

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ORGANIK TERHADAP
PROSES PEMBENTUKAN *STRUVITE* KRISTAL PADA ALAT
*AERATION COLUMN CRYSTALLIZER***



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

Oleh :

TOMI WAHYUDI (12 2015 037)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

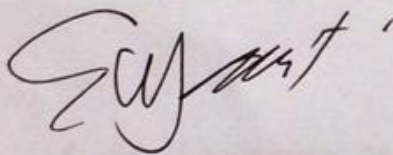
Judul : Pengaruh Penambahan Zat Organik Terhadap Proses Pembentukan *Struvite* Kristal Pada Alat *Aeration Column Crystallizer*

Nama Mahasiswa : TOMI WAHYUDI
NRP : 12 2015 037
Program Studi : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik

Palembang, 29 Agustus 2019

MENYETUJUI

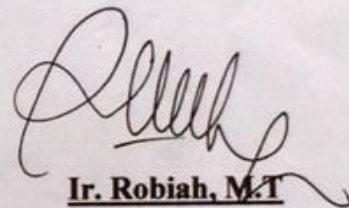
Pembimbing I



Dr. Eko Ariyanto, MChemEng

NIDN.0217067504

Pembimbing II



Ir. Robiah, M.T

NIDN.008066401

Mengetahui

Ketua Program Studi Jurusan Teknik Kimia



Netty Herawati, S.T., M.T

NIDN.0225017601

LEMBAR PENGESAHAN

**Pengaruh Penambahan Zat Organik Terhadap Proses Pembentukan *Struvite*
Kristal Pada Alat *Aeration Column Crystallizer***

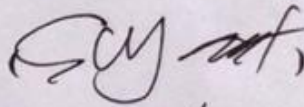
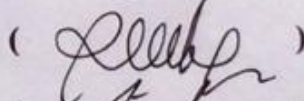
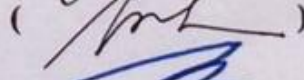

Oleh:

Tomi Wahyudi 122015037

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

Tim Penguji:

1. **Dr. Eko Ariyanto., MChemEng**
2. **Ir. Robiah., M.T**
3. **Dr. Ir. Marhaini., M.T**
4. **Dr. Ir. Eka Sri Yusmartini., M.T**

()
()
()
()

**Menyetujui,
Dekan Fakultas Teknik UMP**



**Dr. D. Egs. A. Roni, MT
NIDN : 0227077004**

**Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Kimia UMP**



**Netty Herawati., S.T, M.T
NIDN : 0225017601**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

Jl. Jendral A. Yani 13 Ulu Palembang 30623, Telp. (0711) 518764, Fax (0711) 519408
Terakreditasi B dengan SK Nomor: 396/SK/BAN-PT/Akred/S/X/2014

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nama : Tomi Wahyudi
NRP : 12.2015.037
Judul Tugas : "PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ORGANIK TERHADAP
PROSES PEMBENTUKAN *STRUVITE* KRISTAL PADA ALAT
AERATION COLUMN CRYSTALLIZER"

Telah Mengikuti Ujian Sidang Sarjana Prodi Teknik Kimia Pada Tanggal Dua Puluh Sembilan Bulan Agustus Dua Ribu Sembilan Belas.

Dinyatakan Lulus Dengan Nilai : A

Palembang, 29 Agustus 2019

Ketua Tim Penguji

Ketua Panitia Ujian Tugas Akhir
Prodi Teknik Kimia

Dr. Eko Ariyanto, M.ChemEng
NIDN : 0217067504

Netty Herawati, S.T.,M.T
NIDN : 0225017601

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eko Ariyanto, M.ChemEng
NIDN : 0217067504

Ir. Robiah, M.T
NIDN : 0008066401

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UMP

Ketua Prodi Teknik Kimia UMP

Dr. H. Kgs. A. Roni, MT
NIDN : 0227077004

Netty Herawati, S.T.,M.T
NIDN : 0225017601

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Tomi Wahyudi
Tempat/Tanggal lahir : Baturaja, 26 Juni 1997
NIM : 122015037
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.



29 Agustus 2019

Tomi Wahyudi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT karena berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul Pengaruh Penambahan Zat Organik Terhadap Proses Pembentukan *Struvite* Kristal Pada Alat *Aeration Column Crystallizer* dengan baik. Adapun tujuan penulisan proposal ini adalah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata I jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Dalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan, saran dan bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Kgs.A.Roni, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Ibu Netty Herawati, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Ibu Mardwita, S.T., M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik.
4. Bapak Dr. Eko Ariyanto, MChemEng, selaku pembimbing utama.
5. Ibu Ir. Robiah, M.T, selaku pembimbing kedua.
6. Seluruh staff pengajar, asisten lab, dan staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang
7. Kedua orang tua dan adik yang telah memberikan motivasi dan kasih sayang yang begitu besar.
8. Sahabat-sahabatku yang telah berjuang bersama.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan kiranya dapat dimaklumi dan dimaafkan. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Palembang, Agustus 2019

Penulis

MOTTO :

“Be as yourself as you want”

“Always be yourself no matter what they say and never be anyone else even if they look better than you”

“Learn from the past, live for the today, and plan for tomorrow”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Sujud syukurku persembahkan kepada Allah SWT. Yang telah menganugrahkan kesehatan lahir dan batin, atas takdirMU saya bisa menjadi pribadi yang berpikir, berilmu, beriman dan bersabar. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal untuk meraih cita-cita saya.

Dengan ini saya persembahkan karya ini kepada :

- Ayahanda tercinta “Ibrahim” dan Ibunda tercinta “Sri Lahati” yang telah menjadi motivasi dan selalu memberikan semangat serta kasih sayang kepada saya hingga bisa menyelesaikan strata-1 di program studi teknik kimia fakultas teknik universitas muhammadiyah Palembang.
- Saudaraku Kak Firman, Yuk Nova, Syila dan Abang Bayu (alm)
- Kedua dosen pembimbingku yang telah mengajarkan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan.
- Orang terdekat yang menyayangiku (najwa anggraeni) dan sahabat-sahabatku di PERMATEK, IPPUMP, DUTA GENRE, P’nkrs dan RONGSENG yang selalu memberikan motivasi dan membantu dalam mengerjakan tugas akhir.
- Almamater yang selalu ku banggakan.

PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ORGANIK TERHADAP PROSES
PEMBENTUKKAN *STRUVITE* KRISTAL PADA ALAT
AERATION COLUMN CRYSTALLIZER

Tomi Wahyudi, Eko Ariyanto, Robiah

Program Studi Kimia, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang

*Email : tomiw538@gmail.com

ABSTRAK

Efek zat organik terhadap penurunan kadar PO_4 pada pembentukan *struvite* ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dalam larutan sintesis. Penelitian ini dilakukan selama 60 menit dengan menambahkan zat organik (As.Sitrat, Gliserol, Sukrosa, dan Amylum) serta menambahkan MgCl_2 pada larutan sintesis diikuti dengan proses flokulasi dan sedimentasi menggunakan pH 9 pada alat *aeration column crytallizer*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Amylum merupakan zat yang paling baik dalam penurunan kadar PO_4 dengan hasil yang ditunjukkan pada konsentrasi kesetimbangan dalam waktu 50 menit ini ialah 0.6 mg/L. sedangkan penggunaan sukrosa, gliserol, dan asam sitrat sebagai zat organik dalam penurunan kadar fosfat menunjukkan adanya penghambatan dalam penurunan kadar fosfat.

Kata Kunci : *stuvite*, pengaruh zat organik, *aeration column crytallizer*.

***THE EFFECT OF ADDITION OF ORGANIC SUBSTANCE TO THE
PROCESS FOR ESTABLISHING CRYSTAL STRUVITE IN AERATION
COLUMN CRYSTALLIZER TOOLS***

Tomi Wahyudi, Eko Ariyanto, Robiah

*Departement of Chemistry Engineering, Faculty of Engineering,
University of Muhammadiyah Palembang*

** Email: tomiw538@gmail.com*

ABSTRACT

The effect of organic substances on decreasing PO₄ levels in the formation of struvite in synthetic solutions. This research was carried out for 60 minutes by adding organic substances (As.Sitrat, Glycerol, Sucrose, and Amylum) and adding MgCl₂ to the synthesis solution using pH 9 on the aeration column crytallizer. The results of this study indicate that Amylum is the best substance in reducing PO₄ levels with the results shown in equilibrium concentrations within 50 minutes is 0.6 mg / L. while the use of sucrose, glycerol, and citric acid as organic substances in the decrease in phosphate levels showed an inhibition in the decrease in phosphate levels. The characteristics of struvite products were analyzed using SEM (Scanning Electron Microschope) and EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) to determine the shape and elements (content) contained in struvite.

Keywords: *stuvite, the influence of organic substances, aeration column crystallizer.*

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Presipitasi Kimia	4
2.2. Presipitasi <i>Struvite</i>	4
2.3. Pembentuksn <i>Struvite</i>	5
2.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan <i>Struvite</i>	7
2.5. Beberapa Peneliti Sebelumnya Yang Mempelajari Pembentukan <i>Struvite</i> Kristal dari Berbagai Macam Limbah	12

BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1. Lokasi Penelitian	15
3.2. Bahan yang digunakan	15
3.3. Rangkaian Alat Penelitian.....	16
3.4. Kerangka Penelitian	17
3.5. Prosedur Penelitian.....	17
3.6. Pengamatan Sample	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1. Hasil Pengamatan	19
4.2. Pembahasan	19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1. Kesimpulan	29
5.2. Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN I	33
LAMPIRAN II	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Senyawa Potensial yang Terbentuk dan nilai pK-nya	6
Tabel 2.2	pH Kelarutan Minimum <i>struvite</i>	9
Tabel 4.1	Hasil Pengamatan pH Pada Proses Penurunan Kadar fosfat.....	21
Tabel 4.2	Karakteristik Tanpa Menggunakan Zat Organik Dalam penurunan PO ₄	22
Tabel 4.3	Karakteristik Pengaruh Sukrosa Dalam Penurunan Kandungan PO ₄	23
Tabel 4.4	Karakteristik Pengaruh gliserol Dalam Penurunan Kandungan PO ₄	24
Tabel 4.5	Karakteristik Pengaruh Asam Sitrat Dalam Penurunan Kandungan PO ₄	25
Tabel 4.6	Karakteristik Pengaruh Amylum Dalam Penurunan Kandungan PO ₄	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mineral MAP	8
Gambar 2.2. Distribusi Fosfat Sebagai Fungsi pH	10
Gambar 2.3 Distribusi Amonia Sebagai Fungsi pH.....	11
Gambar 3.1 Sistem Aeration Column Crystallizer	17
Gambar 3.2 Kerangka Penelitian	18
Gambar 4.1 Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi fosfat.....	21
Gambar 4.2 Laju Penurunan konsentrasi Kandungan PO ₄ Terhadap variasi waktu	23
Gambar 4.3 Laju Penurunan Sukrosa Dalam Penurunan Kandungan PO ₄ Terhadap Variasi Waktu	24
Gambar 4.4 Laju Penurunan Gliserol Dalam Penurunan Kandungan PO ₄ Terhadap Variasi Waktu	26
Gambar 4.5 Laju Penurunan Asam Sitrat Dalam Penurunan Kandungan PO ₄ Terhadap Variasi Waktu	27
Gambar 4.6 Laju Pengaruh Amylum Dalam Penurunan Kandungan PO ₄ Terhadap Variasi Waktu.....	28
Gambar 4.7 Perbandingan Hasil Penurunan Kadar Fosfat Menggunakan Zat Organik	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struvite adalah kristal putih secara kimia dikenal sebagai magnesium amonium fosfor hexahydrate ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Faktor-faktor kunci yang mendorong nukleasi dan pertumbuhan struvite serta mekanisme kristalisasi spesifik telah banyak diselidiki dan disimpulkan dengan baik dalam literatur, termasuk pH yang optimal, presipitasi, suhu, laju aduk, tingkat jenuh serta efek Ion-ion pegganggu seperti zat organik. (Zhang, *et al.*, 2015).

Faktor pertama dalam pembentukan 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 $[\text{Mg}^{2+}]:[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ 2,5:1,5:1 dan pH 9. Total 33,5% ammonium dan 92,5% fosfat dapat disisihkan dengan kecepatan pengadukan 200 rpm.

Presipitasi *struvite* menggunakan berbagai sumber ion 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 untuk presipitan adalah 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 ion-ion pengganggu. Seperti kehadiran ion Ca^{2+} dalam larutan memiliki dampak signifikan terhadap kristalisasi *struvite* kristal pada ukuran, bentuk dan kemurniannya. Pada larutan basa (alkali) dan kehadiran ion kalsium, kalsium fosfat atau kalsium karbonat, yang dapat bereaksi dengan fosfat atau ion karbonat (Booker *et al.*, 1999; Ohinger *et al.*, 1999), peningkatan konsentrasi kalsium akan mengurangi ukuran kristal, menghambat pembentukan *struvite* yang mengarah pada pembentukan zat amorf daripada kristal *struvite* (Corre *et al.*, 2005). Selain itu kadar zat organik relatif tinggi dan dapat diubah menjadi berbagai jenis senyawa selama proses anaerob. Selain itu, glukosa dan asam sitrat digunakan sebagai aditif untuk meningkatkan konsentrasi zat organik dalam larutan reaktan atau untuk bertindak sebagai ligan organik berbobot molekul rendah untuk mempengaruhi morfologi kristalisasi. (Zhang, *et al.*, 2015).

Tujuan dari penelitian adalah untuk melihat kondisi optimum dari ke empat zat organik yaitu Sukrosa, Gliserol, Asam sitrat serta Amylum pada penyisihan fosfat dalam pembentukan *struvite* kristal, serta melihat juga apakah dari ke empat zat organik tersebut semuanya dapat mempercepat atau malah menghambat proses dari pembentukan *struvite* kristal. Dalam dunia pertanian atau tanaman, ke empat zat organik sangat berguna seperti halnya amyllum yang berguna untuk menyimpan glukosa (sebagai fotosintesis) dalam jangka panjang serta adapun asam sitrat yang merupakan asam organik lemah yang ditemukan pada daun dan tumbuhan genus, dalam biokimia asam sitrat juga dikenal sebagai senyawa antara dalam siklus asam sitrat yang terjadi di dalam mitokondria, yang penting dalam metabolisme

mahluk hidup. Dari manfaat diatas maka dari itula peneliti ingin melihat apabila keempat zat organik tersebut dijadikan sebagai zat pengotor dalam penyisihan kandungan fosfat dalam pembentukkan *struvite* kristal apakah membantu dalam pertumbuhannya atau malah menghambat.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang tersebut , dapat dirumuskan masalah Penelitian ini sebagaia berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh zat organik yang terdiri dari : Sukrosa, Glukosa, Asam Sitrtat serta Amylum dalam proses penyisihan fosfat dalm pembentukkan *strvuite* kristal dengan bantuan reaktan ion Mg yang berasal dari $MgCl_2$.
2. Manakah pengaruh zat organik yang terdiri dari: Sukrosa, Glukosa, Asam Sitrat, serta Amylum yang paling optimal dalam penyisihan fosfat yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pertanian.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh penambahan zat organik (Asam sitrat, Sukrosa, Gliserol, Amylum) terhadap persentase penyisihan PO_4 .
2. Mengetahui pengaruh penambahan zat organik (Asam sitrat, Sukrosa, Gliserol, Amylum) yang paling optimum terhadap persentase penyisihan PO_4 .

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi yang paling optimum zat organik (asam sitrat, gliserol, sukrosa, dan amyllum) terhadap persentase penyisihan PO_4 yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pertanian.

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 Phosphate 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.
- Zhang Qi., Zhao S., Ye x dan Xiao W. 2015. *Effect of organic substance on struvite cyrstallization and recovery, desalination and water treatment*