni mikroba melekat pada permukaan media yang terendam. Mengingat penyerapan substrat dalam sistem pertumbuhan melekat merupakan fenomena yang berhubungan dengan luas permukaan bidang serap, maka media penyangga yang digunakan harus memungkinkan mikroba melekat di seluruh luas selimut luar dan dalam media tersebut.

Reaktor tipe *fixed bed* atau reaktor lekat diam terendam ini dapat dioperasikan secara *upflow* (aliran ke atas) dan *down flow* (aliran ke bawah) dengan dan tanpa resirkulasi effluent. Reaktor dengan sistem *upflow*, substrat umpan masuk melalui dasar reaktor yang kemudian terdistribusi di antara material penyangga tetap dan keluar melalui bagian atas<sup>(23)</sup>.

Pada sistem *upflow* terjadi akumulasi bakteri, sedangkan reaktor dengan sistem *down flow* substrat umpan masuk melalui bagian atas reaktor yang kemudian terdistribusi di antara material penyangga tetap dan keluar melalui bagian bawah.

Modus operasi reaktor dengan sirkulasi effluent dapat memberikan keuntungan, bila limbah cair yang akan mempunyai konsentrasi COD atau *suspended solid* yang tinggi. Laju degradasi bahan organik dapat mencapai 75% sampai 95% untuk limbah cair yang tidak mengandung bahan padat dan hanya 40% sampai 50% untuk limbah cair yang mengandung padatan.

### 3.3.2. Material Penyangga atau Media

Bioreaktor lekat diam (*Fixed bed reaktor*) merupakan bioreaktor yang dilengkapi dengan media (*support material*) sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme. Media dalam operasinya dapat terendam sebagian atau seluruhnya, atau hanya dilewati air saja (tidak terendam sama sekali). Di dalam reaktor lekat diam ini, mikroorganisme tumbuh dan berkembang di atas suatu media dengan membentuk lapisan biofilm. Pada reaktor ini, media digunakan sebagai tumbuh mikroorganisme seluruhnya.

Material penyangga tetap dapat dibuat dari berbagai macam bahan tidak terdegradasi, misalnya : plastik, keramik, tanah liat, batu apung atau bahan alam lainnya. Ukuran dan bentuk material penyangga tetap yang digunakan dapat berbentuk tidak beraturan, yang dibuat dari sejenis plastik dengan bentuk geometri tertentu dan potongan bambu dengan ukuran tertentu.

Pada umumnya, media yang paling sering digunakan pada proses biologis adalah media plastik yang terbuat dari bahan PVC. Kelebihan-kelebihan dalam penggunaan media plastik antara lain:

- a. Ringan serta mempunyai luas permukaan spesifik yang cukup bervariasi dengan kisaran antara 85-226 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.
- b. Volume rongga yang besar dibanding media lainnya (hingga 95%) yang menyebabkan resiko kebutuhan kecil.
- c. Penyumbatan pada media yang terjadi sangat kecil.

Untuk mendapatkan permukaan media yang luas, media dapat dimodifikasikan dalam berbagai bentuk seperti bergelombang, silang-silang, dan sarang tawon<sup>(8)</sup>.

Adapun dua sifat penting yang harus ada dalam suatu media:

a. Luas permukaan media; semakin luas permukaan media, makin besar biomassa per unit volume. Luas permukaan media mempengaruhi jumlah mikroorganisme yang tumbuh sebagai biofilm pada permukaan media di dalam reaktor. Satuan luas permukaan menjadi sangat penting bila suatu biomassa punya kecenderungan membentuk lapisan biofilm yang sangat besar dibanding yang tersuspensi di antara rongga media.

b. Persentase ruang kosong; semakin besar ruang kosong, semakin besar kontak antara substrat dalam air buangan dengan biomassa yang menempel pada media pendukung.

### 3.3.3. Pembentukan Lapisan Biomassa

Lapisan biomassa atau biofilm didefinisikan sebagai lapisan sel mikroba yang berkaitan dengan penguraian zat organik yang melekat pada suatu permukaan media.

Pada permukaan yang terpapar oleh suatu aliran fluida, pembentukan biofilm merupakan hasil dari proses fisis, kimiawi dan biologis :

- a. Perpindahan dan adsorpsi molekul organik ke permukaan
- b. Perpindahan sel mikroba ke permukaan
- c. Pelekatan mikroorganisma ke permukaan
- d. Transformasi mikroorganisma meliputi proses pertumbuhan dan produksi substansi extra polimer.
- e. Pengelupasan bagian lapisan biofilm yang diakibatkan adanya tegangan tarik fluida.

Kecepatan pertumbuhan lapisan biofilm pada permukaan akan bertambah

akibat perkembangbiakan dan adsorpsi yang terus berlanjut sehingga terjadi proses akumulasi lapisan biomassa yang terbentuk lapisan lendir (*slime*). Pertumbuhan mikroorganisma akan terus berlangsung pada *slime* yang sudah terbentuk sehingga ketebalan *slime* bertambah.

Difusi makanan dan oksigen akan terus berlangsung sampai tercapai ketebalan maksimum sehingga pada kondisi ini difusi makanan dan oksigen tidak mampu lagi mencapai permukaan padatan yang akibatnya lapisan biomassa ini akan terbagi menjadi dua zona yaitu zona aerob dan zona anaerob. Pada kondisi ini mulai terjadi pengelupasan lapisan biomassa yang selanjutnya akan segera terbentuk koloni mikroorganisma yang baru sehingga pembentukan biofilm akan terus berlangsung. Proses pengelupasan ini juga disebabkan oleh pengikisan cairan yang berlebih yang mengalir melalui biofilm.

Di dalam reaktor biofilter, mikroorganisma 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 :

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

Permukaan media yang kontak dengan nutrisi yang terdapat dalam air buangan ini mengandung mikroorganisma yang akan membentuk

lapisan aktif biologis. Disamping itu oksigen terlarut juga merupakan faktor pembentukan lapisan film. 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<sup>(7)</sup>.

#### 4. PENUTUP

Proses nitrifikasi dapat berjalan dengan baik apabila kondisi lingkungan yang diperlukan bakteri dapat dipenuhi dengan baik.

Besar beban organik perlu diperhitungkan dalam pengolahan dengan proses nitrifikasi karena akan berpengaruh terhadap keasaman lingkungan yang akan memberikan kontribusi terhadap kinerja bakteri nitrifikasi.

Sumber limbah akan berpengaruh terhadap pemilihan proses pengolahan, bila limbah mengandung senyawa hidrokarbon yang dapat dipisahkan sebelumnya (misal limbah cair karet) maka perlu dilakukan *pre-treatment* untuk mengurangi beban organik yang masuk dalam reaktor aerob.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. **Alaerts, G.** dan **S. Santika**, 1984, *Metode Penelitian Air*, Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
2. **Barness, D.** and **Bliss, P. J.**, 1983, *Biological Control of nitrogen in Wastewater Treatment*, E & F.N Spon Ltd., New York.
3. **Cheremisinoff N.P.**, 1996, *Biotechnology for Waste and Wastewater Treatment*, Westwood, Noyes Publication, New Jersey, USA.
4. **Gerardi, Michael H**, 1994, *Wastewater Biology, the Life Process*. Water Environment Federation, USA.
5. **Grady, C.P., Leslie and L. Henry**, 1980, *Biological Wastewater Treatment*, Marcel Dekker, Inc., New York.
6. **Herlambang, A.** dan **Ruliasih, M**, Proses Denitrifikasi Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Nitrat, JTL, Vol 4(1), 2003, BPPT, Jakarta.
7. **oran, N.J.**, 1993, *Biological Wastewater treatment System: Theory and Operation*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester
8. **Malina, Joseph F. and Frederick G. Pohland**, 1992, *Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Waste*, Technomic Publishing Company, Inc. Pennsylvania
9. **Metcalf and Eddy**, 1991, *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*, 2<sup>nd</sup> edition, Mc Graw – Hill, New York.
10. **Metcalf and Eddy**, 2003, *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse*, 4<sup>th</sup> edition, Mc Graw – Hill, New York.
11. **Moersidik**, dan **B. Asikin**, 1992. *Proses Pengolahan Biologis*, Universitas Indonesia, Jakarta
12. **Pujiono, P.I.**, 1997. *Rekayasa Peralatan Pengolahan Air Limbah*, Puslitbang kimia Terapan-LIPI, Bandung. Rittmann, Bruce E and Mc Carty, Perry L, 2001, *Environmental Biotechnology : Principles and Application*, Mc Graw – Hill, New York.
13. **Gittmann, Bruce E and Mc Carty, Perry L**. 2001. *Environmental Biotechnology: Principles and Application*, Mc Graw – Hill, New York
14. **Sheng-Kun Chen, Chin-Kun Juaw and Sheng-Shun Cheng**, 1991, *Nitrification and Denitrification of High Strength Ammonium and Nitrite Wastewater with Biofilm Reactors*. Water Science and Technology Vol. 23. IWA Publishing, Great Britain.
15. **Sopiah, N.** dan **Titiresmi**, *Pengolahan Limbah Cair Karet secara Aerobik*, Gakuryoku, Vol V (2), 1999, Persada, Bogor
16. **Sykes, G.** and **F.A. Skinner**, *Microbial Aspect of Pollution*, Academic Press, New York.
17. **USEPA**, 1993, *Manual Nitrogen Control*, EPA/625/R-93/010, Washington D.C.