

SKRIPSI

**PENGARUH LOGAM BERAT (Besi, Timbal, Mangan)
TERHADAP PROSES PEMBENTUKAN KRISTAL *STRUVITE*
PADA ALAT *AERATION COLUMN CRYSTALLIZER***



**Dibuat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Strata-1
Pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang**

Oleh :

M. APRI GINANJAR SYAHPUTRA (12 2015 052)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

2019

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

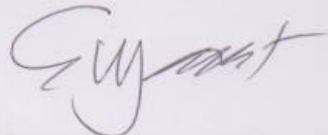
**PENGARUH LOGAM BERAT (Besi, Timbal, Mangan)
TERHADAP PROSES PEMBENTUKAN KRISTAL *STRUVITE*
PADA ALAT *AERATION COLUMN CRYSTALLIZER***

Oleh :

M. APRI GINANJAR SYAHPUTRA 12.2015.052

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Dr. Eko Ariyanto, M.Chem Eng

NIDN :0217067504

Pembimbing II



Ir. Legio, M.Si

NIDN : 0217086803

Mengetahui,

‡ **Ketua Program Studi Teknik Kimia FT-UMP**



Netty Herawati, ST, MT

NIDN :0225017601

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LOGAM BERAT (Besi, Timbal, Mangan)
TERHADAP PROSES PEMBENTUKAN KRISTAL STRUVITE
PADA ALAT AERATION COLUMN CRYSTALLIZER**

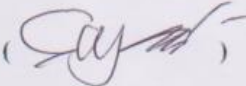
Oleh :

M. APRI GINANJAR SYAHPUTRA 12.2015.052

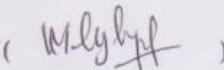
Telah diuji di hadapan tim penguji pada tanggal 29 Agustus 2019
di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Palembang

Tim Penguji :


1. Dr. Eko Ariyanto, M.ChemEng

()

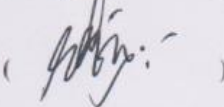
2. Dr. Mardwita, MT

()

3. Dr. Ir. Efidiah, MT

()

4. Ir. Legiso, M.Si

()

Menyetujui,

Dekan Fakultas Teknik UMP



Dr. Ir. Kgs A Roni, MT

NIDN : 0227077004

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Kimia



Netty Herawati, ST, MT

NIDN : 0225017601

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Apri Ginanjar Syahputra

Tempat/Tanggal lahir : Palembang , 22 April 1997

NIM : 122015052

Program Studi : Teknik Kimia

Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Palembang

Menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah hasil karya saya dan disusun sendiri dengan sungguh-sungguh serta bukan merupakan penjiplakan karya orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, maka saya sanggup menerima sanksi berupa pembatalan skripsi ini dan segala konsekuensinya.
2. Saya bersedia untuk menanggung segala bentuk tuntutan hukum yang mungkin timbul jika terdapat pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.
3. Memberikan hak kepada Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Palembang untuk menyimpan, alih media, mengelola dan menampilkan/mempublikasikannya di media secara fulltext untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Palembang, 29 Agustus 2019



Muhammad Apri Ginanjar Syahputra

ABSTRAK

PENGARUH LOGAM BERAT (Besi, Timbal, Mangan) TERHADAP PROSES PEMBENTUKAN KRISTAL *STRUVITE* PADA ALAT *AERATION COLUMN CRYSTALLIZER*

Oleh:

Muhammad Apri Ginanjar Syahputra (12.2015.052)

Struvite adalah kristal putih secara kimia dikenal sebagai magnesium amonium fosfor hexahydrate ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap persentase penyisihan PO_4 dan NH_4 pada proses pembentukan struvite kristal dari urine manusia. Ion Logam Berat dapat mengganggu efisiensi pertumbuhan kristal, menyebabkan penurunan kecepatan pengendapan, dan menyebabkan penurunan kecepatan removal. Padatan dalam air limbah memiliki dampak serta manfaat terhadap pertumbuhan kristal struvite. Di satu sisi, padatan tersuspensi mungkin memberikan embrio pada tahap pertama pembentukan kristal dan meningkatkan pengendapan. Di sisi lain, padatan dapat menjadi kotoran yang dapat menghambat peningkatan ukuran kristal dengan memblokir bagian aktif pertumbuhan (Corre et al., 2005).

Kata kunci : Struvite, Logam Berat, Penyisihan PO_4

Abstract

Struvite is a white crystal chemically known as magnesium ammonium phosphorus hexahydrate ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). This study aims to determine the effect of pH on the percentage of PO_4 and NH_4 removal in the formation of struvite crystals from human urine. Heavy Metal ions can interfere with the efficiency of crystal growth, cause a decrease in depositional speed, and cause a decrease in removal speed. Solids in wastewater have an impact as well as benefits on the growth of struvite crystals. On the one hand, suspended solids may give embryos in the first stage of crystal formation and increase deposition. On the other hand, solids can become impurities which can inhibit the increase in crystal size by blocking the active part of growth (Corre et al., 2005).

Keywords : Struvite, Heavy Metals, Allowance for PO_4

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur selalu dipanjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan karunia-NYA penelitian ini dapat kami selesaikan tepat pada waktunya. Laporan ini berjudul **“Pengaruh Logam Berat (Besi, Timbal, Mangan) Terhadap Proses Pembentukan Struvite Kristal Pada Alat Aeration Column Crystallizer”**. Laporan ini disusun berdasarkan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Penulisan laporan penelitian ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk syarat sarjana di Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang. Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa hasil dari penulisan laporan penelitian ini tidak terlepas dari kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun, penulis sangat harapkan guna kesempurnaan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih penulis haturkan terutama kepada dosen pembimbing tugas akhir, Bapak Dr. Eko Ariyanto, M.Chem.Eng, dan Bapak Ir. Legiso M.si selaku Dosen pembimbing 1 dan 2 Tugas Akhir, yang telah banyak meluangkan waktu dan membantu membukakan cakrawala berpikir penyusun melalui arahan, motivasi dan bimbingannya.

Pada kesempatan ini, Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eko Ariyanto, M.Chem.Eng, dan Bapak Ir. Legiso, M.Si selaku Dosen pembimbing 1 dan 2 Tugas Akhir.
2. Ibu Netty Herawati, ST, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Dr. Mardwita, MT selaku sekretaris Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mata kuliah serta membimbing dari awal sampai akhir kuliah.
5. Teman – teman Teknik Kimia dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang terlibat dan turut membantu dalam penyelesaian laporan penelitian ini.

Palembang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengaruh Kehadiran Logam Berat.....	4
2.2 Presipitasi Kimia	9
2.3 Presipitasi Struvite.....	9
2.4 Pembentukan Struvite	9
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Struvite.....	11
2.5.1 Derajat Keasaman (pH).....	11
2.5.2 Pengaruh Laju Aerasi.....	12
2.5.3 Pengaruh Kehadiran Ion Pengotor (Impurities).....	12
2.6 Penelitian Sebelumnya yang Mempelajari Struvite.....	13
BAB III Metodologi Penelitian	
3.1 Lokasi penelitian	16
3.2 Bahan yang digunakan	16
3.3 Rangkaian Alat Penelitian.....	17

3.4	Kerangka Penelitian.....	18
3.5	Prosedur penelitian.....	18
3.6	Pengamatan Pengaruh Logam Berat Terhadap Struvite.....	19
3.7	Tabel Pengamatan.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Penelitian	20
4.1.1	Karakteristik Pengaruh Logam Berat.....	20
4.1.2	Pengujian Awal Karakteristik.....	20
4.1.3	Pengaruh Tanpa Logam Berat terhadap PO ₄	21
4.1.4	Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Terhadap PO ₄	22
4.1.5	Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Kandungan PO ₄	22
4.1.6	Pengaruh Logam Berat Mangan (Mn) Terhadap Kandungan PO ₄	23
4.1.7	Pengaruh Kehadiran Logam Berat.....	24
4.2	Pembahasan.....	24
4.2.2	Penelitian Pengaruh Tanpa Logam Berat Terhadap PO ₄	25
4.2.3	Penelitian Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Terhadap PO ₄	26
4.2.4	Penelitian Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Kandungan PO ₄	27
4.2.5	Penelitian Pengaruh Logam Berat Mangan (Mn) terhadap Kandungan PO ₄	28
4.2.6	Pengaruh Logam Berat Terhadap pH.....	29
4.3	Karakteristik Pengaruh Logam Berat Dalam Penyisihan PO ₄ Terhadap Pembentukan Struvite Kristal.....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN.....		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mineral MAP.....	10
Gambar 3.1 sistem Aeration Column Crystallizer.....	17
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	18
Gambar 4.1 Pengaruh Tanpa Logam Berat Terhadap Kandungan PO ₄	26
Gambar 4.2 Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Terhadap Kandungan PO ₄	27
Gambar 4.3 Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Kandungan PO ₄ ...	28
Gambar 4.4 Pengaruh Logam Berat Mangan (Mn) terhadap Kandungan PO ₄ ...	29
Gambar 4.5 Pengaruh Logam Berat Terhadap pH.....	30
Gambar 4.6 Pengaruh Logam Berat Terhadap Penyisihan Kandungan PO ₄	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 pH kelarutan minimum struvite.....	11
Tabel 3.1 Pengamatan Konsentrasi PO ₄ (Mg/L).....	19
Tabel 4.1 data hasil penelitian penyisihan kandungan PO ₄	20
Tabel 4.2 kandungan PO ₄ pada sampel yang digunakan dalam penelitian.....	20
Tabel 4.3 Pengaruh Tanpa Logam Berat Terhadap PO ₄ Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	21
Tabel 4.4 Pengaruh Tanpa Logam Berat Terhadap pH Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	21
Tabel 4.5 Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Terhadap PO ₄ Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	22
Tabel 4.6 Pengaruh Logam Berat Besi (Fe) Terhadap pH Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	22
Tabel 4.7 Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap PO ₄ Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	23
Tabel 4.8 Pengaruh Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap pH Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	23
Tabel 4.9 Pengaruh Logam Berat Mangan (Mn) Terhadap PO ₄ Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	23
Tabel 4.10 Pengaruh Logam Berat Mangan (Mn) Terhadap pH Selama 60 Menit Pada Temperature 25oC, pH 9 , Rasio PO ₄ :Mg 1:1.....	24

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Presipitasi *struvite* atau *Ammonium Magnesium Phosphate Hexahydrate* ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Chauhan, 2014) adalah kristal putih terdiri dari magnesium, amonium, dan fosfat (Ariyanto dkk, 2015). Parameter yang merupakan faktor penting pada proses pengendapan *struvite* adalah pH larutan. Peningkatan pH larutan dari 8 sampai 10 dapat meningkatkan penyisihan fosfat 80-90%. Proses pembentukan *struvite* adalah dengan mereaksikan Mg^{2+} , NH_4^+ dan PO_4^{3-} . Reaksi pembentukan *struvite* kristal terjadi apabila konsentrasi magnesium, amonium dan fosfor dalam larutan melebihi *solubility product* (KSP) (Ariyanto dkk, 2014, Ohlinger dan Schroeder, 1998).

Faktor lainnya adalah rasio molar $\text{Mg}^{2+}:\text{NH}_4^+:\text{PO}_4^{3-}$ (Kumar dan Pal, 2013) dan gradien kecepatan. Berdasarkan penelitian Pratama (2015) presipitasi optimal terjadi pada rasio molar $[\text{Mg}^{2+}]:[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ 2:1:1. Total 30,74% amonium dan 99,75% fosfat dapat disisihkan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Sedangkan pada penelitian Warmadewanthi dan Liu (2008) presipitasi *struvite* terjadi secara optimal pada rasio molar $[\text{Mg}^{2+}]:[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ 2,5:15:1 dan pH 9. Total 33,5% ammonium dan 92,5% fosfat dapat disisihkan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm.

Presipitasi *struvite* menggunakan berbagai sumber Mg sebagai agen presipitan. Urutan keunggulan presipitan dalam mereduksi fosfat adalah $\text{MgCl}_2 > \text{MgSO}_4 > \text{MgO} > \text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{MgCO}_3$ (Zeng dan Li, 2006). Urutan ekonomis dari bahan presipitan adalah untuk presipitan MgO lebih ekonomis (murah) daripada MgCl_2 dan MgSO_4 (Hug, Alexandra, 2013). Selain ekonomis, MgO mampu menaikkan pH dengan limbah fosfat. Namun MgCl_2 lebih sering digunakan karena kelarutannya lebih baik dan proses presipitasi berlangsung dengan lebih efektif (Warmadewanthi dan Liu, 2008). Selain itu, penggunaan MgCl_2 selama ini

lebih sering digunakan sebagai presipitan untuk pengendapan amonium dan fosfat, sehingga penelitian ini menggunakan presipitan $MgCl_2$.

Faktor lain yang berpengaruh adalah adanya ion-ion pengganggu di dalam air limbah (Khai *et al.*, 2012). Kehadiran ion Ca^{2+} dalam larutan memiliki dampak 3 signifikan terhadap kristalisasi *struvite* pada ukuran, bentuk dan kemurniannya. Pada larutan basa (alkali) dan kehadiran ion kalsium, kalsium fosfat (dalam sistem air limbah umumnya disebut kristal *hydroxylapatite*) atau kalsium karbonat, yang dapat bereaksi dengan fosfat atau ion karbonat (Booker *et al.*, 1999; Ohlinger *et al.*, 1999). Peningkatan konsentrasi kalsium akan mengurangi ukuran kristal, menghambat pembentukan *struvite* yang mengarah pada pembentukan zat amorf dari pada Kristal *struvite* (Le Corre *et al.*, 2005).

Ion pengotor lainnya yang terkandung dalam limbah fosfat pupuk mineral diantaranya silika yang mempengaruhi pembentukan kristal *struvite* ukuran menjadi lebih kecil, homogenitas yang lebih rendah, menghasilkan bentuk geometris Kristal *struvite* menjadi beragam sehingga menjadi bentuk yang cacat tidak beraturan (Kozik, *et al.*, 2014).

1.2 Permasalahan

Penelitian ini memanfaatkan unsur PO_4 dan NH_4 dengan proses kristalisasi untuk membentuk *struvite* kristal dengan reaktan ion Mg yang berasal dari $MgCl_2$ dengan menggunakan proses Aerasi. dengan menggunakan variasi kehadiran ion lain Fe, Pb dan Mn. Selain itu, proses kristalisasi ini diharapkan dapat memberikan hasil yang maksimum dalam pengolahan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh logam berat Besi (Fe) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4 pada proses pembentukan *Struvite* Kristal.

2. Mempelajari pengaruh logam berat Timbal (Pb) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4 pada proses pembentukan Struvite Kristal.
3. Mempelajari pengaruh logam berat Mangan (Mn) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4 pada proses pembentukan Struvite Kristal.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh logam berat Besi (Fe) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4
2. Mengetahui pengaruh logam berat Timbal (Pb) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4
3. Mengetahui pengaruh logam berat Mangan (Mn) terhadap konsentrasi penyisihan PO_4
4. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan untuk kristalisasi.
5. Mengetahui proses kinetika struvite kristal.
6. Data yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk pembuatan pupuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbona, F., Lundager, M.H.E., dan Boistelle, R. 1988. *The Final Phases of Calcium and Magnesium Fosfats Precipitated from Solutions of High to Medium Concentration*. Journal of Crystal Growth. Vol. 89, No. 13. Hal. 592-602.
- Ali, M. I., Schneider, P. A., dan Hudson, N. 2003. "Assessing nutrient recovery from piggery effluents". MODSIM03 NZ.
- Anggrainy, A. D., Bagastyo, A. Y., dan Hermana, Joni. 2014. *Pengaruh pH dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Proses Kristalisasi Fosfat Berkonsentrasi Rendah dalam Air Limbah*. Seminar Nasional Teknologi Lingkungan XI. Hal. 23-29.
- Ariyanto, E., dan T.K Sen. 2013. *Impact of Various Physico-chemical Parameters on Spontaneous Nucleation of Struvite (MgNH₄PO₄.6H₂O) Formation in a Wastewater Treatment Plant: Kinetic and Nucleation Mechanism*. Desalination and Water Treatment. Hal. 1-12.
- Ariyanto, E., T.K Sen, dan H.M. Ang. 2014. *The Influence of Various Physico-chemical Process Parameters on Kinetics and Growth Mechanism of Struvite Crystallisation*. Advanced Powder Technology. Vol. 25, No.2. Hal. 682-694.
- Ariyanto, E., Melani, A., Anggraini, T. 2015. *Penyisihan PO₄ dalam Air Limbah Rumah Sakit untuk Produksi Pupuk Struvite*. Seminar Nasional dan Teknologi 2015. Hal. 1-8
- Benjamin, S., Sebastian, D. P., Hariharan, M. 2002. *Phytomorphol*. Vol. 52, No.4. Hal. 137-144.
- Booker, N. A., Priestley, A. J. dan Fraser, I.H. 1999. *Struvite formation in wastewater treatment plants: opportunities for nutrient recovery*. Environmental Technology. Vol. 20. Hal. 777- 782.

- Bouropoulos, N.Ch. dan Koutsoukos, P.G. 2000. *Spontaneous Precipitation of Struvite from Aqueous Solutions*. Journal of Crystal Growth. Vol. 213. Hal. 381-388
- Bowers, K. E. 2004. *Development of a Struvite Crystallizer for Reducing Phosphorus in Effluent from Livestock Waste Lagoons*. PhD. North Carolina State University.
- Bums, R., Moody, L., Walker, F., dan Raman, D. 2001. *Laboratory and in-situ Reductions of Soluble Phosphorus in Swine Waste Slurries*. Environmental Technology. Vol. 22, No. 11. Hal. 1213-1278
- Chang, M. F., dan Liu, J. C. 2007. *Precipitation Removal of Fluoride from Semiconductor Wastewater*. Journal of Environmental Engineering. Vol. 133, No. 4. Hal. 419-425.
- Chauhan, Chetan K., dan Joshi Mihirkumar J. 2014. *Growth and Characterization of Struvite- Na Crystals*. Journal of Crystal Growth. Vol. 401, Hal. 221-226.
- Chimenos, J. M., Fernandez, A. I., Hernandez, A., Haurie, L., Espiell, F., dan Ayora, C. 2006. *Optimization of phosphate removal in anodizing aluminum wastewater*. Water Res. Vol. 401. Hal. 137-143
- Corre, K. S. L., Jones, V. E., Hobbs, P., dan Parsons, S. A. 2005. *Impact of Calcium on Struvite Crystal Size, Shape and Purity*.
- Corre, K. S. L., Jones, V. E., Hobbs, P., dan Parsons, S. A. 2007. *Agglomeration of Struvite Crystal*. Water Research. Vol. 412, No. 3. Hal. 419-425.
- Demeestere, K., Smet, E., Van Langenhove, H., dan Galbacs, Z. 2001. *Optimalisation of Magnesium Ammonium Fosfat precipitation and its Applicability to the Removal of Ammonium*. Environmental Technology. Vol. 22, No. 12. Hal. 1419-1428.

Dhakal, S. 2010. *A Laboratory Study of Struvite Precipitation for Phosphorus Removal from Concentrated Animal Feeding Operation Wastewater*. Masters Theses. Paper 6724.

Driver, J., Lijmbach, D., dan Steen, I. 1999. *Why Recovery Phosphorus for Recycling and How?*. Environmental Technology. Vol. 20, No. 7. Hal. 651-662.

Doyle, J. D. dan Parsons, S. A. 2002. *Struvite Formation, Control and Recovery*. Water Research. Vol. 36, No. 16. Hal. 3925-3940.

Durrant, A. E., Scrimshaw, M. D., Stratful, I., dan Lester, J. N. 1999. *Review of the Feasibility of Recovering Fosfat from Wastewater for Use As a Raw Material by the Fosfat Industry*. Environmental Technology. Vol. 20, No. 7. Hal. 749-758.