

## KAJIAN KINERJA FIXED BED DAN SUSPENDED GROWTH REACTORS DALAM PENYISIHAN AMMONIUM KONSENTRASI TINGGI

Retno Wulan Septiani<sup>\*)</sup>, Sudarno<sup>\*)</sup>, Ganjar Samudro<sup>\*)</sup>

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275  
email: [retnowulanseptiani@outlook.com](mailto:retnowulanseptiani@outlook.com)

### Abstrak

Ammonium merupakan bentuk primer dari penyebaran polutan nitrogen dalam badan air dan menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen dan mengakibatkan eutrofikasi. Keberadaan ammonium dalam air limbah merupakan salah satu dari berbagai masalah serius bagi lingkungan, karena dapat bersifat racun bagi ekosistem. Teknologi pengolahan air limbah untuk penyisihan ammonium sangat bervariasi, penelitian ini mengkaji proses penyisihan ammonium dengan menggunakan prinsip terlekat dan tersuspensi. Fixed bed reactor (FBR) dan suspended growth reactor (SGR) digunakan dalam penelitian ini, dengan variabel waktu tinggal yang sama (4 jam) untuk mengetahui reaktor mana yang memiliki efisiensi yang lebih baik dalam penyisihan ammonium dengan memantau proses nitrifikasinya dari parameter amonium, nitrit, nitrat dan pH. Suspended growth reactor menunjukkan penyisihan yang lebih stabil pada saat sistem batch, meskipun efisiensinya menunjukkan angka yang lebih kecil yaitu 14,69% dan 14,93% untuk fixed bed reactor. Aplikasi sistem kontinyu pada reaktor menunjukkan hasil bahwa efisiensi penyisihan ammonium pada fixed bed reactor menunjukkan hasil yang jauh lebih baik dan menurun ketika konsentrasi substrat dinaikkan. Jumlah  $\text{NaHCO}_3$  yang dimasukkan sangat berpengaruh dalam proses nitrifikasi, kebutuhan bakteri terhadap C serta kondisi lingkungan dengan pH optimum (8,0 – 8,5) mutlak harus terpenuhi.

**Kata kunci:** Ammonium, Nitrifikasi, Nitrit, Nitrat, fixed bed reactor, suspended growth reactor

### Abstract

[A Study of the Fixed Bed and Suspended Growth Reactors in Removing High Concentration of Ammonium]. Ammonium is a primary form of dissemination of nitrogen pollutants in water bodies that can increase the oxygen demands and cause eutrophication in the water ecosystem. The existence of ammonium in wastewater is one of the serious problems for the environment which can be toxic to the ecosystem. Wastewater treatment technology for ammonium removal is widely varied, this study investigated the process of ammonium removal using attached and suspended principles. Fixed Bed Reactor and Suspended Growth Reactor are used in this study, with the same Hydraulic Retention Time is 4 hours to determine which reactor with better efficiency in removing ammonium compounds by monitoring on the nitrification process parameters that are ammonium, nitrite, nitrate and pH. Suspended Growth Reactors showed more stable ammonium removal in the batch system, while its efficiency showed smaller value which is 14.69% and 14.93% for Fixed Bed Reactors. Furthermore, in the continuous system, Fixed Bed Reactor showed better result on the efficiency of ammonium removal than Suspended Growth Reactor. Its efficiency decreased while increasing the ammonium concentration of substrate.  $\text{NaHCO}_3$  ratio has significant effect on the nitrification process, the bacteria needs Carbon element and the environmental condition with optimum pH (8.0 to 8.5).

**Keywords:** Ammonium, Nitrification, Nitrite, Nitrate, fixed bed reactor, suspended growth reactor

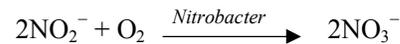
## PENDAHULUAN

Keberadaan ammonium dalam air limbah merupakan salah satu dari berbagai masalah serius bagi lingkungan, karena dapat bersifat racun bagi hewan air dan ekosistem (Zheng *et al.*, 2008). Ammonium merupakan bentuk primer dari penyebaran polutan nitrogen dalam badan air dan menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen dan mengakibatkan eutrofikasi (Sprynskyy *et al.*, 2005). Secara umum prinsip pengolahan air limbah secara biologi dapat dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu *attached growth process* (proses pertumbuhan terlekat) dan *suspended growth process* (proses pertumbuhan tersuspensi) (Metcalf dan Eddy, 2004). Dalam Goh Chin Ping (2008), Steve menyebutkan bahwa sistem biomassa terlekat memiliki aktivitas mikroorganisme yang lebih baik dibandingkan dengan sistem biomassa tersuspensi.

*Fixed Bed* atau biofilter adalah reaktor berisi media (batu, *plastic raschig ring*, *flexi ring*, *plastic ball*, *cross flow* dan *tubular media*, kayu, bambu atau yang lainnya) untuk perlekatan bakteri (Tri dan Ali, 2015). Dalam penelitian Haseborg *et al.* (2009) tentang mikroorganisme nitrifikasi dalam *fixed-bed biofilm reactor* konsentrasi ammonium yang tinggi meningkatkan populasi bakteri pengoksidasi ammonia dan konsentrasi nitrit yang tinggi meningkatkan populasi *nitrobacter*.

Nitrifikasi merupakan proses biologi dimana ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dioksidasi menjadi ion nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) dan Nitrit dioksidasi menjadi nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Metcalf & Eddy, 2004). Proses konsumsi oksigen bebas oleh bakteri pada tahap nitrifikasi disebut juga dengan istilah *nitrogenous demand*. Pelepasan ion  $\text{H}^+$  yang terjadi

pada reaksi 1 dan 2 memungkinkan adanya penurunan pH (Von Sperling, 2008).



Untuk menunjukkan hubungan antara  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  dan  $\text{NO}_3^-$ , maka efisiensi nitrifikasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini (Wittebolle *et al.*, 2009).

$$\text{Efisiensi nitrifikasi (\%)} = 1 - \frac{\text{NH}_4^+ \text{ effluen} + \text{NO}_2^- \text{ effluen} + \text{NO}_3^- \text{ effluen}}{\text{NH}_4^+ \text{ influen}} \times 100\%$$

Pengolahan air limbah secara biologi dengan prinsip reaktor *batch* merupakan pengoperasian yang mudah yang hanya membutuhkan kultur media tumbuh mikroorganisme (Flickinger, 2013). Prinsip kontinyu yaitu melewati air limbah melalui reaktor secara kontinyu dengan inlet dan outlet agar polutan dalam air limbah dapat disisihkan (Stephenson & Judd, 2002). Pada umumnya reaktor dengan prinsip kontinyu diawali dengan proses *batch* terlebih dahulu untuk penanaman mikroorganisme (Buckbee & Alford, 2008).

*Fixed Bed Reactor* atau biofilter adalah metode pengolahan air limbah secara biologis dengan prinsip biofilm. Reaktor dengan biomassa yang menempel pada suatu media telah banyak digunakan untuk penyisihan polutan dalam air limbah. *Fixed bed reactor* juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah dengan memanfaatkan media tumbuh yang digunakan dalam reaktor (Widayat, Suprihatin, & Herlambang, 2010). Konsentrasi mikroorganisme pada *Fixed Bed Reactor* dapat ditingkatkan dengan

menyediakan permukaan yang lebih luas di dalam reaktor (T. Nandy *et al.*, 2002).

*Suspended growth reactor* atau *activated sludge* atau lumpur aktif merupakan salah satu proses biologi yang umum digunakan. *Suspended growth reactor* dapat digunakan untuk pengolahan limbah dengan kandungan materi organik maupun tersuspensi. Mikroorganisme berperan mengoksidasi materi organik menjadi  $O_2$ ,  $CO_2$ , air dan sel baru (Eckenfelder, 2000)

## METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan pada September 2016 - Januari 2017. Sementara itu, pengambilan sampel air limbah yang telah diolah dan analisis hasil sampling dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

- Variabel Bebas:** Jenis reaktor (*fixed bed reactor* dan *suspended growth reactor*) dan konsentrasi substrat (100 dan 150 mg  $NH_4^+$  - N/L).
- Variabel terikat:** Ammonium, Nitrit, Nitrat, efisiensi penyisihan.
- Variabel kontrol:** HRT (4 jam) dan pH.

Inoculum yang digunakan merupakan sedimen yang berasal dari sawah. Sedimen tersebut sebelumnya telah diuji dan dibandingkan potensi nitrifikasinya dengan sedimen dari perairan lain.

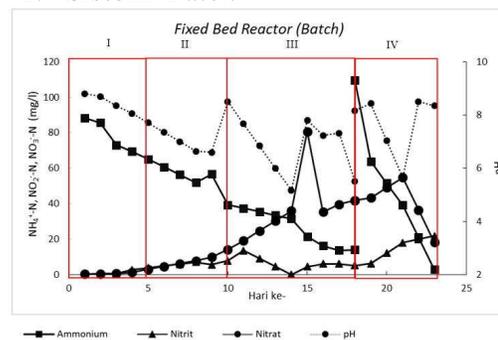
Limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah artifisial yang terbuat dari campuran air,  $NH_4Cl$  sebagai sumber ammonium dengan konsentrasi 382,14 mg/L untuk menghasilkan air limbah dengan konsentrasi 100 mg  $NH_4^+$ -N/L dan 573,21 mg/L untuk konsentrasi 150 mg  $NH_4^+$ -N/L. Selain itu,  $NaHCO_3$

ditambahkan pada campuran air limbah sebagai pH buffer, karena proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh pH. Perbandingan  $NaHCO_3$  yang ditambahkan 9:1 terhadap konsentrasi  $NH_4^+$ -N per liter (Lv *et al.*, 2016).

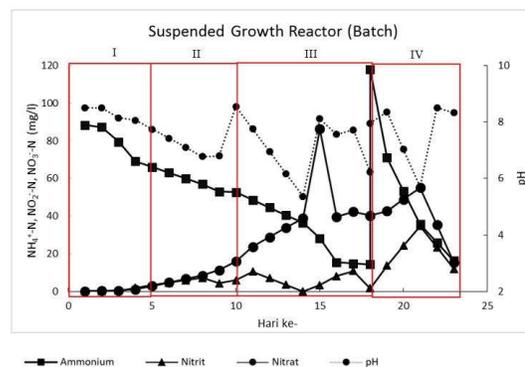
Sementara itu, analisis laboratorium air limbah dilakukan dengan metode SNI 01-3554-2006 untuk parameter Nitrat, DEV Prosedur E5 DIN 38406 untuk parameter ammonium dan nitrit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Sistem *Batch*



Gambar 1. Proses Nitrifikasi pada *Fixed Bed Reactor* secara *Batch*



Gambar 2. Proses Nitrifikasi pada *Suspended Growth Reactor* secara *Batch*

Nilai pH dalam reaktor pada awal masa *seeding* dan aklimatisasi mencapai 8,8. Kondisi ini merupakan kondisi optimum untuk proses nitrifikasi (Gerardi, 2006), sehingga diharapkan bakteri lebih cepat bergenerasi. Pada

periode I (hari ke 1-5), kedua reaktor menunjukkan masa adaptasi bakteri dengan kondisi di dalam reaktor. Setelah hari ke 2, penyisihan ammonium pada FBR mulai meningkat dengan efisiensi 15% dan cenderung stabil pada kisaran 5-6% hingga akhir periode I. Sementara itu, pada SGR penyisihan ammonium meningkat setelah hari ke 2 dengan efisiensi penyisihan mencapai 13 % dan 6% pada akhir periode I. Penyisihan ammonium terus terjadi diiringi dengan menurunnya nilai pH. Penurunan nilai pH terjadi akibat pelepasan ion  $H^+$  pada saat berlangsungnya oksidasi ammonium (Gerardi, 2006).

Periode II (hari ke 6-10), proses penyisihan ammonium terjadi dengan stabil efisiensi 7-8% pada FBR dan 5% pada SGR, dan penyisihan ammonium terhambat akibat rendahnya pH. Penghambatan penyisihan ammonium ini terjadi akibat jenuhnya membran sel bakteri oleh ion  $H^+$  sehingga proses oksidasi  $NH_4^+$  terhambat (Agustiyani, 2004). Peningkatan nilai pH dilakukan setelah hari ke 9. Pada periode ini konsentrasi nitrat dan nitrit terus meningkat namun dalam jumlah yang kecil.

Peningkatan nilai pH dilakukan menjelang periode III (hari ke 11-18), menyebabkan peningkatan penyisihan ammonium dan produksi nitrit. Konsentrasi nitrit sempat naik di hari ke 11 hingga 14 mg  $NO_2^-$ -N/L pada FBR dan 11 mg  $NO_2^-$ -N/L pada SGR, namun dapat dioksidasi dengan baik oleh *nitrobacter* pada hari berikutnya. Rata-rata penyisihan ammonium pada periode ini adalah 4,3 mg  $NH_4^+$ -N/L.hari (FBR) dan 3,8 mg  $NH_4^+$ -N/L.hari (SGR). Konsentrasi ammonium pada akhir periode III mencapai 14 mg  $NH_4^+$ -N/L pada kedua reaktor dan dilakukan penambahan konsentrasi ammonium

untuk mempertahankan ketersediaan nutrisi bagi bakteri nitrifikasi.

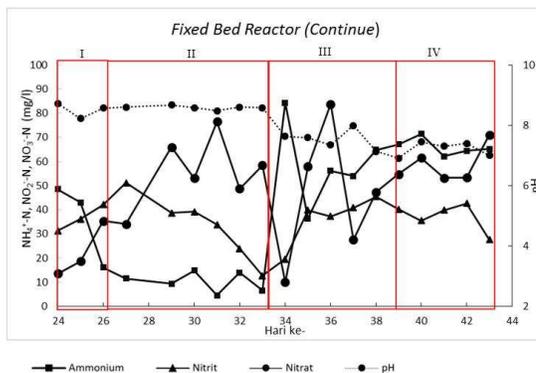
Periode IV (hari ke 19-23), aktivitas bakteri yang baik pada tahap ini memberikan keuntungan pada penyisihan ammonium yang baik meskipun konsentrasi ammonium ditingkatkan. Pada fase ini bakteri dianggap berada pada kondisi stasioner. Penyisihan ammonium tertinggi terjadi pada hari ke 19 sebesar 46 mg  $NH_4^+$ -N/L.hari (FBR) dan 47 mg  $NH_4^+$ -N/L.hari (SGR). Konsentrasi nitrit sempat mengalami peningkatan hingga pada konsentrasi 34,77 mg  $NO_2^-$ -N/L (SGR) di hari ke 21, namun *nitrobacter* masih mampu mengoksidasi nitrit dengan baik hingga akhir periode IV. membutuhkan waktu sedikit yang lebih lama dibandingkan proses oksidasi ammonium. Populasi *nitrobacter* pada umumnya lebih sedikit dibandingkan dengan *nitrosomonas*, kemampuan generasi yang lambat merupakan akibat dari rendahnya energi yang didapatkan dari hasil oksidasi nitrit. Dibandingkan dengan *nitrosomonas* yang mendapatkan energi yang lebih banyak dari proses oksidasi ammonium (Gerardi, 2002). Di sisi lain, *nitrobacter* pada FBR terlihat memiliki aktivitas yang lebih baik.

### 1. Sistem Kontinyu

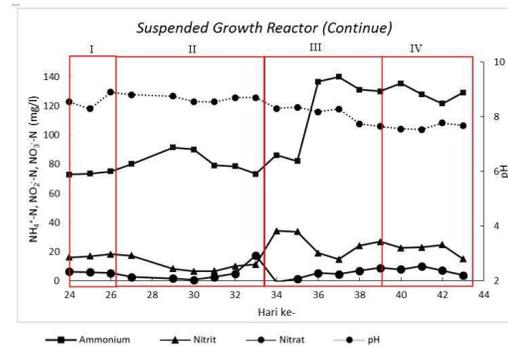
Tahap *running* dalam penelitian ini dilakukan dengan sistem kontinyu untuk kedua reaktor. Air limbah dialirkan melewati reaktor dengan waktu tinggal (HRT) selama 4 jam (Mazumder, 2010). Konsentrasi ammonium pada air limbah yang dialirkan yakni sebesar 100 mg  $NH_4^+$ -N/L dan akan dinaikkan hingga 150 mg  $NH_4^+$ -N/L. Kondisi pH di dalam reaktor diatur pada kondisi optimum untuk proses nitrifikasi dengan penambahan  $NaHCO_3$  (Lv *et al.*, 2016).

Periodisasi kembali dilakukan berdasarkan perilaku bakteri yang dicerminkan onleh hasil data penelitian.

Periode I (hari ke 1-3), merupakan masa bagi bakteri untuk beradaptasi dengan sistem kontinyu. Konsentrasi pada masa adaptasi ini menunjukkan penyisihan ammonium yang mengalami perkembangan. Konsentrasi ammonium terlihat mulai menurun drastis setelah hari ke 3 yakni dari 57 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ .hari menjadi 84 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ .hari (FBR). Hal ini diiringi dengan produksi senyawa nitrit yang tinggi hingga pada konsentrasi 42 mg  $\text{NO}_2^-\text{-N/L}$  di akhir periode I. Sementara itu, *nitrobacter* terlihat masih membutuhkan waktu untuk beradaptasi. Hal ini terlihat dari konsentrasi nitrat yang lebih rendah dari nitrit yang menunjukkan kurangnya aktivitas oksidasi senyawa nitrit oleh *nitrobacter*. Di sisi lain, penyisihan ammonium pada SGR terlihat stagnan dengan rata-rata penyisihan 26 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ .hari. Penyisihan ammonium yang lebih kecil menyebabkan rendahnya produksi nitrit dan nitrat pada reaktor.



Gambar 3. Proses Nitrifikasi pada Fixed Bed Reactor secara Continue



Gambar 4. Proses Nitrifikasi pada Suspended Growth Reactor secara Continue

Periode II (hari ke 4-9), penyisihan ammonium sudah mulai menunjukkan kestabilan penyisihannya pada FBR. Peningkatan produksi nitrat sudah mulai terlihat setelah hari ke 4, kondisi ini didukung dengan penurunan konsentrasi nitrit yang juga terjadi. Pada SGR fluktuasi konsentrasi ammonium mulai terlihat namun juga mengalami peningkatan penyisihan pada akhir periode II. Hal ini diperkirakan karena bakteri pada SGR membutuhkan waktu yang lebih lama untuk beradaptasi. Rata-rata penyisihan ammonium pada periode II mencapai 90 % (FBR) dan 17%(SGR).

Periode III (10-14), pada periode ini konsentrasi ammonium pada air limbah ditingkatkan menjadi 150 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ . Bakteri kembali melakukan adaptasi dengan konsentrasi ammonium yang lebih tinggi. FBR hanya mampu menyisihkan 66 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$  atau sebesar 44% di hari ke 10. Sedangkan SGR mampu menyisihkan 64-68 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ .hari di hari ke 10-11. Hal ini disebabkan oleh inlet yang tersumbat, sehingga menyebabkan adanya peningkatan HRT di dalam reaktor.

Kemampuan penyisihan ammonium FBR meningkat pada hari ke 13 dengan penyisihan sebesar 64 % hingga akhir periode III. Konsentrasi

nitrat mengalami fluktuasi yang sangat tajam dengan penurunan hingga pada konsentrasi 10,02 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L pada hari ke 11 dan meningkat hingga konsentrasi 83,83 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L. Di sisi lain, konsentrasi nitrit memiliki rata-rata sebesar 36,6 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L. Namun hal ini menunjukkan bahwa *nitrobacter* mampu beradaptasi dengan baik dengan aktivitas oksidasi nitrit yang baik. Berbeda dengan *nitrobacter* pada SGR yang tidak mampu melakukan proses oksidasi nitrit dengan baik, dengan ditunjukkannya konsentrasi nitrat yang kecil dengan rata-rata 3,6 mg  $\text{NO}_3^-$ -N/L, dimana nitrit mempunyai nilai rata-rata sebesar 25,2 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L. Rendahnya penyisihan ammonium pada SGR mencerminkan masa adaptasi bakteri yakni sebesar 7-9% pada hari ke 13-14.

Periode IV (hari ke 15-19), konsentrasi ammonium sudah menunjukkan angka yang cenderung stabil yaitu dengan rata-rata 66 mg  $\text{NH}_4^+$ -N/L atau 56% sebagai rata-rata efisiensi penyisihannya (FBR). Pada SGR, efisien penyisihan ammonium dengan nilai yang tidak terlalu fluktuatif mempunyai rata-rata sebesar 13% atau 21 mg  $\text{NH}_4^+$ -N/L.hari. Hal ini diikuti dengan laju produksi nitrit dan nitrat yang cenderung stagnan dan tidak mengalami peningkatan.

Apabila kedua reaktor dibandingkan, *fixed bed reactor* memiliki efisiensi penyisihan ammonium yang jauh lebih baik. Biofilm yang terbentuk pada BioBall memungkinkan bakteri untuk mempertahankan komunitasnya (Von Sperling, 2008). Bakteri nitrifikasi memiliki kemampuan yang lemah dalam membentuk flok (Gerardi, 2002). Pada *suspended growth reactor*, biomassa yang terbawa aliran menuju outlet diasumsikan sebagai penyebab

rendahnya efisiensi penyisihan ammonium karena populasi bakteri nitrifikasi yang lebih sedikit.

Selain itu, peningkatan konsentrasi ammonium pada hari ke 19 menyebabkan menurunnya efisiensi penyisihan ammonium. Dalam penelitian Muhamad *et al.* (2015),kemampuan penyisihan ammonium menurun ketika beban ammonium meningkat. Hal ini karena populasi bakteri yang ada belum mampu mengoksidasi besarnya konsentrasi ammonium yang masuk. Mengingat bakteri nitrifikasi merupakan jenis bakteri yang membutuhkan waktu yang tidak singkat untuk bergenerasi, maka membutuhkan waktu untuk dapat mencapai efisiensi yang tinggi untuk menyisihkan ammonium dengan konsentrasi tinggi.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

- 1) *Fixed bed reactor* memiliki efisiensi penyisihan ammonium yang lebih baik dibandingkan dengan *suspended growth reactor*.

Efisiensi penyisihan ammonium pada *fixed bed reactor* dan *suspended growth reactor* menunjukkan angka yang lebih baik pada konsentrasi air limbah sebesar 100 mg  $\text{NH}_4^+$  -N /L dibandingkan dengan kondisi pada konsentrasi 150 mg  $\text{NH}_4^+$  -N /L.

## Daftar Pustaka

Agustiyani, D. (2004). Effect of pH and organic substrate on growth and activities of ammonia-oxidizing bacteria. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 5(2), 43–47.



- Buckbee, G. P. E., & Alford, J. (2008). *Automation Application in Biopharmaceuticals*. USA: ISA Publishing.
- Eckenfelder, W. W. (2000). *Industrial Water Pollution Control* (3rd ed.). Singapore: Mc Graw - Hill Book Co.
- Flickinger, M. C. (Ed.). (2013). *Upstream Industrial Biotechnology*. New Jersey: Wiley Interscience.
- Gerardi, M. H. (2006). *Wastewater*. New Jersey: John Wiley and Son, Inc.
- Lv, Y., Ju, K., Sun, T., Wang, L., Miao, R., Liu, T., & Wang, X. (2016). Effect of the Dissolved Oxygen Concentration on the N<sub>2</sub>O Emission from an Autotrophic Partial Nitrification Reactor Treating High-Ammonium Wastewater. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 114, 209–215.
- Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Companies.
- Sprynskyy, M., Lebedynets, M., Zbytniewski, R., Namieoienik, J., & Buszewski, B. (2005). Ammonium Removal from Aqueous Solution by Natural Zeolite, Transcarpathianmordenite, Kinetics, Equilibrium and Column Tests. *Purification Technology*, 3(46), 155–160.
- Stephenson, T., & Judd, S. (2002). *Process Science and Engineering for Water and Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing. Retrieved from
- Tri, I. K., & Ali, M. (2015). Anaerob Fixed Bed Reaktor untuk Menurunkan COD , Fosfat ( PO<sub>4</sub> ) Dan Deterjen ( LAS ). *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(2), 65–72.
- Von Sperling, M. (2008). *Biological Wastewater Treatment Vol.2: Basic principles of wastewater treatment*. *Choice Reviews Online* (Vol. 45). London: IWA Publishing.
- Widayat, W., Suprihatin, & Herlambang, A. (2010). Penyisihan Amoniak dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Air Baku PDAM-IPA Bojong Renged dengan Proses Biofiltrasi Menggunakan Media Plastik. *Jurnal Air Indonesia*, 64–76.
- Wittebolle, L., Verstraete, W., & Boon, N. (2009). The inoculum effect on the ammonia-oxidizing bacterial communities in parallel sequential batch reactors. *Water Research*, 43(17), 4149–4158.
- Zheng, H., Han, L., Ma, H., Zheng, Y., Zhang, H., & Liu, D. (2008). Adsorption Characteristics of Ammonium Ion by Zeolite 13X. *J Hazard Mater*, 158(577), 84.